

Ulusal Sempozyum / Uluslararası Katılımlı
National Symposium with International Participation



T.C. İSTANBUL
**RUMELİ
ÜNİVERSİTESİ**

3. RUMELİ SÜRDÜRÜLEBİLİR ÇEVRE İÇİN ENERJİ VE TASARIM SEMPOZYUMU
Uluslararası Katılımlı

3rd RUMELI ENERGY AND DESIGN FOR A SUSTAINABLE ENVIRONMENT SYMPOSIUM
With International Participation

Editör
Ahmet CAN

İstanbul Rumeli Üniversitesi Haliç Yerleşkesi Kongre Merkezi İSTANBUL TÜRKİYE
2 – 3 Şubat 2023

İstanbul Rumeli University Haliç Campus Congress Center İSTANBUL/TÜRKİYE
February 2 – 3, 2023

Yayıncı / Publisher : İstanbul Rumeli Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi
Yeni Mah. Mehmet Silivrili Cad. No:38
Silivri / İSTANBUL Tel: 0212 866 01 01



EDİTÖR : Ahmet CAN

Hakemler / Reviewers: ARSLAN, Remzi; BUYRUK, Ertan; BİLGEHAN, Mahmut; CAN, Ahmet; ÇAKMAK, Osman; GALOVIĆ, Antun; GÜLEN, Kemal Güven; GÜMÜŞ, Alev Taşkın; GÜR, Mesut; KAHRAMAN, Nafiz; KARTUNOV, Stefan; KEREY, İlyas Erdal; KILIÇASLAN, Yılmaz; KIZIROĞLU, İlhami; KUŞÇU, Hilmi; KÜÇÜKKAYA, Gülçin; OSMANŞAHİN, İlhan; ÖZTÜRK, İlhan, Tekin; SAĞBAŞ, Aysun; SAKALLI, M. Tolga; SÖKMEN, Münevver; TOPUZ, Ahmet.

Bibliyografya

CIP – Katalog İstanbul Rumeli Üniversitesi Kütüphane ve Dokümantasyon Daire Başkanlığı

Ulusal Sempozyum, 3. RUMELİ SUCET Sempozyumu,
Bildiriler Kitabı.

2-3 Şubat 2023, Haliç / İSTANBUL

National Symposium, 3st RUMELI SUCET Symposium,
The Book of Proceedings.

ISBN 978-605-74264-3-7

Elektronik Materyal/Cep belleği
Electronic Material / Flash memory

ISBN 978-605-74264-3-7

Makaleler ulusal ve uluslararası hakemler tarafından revize edilmiştir. Bu yayının hiçbir bölümü yayıncının izni olmadan hiçbir biçimde çoğaltılamaz.

The papers have been revised by national and international reviewers. No part of this publication may be reproduced in any form, without the permission of the Publisher.



3. RUMELİ SÜRDÜRÜLEBİLİR ÇEVRE İÇİN ENERJİ VE TASARIM SEMPOZYUMU BİLDİRİLER KİTABI
PROCEEDINGS BOOK OF 3. RUMELI ENERGY AND DESIGN SYMPOSIUM FOR SUSTAINABLE ENVIRONMENT

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

BİRİNCİ BÖLÜM / First Part

SEMPZYUMDA SUNULMUŞ BİLDİRİLERİN TAM METİN TÜRKÇE OLARAK YAYINLANMIŞ BÖLÜM Full-text Turkish section of the papers presented at the symposium

ÖZEL AÇILIŞ OTURUMU / Plenary Open Session

ÖNSÖZ / Foreword

Ahmet CAN

TEKNİK 1. OTURUM / Technical Session I

| BİLDİRİ NUMARASI Presentation Number | BİLDİRİ ADI Presentation Name | BİLDİRİ YAZARLARI Presentation Authors | SAYFA Page |
|---|---|---|---------------|
| 3. SUCET001 | ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA KULLANILAN PASİF, AKTİF VE HİBRİT BATARYA SOĞUTMA SİSTEMLERİNE AİT BİR ÇALIŞMA | Emre TORUN Ertan BUYRUK | 1 – 6 |
| 3. SUCET002 | AVRUPA BİRLİĞİ'NDE VE BULGARİSTAN'DA KATI EVSEL ATIK YÖNETİMİ | Stefan KARTUNOV | 7 – 22 |
| 3. SUCET003 | A SIFIR ENERJİLİ BİNALAR VE TÜRKİYE İÇİN BİNALARDA ENERJİ SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİ | Ahmet CAN | 23 – 29 |

TEKNİK 2. OTURUM / Technical Session II

| | | | |
|-------------|--|--|---------|
| 3. SUCET004 | HIRVATİSTAN'DA ISI POMPALARI KULLANARAK ISITMA SEKTÖRÜNÜN KARBONDAN ARINDIRILMASI | Antun GALOVIĆ Martina ODELJAN VLADİMİR SOLDÓ | 30 – 39 |
| 3. SUCET005 | MONO-KRİSTAL GÜNEŞ PV PANELİ ÜZERİNDEKİ SICAKLIK ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ | M. Musab BAYAT Ertan BUYRUK Mustafa CANER | 40 - 48 |
| 3. SUCET006 | GÜNEYDOĞU TÜRKİYE'NİN ÜST KRETASE YAŞLI KARBONAT KAYALARININ ÜRETİLEBİLİR ANKONVANSİYONAL SIVI PETROL VE BİYOJENİK GAS MİKTARININ BELİRLENMESİ | Şamil ŞEN Berat BARSLAN İ. Erdal KEREY | 49 - 51 |
| 3. SUCET007 | CABİR BİN HAYYAN'IN BİLİMSSEL DÜŞÜNCEYE VE KİMYASAL TEKNOLOJİLERE KATKILARI | Osman ÇAKMAK | 52 - 60 |
| 3. SUCET008 | FPFS-KNN'NİN ENERJİ VERİMLİLİĞİNE BİR UYGULAMASI | Samet MEMİŞ | 61 - 68 |



TEKNİK 3. OTURUM / Technical Session III

| | | | |
|-------------|--|--|---------|
| 3. SUCET009 | SUYA DALDIRILMIŞ HELİSEL SARILMIŞ ISI EŞANJÖRLERİNDE ISI TRANSFERİ ANALİZİ İÇİN DENEY SİSTEMİ KURULUMU | Mustafa CANER Ertan BUYRUK | 69 - 74 |
| 3. SUCET010 | DURAN DALGALI TERMOAKUSTİK SOĞUTMA SİSTEMİNİN TASARIMI VE DENEYSEL KURULUMU | Netice DUMAN Halil İbrahim ACAR Özlem KUZEY Şakir KUZEY | 75 - 84 |
| 3. SUCET011 | SERİ ÜRETİM HATLARINDA ENERJİ TASARRUFU FIRSATLARI VE TAMPON STOK TAHSİSİ | Hatice GÜNER | 85 - 89 |

TEKNİK 4. OTURUM / Technical Session IV

| | | | |
|-------------|--|---|-----------|
| 3. SUCET012 | TÜRKİYE BİYÇEŞİTLİLİĞİ; ETKİLENME NEDEN VE KORUMA ÖNLEMLERİ | İlhami KIZIROĞLU | 90 - 111 |
| 3. SUCET013 | LOJİSTİK SEKTÖRÜNDEKİ AĞIR TİCARİ ARAÇ SEÇİMİNE ESNEK KARAR VERME YÖNTEMLERİNİN BİR UYGULAMASI | Ömer KARAKOÇ Samet MEMİŞ Bahar SENNAROĞLU | 112 - 122 |
| 3. SUCET014 | TESİS YERİ SEÇİMİNDE YENİLENEBİLİR ENERJİ KULLANIMI AÇISINDAN SİLİVRİ BÖLGESİNİN ÖNEMİ VE BİR UYGULAMA | Abdullah Zübeyr ŞEKERCİ | 123 - 137 |
| 3. SUCET015 | RESTORAN İŞLETMELERİNDE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK VE ENERJİ TASARRUFU | Doğukan BAYESEN Mustafa Oğuzhan ERCAN | 138 - 143 |

İKİNCİ BÖLÜM / Second Part

SEMPOZYUMDA SUNULMUŞ BİLDİRİLERİN TAM METİN İNGİLİZCE OLARAK YAYINLANMIŞ BÖLÜM

Full-text English section of the papers presented at the symposium

Technical Session I

| Presentation Number | Presentation Name | Presentation Authors | Page |
|---------------------|---|----------------------------|-----------|
| 3. SUCET016 | A STUDY ON PASSIVE, ACTIVE AND HYBRID BATTERY COOLING SYSTEMS USED IN ELECTRIC VEHICLES | Emre TORUN Ertan BUYRUK | 144 - 149 |
| 3. SUCET017 | SOLID HOUSEHOLD WASTE MANAGEMENTIN THE EUROPEAN UNION AND BULGARIA | Stefan KARTUNOV | 150 - 164 |
| 3. SUCET018 | ZERO ENERGY BUILDINGS AND ENERGY SUSTAINABILITY IN BUILDINGS FOR TURKEY | Ahmet CAN | 165 - 171 |



Technical Session II

| | | | |
|-------------|--|--|-----------|
| 3. SUCET019 | DECARBONISATION OF HEATING SECTOR IN CROATIA USING HEAT PUMPS | Antun GALOVIĆ Martina ODELJAN VLADİMİR SOLDÖ | 172 - 181 |
| 3. SUCET020 | EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF TEMPERATURE EFFECT ON MONO-CRYSTALLINE SOLAR PV PANEL | M. Musab BAYAT Ertan BUYRUK Mustafa CANER | 182 - 190 |
| 3. SUCET021 | PRODUCIBLE FLUID OIL AND BIOGENIC GAS THE UPPER CRETACEOUS UNCONVENTIONAL CARBONATE PLAYS, NORTHERN ARABIAN PLATE OF TURKEY | Şamil ŞEN Berat BARSLAN İ. Erdal KEREY | 191 - 194 |
| 3. SUCET022 | CABIR BIN HAYYAN'S CONTRIBUTIONS TO SCIENTIFIC THOUGHT AND INDUSTRIAL CHEMISTRY | Osman ÇAKMAK | 195 - 202 |
| 3. SUCET023 | AN APPLICATION OF FPFS-kNN TO ENERGY EFFICIENCY | Samet MEMİŞ | 203 - 210 |

Technical Session III

| | | | |
|-------------|--|--|-----------|
| 3. SUCET024 | EXPERIMENT SYSTEM SETUP FOR HEAT TRANSFER ANALYSIS OF IMMERSED HELICAL COILED HEAT EXCHANGERS | Mustafa CANER Ertan BUYRUK | 211 - 216 |
| 3. SUCET025 | DESIGN AND EXPERIMENTAL INSTALLATION OF A STANDING WAVE THERMOACUSTIC COOLING SYSTEM | Netice DUMAN Halil İbrahim ACAR Özlem KUZEY Şakir KUZEY | 217 - 226 |
| 3. SUCET026 | ENERGY SAVING OPPORTUNITIES IN MASS PRODUCTION LINES AND BUFFER STOCK ALLOCATION | Hatice GÜNER | 227 - 231 |

Technical Session IV

| | | | |
|-------------|---|---|-----------|
| 3. SUCET027 | BIODIVERSITY OF TÜRKİYE; CAUSES OF IMPACT AND CONSERVATION MEASURES | İlhami KIZIROĞLU | 232 - 257 |
| 3. SUCET028 | AN APPLICATION OF SOFT DECISION-MAKING METHODS TO HEAVY COMMERCIAL VEHICLES SELECTION IN LOGISTIC SECTOR | Ömer KARAKOÇ Samet MEMİŞ Bahar SENNAROĞLU | 258 - 267 |
| 3. SUCET029 | THE IMPORTANCE OF SİLİVRİ DISTRICT IN TERMS OF THE USE OF RENEWABLE ENERGY IN THE SELECTION OF THE FACILITY LOCATION: AN APPLICATION WITH INTEGRATED FUZZY AHP AND FUZZY TOPSIS METHOD | Abdullah Zübeyr ŞEKERCİ | 268 - 282 |
| 3. SUCET030 | SUSTAINABILITY AND ENERGY SAVINGS IN RESTAURANT BUSINESSES | Doğukan BAYESEN Mustafa Oğuzhan ERCAN | 283 - 288 |
| | ENDEKS | | 289 - 290 |



3. RUMELİ SÜRDÜRÜLEBİLİR ÇEVRE İÇİN ENERJİ VE TASARIM SEMPOZYUMU
3rd RUMELİ ENERGY AND DESIGN FOR A SUSTAINABLE ENVIRONMENT
SYMPOSIUM

2-3 Şubat 2023 / February 2-3, 2023
Silivri, İSTANBUL

ÖNSÖZ

Sürdürülebilir Çevre İçin Enerji ve Tasarım alanında yeni teknolojiler.

Sürdürülebilir Çevre İçin Enerji ve Tasarım (SUCET) Sempozyumu, İstanbul'da Rumeli Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi'nin ev sahipliğinde birincisi 2021 yılında, ikincisi 2022 yılında gerçekleştirilmiş olan, enerji ve çevre konularında araştırma yapan bilim adamı ve uzmanların her yıl bir araya geldiği geleneksel bilimsel bir toplantıdır.

Bu yılki 3.SUCET 2023 Sempozyumunda, yurtdışından 2, Türkiye'den 5 ve Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesinden 8 olmak üzere 15 bildiri yüz yüze ve eş zamanlı şekilde zoom üzerinden 26 akademisyenin katılımıyla sunulmuştur. Hırvatistan Zagreb Üniversitesinden ve Bulgaristan Gabrova Teknik Üniversitesinden olmak üzere iki yurt dışı ülkesinden akademisyenlerin katılımı sempozyuma uluslararası katılımlı karakteri kazandırmıştır.

Bildiriler, sempozyum programının tematik alanlarına göre yapılan sunumlara uygun olarak düzenlenmiş 15 bildirden oluşmaktadır. Sempozyum Kitabında yayınlanan makaleler sürdürülebilir çevre için enerji kullanımı ve tasarımların yanı sıra yaşam kalitesinin yükseltilmesi ile birlikte çevre korumanın desteklenmesine katkıda bulunan bilimsel değerli bir içerik sunmaktadırlar.

Avrupa Birliği'ne katılma sürecinde bulunan ve 2015 yılında Paris anlaşmasını 2021 yılında imzalamış olan Türkiye, enerji tüketimi, enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kaynakları ve sera gazı emisyonlarının uygulanması alanlarındaki hedefler paketini gerçekleştirmek zorundadır. Bu kapsamda, CO₂ emisyonlarının azaltılmasında 2030 yılına kadar yüzde elli ve 2050'de binalarda sıfır emisyona ulaşılması hedefleri tanımlanmıştır. Türkiye'de, öncelikle Avrupa Birliği üye ülkelerinin benimsediği "20-20-20" hedefi ile Enerji ve Çevre Koruma alanında Avrupa Birliği'nin düzenlemesi yükümlükleri üstlenilmelidir ve hızlı şekilde gerçekleştirilmelidir.

Dünyada olduğu gibi Türkiye için de en önemli zorluklar sıralamasında, öğretimden sonra çevre koruma ve iklim değişikliğine karşı önlemler ikinci sırada yer almalıdır. Özellikle, dünyanın hedeflediği 1,5 derecelik atmosfer sıcaklığı azaltılması hedefi gereklilik olmalıdır. İklim koruma ilerlemesini hızlandırma yönünde Türkiye'de de toplumun 1,5 derecelik atmosfer sıcaklığı azaltılması hedefine ulaşmak için bilinçlendirilmesi ve hızlı bir çaba göstermesi gerekmektedir. 1,5 derecelik atmosfer sıcaklığı azaltılması hedefinin gerçekleştirilmesi için Avrupa Birliği ülkelerindeki gibi Türkiye'de de enerji üretiminin ve arzının dönüştürülmesi gerekmektedir. Sanayi sektöründe enerji tasarruflu teknolojiler ile değişimi gerçekleştirmede iki tedbir öncelikli uygulanmalıdır. Birincisi, iklime zarar veren sübvansiyonların hızla azaltılmasıdır, ikincisi CO₂ emisyonlarının azaltılmasıdır. Özellikle iklime zarar veren ürünler daha yüksek vergilendirilmelidir. Mühendislik yaklaşımı, bireysel endüstrilerin enerji geçişi sırasında yeniden yapılandırılmasının kabul edilebilir olduğunu ortaya koymaktadır. Yeni teknolojiler sanayi sektöründe de böyle bir değişim de önemli bir role sahiptir. Bu durum özellikle yeni süreçlerin geliştirildiği CO₂ yoğun alanlarda geçerlidir. Buna örnek olarak, kimya endüstrisinde hammadde olarak CO₂ kullanılması verilebilir. Yeni teknolojilerin enerji verimliliğini artırdığını ve ekonominin enerji geçişinin başarısında enerji



3. RUMELİ SÜRDÜRÜLEBİLİR ÇEVRE İÇİN ENERJİ VE TASARIM SEMPOZYUMU
3rd RUMELİ ENERGY AND DESIGN FOR A SUSTAINABLE ENVIRONMENT
SYMPOSIUM
2-3 Şubat 2023 / February 2-3, 2023
Silivri, İSTANBUL

tüketimini azalttığını doğrulamaktadır. Ayrıca ulaşımda enerji tüketimini azaltmak ve yenilenebilir enerjilerin geliştirilmesine de öncelikli olarak önem vermek gerekmektedir.

Türkiye’de son yıllarda güneş ve rüzgar enerjisinin genişlemesi akılcı ve memnuniyet vericidir. Yenilenebilir enerjilerin genişlemesi daha iddialı hale gelmelidir. Şu anda mevcut olan “Yenilenebilir Enerji Kaynakları Yasası” ve bunda yapılacak değişiklikler somut uygulanabilir ve kontrol edilebilir hedefli olmalıdır. Bunun için rüzgar enerjisi ve güneş enerjili fotovoltaik hızlandırılmış genişleme gerektirmektedir. Şu an Türkiye’de, daha iddialı enerji geçiş ve iklim koruma önlemleri alınmaz ise sonra çok daha ciddi önlemler alınmak zorunda kalınabilir. Türkiye, sürdürülebilir çevre için enerji ve tasarım ile ilgili yurtdışından katma değerli ürün satın almak zorunda kalmamalıdır. Bunun için harcanacak para yenilenebilir enerjilerin genişlemesine ve enerji tasarruflu teknolojilere yönelik harcanmalıdır. Bu aynı zamanda Türkiye ekonomisini de canlandıracaktır ve daha fazla iş olanağı oluşturabilecektir. Bugün Türkiye enerji ve çevre koruma alanındaki hukuki ve alt hukuk icraatları düzeyinde uygun yasalara sahiptir.

Soru, yenilenebilir enerji kaynaklarının konvansiyonel enerji kaynaklarının %100’ünü ne zaman karşılayacağıdır? Bu sorunun cevabı basit değildir. 2020 yılına kadar Avrupa Birliği devletlerinin enerji tüketimini verimli bir şekilde kullanarak enerji tüketimini azaltmaya yönelik ana planı uygulamışlardır. Bunun sonucu yenilenebilir enerji kullanımında öngörülen büyüme artmıştır ve uluslararası sözleşmelerde belirtildiği gibi sera gazı emisyonlarını azaltmışlardır (örneğin, 1992’den itibaren BM’nin iklim değişikliğinin azaltılmasının temellerini attığı Kyoto Protokolü). Enerji ve çevre koruma için yeni teknolojiler özetlenen programın gerçekleştirilmesi için önemli bir faktör olmuştur.

Yeni teknolojilerin ve uygulamalarının geliştirilmesi bu hedeflerin gerçekleştirilmesi için bir ön koşuldur. Bugün, dünya çapında yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji planlamasında baskın bir rol oynadığı ve rüzgar enerjisinin kullanımının ilk sırada yer aldığı görülmektedir. Ancak, geleneksel enerji kaynaklarının yakın gelecekte de tamamen yok olmayacağı gerçeği durmaktadır.

Türkiye’de de yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımında bir artış yaşanmaktadır ve bu durum gelecek yönünden umut vericidir. Bu kapsamda yatırımcılar ve girişimciler yenilenebilir enerji sistemlerine yatırım yapmaya devlet düzeyindeki bir tarife sistemi ile ve bankacıların finansal kaynakları bu yatırımlara taşınmaları için teşvik edilmelidir.

Yurtsever herkes için büyük önem arz eden Türkiye Cumhuriyeti Devletinin kuruluşunun 100. Yılına büyük bir sevinç, kıvanç ve ümitle kutluyoruz. 2023 yılında gerçekleştirdiğimiz 3. Rumeli Sürdürülebilir Çevre İçin Enerji ve Tasarım Sempozyumu elektronik kitabını Cumhuriyetimizin 100. Yıl anısına ithaf ediyorum.

Prof. Dr.-Ing. Ahmet CAN
İstanbul-Silivri, Şubat 2023



3. RUMELİ SÜRDÜRÜLEBİLİR ÇEVRE İÇİN ENERJİ VE TASARIM SEMPOZYUMU
3rd RUMELİ ENERGY AND DESIGN FOR A SUSTAINABLE ENVIRONMENT
SYMPOSIUM
2-3 Şubat 2023 / February 2-3, 2023
Silivri, İSTANBUL

FOREWORD

New technologies in the field of Energy and Design for a Sustainable Environment.

Energy and Design for Sustainable Environment (SUCET) Symposium, hosted by the Faculty of Engineering and Natural Sciences of Rumeli University in Istanbul, the first of which was held in 2021 and the second in 2022, where scientists and experts who conduct research on energy and environment come together every year. It is a traditional scientific meeting.

At this year's 3rd SUCET 2023 Symposium, total 15 papers were presented face-to-face and simultaneously with the participation of 26 academicians via Zoom. These papers which were 2 from foreign university, 5 from Turkey and 8 from Rumeli University, the Faculty of Engineering and Natural Sciences. The participation of academicians from two foreign countries, from Croatia Zagreb University and Bulgarian Gabrova Technical University, to the symposium brought the international character of participation.

The presented papers consist of 15 papers arranged in accordance with the presentations made according to the thematic areas of the symposium program. The articles published in the Symposium Book present scientifically valuable content that contributes to the promotion of environmental protection by improving the quality of life as well as energy use and designs for a sustainable environment.

Turkey, which is in the process of joining the European Union and signed the Paris agreement in 2015 in 2021, has to realize the package of targets in the fields of energy consumption, energy efficiency and implementation of renewable energy sources and greenhouse gas emissions. In this context, targets to reach 50% emissions by 2030 and zero emissions in buildings by 2050 have been defined. In Turkey, the regulatory obligations of the European Union in the field of Energy and Environmental Protection should be undertaken and carried out quickly, with the target of "20-20-20" adopted by the European Union member countries.

In the ranking of the most important challenges for Turkey as in the world, environmental protection and measures against climate change should take the second place after education. In particular, the 1.5 degree atmospheric temperature reduction target that the world aims for should be a requirement. In order to accelerate the progress of climate protection, the society in Turkey also needs to raise awareness and make a quick effort to reach the goal of reducing the atmospheric temperature by 1.5 degrees. In order to achieve the goal of reducing the atmospheric temperature by 1.5 degrees, energy production and supply need to be transformed in Turkey, as in the European Union countries. Two measures should be implemented with priority in realizing the change with energy-saving technologies in the industrial sector. The first is the rapid reduction of climate-damaging subsidies, the second is the reduction of CO₂ emissions. Especially climate-damaging products should be taxed higher. The engineering approach reveals that it is acceptable to restructure individual industries during the energy transition. New technologies also play an important role in such a change in the industrial sector. This is especially true in CO₂-intensive areas where new processes are being developed. An example of this is the use of CO₂ as a raw material in the chemical industry. It confirms that new technologies increase energy efficiency and reduce energy consumption in the success of the economy's energy transition. Furthermore, it is necessary to reduce energy consumption in transportation and to give priority to the development of renewable energies.

The expansion of solar and wind energy in Turkey in recent years is rational and pleasing. The expansion of renewable energies should become more ambitious. The currently existing "Renewable Energy Sources Law" and any amendments to it should have a concrete, applicable and controllable target. For this, wind power and solar photovoltaic require accelerated expansion. If more ambitious energy transition and climate protection measures are not taken in Turkey at the moment, much more serious measures may have to be taken later. Turkey should not have to buy value-added products from abroad related to energy and design for a sustainable environment. The money to be spent for this should be spent on the expansion of renewable energies and energy-efficient technologies. This



3. RUMELİ SÜRDÜRÜLEBİLİR ÇEVRE İÇİN ENERJİ VE TASARIM SEMPOZYUMU
3rd RUMELİ ENERGY AND DESIGN FOR A SUSTAINABLE ENVIRONMENT
SYMPOSIUM
2-3 Şubat 2023 / February 2-3, 2023
Silivri, İSTANBUL

will also stimulate the Turkish economy and create more job opportunities. Today, Turkey has appropriate laws at the level of legal and sub-law enforcement in the field of energy and environmental protection.

The question is, when will energy in storage meet 100% of conventional energy expenditure? The answer to this question is not simple. Until 2020, they implemented the main facility to provide energy consumption by using the energy consumption of the European Union states efficiently. As a result, they have reduced greenhouse gas emissions such as growth in energy use and protection in international conventions (for example, the Kyoto Protocol, in which the UN laid the foundations for climate change since 1992). New technologies for energy and environmental protection have been an important factor in the realization of the programs outlined.

It is a prerequisite for new technologies and their applications to achieve these goals. Today, the world's energy yield appears to play a dominant role in energy dominance, and the control of wind power is in the first place. However, life close to conventional energy consumption is also far from extinction.

There is an increase in the use of renewable energy sources in Turkey, which is promising for the future. Investing in these services and energy systems for entrepreneurs should be encouraged by a state-level fee system and bankers should be encouraged to move financial resources into these investments.

We celebrate the 100th anniversary of the establishment of the Republic of Turkey, which is of great importance for all patriotic people, with great joy, pride and hope. I dedicate the electronic book of the 3rd Rumeli Energy and Design Symposium for the Sustainable Environment, which we held in 2023, to the memory of the 100th anniversary of our Republic.

Prof. Dr.-Ing. Ahmet CAN
Istanbul-Silivri, February 2023



ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA KULLANILAN PASİF, AKTİF VE HİBRİT BATARYA SOĞUTMA SİSTEMLERİNE AİT BİR ÇALIŞMA

Emre TORUN

emretorun@gmail.com ORCID: 0000-0003-4823-7843

Ertan BUYRUK

buyruk@cumhuriyet.edu.tr ORCID: 0000-0002-6539-7614

ÖZET

Günümüzde elektrikli araçlar, çalışmalarını için gerekli olan elektrik enerjisini bünyesinde bulundukları batarya sistemlerinden elde ederler. Araç bataryaları, elektrikli aracın motorunun çalışması için gerekli gerilim ve akım değerlerini karşılayarak motora enerji sağlar ve böylece aracın hareket etmesini sağlar.

Motora elektrik enerjisi sağlamakla görevli olan bataryalar, gerek şarj edilirken gerekse aracın kullanım esnasında deşarj edilirken yüksek miktarda ısı enerjisi açığa çıkarır. Bataryanın en yüksek verimde çalışabilmesi, ömrünün uzun olabilmesi ve can ve mal kaybına neden olmaması için çalışma ortam sıcaklığının belirli bir aralıkta tutulması gerekmektedir. Bunu başarabilmek için batarya sistemi termal olarak yönetilmeli, batarya hücrelerinin belirli bir sıcaklık değerinin üzerine çıkmasına izin verilmemelidir. Batarya Soğutma Sistemleri bataryada oluşan ısının hızlı bir şekilde dış ortama atılarak sıcaklığının belli limitler içinde kalmasını sağlamalı ve batarya içerisindeki hücre sıcaklıklarının üniform olarak dağıtılması görevlerini karşılayabilmelidir.

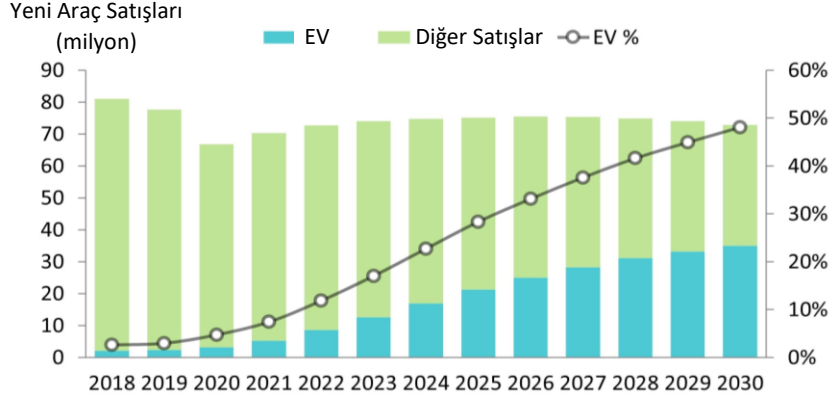
Tasarlanan çalışma ile farklı tasarımlara ve özelliklere sahip batarya soğutma sistemlerinin performansları farklı çalışma koşullarında deneysel düzenekler kurularak incelenecek, faz değıştiren malzeme, ısı borusu, zorlanmış taşınım ve bunların farklı kombinasyonlarının kullanılması durumunda elde edilen sonuçlar hem kendi aralarında hem de belirlenecek bazı tasarımların Ansys programı Fluent modülünde modellenmesi yapılarak elde edilen sayısal analiz sonuçları ile karşılaştırılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli Araç, Batarya Soğutma Sistemi, Faz Değıştiren Malzeme, ısı Borusu, ısı Transferi

1. Giriş

Günümüzde dünyadaki toplam insan nüfusunun artmasıyla hem enerji, hem yiyecek, hem de içecek kaynaklarında kısıtlılık meydana gelmekte ve mevcut kaynakların yetersiz kaldığı görülmektedir. Kaynaklardaki kısıtlılık ise insanlığın gereksinimleri için farklı alternatifler bulmaya yönelmektedir. 19. yüzyılda petrolün bulunması ve araçlarda kullanılması ile başlayan fosil yakıt süreci 21. Yüzyılda kaynakların yetersiz kalmaya başlaması, rezervlerin azalması ve yeni fosil kaynakların bulunamaması nedeniyle bilim insanlarını farklı enerji kaynaklarını kullanan alet ve araçların araştırmasına yöneltmiştir. Ayrıca fosil yakıtlarının tükenmesi araştırmacıları, bilim insanlarını ve sanayicileri enerji depolama stratejisi yardımıyla daha etkin, uygun ve çevre dostu enerji kaynakları üzerinde araştırma yapmaya motive etti [1]. Bunlardan biri olan elektrikli araç araştırmaları özellikle son yıllarda yaygın hale gelmiştir. Elektrikli araçların gelişimi son on yılda hızla büyümekle birlikte 2018 yılında dünya elektrikli araç stoğu bir önceki yıla nazaran %63 artış ile 5 milyonu geçmiş durumdadır [2]. Elektrikli araçların satışı Covid-19 salgınına rağmen, 2020 yılında bir önceki yıla göre %43 artış sağladı ve dünya çapındaki toplam araç satışının %4,6 sına ulaştı [3]. Canalis araştırma şirketinin yapmış olduğu

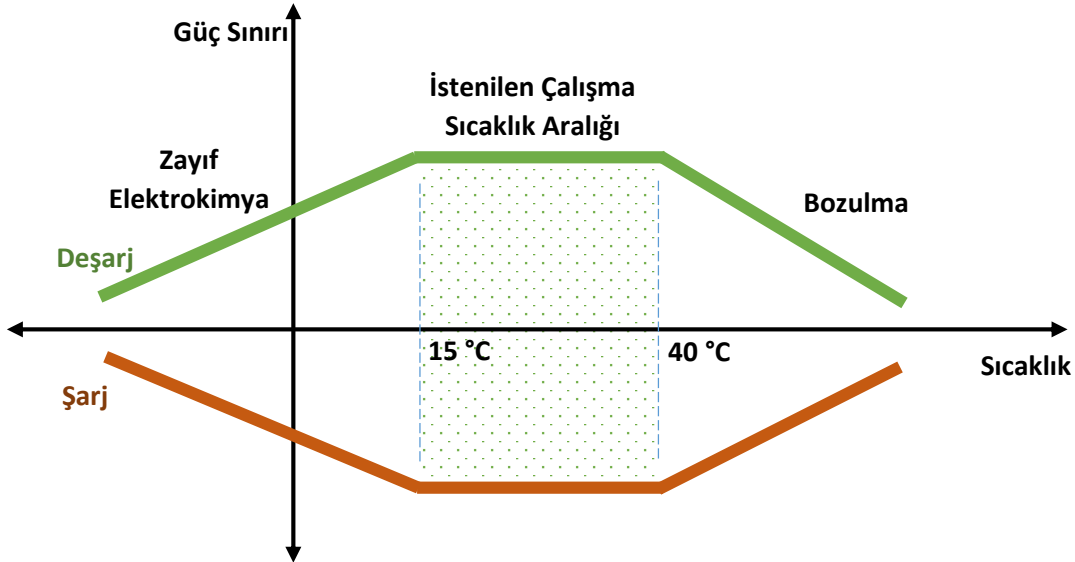
araştırmaya göre ise 2028 yılında elektrikli araç satışları 30 milyona ulaşacak ve 2030 yılında küresel bazda satılan toplam binek araçları sayısının neredeyse yarısında ulaşacak [4].



Şekil 1. 2030'a Kadar Yıllık Küresel Bazda Binek Aracı Satışları [4]

Elektrikli araçlarda farklı tip şarj edilebilir batarya sistemleri kullanılmaktadır. Bu batarya sistemlerinden bazıları Nikel-Kadmiyum tip piller, Nikel-metal Hidrit tip piller, Kurşun- asit tip piller ve Lityum-İyon tip pillerdir. Bu dört tip batarya çeşidi arasında Lityum-iyon piller yüksek enerji depolama yoğunluğu, uzun pil ömrü, düşük kendinden boşalma hızı ve hafifliğinden dolayı elektrikli araçlarda kullanımı en uygun çözüm olarak bulunmuştur. [5].

Li-ion piller şarj edilirken veyahut çalışma esnasında deşarj edilirken elektrokimyasal tepkimelerden dolayı yüksek miktarda ısı enerji açığa çıkarırlar. Li-ion piller ısıyı tersinir entropi, dirençli yayılım, pilin yoğunluk gradyeninin düşmesi ve kimyasal reaksiyonlar nedeniyle üretirler [6]. Araştırmalar bataryanın maksimum verimliliğinden faydalanabilmek için batarya sıcaklığının 15-40°C aralığında kalması gerektiğini göstermektedir [7; 8, 9, 10].



Şekil 2. Li-ion Batarya Sistemlerinde Şarj ve Deşarj Durumlarında Sıcaklığın Etkisi [10]

Pil tarafından üretilen ısı farklı yöntemler ile dış ortama uzaklaştırılabilir. Oluşan ısı eğer dışarıdan enerji kullanılmadan dış ortama atılıyorsa bu sistemlere pasif soğutma sistemleri, ısı eğer dışarıdan enerji kullanılarak dış ortama atılıyorsa bu sistemlere aktif soğutma sistemleri denir. Birden fazla aktif ya da pasif soğutma sisteminin beraber kullanılması ile oluşturulan sistemlere ise hibrit soğutma sistemleri denir.



Pasif soğutma sistemlerine; Doğal Taşınım ile Batarya Soğutma, Isı Borusu ile Batarya Soğutma ve Faz Değiştiren Malzemeler (FDM) kullanılarak batarya soğutma sistemleri örnek gösterilebilir. Aktif soğutma sistemlerine ise Hava ile zorlanmış taşınımli batarya soğutma, sıvı ile zorlanmış taşınımli batarya soğutma, termoelektrik malzeme kullanarak batarya soğutma örnek gösterilebilir. Hibrit soğutma sistemlerine ise FDM ve hava ile zorlanmış taşınımli batarya soğutma sistemi, FDM ve sıvı ile zorlanmış taşınımli batarya soğutma sistemi, FDM ve ısı borulu sistem ve bu sistemlerin farklı kombinasyonları örnek gösterilebilir.

Pasif soğutma sistemleri ya da içerisinde tamamen pasif soğutma sistemleri barındıran hibrit soğutma sistemleri enerji tüketmeden soğutma yapabildiklerinden aktif soğutma sistemlerine göre daha çok tercih edilmektedirler. Lakin yüksek güç gereksinimlerinde ve yüksek şarj/deşarj hızlarında aktif soğutma sistemlerine veya içerisinde aktif soğutma sistemi bulunduran hibrit soğutma sistemlerine gerek duyulabilmektedir. Son yıllarda özellikle faz değiştiren malzemeler ve ısı boruları kullanılarak oluşturulan pasif hibrit soğutma sistemleri üzerinde ve faz değiştiren malzemeler, ısı boruları ve hava/sıvı ile zorlanmış taşınımli aktif hibrit soğutma sistemleri üzerinde çalışmalar yapılmaktadır.

Tasarlanan sistemlerde ısı borusu ve faz değiştiren malzemeler kullanılarak oluşturulan hibrit sistemlerin soğutma performansları incelenecek, elde edilecek deneysel sonuçların hem kendi aralarında hem de belirlenecek bazı tasarımların Ansys programı Fluent modülünde modellemesi yapılarak elde edilen sayısal analiz sonuçları ile karşılaştırılması planlanmaktadır. Ayrıca söz konusu çalışma "Elektrikli Araçlarda Kullanılan Pasif, Aktif Ve Hibrit Batarya Soğutma Sistemlerinin Performanslarının Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi" başlığı altında doktora tez konusu olarak sunulmuştur.

2. Tasarım Ve Yöntem

Tasarlanan çalışmada farklı tasarımlara sahip batarya soğutma sistemlerinin performansı teorik ve deneysel olarak incelenecektir. Her bir tasarımın performansının detaylı incelenebilmesi ve karşılaştırılabilmesi için deney düzenekleri oluşturulacak ve gerekli veriler elde edilerek sonuçlar kıyaslanacaktır.

Kurulacak olan deney düzeneklerinde tasarlanan sistemler haricinde bilgisayar, veri kayıt cihazı, şarj/deşarj modülü, güç kaynağı ve termokupllar bulunacaktır. Tasarlanan sistemler ise batarya hücreleri, alüminyum blok, saf ve kompozit faz değiştiren malzeme, ısı boruları, kanatçıklar ve soğutma fanından oluşacaktır. Deney düzeneklerindeki bu elemanların görevleri şu şekildedir;

Bilgisayar: Veri kayıt cihazında toplanan verileri değerlendirmek için kullanılacaktır.

Veri Kayıt Cihazı (Datalogger): Batarya hücrelerinde belirli noktalara yerleştirilen termokuplların sıcaklık değerleri okunup düzenli aralıklarla kayıt edilecektir.

Şarj/Deşarj Modülü: Batarya hücreleri belirlenen şarj/deşarj hızlarında yükleme boşaltma yapılacaktır.

Güç Kaynağı: Fanın çalıştırılabilmesi için gerekli elektrik enerjisini sağlayacaktır.

Termokupl: Batarya modülünde belirli noktalardaki sıcaklık dağılımının tespiti için kullanılacaktır.

Metal Talaş: Faz değiştiren malzeme ile belirli oranlarda karıştırılarak kompozit FDM yapmak için kullanılacaktır. Böylelikle FDM'nin ısı iletkenliğinin artırılması hedeflenmektedir.

Metal Blok: Tasarımlarda batarya hücresi ile FDM yahut ısı borusu arasına konarak ısı transferinin artırılması için kullanılacaktır. Alüminyum malzemeden yapılması planlanmaktadır.

Batarya hücreleri: 18650 tipte silindirik Lityum-ion batarya hücreleri kullanılacaktır.

Faz değiştiren malzeme: Belirli bir sıcaklık aralığında, katı halden sıvı hale geçerken ısı depolayan ve sıvı halden katı hale geçerken depoladığı bu ısıyı yayabilen malzemelerdir. Batarya sıcaklığının artması durumunda ortaya çıkan ısıyı gizli ısı olarak depolayarak bataryanın sıcaklık artışını durdurmak yahut yavaşlatmak için kullanılacaktır. Tasarımda kullanılan faz değiştiren malzeme cinsi, erime sıcaklığı aralığına göre sistemin verimli çalışmasına elverişli olacak şekilde seçilmiştir.

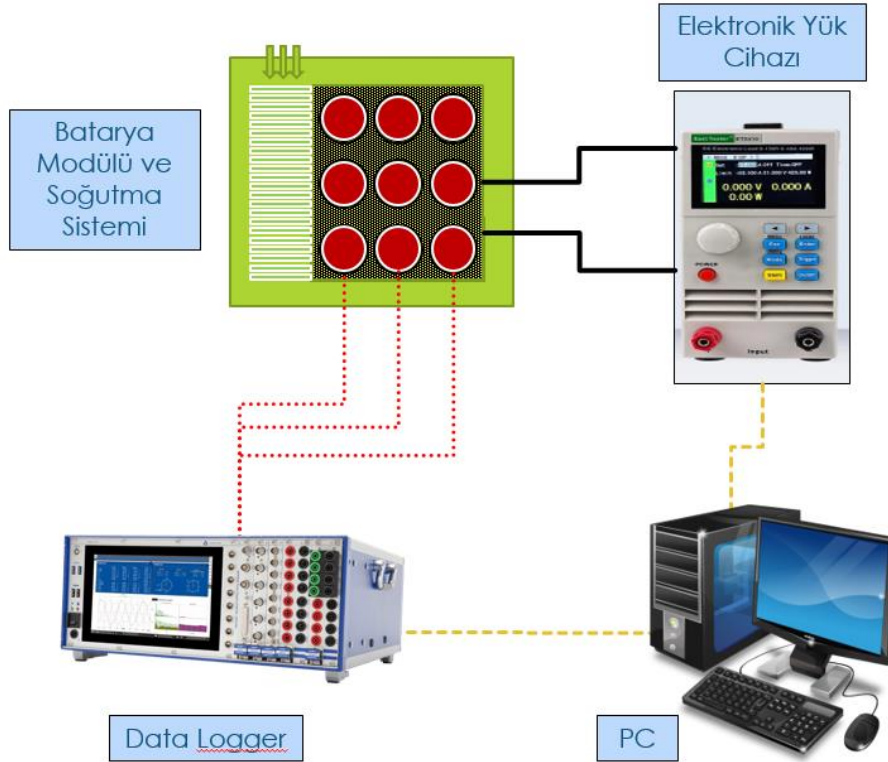
Isı Boruları: Buharlaştırıcı ve yoğunlaştırıcı kısımlardan oluşan, buharlaştırıcı kısımdan ısıyı alarak hızlı bir şekilde yoğunlaştırıcı kısımdan atan sistemlerdir. Sistemde kullanılan ısı borusu, açığa çıkan ısıyı hızlı bir şekilde dış ortama atmak için kullanılacaktır. Isı boruları, sıvı akışkanlı, bakır malzemeden imal edilmiş, iç yüzeyi gözenekli ve yassı tipte olup farklı boylarda kullanılmıştır.

Kanatçıklar: Isı transferinin daha etkin ve hızlı bir şekilde yapılabilmesi için gerekli sistemdir. Sistemde kanatçık ikincil faz değiştiren malzeme haznesinde oluşan ısının dış ortama daha hızlı bir şekilde atılması için kullanılmıştır.

Fan: Hava ile zorlanmış taşınımı gerçekleştirmek için sisteme entegre edilecektir.



Şekil 3. Deneylerde Kullanılan Pil, Isı Borusu, PCM ve Kanatçık

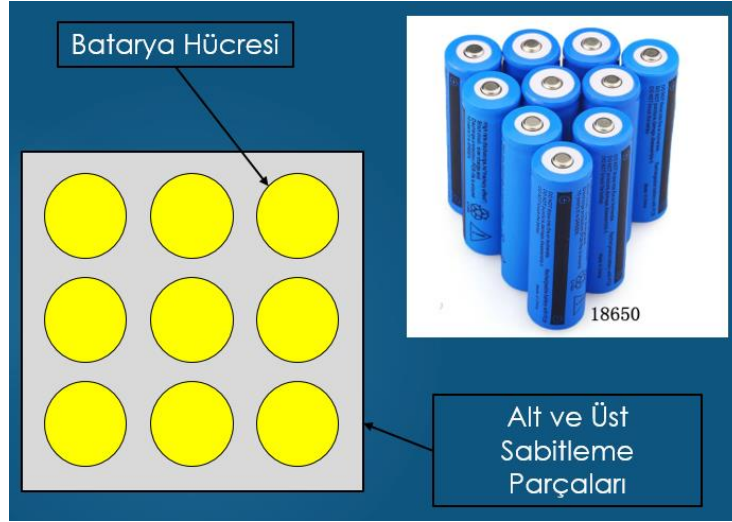


Şekil 4. Deney Düzeneği

İncelenecek sistemler aşağıdaki şekilde olacaktır.

a) Sistem-1: Herhangi Bir Soğutma Sistemi Kullanılmayan Batarya Soğutma Sistemi

Bu sistem batarya hücreleri dışarıdan herhangi bir soğutma sistemi kullanılmadan kendi halinde doğal taşınım ile soğuyacak şekilde tasarlanmıştır. Bu sistem yapılan çalışmada referans sistem olarak değerlendirilecek ve diğer tasarımlardan elde edilen sonuçlar öncelikle bu sistemle kıyaslanacaktır



Şekil 5. Herhangi bir Soğutma Sistemi Kullanılmayan Sistem

b) Sistem-2: Sadece FDM Kullanarak Oluşturulan Pasif Batarya Soğutma Sistemi

Batarya hücresi ve faz değıştiren malzemeler kullanılarak elde edilen sistemin performansı incelenecektir. Faz değıştiren malzeme sızıntıları engellemek için FDM, alüminyum hazne içine konulacak, faz değıştiren malzemenin erime ve katılaşma esnasında hacim değışimlerini absorbe edebilmek için hazne kapağı esnek olarak tasarlanacaktır. Sistemin soğutma performansı diğer sistemlerin performansları ile karşılaştırılacaktır.

c) Sistem-3: Hem FDM Hem de Isı Borusu Kullanarak Oluşturulan Pasif Hibrit Batarya Soğutma Sistemi

Bu tasarım batarya hücreleri, faz değıştiren malzemeler ve ısı boruları ile oluşturulacak olup sıcaklık performansı incelenecektir. Sistemin soğutma performansı diğer sistemlerin performansı ile karşılaştırılacaktır.

d) Sistem-4: Kompozit FDM Ve Isı Borusu Kullanarak Oluşturulan Pasif Hibrit Batarya Soğutma Sistemi Performansı

Faz değıştiren malzemenin ısı iletkenliği düşüktür. Isı transferinin daha etkin olması için faz değıştiren malzemelerin ısı iletkenliklerinin artırılması gerekmektedir. Isıl iletkenliği artırma yollarından biri de faz değıştiren malzemeyi ısı iletkenliği yüksek metal parçacıkları ile homojen bir şekilde karıştırmaktır. Bu şekilde hazırlanacak olan kompozit faz değıştiren malzemeli hibrit sistemin soğutma performansı diğer sistemlerin performansı ile karşılaştırılacaktır.

e) Sistem-5: Hem Kompozit FDM Hem Isı Borusu Hem De Aktif Bir Soğutma Sistemi Kullanarak Oluşturulan Hibrit Batarya Soğutma Sistemi Performansı

Kompozit faz değıştiren malzeme ve ısı borulardan oluşan pasif sistemin aktif bir sistem olan hava ile zorlanmış taşınım ile desteklenmesi durumunda oluşturulan sistemin soğutma performansı incelenecektir. Sistemin soğutma performansı diğer sistemlerin performansları ile karşılaştırılacaktır.

3. Sonuç

Tasarlanan 5 farklı sistem deneysel olarak 1C hızında şarj edildikten sonra 1C, 2C, 3C ve 5C deşarj hızlarında deşarj edilerek performansları karşılaştırılacak ve soğutma yönünden en uygun sistem belirlenecektir. Sistemlerin soğutma performansları incelenirken hem batarya modülündeki en yüksek sıcaklık, hem de batarya hücreleri arasındaki sıcaklık dağılımı analiz edilecektir. Sonuç olarak, sistemlerin farklı deşarj hızlarındaki maksimum sıcaklık ve maksimum sıcaklık farkı grafiklerine göre en iyi soğutma performansına sahip olan sistem belirlenecektir.



Ayrıca 1 nolu Sistemin Ansys programı Fluent modülünde modellemesi yapılarak elde edilen sayısal analiz sonuçlarının diğer tasarımlardan elde edilen deneysel sonuçlar ile karşılaştırılması planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Dincer, H.S. Hamut, J. Nader, Thermal Management of Electric Vehicle Battery Systems, Wiley, (2017).
- [2] International Energy Agency, Global EV Outlook 2019, IEA, Paris, 2019.
<https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2019>.
- [3] International Energy Agency, Global EV Outlook 2021, 2021.
<https://doi.org/10.1787/d394399e-en>.
- [4] URL1: <https://www.canalys.com/newsroom/canalys-global-electric-vehicle-sales-2020>, Erişim Tarihi: 20.12.2022
- [5] V. Etacheri, R. Marom, R. Elazari, G. Salitra, D. Aurbach, Challenges in the development of advanced Li-ion batteries: a review, Energy Environ. Sci. 4 (2011) 3243–3262.
- [6] K.E. Thomas, J. Newman, Thermal modeling of porous insertion electrodes, J. Electrochem. Soc. 150 (2003) A176.
- [7] P. Ramadass, B. Haran, R. White, B.N. Popov, Capacity fade of Sony 18650 cells cycled at elevated temperatures: Part I. Cycling performance, J. Power Sources 112 (2002) 606–613.
- [8] A. Pesaran, Battery thermal management in EVs and HEVs : issues and solutions, Adv. Automot. Batter. Conf. (2001).
- [9] H. Jouhara, N. Khordehgah, N. Serey, S. Almahmoud, S.P. Lester, D. Machen, L. Wrobel, Applications and thermal management of rechargeable batteries for industrial applications, Energy 170 (2019) 849–861.
- [10] URL2: <https://www.nrel.gov/docs/fy13osti/58145.pdf>, Erişim Tarihi: 20.12.2022

ÖZGEÇMİŞ

EMRE TORUN

2003 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliğinde lisans derecesini, 2006 yılında RWTH Aachen Teknik Üniversitesinde Yüksek Lisans derecesini almıştır. 2019 yılında Cumhuriyet Üniversitesinde doktora çalışmasına başlamış olup şu an tez aşamasındadır.

ERTAN BUYRUK

İlk, orta ve lise eğitimini Sivas'ta tamamladı. 1991 yılında Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. Temmuz 1992- Aralık 1996 yılları arasında İngiltere Liverpool Üniversitesi'nde doktorasını tamamladı. 1997 yılında Yrd. Doç., 2004 yılında Doçent, 2009 yılında Profesör unvanını aldı. Prof. Buyruk, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Endüstri Mühendisliği, Makine Mühendisliği Bölüm Başkanlıklarının yanında Mühendislik Fakültesi Dekan Yardımcılığı görevlerini de yerine getirmiştir. Evli ve bir çocuk babası olan Buyruk İngilizce bilmektedir. 2012 yılından itibaren Üniversite - Şehir ve Sanayi İşbirliği ile ilgili Rektör Danışmanlığı görevini de yürüten Prof. Buyruk, 2015-2016 yılları arasında Rektör Yardımcılığı görevini de yürütmüştür. Temel çalışma alanları: Isı ve Kütle Transferi, Termodinamik, Akışkanlar Mekaniği, Isı Yalıtımı, Soğu Depolama, Plakalı Kanatçıklı Isı Değiştiricilerde ve Nano akışkanlarda Isı Transferi üzerinedir.



AVRUPA BİRLİĞİ'NDE VE BULGARİSTAN'DA KATI EVSEL ATIK YÖNETİMİ

SOLID HOUSEHOLD WASTE MANAGEMENT IN THE EUROPEAN UNION AND BULGARIA

Stefan KARTUNOV
ORCID:0000-0001-7709-9369
Gabrova Teknik Üniversitesi, Bulgaristan

ÖZET

Makalenin amacı, Avrupa Birliği (AB) ve Bulgaristan'da katı evsel atık yönetiminin gelişimini, atıkların sınıflandırılmasını, miktarlarını, önceliklerini, ilkelerini ve hiyerarşilerini belirleme ve tahmin etme yöntemlerini incelemektedir.

Atık yönetimi yöntemleri ve program dönemlerine göre uygulamaları analiz edilir.

Amaca yönelik yasal çerçeve, politika ve ekonomi sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kentsel katı atık (MSW) yönetimi

ABSTRACT

The purpose of this article is to examines the development of solid household waste management in the European Union(EU) and Bulgaria, classification of waste, methods for determining and forecasting their quantity, priorities, principles and hierarchy.

Waste management methods and their application by program periods are analyzed.

The legal framework, politics and economics for the purpose are presented.

Key Words: Municipal Solid Waste(MSW) management



1. Giriş

20. yüzyılın sonunda ve 21. yüzyılın başında yaşam tarzı ve standardındaki değişim, kişisel kullanım için ürün ve ekipman tüketiminde bir artışa katkıda bulunmuştur. Sürekli güncellenmeleri ve kısa yaşam döngüleri sayesinde, ayrı ayrı her bir kişi tarafından üretilen atık miktarı sürekli artmaktadır. Dünya genelinde kişi başına düşen katı, sıvı ve gaz atıkların payındaki artış, aynı zamanda hammaddelerin verimsiz kullanımının ve son ürünlerin yeniden işlenmesinin de bir sonucudur. Örneğin, 1994 yılında, her Avrupa vatandaşı ortalama 460 kg katı evsel atık (MSW), 2010 yılında 500 kg, daha sonra 2020 yılında atık miktarı kişi başına 680 kg'a yükselmiştir. 2010 yılında AB'de 252,1 milyon ton evsel atık üretilmiştir (2016 Eurostat uygulaması*). Bulgaristan, 2010 yılında kişi başına düşen evsel atık miktarı bakımından AB'de 9. sırada - 410 kg ve 10 yılda (2008-18) üretim atığı % 35 oranında artmıştır. 15-20 yıllık genel eğilim zaten atık miktarını iki katına çıkarıyor. Bu nedenle MSW işlenmesi konusu, şehirlerin büyümesi ve ülkelerin sanayileşmesi ile ciddi bir hal almıştır. Biriken atık miktarındaki bu yoğun artış, çevrenin ve nüfusun sağlığının bozulmasına yol açmıştır. Çevreyi etkilemeden sürdürülebilir ekonomik ve sosyal kalkınma, yeterli atık yönetimini, çok sayıda teknolojiye dayanan geri kazanımları için entegre bir sistemi gerektirmektedir. Bulgaristan'ın 2007 yılında AB'ye kabul edilmesi, atık toplama ve yönetim politikasına ilişkin bir dizi şart getirmiştir. AB'nin bir parçası olarak, Ulusal Atık Yönetimi Programı yenilenmiştir. Bulgaristan'da 2007-2013 yılları arasında Ekolojide Kalkınma için bilinen son operasyonel Program olan Bulgaristan'ın atık yönetimi alanındaki politikaları kabul edilmiştir. Çevre ve Su Bakanlığı'nın 2009-2013 Atık Faaliyetlerinin Yönetimi Ulusal Programı ve 2014-2020 ve 2021-2028 Ulusal Atık Yönetim Planlarında oluşturulmuştur (Proekt_NPUO_2021-2028_11-02-2021%20(13).pdf), uygulanan projelerdir (NSI). Katı atık yönetimi alanındaki projeler farklı düzeylerde başlatılmakta ve uygulanmaktadır: ulusal, bölgesel, belediye ve şirketler ve şirketler düzeyinde projelerdir. Son on yıldaki akış ve çok çeşitli atıkların bir sonucu olarak, daha kesin tanım ve yönetim için güncellenmiş bir atık sınıflandırması gerekli hale gelmiştir. Son yıllarda, faaliyetler belediye tarafından yerel yönetimlerin yetki ve programları dahilinde olduğu için Bulgaristan'da atık yönetimine entegre yaklaşım benimsenmiştir. Ancak Covid salgını, belirsiz siyasi durum ve Ukrayna'da son 2-3 yılda yaşanan savaş sonucunda ekoloji arka planda kalmıştır.

2. Pozlama

2.1. Atık Yönetimi

Avrupa çevre mevzuatına göre atığın klasik tanımı bilinmektedir: "Sahibinin kurtulduğu veya kurtulmak istediği veya kurtulmak zorunda olduğu madde, nesne ya da nesnenin bir parçası",[1]. Atıkların sınıflandırılması, çeşitliliği ve miktarı, ilgili ülkeye, atıfta bulunduğu bölgeye ve ayrıca atığın bileşenlerine bağlı olarak değişir. AB'de, istatistiksel verilerin topluluk tarafından ve Bulgaristan'da dahil olmak üzere üye ülkelerin her birinin ulusal düzeyde yönetilmesini ve kullanılmasını sağlamak için atıkların sınıflandırılmasına büyük önem verilmektedir. Kökenine bağlı olarak, atıklar birkaç kategoriye ayrılır [2] ve ayrıntılı bir sınıflandırma [3]'de sunulmuştur. Uygulamada, atık çoğunlukla aşağıdakilere göre sınıflandırılır:

- Atık üretimin kaynağı (evsel, inşaat, sokak, bahçe, endüstriyel, tarımsal, hayvansal, atık sudan, yıkımdan, kütleden);

İyi atık yönetimi, ilk etapta atık üretiminin önlenmesiyle başlar, çünkü sonuçta, üretilmeyen şey bertaraf edilmemelidir. Atık oluşumunu önlemek için kullanılan önemli bir araç, çevre dostu ürünlerin kavramsallaştırılması ve tasarım aşamasında çevresel konulara odaklanan eko-tasarımdır.

- Atık kompozisyonu (siyah ve renkli malzemeler, kâğıt, cam, plastik ve diğerleri)

Ülkeler için morfolojik bileşim geniş sınırlar içinde bireysel üretilir ve coğrafi iklim koşullarına bağlıdır. Kompozisyon, nüfus sayısına bağlı olduğu için aynı ülkedeki şehirler için de bireysel farklıdır. İstatistiklere göre, AB'de yılda yaklaşık 200 milyon ton evsel atık üretilmektedir ve bu miktar her yıl artmaktadır. Kişi başına düşen atık üretimi ve atıklarının nasıl yönettiklerini bazı ülke örnekleri göstermektedir. Her yıl, Londra (yakın zamana kadar AB'de) 4,4 milyon ton evsel atık üretiyor, hane başına bir tonun üzerinde ve bunun sadece% 9'unu geri dönüştürüyor! Danimarka'nın başkenti Kopenhag, evsel, ticari ve endüstriyel atıklarının% 58'ini geri dönüştürüyor,% 24'ünü yakıyor ve sadece% 18'i çöp sahalarına gidiyor. Bunun sağlandığı idari ve vergisel önlemlerin bir sonucu olarak, Danimarka'daki atık üretimi giderek azalmaktadır,[16]. Endüstriyel sektörlerden kaynaklanan atıklar



önemli ölçüde daha fazladır. Belirlenmiş çöp sahaları neredeyse doludur ve diğer çevre dostu atık depolama yöntemleri pahalıdır. Bulgaristan için MSW'nin morfolojik bileşimi % cinsinden konuma göre ortalama kompozisyon Tablo 1'de gösterilmiştir. 2005 yılı MSW olarak 2,9 milyon ton ve 12 milyon m³tür,[6]. Verilerin analizi - en büyük kütle % 50-53 oranında kâğıt ve gıda atıkları tarafından işgal edilmektedir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) verilerine göre, MSW birikimi yılda 5 m³/kişi ve yerel koşullara bağlı olarak katsayı % 5'tir.

Tablo 1. Katı Evsel Atık'ın (MSW'nin) konuma göre ortalama bileşimi

| Morphological MSW composition, % | Population (thousands of inhabitants) | | | | | | |
|-------------------------------------|---------------------------------------|--------|---------|---------|---------|-------|----|
| | До 50 | 50-100 | 100-150 | 150-250 | Над 250 | Sofia | N |
| Metals | 3,8 | 4,4 | 4,6 | 4,8 | 5,2 | 5,5 | 1 |
| Glass | 5,2 | 4,3 | 3,6 | 3,4 | 3,3 | 3,5 | 2 |
| Plastics | 5,7 | 6,3 | 6,8 | 7,4 | 7,6 | 7,8 | 3 |
| Paper | 13,4 | 14,3 | 14,6 | 14,8 | 15,1 | 15,4 | 4 |
| Food. waste | 38 | 38 | 37 | 36 | 35 | 35 | 5 |
| Building materials | 1,7 | 4,0 | 4,0 | 3,9 | 3,2 | 1,8 | 6 |
| Wood and pulp | 0,8 | 1,3 | 1,3 | 1,8 | 2,2 | 1,6 | 7 |
| Leather, rubber | 1,8 | 2,3 | 2,3 | 3,3 | 2,2 | 2,1 | 8 |
| Textile | 2,8 | 2,8 | 2,6 | 2,1 | 1,8 | 1,8 | 9 |
| Bones | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,1 | 0,8 | 0,6 | 10 |
| Unidentified waste | 28 | 20 | 21 | 23 | 23 | 24 | 11 |

• İşleme ve yakma yöntemi (yanıcı, fermente etme, inert);

Atığın ısı değeri veya atığın yanma işleminde ısıyı serbest bırakma kabiliyeti, kcal/kg veya kJ/kg ile değerlendirilir (Tablo 2.). Ortalama kalori içeriği 700 – 2200 kcal/kg'dır. Sofya için 1330 kcal/kg. 1 kcal = 4.1868 kJ.

Tablo 2. Katı Evsel Atık'ın (MSW'nin) konuma göre ortalama bileşimi

| Settlements | kcal/kg |
|---|---------|
| up to 50 thousand/50-100 thousand inhabitants | 720/820 |
| 100-150 thousand/150-200 thousand inhabitants | 860/930 |
| 150-200 thousand/200-250 thousand inhabitants | 930/980 |

*Yeniden kullanım olasılığı (doğrudan yeniden kullanılabilen veya yeniden kullanılabilen atıklar [10]);

*Çevreye karşı zararlılık dereceleri (hareketsiz, tehlikeli).

Atıklar, [4] kaynağı Madde 6 uyarınca koşulları yerine getirmesi halinde atık olarak kabul edilmez. Avrupa Birliği'nde, [3] kaynağı ekinde açıklandığı gibi en fazla mali kaynak evsel katı atık yönetimine (yaklaşık 1/3) ve bunların belirtilmesine tahsis edildiğinden, burada dikkate alınanlar tam olarak bunlardır. Ayrıca, diğer atık türlerinin (kanalizasyon gazları, duman, kanalizasyon vb.) aksine, belediye katı atık yönetimi çok daha pratiktir ve çok sayıda insanı içerebilir. MSW'nin bileşimi, fiziksel bir bakış açısıyla, yaşam standardına, bilimsel ve teknik gelişime ve her ulusun medeniyetinin gelişimine ve coğrafi bölgelerin özelliklerine bağlı olarak değişen heterojendir. Üretilen kentsel katı atık miktarı, ülkenin kentleşme düzeyine, tüketim türüne ve şekline, yaşam standardına ve yaşam biçimine, üretildiği sektöre bağlı olarak değişmektedir. MSW miktarı aşağıdaki yöntemler kullanılarak belirlenir [5] ve Bulgaristan için sitelere ve yerleşimlere göre [6]'nın içinde normlar belirtilmiştir:

1* Ekolojik durum endeksine dayalı yöntem;

$$B_{\Gamma} = \text{Gün boyu birikim} \quad \frac{B_{\Gamma}}{365} = \text{kg, m}^3 \quad (1)$$



3. RUMELİ SÜRDÜRÜLEBİLİR ÇEVRE İÇİN ENERJİ VE TASARIM SEMPOZYUMU
2-3 Şubat 2023 Silivri/İSTANBUL

Burada K, günlük birikimin maksimum değerinin günlük birikime oranı olan günlük düzensizlik katsayısıdır:

$$K = \frac{B_{\xi} \max}{B_{\pi}} \quad (2)$$

K için, 1.20-1.40 sınırları arasında değer önerilir ve belirlemek için aşağıdaki eşitlik kullanılır:

$$B_{\pi} \max = K \cdot B_{\pi} = K \frac{B_{\Gamma}}{365} = K \frac{b \cdot N}{365} \quad (3)$$

2005 yılında Bulgaristan için: 2,9 milyon ton evsel katı atık; 12 milyon m³ katı atık.

2* Doğrudan gravimetrik yöntem (birikim oranı) - Birikim oranı, belirli bir süre (gündüz ve gece, yıl) belirlenmiş bir belirleme birimine (bir şehirde 1 kişi, bir otelde bir yer, bir hastanede bir yatak, bir dükkânda 1 m²) dayanarak üretilen katı atık miktarıdır. Birikim oranları iki tiptedir –genel ve farklılaşmış şekilde Tablo 3 ve Tablo 4 ile gösterilmiştir.

3* Tahmin - MSW miktarının tahmini aşağıdaki formüle göre yapılır:

$$B_d = b \cdot N \quad b \neq \text{const.} \quad N \neq \text{const.} \quad (4)$$

Burada b, zaman içindeki değişimdir – $b = b(N) = b_n$

$$b_n = \frac{b_{\infty}}{1 + l^{b_n - a_n}}, m^3 / \text{жестел, год.}, m^3 / \text{inhabitant, year} \quad (5)$$

Burada b_n, 1 kişi başına birikim oranı, b_∞ - gelecekteki birikim oranı (b_∞ = DSÖ'ye göre yılda 5 m³/kişi), l - taban, b₀ - birikimin temel oranı, a - yerel koşullara bağlı katsayı, n - yıllar içinde tahmin süresi,[6].

Tablo 3. 2000 yılı için Bulgaristan'ın yıllık genel normları

| | Groups settlements | General norms for the year 2000 in Bulgaria | |
|---|--------------------|---|----------------------------------|
| | | kg/inhabitant, year | m ³ /inhabitant, year |
| 1 | Villages | 300 | 1,9 |
| 2 | Up to 50 | 330 | 1,30 |
| 3 | 50-100 | 340 | 1,40 |
| 4 | 100-150 | 360 | 1,60 |
| 5 | 150-250 | 380 | 1,70 |
| 6 | over 250 | 390 | 1,90 |
| 7 | Sofia | 410 | 2,10 |

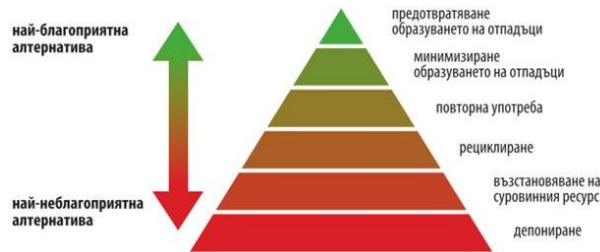


Tablo 4. Nesnelere göre farklılaştırılmış normlar

| | Objects for 1 piece | Average annual norms | | Density |
|----|--------------------------------------|----------------------|--------------------|-------------------|
| | | kg | l, dm ³ | kg/m ³ |
| 1 | Hospitals - 1 bed | 230 | 700 | 330 |
| 2 | Hotels - 1 bed | 80 | 400 | 200 |
| 3 | Kindergartens - 1 place | 70 | 235 | 300 |
| 4 | Schools - 1 student | 26 | 120 | 220 |
| 5 | Theaters, cinemas | 20 | 90 | 220 |
| 6 | Institutions | 50 | 250 | 200 |
| 7 | Restaurants - 1 dish | 20 | 60 | 300 |
| 8 | Food stores. goods m ³ | 120 | 460 | 260 |
| 9 | Shops for prom. goods m ³ | 30 | 150 | 200 |
| 10 | Markets m ³ | 18 | 36 | 500 |

Not: Hastaneler için belirli hastane atıkları (cerrahi malzemeler vb.) dahil değildir. [1]'e göre, "atık yönetimi" kavramı tüm toplama faaliyetlerini kapsar, bu işlemlerin kontrolü de dahil olmak üzere nakliye, işleme, kullanım, bertaraf ve ayrıca arıtma tesislerinin bulunduğu atıkların bulunduğu ve nüfusun, çevrenin veya yerel estetiğin sağlığı üzerindeki potansiyel olumsuz etkinin azaltılması ile ilgili olarak kapatıldıktan sonra gerçekleştirilen faaliyetlerdir. Avrupa mevzuatına göre, etkin atık yönetimi temel önceliklere dayanmaktadır: Atık üretiminin önlenmesi, Geri dönüşüm ve yeniden kullanım ve atıkların bertaraf edilmesi ve izlenmesi için koşulların iyileştirilmesi (Altıncı AB Çevre Eylem Programı (2002-2012 ve [1]). Atık yönetimi faaliyetlerinin altında yatan ilkeler şunlardır: kaynakların korunması, önleyici tedbirler, önleme, kirlenici ödemeleri, ikame, yakınlık ve özerklik, iştirakçilik ve entegrasyon. Atık yönetimindeki hiyerarşi bu ilke ve önceliklere dayanarak atık yönetiminde öncelik sırasını belirler. Üretim anından nihai yıkım anına kadar atığın yaşam döngüsü/varlığı içinde yapılması gereken aksiyonları sağlar: Atık oluşumunun önlenmesi; Miktarı en aza indirmek için üretilen atıklar, özellikle tehlikeli özelliklere sahip olanlar; Yeniden; Geri dönüşüm; Kullanım - çeşitli yöntem ve teknolojilerin uygulanması yoluyla üretilen atıklardan fayda elde etmek - kompostlama, enerji ekstraksiyonu ve diğerleri; biriktirme (Çöp Doldurma) – bu yöntem sadece diğer arıtma yöntemleri tükendiğinde uygulanmalıdır (sağdaki Şekil 1). İnşaat ve evsel atık yönetimi özellikle [7] bölümünde sunulmuştur. Atık yönetimi faaliyetleri 2003 yılından bu yana [1] ve ilgili yönetmeliklerde düzenlenmiştir.

en uygun alternatif



en az elverişli alternatif

Şekil 1. Atık yönetiminde hiyerarşi

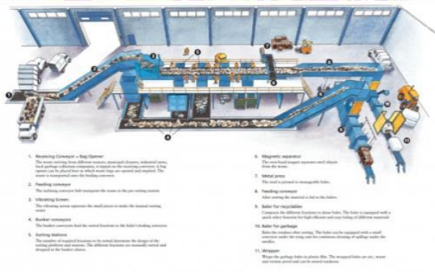


2.1. Atık Arıtma

Mühendislik açısından bakıldığında, en önemli faaliyet, esas olarak odaklanılmış atıkların işlenmesidir. Atık işleme yöntemleri, atığın kendisi ile kökeninin kaynağı kadar çeşitlidir ve sınıflandırmayı içerir,[5]:

1. Mekanik işleme

1.1. Arıtma için hazırlık - atıkların ön arıtımı için tesisler ve tesisler (temizleme, ayırma ve ayırma, paketlenme ve presleme, balyalama, kesme, parçalama), atıkların kullanımı ve bertarafı için ana tesis ve tesislere yardımcı tesislerdir veya atıkların arıtılması için bağımsız tesislerdir (Şekil 2). Açıklama boyutsal, densimetrik, manyetik, optik, girdap akımı, kızılötesi, hava, manuel ve mekanik olabilir,[6]. ECOBULPAK şirketinin Bulgaristan'daki ilk atık işleme tesisi, başkent Sofya'nın "Filipovtsi" bölgesi yakınlarında açılmıştır. Tesisin iki tesisi vardır - Camın sıralanması ve geri dönüşümü için tesis ve kağıt ve plastiğin sıralanması ve balyalanması için tesis (Şekil 3). Tesisin toplam kapasitesi yılda 140.000 ton gelen evsel atıktır.



Şekil 2. Bulgaristan Ekobulpak fabrikası - "Geri Dönüşüm" için tesis - Toplam 11.000 m² alanına sahiptir. (fotoğraf: Alyosha Dimitrov)



Şekil 3. NF'nin mekanik işlemleri ve ayrılması (nephritler) [6]

Ayırma tesisi beş bölümden oluşmaktadır: gelen malzemeler/depo, ön arıtma alanı, elektron ışını tüp işleme alanı, plastik öğütme alanı ve mekanik işleme alanı. Aşağıdaki değerler prosesler için kabul edilebilir olarak kabul edilebilir: Fe-%50, NF-%30 karışık plastik ve filtre tozu-Toplam kütle için %20'si (Atık elektrikli ve elektronik ekipmanlarla ilgili 2002/96/EC sayılı Direktif). Presleme, kağıt, karton, plastik, metaller, biyolojik olarak parçalanabilen atıkların bir kısmı, alternatif yakıt elde etmek için kullanılan atıklar vb. gibi çok çeşitli atıklara uygulanır. Presleme hidrolik ve mekanik presler



3. RUMELİ SÜRDÜRÜLEBİLİR ÇEVRE İÇİN ENERJİ VE TASARIM SEMPOZYUMU 2-3 Şubat 2023 Silivri/İSTANBUL

kullanılarak yapılabilir (Şekil 4). Mekanik arıtma için tesisler ve ekipmanlar - çoğu durumda atıkların mekanik arıtılması, ön arıtma, önceki geri kazanım veya nihai bertaraf olarak anlamlıdır.



Şekil 4. Temizleme ve presleme makineleri [5]

1.2. En aza indirmek, toplamak ve geri dönüştürmek

Bulgaristan'da ağırlıklı olarak geleneksel atık giderimi kullanılmaktadır. İçişleri ve İletişim Bakanlığı'nın resmi çöp sahalarına dayanan verilerine göre, Bulgar vatandaşı yılda ortalama 455 kg evsel atık atıyor. Ülkede 525-600 organize depolama alanı ve daha birçok örgütsüz küçük depolama alanı bulunmaktadır (Çevre ve Su Bakanlığı verilerine göre 5.135 sayılmıştır). Bunlardan yaklaşık 27'si, en önemlileri Plovdiv, Karlovo, Gabrovo, Sevlievo, Veliko Tarnovo ile Gorna Oryahovitsa ve Lyaskovets, Mezdra, Shumen, Sofia-Sukhodol, Rusçuk vb. ile Vratsa olan "sıhhi depolama alanı" gereksinimleri karşılamaktadır. Bu çöp sahaları toplam 12.735.425 ton kapasiteye sahiptir ve 4.132.557 kişinin (ülke nüfusunun yaklaşık % 55'i) evsel atıkları depolamak için kullanılabilir, [11],[15].

Geri dönüşüm süreci, tüketimi azaltma ve kaynakları yeniden kullanma süreciyle ilgilidir Atık Yönetimi Stratejisinde önemli bir adımdır. Geri dönüştürülebilir maddeler, bireysel haneler ve endüstriyel ortamlar da dahil olmak üzere çok çeşitli kaynaklardan gelebilir. Geri dönüştürülebilir Plastik (PET, ambalaj, torbalar), alüminyum, tekstil, kağıt (dergiler, gazeteler, kitaplar, ambalajlar, vb.) cam (cam kaplar), asfalt, metal kutular, motor yağı, araba pilleri, biyolojik olarak parçalanabilen malzemeler (gıda ürünleri veya bahçe atıkları) dahil olmak üzere yazıcı kartuşları. Malzemelerin işlenmesini kolaylaştırmak için, türlerine bağlı olarak sıralanmaları ve ayrılmaları önerilir. Seramik, balmumu kâğıdı, çıkartmalar, toksik madde ve gıda ambalajları, rotorlar vb. ürünler geri dönüştürülemez. Geri dönüşümle karşılaştırıldığında, yeniden kullanım önemli bir ek çaba gerektirmez, ancak yalnızca sınırlı bir atık grubuna ve fiziksel olarak değiştirilebilir ürünlere uygulanabilir.

İnşaat ve yıkım atıkları yüksek oranda geri dönüştürülebilir ve yeniden kullanılabilir. Bunu başarmanın temel koşulu, diğer atıklarla karıştırılmamaları ve kirletilmemeleridir. Bu, sürdürülebilir atık yönetiminde, AB'nin bu yöndeki aktif politikası tarafından dayatılan temel bir yaklaşımdır. İnşaat atıklarının geri dönüştürülebilirlik derecesi birçok faktöre bağlıdır - farklı atık türlerinin payı, ön arıtma derecesi (sıralama), atık üretim süreçlerine, inşaat tasarımına ve uygulamalı uygulamaya bağlı olan zararlı veya tehlikeli maddelerle kontaminasyon.

Geri dönüşüm işlemi aşağıdaki şekilde gerçekleştirilebilir, uzmanlaşmış geri dönüşüm sahalarında veya doğrudan inşaat ve yıkım sahalarında veya ayrıca kombine sahalarında, (Şekil 5). Bulgaristan'da inşaat atığı geri dönüşüm faaliyetlerine başlarken, atık üretim yerinde seçici imha ve ön arıtma ile birlikte basitleştirilmiş geri dönüşüm teknolojilerinin kullanılmasıyla başlanması önerilmiştir. AB'de 2010 yılında geri dönüştürülen atıklar kişi başına ortalama 121 kg olarak gerçekleşmiştir. Bu bakımdan Almanya kişi başına düşen 260 kg ile liderdir. Bunu İrlanda (203 kg), Slovenya (183 kg), Lüksemburg (179 kg), Avusturya (178 kg), Belçika (173 kg), İsveç (166 kg), Hollanda (164 kg), Danimarka (154 kg), vb. izledi. n. NSI verilerine göre, Bulgaristan'da 2010 yılında 26 bin ton geri dönüştürülmüştür. Kâğıt ve karton atıklarının geri dönüşümü için toplam kapasite yaklaşık 200.000 tondur ve esas olarak kâğıt hamuru ve kâğıt endüstrisi işletmelerinde ve yapı levhaları üretenlerde yoğunlaşmıştır. Plastik atıkların



3. RUMELİ SÜRDÜRÜLEBİLİR ÇEVRE İÇİN ENERJİ VE TASARIM SEMPOZYUMU 2-3 Şubat 2023 Silivri/İSTANBUL

işlenmesi yaklaşık 12 bin ton/yıl kapasiteli üç ana işletmede yoğunlaşmıştır. Atık camların işlenmesi ülkede 6 girişimde gerçekleştirilmektedir. Yıllık işlenmiş cam atık miktarı yaklaşık 15000 ton/yıl'dır.



Şekil 5. CDE Global makinelerinden oluşan komple geri dönüşüm hattı

2. Biyolojik arıtma. Kompost.

Atıkların biyolojik olarak işlenmesi veya kompostlaştırılması, organik maddelerin çeşitli mikroorganizmalar tarafından ayrışması yoluyla gerçekleştirilir. Biyolojik arıtma çoğunlukla biyolojik olarak parçalanabilen atıkların, özellikle tarımdan, gıda endüstrisinden veya evsel atıkların organik fraksiyonundan kaynaklananların ortadan kaldırılması ve ayrıca endüstriyel veya mineral atıkların (yağ çamuru, maden atıkları ve diğerleri) arıtılması için kullanılır. Tipik olarak, biyolojik arıtma aerobik veya anaerobiktir. Kompostlama tipinin seçimi, son ürünün ne elde edileceğine bağlı olarak değişir - sahada, biyo-odalarda ve braketleme ile [6],[9]'da ayrıntılı olarak tartışılmıştır. 1995 yılında, AB üye ülkeleri tarafından 13 milyon tondan fazla evsel atık kompostlaştırılmıştır ve 2008'de - yaklaşık 43,5 milyon ton ile evsel atıkların % 17'sine ulaşmıştır, önde gelen ülkeler İspanya ve Fransa'dır. Bulgaristan'da, bölgesel çöplüklerinde yılda 20.000 tonun üzerinde atık biriktiği belediyelerin topraklarında biyolojik olarak parçalanabilir atıkların kompostlanması ve mekanik-biyolojik arıtılması için tesisler inşa edilmesi planlanmıştır. Bunlar, yedisinde bölgesel çöplüklerin zaten inşa edilmiştir, 56 bölgenin yarısıdır.



Şekil 6. Saha kompostlama prensibi, kompostlama ve briketleme makinesi Beccari statik haznesi,[6]

3. Isıl işlem. Atıklardan enerji elde etmek

Hem çevresel hem de ekonomik açıdan bakıldığında, yanıcı evsel katı atıkların geri dönüştürülemeyen veya yeniden kullanılamayan kısmının enerjisini kullanmak makul ve en uygun maliyetlidir. 2000/76/EU sayılı Avrupa Direktifi, 1100 °C sıcaklıkta yakmayı önermektedir. Katı atıkların kullanımı, atık yönetimi hiyerarşisindeki en karlı aşamadır ve şunlar olabilir: malzeme, biyolojik, enerji. Aşağıdaki



3. RUMELİ SÜRDÜRÜLEBİLİR ÇEVRE İÇİN ENERJİ VE TASARIM SEMPOZYUMU 2-3 Şubat 2023 Silivri/İSTANBUL

atık türleri için enerji geri kazanımı mümkündür: biyolojik olarak parçalanabilir evsel atıklar; genel endüstriyel atıklar; tıbbi atıklar; ayıklama merkezlerinden gelen atıklar ve arıtma tesislerinden gelen atıklar. Dünya Enerji Konseyi verilerine göre, evsel atıklar her ülkenin ulusal enerji potansiyelinin yaklaşık% 6'sından sorumludur. Bulgaristan, evsel atıkların enerji potansiyelini kullanma konusunda Avrupa'nın son sıralarında yer almaktadır.

4. Termal yöntemler. Yanma

4.1. Sıralanmış veya sıralanmamış evsel katı atıkların genel olarak yakılması. Soba

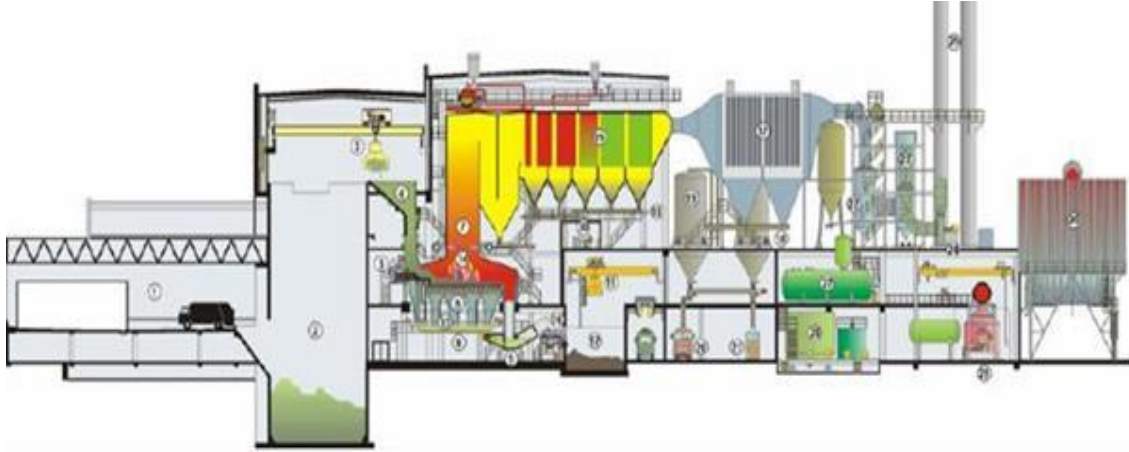
4.2. Yüksek sıcaklıkta ısıl işlem yöntemi uygulanması.

4.3. Hareketli bir ızgarada (ızgara) toplu yakılması.

4.4. Akışkan yataklı tesiste yakılması. Termokimyasal dönüşüm uygulanması.

4.5. Entegre evsel katı atık yakma sistemleri.

Bitkiler ve yakma fırınları. Birlikte yakma. Enerji kullanımı (Şekil 7).



Şekil 7. Evsel atıkların yakılması için kompleks - termal ve elektrik enerjisi üretimi - 3000 kg/saat değerinin üzerinde kapasitededir.

Yakma, evsel katı atıkların yüksek sıcaklıklarda, genellikle ısı veya elektrik üretmek için yanma sonucu elde edilen ürünler kullanılarak tamamen oksidasyonu ile atık bertarafının yapıldığı ısıl bir yöntemdir. Evsel atıkların yakılması 1000-1100 °C sıcaklıklarda gerçekleştirilir. Bununla birlikte, eksik yanma durumunda, sağlık ve çevre için tehlikeli olan asit gazları ve dioksinler yayabilir. Tehlikeli atıkların tamamen ayrışmasını sağlamak için, yakma işleminin kontrollü koşullar altında yeterince yüksek bir sıcaklıkta yapılması gerekir. Bu nedenle AB, yakma fırınları için çevre standartları hazırlamıştır. AB atık yakma direktifinde tanımlanan izin verilen maksimum değerler [6] numaralı kaynakta verilmiştir. Artık kullanılmayan ve formları ve bileşimleri çevresel bir tehlike oluşturan ürünler, yakma işlemine tabi tutulur. Atıkların yakılmasından önce tercih edilmesi tavsiye edilir ve toksik maddeler üreten veya yanmayı zorlaştıran atıkların giderilmesi için ayıklama gereklidir,[6]. Birlikte yakma, belirli bir endüstriyel atık türünün enerji geri kazanımıdır ve enerji ve ısı santrallerinde, çimento fabrikalarında ve çelik dökümhanelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bir bertaraf yöntemi olarak yakma en yaygın olarak Danimarka, Norveç, İsveç ve İsveç'te kullanılmaktadır. Bulgaristan'da, 5 çimento fabrikasının endüstriyel yanma tesislerinde kojenerasyon-yakma işlemi gerçekleştirilmektedir - içlerinde toplam enerji kullanan atık miktarı yaklaşık 2600 tondur. "Zlatna Panega Çimento" ve "Devnya Çimento" isimli çimento fabrikaları inorganik atıkların bertaraf edilmesine ciddi katkı sağlamaktadır.



4.6. Piroliz ve termal imha.

Piroliz, termal ayrışmanın yüksek sıcaklıkta, oksijenin yokluğunda, kimyasal ürünlerin ve özellikle organik ürünlerin meydana geldiği, katı atıkların ısıtılma sürecidir ve [6],[12]'de ayrıntılı olarak tartışılmıştır. Amaç, ikincil ürünler elde etmek ve katı atık hacmini azaltmaktır. Yaklaşık 25 m²'lik bir alan gerektiren günde 25 ton atığın işlenmesi için "yüksek sıcaklıktaki piroliz tesisi" Bulgaristan'da lastiklerin, plastiklerin ve "Pirotext" şirketinin diğer atıkların pirolizi için bir tesis Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 8. Yüksek sıcaklık piroliz tesisi ve kapalı piroliz tesisi. Lastiklerin pirolizi için "Pirotext"

4.7. Otoklav (hidrotermal) tesisleri.

Çamurun ısıtılma kurutulması ve yakılması Çamur, atık su arıtma prosesinin sonucudur. Birkaç özelliği olan atık su miktarının arıtma maliyetleri üzerinde en büyük etkiye sahip olduğu çamurun, çamur hacminin yanı sıra nakliye ve bertaraf maliyetleri de belirleyicidir (AB Direktifi 2000/76, kanalizasyon çamuru ile ilgili 86/278/EEC sayılı Direktif). Yanma sistemi, Şekil 9'da gösterildiği gibi iki işlemden oluşur: Çamur kurutma sistemi ve Çamur yakma sistemi. Termal kurutma pahalı bir yöntemdir, bu nedenle nadiren uygulanır ve sadece kapsamlı bir teknik ve ekonomik gerekçelendirilmeden sonra tercih edilebilir. Hollanda ve Belçika gibi bazı AB ülkelerinde tarımda çamur kullanımı yasaktır. Bulgaristan'da, çamurun kullanımına ilişkin koşullar, tarımda kullanımı yoluyla atık su arıtımından elde edilen çamurun kullanım sırası ve şekli hakkındaki Yönetmelikte düzenlenmiştir. Yağ ve petrol ürünleri içeren atık su arıtma tesislerinden çıkan çamur, "Lukoil Neftohim Burgaz" yakma tesislerinde bertaraf edilmektedir.

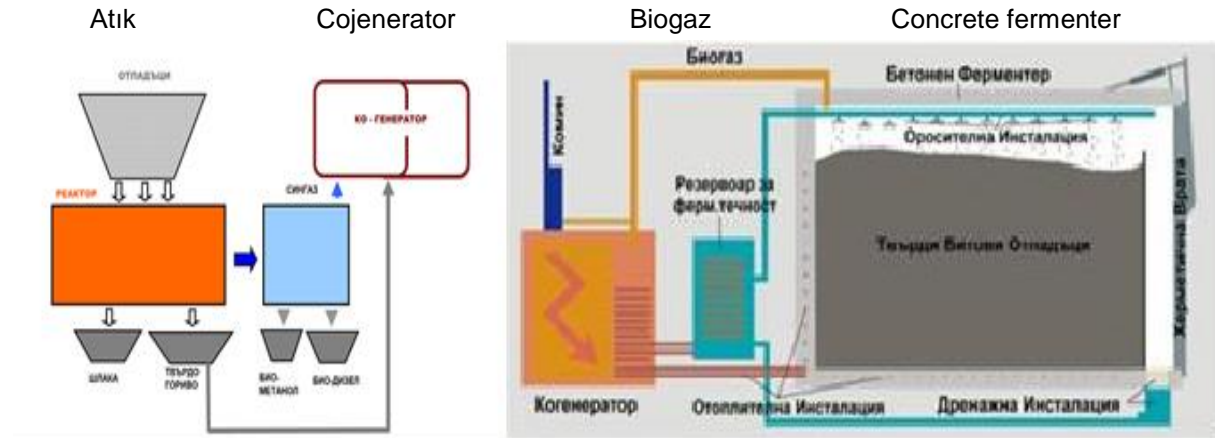


Şekil 9. Çamur kurutma sistemi

5. Gazlaştırma ve fermantasyon

5.1. Kuru metanasyon – BEKON Sürekli kuru fermantasyon prosesi

Yöntemin prensibi, % 50'ye kadar kuru madde içeriğine sahip biyoatıkların fermantasyonudur. Fermantasyon, zemine ve duvarlara yerleştirilmiş ısıtma sistemi tarafından düzenlenen ve sürdürülen 34-37 °C'lik "mezofilik" (fermantasyon dostu) bir sıcaklıkta gerçekleşir. Fermantasyon sırasında elde edilen biyogaz (esas olarak % 65'e kadar metan CH₄ ve % 35'e kadar karbondioksit CO₂'den oluşur) bir kojeneratöre beslenir (Şekil 10). Bir elektrik jeneratörüne bağlı bir gaz motoru olan ve baca gazları ve yağ soğutması için ısı eşanjörleri ile donatılmış bir kojeneratör sayesinde, biyogaz kullanılabilir elektrik ve ısıya dönüştürülür. Bu "Sürekli" işlem, sözde kuru fermantasyon sırasında hiçbir malzemenin eklenmediği veya çıkarılmadığı ve biyoatıkların fermantasyon işleminin sonuna kadar fermentörlerde kaldığı anlamına gelir (ikamet süresi).



Cüruf Katı yakıt Biyometanol ve dizel Kojeneratör Isıtma ve drenaj tesisatları
Şekil 10. Kojeneratör kullanarak metanasyon şemaları [6]

5.2. Organik atıkların gazlaştırılması. Çöp sahalarından biyogaz kullanımı

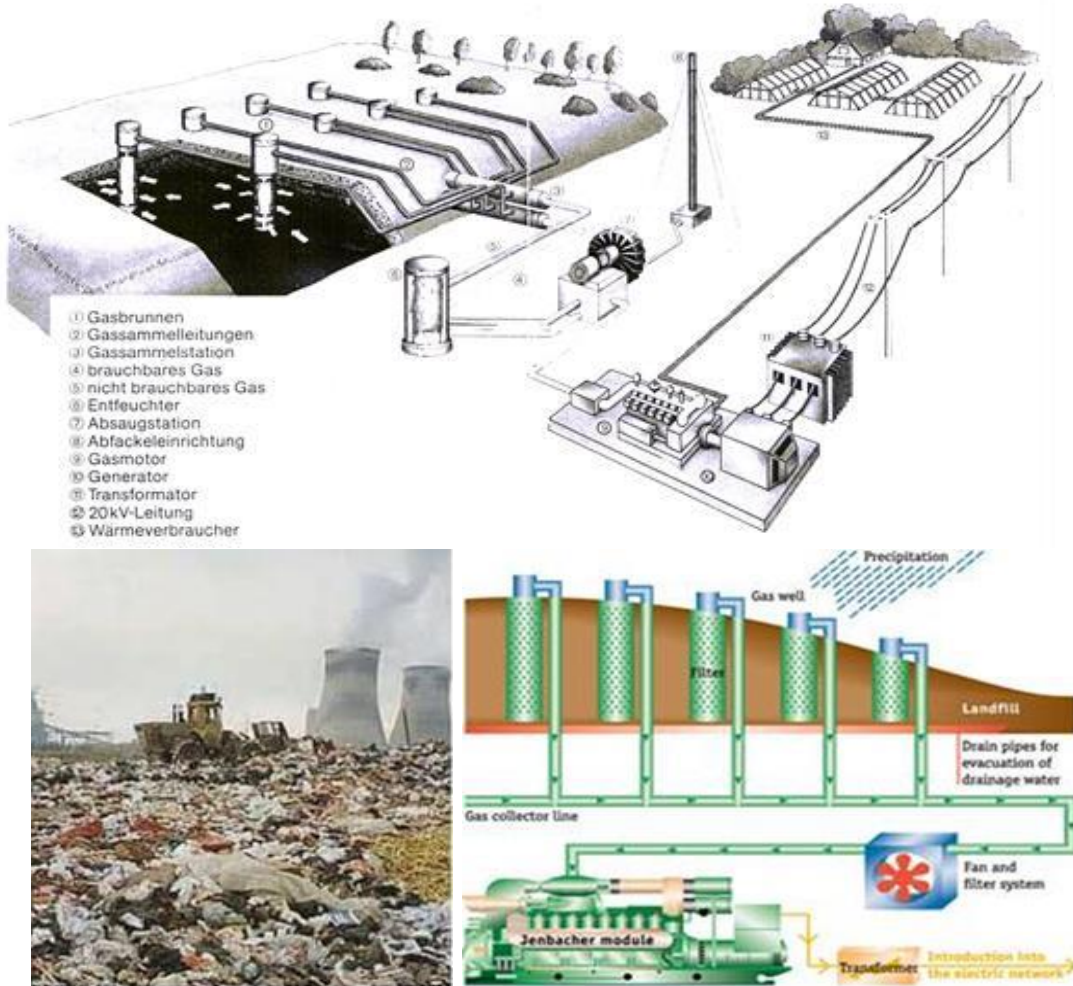
Katı atıkların ayrışması sırasında elde edilen biyogaza çöp gazı denir. Esas olarak metandan oluşan bu gaz (enerji ihtiyacı için kullanılmazsa ve atmosfere serbestçe salınırsa, karbondioksit CO₂'den 32 kat daha fazla sera etkisine katkıda bulunur), doğrudan çöplüklerden elde edilir ve gerekli saflaştırmadan sonra genellikle kojenerasyon bitkilerine beslenir (Şekil 11). Ne yazık ki, bu teknoloji sayesinde - boru şeklindeki delikli gaz toplayıcı problemlerin delinmesi ve döşenmesi - oluşan tüm gazlar çıkarılmaz. Ek olarak, bu gazın çıkarılması yalnızca çöplüğün zaten güve toplanmış bir bölümünün topraklarında ve sınırlı bir süre için başlayabilir. Ayrıca, yıllar içinde, çöp sahasının kendi katmanlarında ve farklı yıllık mevsimlerde eşit değildir ve çöp sahasında biriken evsel katı atıkların % 20'sinden fazlasını kapsamaz. Bu şekilde, eskilerin % 80'i ve yeni gelen tüm katı atık miktarları, çöplükte kalmaktadır ve azalmamaktadır, aksine alanını arttırmaktadır ve sera gazları ve zehirli atık suların üretilmesiyle çevreyi zehirlenmeye devam etmektedir. 2010 yılı evsel atıklara ilişkin NSI verilerine göre, evsel atıklar için çöp sahalarının artık kapasitesi 2005 yılına kıyasla % 31,15 oranında azalmıştır. Bütün bunlar, bu yöntemin verimsiz olduğunu ve dahası, aynı zamanda sermaye tükettiğini göstermektedir. Ayrıca uygun tesisler kullanılarak organik atıklardan kontrollü bir biyogaz üretimi de yapılmaktadır. Bu tür tesisler hayvan çiftliklerinde, kanalizasyon arıtma tesislerinde, gıda işleme



3. RUMELİ SÜRDÜRÜLEBİLİR ÇEVRE İÇİN ENERJİ VE TASARIM SEMPOZYUMU 2-3 Şubat 2023 Silivri/İSTANBUL

tesislerinde vb., özellikle sürekli bir hammadde akışı sağlayabilenlerde bulunur. Çöp gazı çıkarımı giderek daha fazla popülerlik ve dağıtım kazanmasına rağmen, yalnızca korunan çöp sahalarının bulunduğu yerlerde kullanılması uygundur, ancak evsel katı atıklar enerji kullanım stratejilerinde planlanmamalıdır.

Gazlaştırma işleminin doğrudan ve ters olmak üzere iki ana yolu vardır. Isıl gazlaştırma donanım pazarı esas olarak doğrudan gazlaştırma işlemini kullanan gazlaştırıcılar sunmaktadır. Termokimyasal ayrışmaya uğrayan organiklerin, bir gazlaştırıcı maddenin rolünü oynayan ızgara altında sağlanan hava üflemesine karşı hareket ettiği 2MPa mertebesinde yüksek basınçta çalışırlar. Bu işlemin sonucu olarak, organik tabakadan geçerek gazlaştırıcının üst kısmına alınan gaz üretilir. Termal gazlaştırmanın tersi şekilde, gazlaştırmaya tabi tutulan biyokütle ve gazlaştırma maddesi (buhar-hava üfleme) bir yönde hareket eder. Plazma gazlaştırmada, sentez gazı, plazma reaktörünü çok yüksek bir sıcaklıkta bırakır ve bu nedenle soğutulması gereklidir,[6].



1-gaz kaynakları, 2-gaz boru hatları, 3-gaz toplama istasyonu, 4-kullanılmış gaz, 5-kullanılmayan gaz, 6-nem giderme, 7-pompa istasyonu, 8-parlama cihazı, 9-gaz motoru, 10-gaz jeneratörü, 11-trafo, 12-20kV elektrik hattı, 13-ısı tüketicileri

Şekil 11. Biyogaz ekstraksiyonu için deposu, prensibi ve tesisatı,[6].



5.3. Plazma teknolojileri

Plazma gazlaştırma, özel olarak [13] numaralı kaynakta açıklanmıştır.

6. Mikrodalga tesisatları

7. Biyoteknolojik yöntemler

Biyoatıkların biyolojik arıtımını en üst düzeye çıkarmanın en somut ve önemli yararı, 2020 yılında yalnızca "Atık" sektöründen yaklaşık 10 milyon ton CO₂ eşdeğerine ulaşan sera gazı emisyonlarının önlenmesidir. Daha iyi kentsel atık yönetiminin en önemli etkisi, sera gazı emisyonlarını sınırlamaktır. Bu nedenle, "Avrupa 2020" Stratejisinin ve Kyoto konferansının ana hedeflerinden biri, sera gazı emisyonunu 2020 yılına kadar 1990 seviyesine kıyasla % 20 oranında azaltmaktır.

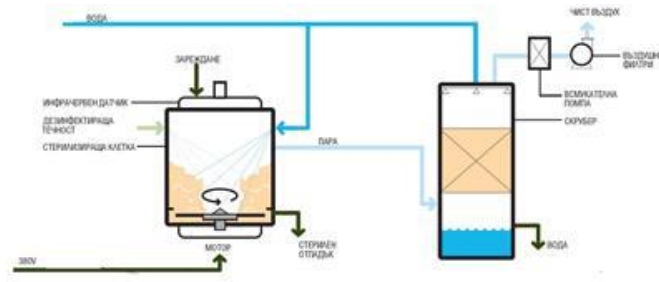
Bulgaristan'ın 2026 yılına kadar emisyonlarını % 40 oranında azaltması gerekiyor. Geri dönüşüm (% 75) ve yakma (% 25), emisyonların önlenmesinde önemli bir rol oynayacaktır. Karbon ödeneklerinin fiyatı 6 avro/ton, ancak uzmanlar önümüzdeki birkaç yıl içinde 25 avro/ton değerine ulaşacağı tahmininde bulunuyor.

7.1 Tıbbi atık arıtma ve ayrıştırma merkezleri.

Nükleer santral yakıtlarının işlenmesi, insan sağlığı atık arıtma tesisi "CONVERTER", özel bir çalışma modunda doymuş buhar varlığında 155 °C sıcaklıkta çalışacak şekilde tasarlanmıştır,[13],[14].

Bir sterilizasyonun şarj edilmesi

Hücre pompası ve hava filtresi



Motor Steril atıklar

Su

Şekil 12. Tıbbi atık arıtma tesisinin şeması ve görünümü

7.2. Yakıtların işlenmesi

Bu kapsamda kullanılmış yağların bertarafı ile ilgili 75/439/EEC sayılı Direktifi geçerlidir.

8. Düzenli Depolama. Depolar

Bulgaristan'daki tehlikeli atıklar da dahil olmak üzere atıkları yönetmenin ana yolu çöp sahasıdır. Bulgaristan'da 2010 yılında üretilen 3,1 milyon ton evsel atığın 3,04 milyon tonu uygulanabilir tek yöntem olan Düzenli Depolama ile arıtılmıştır. Bulgaristan'ın AB üyesi, 16.07.2009 tarihine kadar mevcut yasadışı çöp sahalarını kapatma ve atık toplama için 54 yeni depolama sahası inşa etme yükümlülüğünü getirmiştir (1999/31/EC sayılı Direktif). 2010 yılı itibarıyla, çöp sahalarının sayısı 172 idi. Bu yöntem, Bulgaristan'da bir sonraki planlama döneminde önemli bir rol oynayacak ve çöp sahaları gelecekteki atık arıtma altyapısının önemli bir unsuru olacak. Gerçekleşen ana işlem, organik maddenin anaerobik koşullarda ayrışmasıdır. Ek işlemler aerobiktir. Üç ana şema türü vardır: Belirgin araziye sahip bölümlerin düzenli doldurulması, Siper ve Yüksek. Çöp sahalarının tasarımı ve işletilmesi [6] bölümünde ayrıntılı olarak tartışılmıştır. Atık arıtma teknikleri ve teknolojileri de [17, 18, 21]'de sunulmaktadır.



9. Siyaset ve ekonomi

Bireysel AB üye devletlerinin kullanılan atık bertaraf yöntemlerine ilişkin politikaları farklıdır. Atıkların nasıl işlendiği ve her bir AB ülkesindeki ana atık arıtma yöntemlerinin her birinin nispi payı [19, 20] 'de gösterilmiştir. Genel olarak, yönetimdeki eğilim, depolama ve kompostlamadaki azalma pahasına, geri dönüşüm ve yakmada bir artıştır. AB'nin GSYİH'sının yaklaşık% 0,75'i yıllık olarak atık yönetimine tahsis edilmektedir. NSI verilerine göre, 2010 yılında Bulgaristan için atık geri kazanımı ve bertaraf maliyetleri, GSYİH'nın% 0,95'ini temsil eden 674.000 bin BGN olarak gerçekleşti. Bunların neredeyse% 35'i sabit kıymet edinimi içindir; 2016 için -% 1.6. AB üye ülkelerindeki atık faaliyetlerinin finansmanı için ana fon kaynağı Avrupa Bölgesel Kalkınma Fonu'dur (ERDF). Bulgaristan'da ERDF, 2007-2013 dönemi için atık yönetimi ile ilgili faaliyetlerin finansmanı için 366,7 milyon avro kaynak sağlıyor ve 2020-22 yıllarında bir Sürdürülebilir Kalkınma Programı önerildi ve faaliyete geçti. Atık yönetimi, bir işletmenin ISO14001 akreditasyonunu sürdürme yeteneğinde önemli bir bileşendir. Çabalara rağmen, Avrupa ülkelerinde çevre ve insan sağlığının kalitesinde hala önemli farklılıklar vardır. Çevresel faktörler ve insan sağlığı arasındaki karmaşık ilişkiler, çoklu etki ve etkileşim yollarını dikkate alarak, geniş bir mekansal, sosyo-ekonomik ve kültürel bağlamda ele alınmalıdır. Yazarın bu konferansa katılımı tam olarak bunun içindir.

10. Sonuç

Avrupa Birliği Üye Devletleri ve Bulgaristan, halkı eğitmek ve tüketicileri daha az atık üreten ve böylece kaynakların daha verimli kullanılmasına yol açan ürünleri aramaya teşvik etmek için farkındalık kampanyaları geliştirmektedir. Makalede, evsel katı atıkların işleme yöntemlerinin bir sınıflandırmasını açıklanmıştır. Bunların uygulanması, kaynakları ve amacın yasal dayanağı, konunun politikası ve ekonomisi tartışılmıştır.

Kaynaklar

- [1] Закон за управление на отпадъците, Правилник, София, ДВ брой 86/30. 09. 2003
- [2] Директива 1975/442 на ЕИО, 15.07.1975; Рамкова директива за Отпадъците 91/156/ЕС; Директива 2006/12/ЕО относно отпадъците (Рамковата директива за отпадъци,РДО).
- [3] Директива 2000/532/ЕО, 03.05.2000
- [4] Директива 2008/98/ЕО, 19.11.2008 относно отпадъците и отмяна на опр. директиви
- [5] Наръчник Управление на ТБО, Регионален Екологичен център Молдова, Кишинев, 2012
- [6] Къртунов С., Техника и технологии за обработване на отпадъци, Габрово, УИ "В. Априлов", 2014, ISBN 978-954-683-512-3, COBISS.BG-ID – 1268363492 (in Bulgarian)
- [7] Управление на строителни и битови отпадъци, Ръководство за обучение, София, МОСВ, 2002
- [8] Костадинова Ц., Политика за управление на отпадъците: национална и общински програми. Материали от семинара "Методи за управление на битовите отпадъци", В. Търново, МОСВ - РИОСВ, юли 2003
- [9] Чиументи Р., Технология на компостирането, София, "Книжен тигър", 2003
- [10] Миковски В., Е. Врачова, Вторично използване на материалите в промишлеността, София, Техника, 1986
- [11] Наръчник по рециклиране и преработка на отпадъци, Благоевград, "Тера", 1998
- [12] Къртунов С, П. Тюфекчиев, Изследване на материали и изделия за рециклиране от пластмаси. Уредба за пиролиза, Габрово, Международна научна конференция "УНИТЕХ-01", 2001, том II/2001, стр. 132, ISBN 954-683-167-0 (in Bulgarian)



3. RUMELİ SÜRDÜRÜLEBİLİR ÇEVRE İÇİN ENERJİ VE TASARIM SEMPOZYUMU
2-3 Şubat 2023 Silivri/İSTANBUL

- [13] Stefan Kartunov, Treatment of solid household and hazardous waste by plasma gasification. Management of spent fuel from nuclear power plants, 1. RUMELİ SÜRDÜRÜLEBİLİR ÇEVRE İÇİN ENERJİ VE TASARIM SEMPOZYUMU, 4 - 5 ŞUBAT 2021, SİLİVRİ - İSTANBUL, ISBN 978-625-409-661-7, p. 11-23
- [14] Къртунов С., П. Рачев, Г. Христов, Система за плазмено изгаряне на радиоактивни отпадъци, Варна, Дни на механиката, сп. „Машиностроене и машинознание“, ISSN 1312-8612, p. 45-49 (in Bulgarian)
- [15] Къртунов С., С. Панайотова, Потребителски опаковки и технологични методи за рециклиране на някои видове, Габрово, НС "35 години катедра МУ", 2003 (in Bulgarian)
- [16] Стоянова, С, Н. Големанов, Магията "рециклиране", София, Вестник "Труд плюс", 21 септември 2003, стр. 9-10
- [17] Macuta S., S. Kartunov, Installations, Equipments and Technology for Waste Processing, Galati, Tipografia Zigotto, Romania, 2020, ISBN 978-606-669-331-8, p. 196
- [18] Къртунов С., П. Рачев, Технология на машиностроенето и уредостроенето, трето допълнено издание, Габрово, УИ „В. Априлов“, 2009, ISBN 978-954-683-425-6, www.booksinprint.bg, www.zamunda.net, www.mlattechnik.com/p=3163, 19.01.11 (in Bulgarian)
- [19] Дияна Металова, Управлението на отпадъците в ЕС и у нас – политика и финансови инструменти, УНСС, катедра „Финанси“, 2020
- [20] Тодор Недков, Управление на отпадъците за ученици, София, Бет принт ООД, 2006, ISBN 954-91948-1-7
- [21] Официален сайт на Европейската Агенция по Околна Среда (www.eea.europa.eu)
- [22] Eurostat application

ÖZGEÇMİŞ

Stefan KARTUNOV

Prof.Dr. Stefan Kartunov, 13 Mayıs 1956'da Bulgaristan'ın Gabrovo şehrinde doğdu. TMET "D-r Mezunu N. Vasiliadi" ve 1977'den 1982'ye kadar Gabrovo Teknik Üniversitesi'nde "Hassas Mühendislik" dersini takip etti. 1982'den 1988'e kadar Gabrovo Enstitüsü "Mekatronik" te teknoloji uzmanı ve önde gelen teknoloji uzmanı olarak çalıştı. Doktora derecesi, 1992 yılında Sofya Teknik Üniversitesi'nde "Teknolojik süreçlerin yardımcı tasarımı" konulu tezini başarıyla savunmuştur. 2000 yılında "Üretim Teknolojileri" spesifikasyonunda habilitasyon. Halen "Bilgisayar Destekli Tasarım" TU-Gabrovo alanında profesördür. 20 kitap yayınladı ve 150'den fazla makale ve rapor yayınladı. Araştırma ilgi alanları mikro ve nanoteknolojide CAD/CAM sistemleri ve bunların elemanları için tasarım süreçleridir. 2021'den itibaren emekli profesör, Gabrovo Teknik Üniversitesi, Bulgaristan. 5300 Gabrovo, Str. Hadji Dimitar 4, skartunov@abv.bg, <https://orcid.org/0000-0001-7709-9369>.



3. RUMELİ SÜRDÜRÜLEBİLİR ÇEVRE İÇİN ENERJİ VE TASARIM SEMPOZYUMU 2-3 Şubat 2023 Silivri/İSTANBUL

UYGULAMALAR

Waste generation by economic activities and households, 2016
(%)

| | Mining and quarrying | Manufacturing | Energy | Construction and demolition | Other economic activities | Households |
|----------------------------|----------------------|---------------|--------|-----------------------------|---------------------------|------------|
| EU-28 | 25 | 10 | 3 | 36 | 16 | 8 |
| Belgium | 0 | 23 | 1 | 31 | 36 | 8 |
| Bulgaria | 82 | 3 | 8 | 2 | 3 | 2 |
| Czechia | 1 | 18 | 4 | 40 | 23 | 14 |
| Denmark | 0 | 5 | 4 | 58 | 16 | 17 |
| Germany | 2 | 14 | 3 | 55 | 17 | 9 |
| Estonia | 26 | 37 | 25 | 5 | 6 | 2 |
| Ireland | 16 | 35 | 2 | 10 | 28 | 10 |
| Greece | 78 | 6 | 4 | 1 | 4 | 7 |
| Spain | 16 | 11 | 3 | 28 | 25 | 17 |
| France | 1 | 7 | 0 | 69 | 14 | 9 |
| Croatia | 12 | 8 | 2 | 24 | 31 | 22 |
| Italy | 0 | 17 | 2 | 33 | 29 | 18 |
| Cyprus | 5 | 33 | 0 | 36 | 10 | 16 |
| Latvia | 0 | 19 | 11 | 4 | 30 | 34 |
| Lithuania | 1 | 41 | 2 | 8 | 32 | 17 |
| Luxembourg | 0 | 7 | 0 | 75 | 11 | 6 |
| Hungary | 1 | 17 | 16 | 23 | 25 | 18 |
| Malta | 8 | 1 | 0 | 69 | 13 | 8 |
| Netherlands | 0 | 10 | 1 | 70 | 13 | 6 |
| Austria | 0 | 9 | 1 | 73 | 10 | 7 |
| Poland | 39 | 17 | 11 | 10 | 18 | 5 |
| Portugal | 3 | 17 | 1 | 12 | 35 | 33 |
| Romania | 87 | 4 | 4 | 0 | 3 | 2 |
| Slovenia | 0 | 26 | 14 | 10 | 38 | 12 |
| Slovakia | 3 | 32 | 9 | 9 | 29 | 18 |
| Finland | 76 | 8 | 1 | 11 | 3 | 1 |
| Sweden | 77 | 4 | 1 | 7 | 7 | 3 |
| United Kingdom | 6 | 4 | 0 | 49 | 30 | 10 |
| Iceland | 0 | 25 | 0 | 4 | 31 | 40 |
| Liechtenstein | 3 | 2 | 0 | 88 | 1 | 5 |
| Norway | 3 | 14 | 2 | 27 | 32 | 22 |
| Montenegro | 19 | 2 | 18 | 37 | 10 | 13 |
| North Macedonia | 49 | 51 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Serbia | 79 | 3 | 12 | 1 | 2 | 3 |
| Turkey | 11 | 26 | 26 | 26 | 37 | 37 |
| Bosnia and Herzegovina (*) | 2 | 27 | 71 | 0 | 0 | 0 |
| Kosovo (*) | 14 | 20 | 40 | 6 | 10 | 11 |

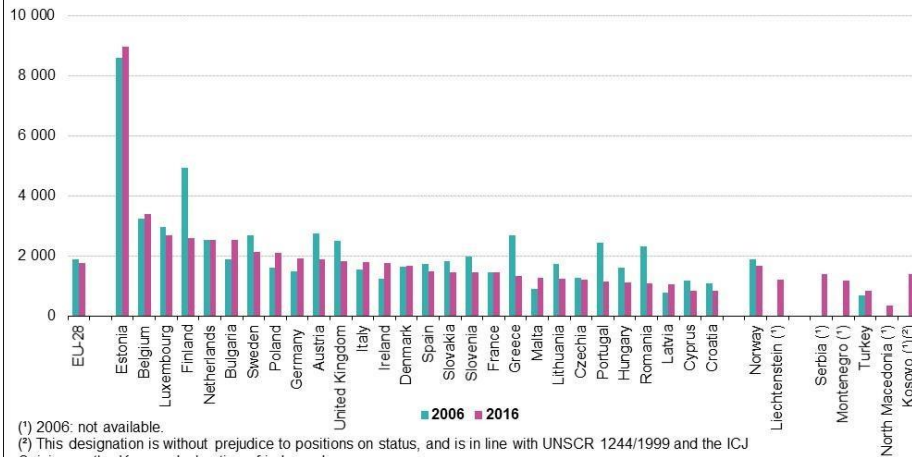
(*) 2012.

(*) This designation is without prejudice to positions on status, and is in line with UNSCR 1244/1999 and the ICJ Opinion on the Kosovo declaration of independence.

Source: Eurostat (online data code: env_wasgen)

eurostat

Waste generation, excluding major mineral wastes, 2006 and 2016
(kg per inhabitant)



(*) 2006: not available.

(*) This designation is without prejudice to positions on status, and is in line with UNSCR 1244/1999 and the ICJ Opinion on the Kosovo declaration of independence.

Source: Eurostat (online data code: env_wasgen)

eurostat



SIFIR ENERJİLİ BİNALAR VE TÜRKİYE İÇİN BİNALARDA ENERJİ SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİ ZERO ENERGY BUILDINGS AND ENERGY SUSTAINABILITY IN BUILDINGS FOR TURKEY

Ahmet CAN

İstanbul Rumeli Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi

ahmet.can@rumeli.edu.tr ORCID: 0000-0002-1460-6615

ÖZET

Küresel iklim değişikliğinin dünyanın bir çok bölgesinde ve dünyadaki canlı yaşamı uzun süredir olumsuz etkilediği günümüzde yaşanmaktadır. Küresel anlamda iklim değişikliğinde çok belirgin şekilde etkili olan karbondioksit salınımıdır. İklim krizinin etkilerinin son derece hızlı arttığı 2020 yılı itibariyle, maksimum değerini gören karbon salınımlarının azaltılması hükümetler, bireyler ve özel sektör için bir zorunluluk haline gelmiştir. Küresel sıcaklık artışını 2021 yılı sonunda 2 °C derece ile sınırlandırmayı ve mümkünse 1,5 °C derecenin altında tutmayı hedefleyen Paris Anlaşması 2015 yılında düzenlenen COP21 zirvesinde kabul edilmiştir. Türkiye'nin 11 Ekim 2021 tarihinde 193. ülke olarak imzaladığı Paris anlaşmasına göre; her ülke, atmosfere attığı karbon dioksit emisyonlarını 1990 yılı değerlerini esas alarak 2030 yılında %50 oranında ve 2050 yılında da %100 oranında azaltacağını kabul etmiştir.

Bu çalışmada konu kapsamında en önce sıfır enerjili binalar için nelerin yapılabileceği, mükemmel bir sıfır enerjili bina tasarımının unsurlarının neler olduğu değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Paris anlaşması, neredeyse sıfır enerjili bina, iklim değişikliği

ABSTRACT

It is experienced today that global climate change has adversely affected life in many parts of the world and the world for a long time. Globally, it is the emission of carbon dioxide that is very effective in climate change. As of 2020, when the effects of the climate crisis increase extremely rapidly, reducing carbon emissions, which see its maximum value, has become a necessity for governments, individuals and the private sector. The Paris Agreement, which aims to limit the global temperature increase to 2 °C degrees by the end of 2021 and to keep it below 1.5 °C degrees if possible, was adopted at the COP21 summit held in 2015. According to the Paris Agreement signed by Turkey as the 193rd country on October 11, 2021; Each country has accepted that it will reduce its carbon dioxide emissions into the atmosphere by 50% in 2030 and 100% in 2050, based on 1990 values. In this study, what can be done for zero-energy buildings and what the elements of a perfect zero-energy building design are are evaluated within the scope of the subject.

Keywords: Paris agreement, almost zero-energy building, climate change

1 GİRİŞ

Dünyayı ve ülkemizi etkileyen küresel iklim değişikliği Enerji verimliliği mevzuatında yapılan son değişiklik ile belirli büyüklükteki yeni binalarda yenilenebilir enerji kullanımı zorunlu hale getirilmiştir.

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından Resmî Gazete'nin 19 Şubat 2022 tarihli sayısında yayımlanan yönetmelik ile ilgili düzenlemeye Neredeyse Sıfır Enerjili Bina (NSEB) kavramı eklenmiştir ve bu kavram "yüksek enerji performansına ve aynı zamanda belli oranda yenilenebilir enerji kullanımına sahip olan bina" olarak tanımlanmıştır.



Düzenleme ile 1 Ocak 2023 tarihinden itibaren toplam yapı inşaat alanı 2.000 m²'nin üstünde olacak tüm binaların NSEB ilkelerine göre inşa edilmesi ve bu binaların birincil enerji ihtiyacının en az %10'unun yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanması zorunluluğu getirilmiştir.

Ayrıca NSEB niteliğindeki binaların Enerji Kimlik Belgesindeki enerji performans sınıfı B veya daha iyi olması da getirilen bir diğer zorunluluk olmuştur.

Bununla birlikte düzenlemeye eklenen iki geçici madde ile NSEB projeleri için gereken yapı inşaat alanı 1 Ocak 2023 ile 1 Ocak 2025 arasında 5.000 m², yenilenebilir enerji kullanım oranının ise %5 olarak uygulanacağı hükmü getirilmiştir.

Bugün Dünyada Türkiye'de iklim değişikliği telafisi zor bir seviyeye ulaştı. Bilimsel tespitler bu krizin en önemli nedeni Sera gazı emisyonları olduğunu göstermektedir. Tüm dünya, sera gazı emisyonunu düşürmek için çeşitli politikalar geliştirirken, Türkiye de Yeşil Mutabakat ve Paris Anlaşması'nı imzalayarak bu alandaki hassasiyetini ortaya koydu. Paris Anlaşması'na imza veren ülkeler, çoğunluğu 2050 yılında olmak üzere Net Sıfır emisyonla ulaşma hedefini seçti.

Avrupa Birliği, 1990'a kıyasla 2030 yılına kadar net emisyonlarını en az yüzde 55 azaltmak ve 2050 yılına kadar "ilk iklim nötr kıta" olmak için çalışmalarını başlattı.

Emisyonlar azalmazsa ne olur?. Bu soruya cevap* "Küresel atmosfer sıcaklık artışı 1,5-2 °C arasında tutmak üzere politika ve stratejiler geliştirilmesi gereklidir. Küresel sıcaklık artışı 2 °C geçerse, dünya üzerinde büyük bir oranda çölleşme, mercanların yok olması, aşırı sıcakların yarım milyara yakın insanı etkilemesi, yüz milyonlarca insanın yoksulluk sınırının altına düşmesi gibi sonuçlar ortaya çıkabilir. Bunlara, gıda güvenliği, biyolojik çeşitliliğinin ve ormanların büyük risk altında olacağı da eklenebilir. Ayrıca bu etkiler büyük göç dalgalarına neden olabilir. Ekonomiler bozulur ve dünya gezegeninde yaşam zorlaşır.

2. PARİS ANLAŞMASI VE TÜRKİYE İÇİN ÖNEMİ

4 Kasım 2016, madde 21(1) uyarınca. Sözleşme şu tarihte yürürlüğe girer: Sözleşmeye Taraf Olan en az 55 Tarafın muhasebeleştirildiği tarihten sonraki otuzuncu gün toplamda, toplam küresel sera gazı emisyonlarının en az yüzde 55'i onay, kabul, tasvip veya katılma belgelerini tevdi etmiş olmak,[1].
Not: Paris Anlaşması, 12 Aralık 2015 tarihinde, 30 Kasım - 13 Aralık 2015 tarihleri arasında Paris'te düzenlenen Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Taraflar Konferansı'nın yirmi birinci oturumunda kabul edilmiştir. 20. maddesi uyarınca, Anlaşma, 22 Nisan 2016 tarihinden 21 Nisan 2017 tarihine kadar New York'taki Birleşmiş Milletler Genel Merkezi'nde, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne Taraf olan Devletler ve bölgesel ekonomik bütünleşme örgütleri tarafından imzaya açık olacaktır,[1].

3. BİNA ISITMASI VE ATMOSFERDEKİ KARBONDİOKSİT EMİSYONUNA ETKİSİ

Enerji kaynaklı emisyonların yüzde 25'i binalar kaynaklıdır. Hem dünyada hem de Türkiye'de sera gazı emisyonlarında en büyük etkenin enerji tüketimindedir. Binalarda enerji tüketimi en büyük paya sahiptir ve bunlarda gerçekleşecek bir dönüşümün önceliği vardır. Türkiye'de enerji kaynaklı emisyonların yaklaşık dörtte birinin binalar kaynaklı olduğu tespit edilmiştir. Bu oranın bile iklim değişikliğiyle mücadelede Sıfır Enerji Binaların önemini açık bir biçimde ortaya çıkarmıştır. Enerji tüketiminin sadece çevreye değil ekonomiye de olumsuz etkileri vardır. Türkiye'deki cari açığın yüzde 70'i enerjiden kaynaklanmaktadır. Bu oran 2021 yılında daha da büyümüştür. Türkiye istatistik kurumu (TÜİK) verilerine göre Türkiye'nin 2021 yılı toplam ithalatı 271,4 milyar dolardır, toplam ihracatı ise 225,3 milyar dolar olmuştur. Aradaki fark 46,1 milyar dolardır. Sadece enerji ithalatı ve arasındaki fark ise 42,1 milyar dolara ulaşmıştır. Aradaki farkın yüzde 90'ı enerji kaynaklıdır.

Hedef; Sıfır Enerji Binalar ile enerji tüketimini düşürerek Türkiye ekonomisine katkı sağlamaktır.

3.1 Atmosferdeki Karbondioksit Oranı Ve Küresel İklim Değişikliği

Atmosferdeki karbondioksit oranı ppm birimi ile verilir, anlamı bir milyon parçacık içindeki karbondioksit taneciği sayısıdır. Sanayileşme öncesi 280 ppm düzeyinde olan bu değer son 800 bin yıldır 300 ppm



seviyesini aşmamıştır. Atmosferdeki karbondioksit yoğunluğu değerinin 350 ppm'in üstüne çıkması iklim değişikliği açısından güvenilir sınırın aşıldığı anlamı taşımaktadır. Güvenilir sınır aylık ortalama değer ilk defa 1988'in Ocak ayında ölçülen 350,39 ppm ile aşılmıştır. ABD Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi'ne bağlı olarak Havai'de faaliyet gösteren Mauna Loa İstasyonu tarafından 1958 yılının Mart ayında yapılan ölçümlerde 317,71 ppm olarak tespit edilmiştir. ABD Mauna Loa İstasyonu tarafından 2019 yılında yapılan ölçümlerde Atmosferdeki karbondioksit oranının 2019 yılı Ağustos ayı ortalaması bir yıl öncenin aynı dönemine göre 2,96 ppm artış ile 409,95 ppm olarak tespit edilmiştir. Atmosferdeki karbondioksit oranı 12 Mayıs 2019 günü ilk defa 415 ppm seviyesini aşmıştır ve 415,27 ppm olarak ölçülmüştür. 15 Mayıs 2019 günü 415,64 ppm olarak kaydedilmiş değer ile artış eğilimi devam ettiği anlaşılmıştır.

3.2 AB Konseyinde Sıfır Emisyonlu Binalar Hedefi için Mutabakat

AB Konseyinde Sıfır Emisyonlu Binalar Hedefinde Mutabakat 27 Ekim 2022 sağlamıştır. Konsey 2050'de binalarda sıfır emisyonu ulaşılmasını hedef olarak tanımlamıştır. Avrupa Birliği Konseyi üyesi ülkeler Binalarda Enerji Performansı Direktifinde önemli güncellemeler içeren değişiklik önerilerinde mutabakat sağlamıştır. Konseyin önerisine göre Avrupa Birliği ülkelerinde 2028 yılından itibaren inşa edilecek tüm yeni kamu binalarının, ve 2030 yılından itibaren de diğer tüm binaların sıfır emisyon ilkelerine göre inşa edilmesi gereklidir,[2],[3].

4. SIFIR ENERJİLİ BİNA

Isıtma, soğutma, aydınlatma ve diğer tüketimleri için çok düşük miktarda enerji ihtiyacı olan ve bu ihtiyacını da tamamen yenilenebilir enerji kaynaklarından temin eden bina, sıfır enerjili bina. Bu binalar, çok düşük enerji ihtiyacına sahip olabilmek ve ihtiyaç duydukları enerji miktarını belirli bir süre boyunca yenilenebilir kaynaklar yoluyla yerinde (veya uzakta) üreterek elde edebilmek için, enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji üretimi kavramlarını bir araya getirir. Bu kavramın bir ötesi olan Net Sıfır Karbon Bina da Dünya Yeşil Bina Konseyi (WorldGBC) tarafından yıllık bazda salınan karbondioksit emisyonları miktarının sıfır veya negatif olduğu binalardır.

Sıfır Enerji Binaya ulaşmanın en kısa yolu Pasif Ev standartları ile inşa edilen binadır. Pasif Ev standartları evrensel prototiptir ve her iklim bölgesinde uygulanabilir. Bir bina Pasif Ev Standartları ile tasarlanıp hayata geçirildiğinde, olağan binalara göre yüzde 95 daha az enerji harcanır. Bu da doğaya salınan zararlı gazların çok yüksek oranda azalması demektir.

4.1 Güneşten Enerji Üretme

Bu kapsamda yeni binalarda termal veya fotovoltaik güneş enerjisi yatırımı yapmak zorunludur. Avrupa Birliği üye ülkelerinin mutabakat sağladığı ilkelere göre tüm yeni binaların güneş enerjisi kaynaklı enerji üretim potansiyelini en verimli kullanılacak şekilde tasarlanması zorunludur,[4]. İlk olarak 31 Aralık 2026'ya kadar taban alanı 250 metrekarenin üstünde olacak tüm yeni kamu ile konut dışı binalarının bu ilkeye göre tasarlanması gereklidir. Zorunluluk 31 Aralık 2027'ye kadar da taban alanı 400 metrekarenin üstünde olan mevcut tüm kamu ile konut dışı binalara uygulanacaktır. 31 Aralık 2029'a kadar da tüm yeni konut binalarının yüzölçümlerinden bağımsız şekilde güneş enerjisinden en yüksek seviyede yararlanacak şekilde tasarlanması gereklidir. Tarihi, Dini ve Savunma amaçlı inşa edilecek binalar için zorunluluklardan istisna uygulanabilecektir.

4.2 Tüm Bina Stokunun 2050'ye Kadar Sıfır Emisyonlu Olması

Avrupa Konseyi 2050 yılına kadar tüm bina stokunun sıfır emisyon değerine ulaşması hedefi doğrultusunda, mevcut binaların yenilenmelerinin hızlandırılması, kötü performanslı binaların da kademeli olarak kullanımdan kalkması için bazı ilkeler önermiştir. Buna göre AB ülkeleri binalar için metrekare başına kullanılacak azami birincil enerji miktarına karşılık gelecek asgari enerji performans standartları oluşturacaktır. Ülke yönetimleri ulusal bina stoklarının 1 Ocak 2020 itibarıyla belirlenmiş olan enerji kullanım değerlerini baz alarak, en düşük verimlilik değerine sahip bölümlerini tespit etmeleri gerekli görmüştür. Binaların %15'lik ilk bölümün en düşük verimlilik değerine sahip olan



binaları içerecek şekilde tespit edilmesi gereklidir. İkinci bölümde ise %25'lik verimlilik değerine sahip nispeten daha az kötü olan binaların olması gerekmektedir. İlk aşamada 2030 yılına kadar en verimsiz %15'lik bölümde yer alan konut dışı tüm binaların 2030 yılına kadar mevcut %25'lik bölümün verimlilik değerine yükselmesi gerekecektir. 2034 yılına kadar ise de bu binaların tamamının halihazırda %25'lik bölüm için belirlenmiş enerji verimliliği eşik değerinin de altına inecek şekilde yenilenmesi gerekecektir.

4.3 Enerji Performans Kriterleri A⁰ ve A+ Eklenmesi

Devletler aynı zamanda 2050 yılına kadar bina stoklarının tamamen sıfır emisyonlu olması için Ulusal Planlarını belirleyecektir, ayrıca sıfır emisyonlu binalar için A⁰, yenilenebilir enerji kaynaklı üretim yapılan binalar için de A+ kategorileri eklenecektir.

Aynı zamanda bina tasarımlarında elektrikli araçlar için şarj noktaları, bisikletler için park yerleri gibi ulaşım altyapısına yönelik zorunluluklar da olacaktır. Üye devletler bina stoklarının birinci ve nihai enerji tüketimlerini ile sera gazlarının azaltımı için 2030, 2040 ve 2050 yılları için ulusal hedefler içeren yol haritaları hazırlayacaktır ve ulusal bina yenileme planlarını yayımlayacaklardır. Devletlerin ilk planlarını 30 Haziran 2026'ya kadar hazırlamaları ve sonraki her beş yılda bir bu planları güncellemeleri gereklidir.

Avrupa Birliği ülkelerinin nihai enerji tüketiminin %40'ı ve enerji kaynaklı sera gazı emisyonlarının %36'sı binalarda gerçekleştiği tespit edilmiştir. Konseyin verilerine göre AB ülkelerindeki mevcut binaların %75'i enerji verimsiz binalardır ve gerekli verimlilik şartlarına ulaşmaları için geniş ölçekli yenilemeye gereksinimleri vardır. Türkiye'de bu konuda bir yönden; Şahıs binaları ve Kamu binaları diğer yönden; Kanunlar ve standartlar belirlenmeden önce inşa edilmiş binalar, Uluslararası ve ulusal kanunlar standartlar kabul edildikten sonra inşa edilmiş binalar ve inşa edilecek binalar şeklinde çalışmalar yapılması ve sonuçların ortaya konulması gereklidir,[5],[6]. Buna göre zaman planlı iş planları hazırlanması, duyurulması ve uygulanması gereklidir.

4.4 Binalarda Birim Alan Başına Yıllık Tüketilecek Enerji Miktarı

Binalarda birim alan başına yıllık tüketilecek enerji miktarı, 05 Aralık 2008 tarihli, 27075 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan "Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği" ile tanımlanmıştır ve uyulması zorunludur,[7]. Dış iklim şartları, iç mekan gereksinimleri, mahalli şartlar ve maliyet etkinliği, binanın bütün enerji kullanımlarının değerlendirilmesini sağlayacak hesaplama kuralları belirlerdir,[8].

Birincil enerji ve karbondioksit (CO₂) emisyonu değerlerine göre sınıflandırılması gereklidir,[9]. Yeni ve Yenilik yapılacak mevcut binalar için minimum enerji performans ölçütleri,[10] ile yenilenebilir enerji kaynaklarının uygulanabilirliği ilgili standartlarda ve yönetmeliklerde açıklanmıştır,[7],[8].

Türkiye'nin 2053 yılında karbon nötr olma hedefine yönelik olarak yürütülen çalışmalarda Ulusal Enerji Planı hazırlığında sona gelindiği Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, Enerji Arz Güvenliği, Piyasalar ve İstatistik Dairesi Başkanlığı tarafından 27 Eylül 2022 tarihinde açıklanmıştır.

4.5 Enerji Etkin Bina Değerlendirme Büyüklükleri

Enerji etkin binaların enerji kimlik kartı hazırlanmasında esas alınan büyüklükler, Tablo 1'de verilmiştir,[10],[11].

Tablo 1. Bina enerji etkinliği değerlendirme büyüklükleri.

| Enerji Etkin Bina Değerlendirme Büyüklükleri (Verilmiş değerler, F Enerji Kimlik Sınıfı Bir Bina için örnekler) | | | |
|--|---|---|---|
| A/V _e -Oranı | | 0,61 1/m | Bina Enerji Yönetmeliğine göre |
| Bina faydalı alanı | A _N | 670,2 m ² | Bina Enerji Yönetmeliğine göre |
| Özgül transmisyon ısı kaybı | H _T | 1,3 W/(m ² K) | DIN V 4108-6, DIN V 4701-10 uygun ve Normlarda açıklanmış hesaplama kurallarına göre |
| Isıtma Isı Gereksinimi | Q _h | 150,0 kWh/(m ² yıl) | |
| Kullanım sıcak suyu ısı gereksinimi | Q _{tw} | 12,5 kWh/(m ² yıl) | |
| Tesisat maliyet sayısı | e _P | 1,8 | |
| Birincil enerji gereksinimi | Q _P = (Q _h + Q _{tw}) . e _P | 292,5 kWh/(m ² yıl) | GEMIS 4.13 bölümüne uygun |
| CO ₂ emisyonları* | | 79,0 kg CO ₂ /(m ² yıl) | |
| *A _N bina faydalanma alanı ilişkili | | | |



4.6 Enerji Etkin Bina Değerlendirme Skalaları

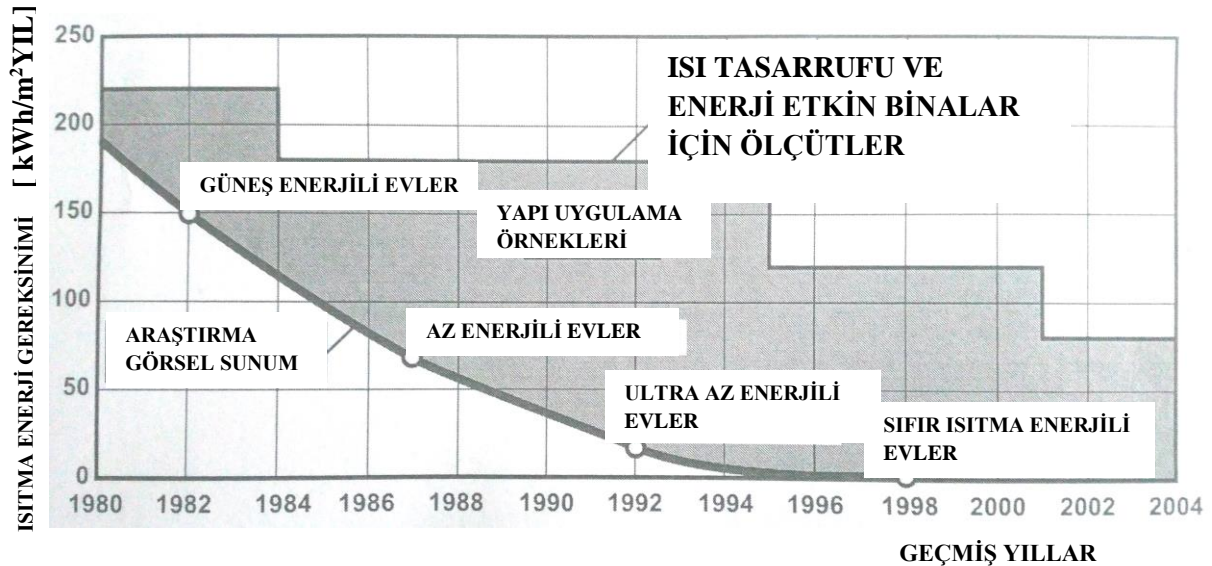
Enerji etkin binaların değerlendirme skalaları, Tablo 2.'de gösterilmiştir. Standartlara uygun olmayan bir binada ulaşılan gerçek değerlere yakın değerler Tablo 2.'nin son sütununda örnek olarak verilmiştir.

Tablo 2. Enerji etkin bina değerlendirme skalaları

| | çok az | Az | orta | yüksek | çok yüksek | Gerçekten ulaşılan | | | | |
|---|--------|------|------|--------|------------|--------------------|------|------|---------|---|
| Bina dış kabuğu A _N yüzeyi ile ilişkili ısıtma ısı gereksinimi | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 | 125 | 150 | 200 | 250>>> | 150,0 kWh/(m ² yıl) |
| Tesisat Tekniği | | | | | | | | | | 1,80 |
| Tesisat maliyet sayısı birincil enerjiye göre | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,4 | 1,6 | 1,8 | 2,0 | 2,25 | 2,5>>> | |
| CO ₂ -Emisyonları | 20,0 | 27,5 | 37,5 | 50,0 | 62,5 | 75,0 | 87,5 | 100 | 125 >>> | 79,0 kg CO ₂ /(m ² yıl) |

4.7 Enerji Etkin Bina Yaklaşımı ile Bina Enerji Gereksinimi Değişimi

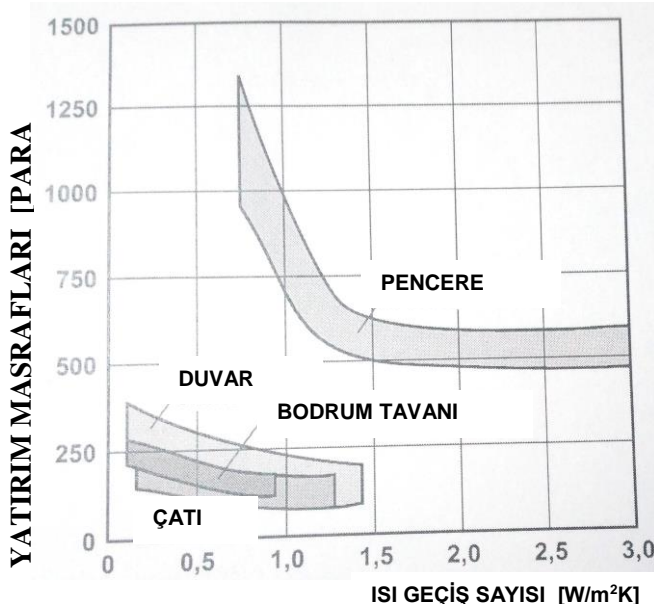
Yirmi yıllık süre içinde örnek proje uygulamaları ile ulaşılmış enerji etkin bina ısıtma enerjisi gereksinimindeki azalma şekil 1 ile gösterilmiştir,[11].



Şekil 1 Bina enerji gereksinimi

4.7 Sıfır Enerjili Bina Yaklaşımı ile Bina Enerji Gereksinimi Değişimi

Ultra-düşük enerjili evin dış bileşenlerin ısı kayıplarının kullanım alanı ile ilgili oranına bağlı maliyetlerinin değişimi Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Bina yapı elemanı enerji gereksinimi

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Ekonomik, politik ve çevresel süreçler kalkınmada rol oynamaktadır. Münferit şömineler sıcak su merkezi ısıtma sistemleri ile değiştirildi. Günümüz evlerinin düşük ısı gereksinimi nedeniyle, ısıtma sistemindeki sıcaklıklar azaltılabilir ve böylece dağıtım kayıpları azaltılabilir. Şimdiye kadarki deneyimler, 45 °C su sıcaklıkları optimum sistem sıcaklığına ulaşmayı mümkün kılmıştır. Katlanarak artan ısıtma alanı boyutlarına ek olarak, daha küçük sıcaklıklar da pompalar belirgin daha büyük işletim enerjilerine gerektirmektedir. Düşük ısıtma devresi sıcaklıkları nedeniyle, alternatif ısı jeneratörleri, güneş kolektörleri gibi, daha verimli entegre edilebilmektedir.

Binaların ısı arzı için gelecek vaat eden ısı pompalarının kullanımının da bundan sonra öne çıkacağı, kazanların yerini alacağı tahmin edilmektedir. Isı pompaları ile ısıtma işlemi sırasında toprak, su ve havadan kazandığı ilave ısının yenilenebilir olup olmadığı tartışması, AB'nin Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımının Teşvik ve Desteklenmesi Direktifi (2009/28/EC, RES Directive, Article 2) ve Binaların Enerji Performansı Direktifi'ne (2010/31/EU, Article 2) alınmasıyla çözüme ulaşmıştır.

Bölgesel ısıtma, güneş ve rüzgar enerjisi, özellikle enerji kaynaklarının birlikte kullanıldığı esnek, hibrid sistemler tercih edilmelidir. Yeni sistemlere verilecek teşviklerde performans ön plana çıkarılmalıdır. Verimi düşük sistem ve cihazların kullanımı ve üretilmesi yasalar çerçevesinde engellenmelidir. Bu uygulamaların tercih edilmesini sağlamak için uzun vadeli düşük faizli krediler kullanılabilir ve kullanıcı tarafında avantajlı enerji tarifeleri düzenlenebilir.

Son zamanlarda yaşanan iklim değişiklikleri, net veya yaklaşık sıfır enerjili (nZEB/NZEB) bina standartları ile ilgili yaklaşımlar önem kazandırmıştır. Bir yandan, yaşamı zorlaştıran hava koşulları, iklim ve enerji verimliliği bilincini artırmış ve politik/düzenleyici hedeflerin ortaya konulmasına sebep



olmuştur. Diğer yandan da ısı konforunun söz konusu olduğu modern ofis binaları özellikleri ve beklentiler tanımlanmıştır.

Faydalanılan Kaynaklar

- [1]. Paris Agreement. *Paris, 12 December 2015*. ENTRY INTO FORCE: 4 November 2016, in accordance with article 21(With territorial exclusion in respect of Greenland. See C.N.819.2016.TREATIES-XXVII.7.d of 1 November 2016)
- [2] General approach on the Energy Performance of Buildings Directive
- [3] General approach on the Energy Performance of Buildings Directive
- [4] Erhorn, A., v. d. "Fertighaeuser im Wandel – vom Niedrigenergiehaus zum Null-Heizenergiehaus" Fraunhofer Institut für Bauphysik, 2001.
- [5] "Enerji Verimliliği Kanunu", Resmi Gazete, 2 Mayıs 2007, Sayı 26510
- [6] TS 825, "Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği", 2008
- [7] "Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği" 05 Aralık 2008 tarihli, 27075 sayılı Resmi Gazete
- [8] "Binalarda Enerji Performansı Ulusal Hesaplama Yöntemine Dair Tebliğ (Tebliğ No: YİG/2010-02)" 07.12.2010 bina enerji performansı "hesaplama yöntemi"
- [9] Can, A. "Atmosferde Karbondioksit Sınırlaması ve Bir Model" 2. RUMELİ SUCET Sempozyumu E-Bildiriler Kitabı, ISBN 978-605-74264-1-3, s.1-9, Silivri/İSTANBUL, 2022
- [10] Can, A. "Enerji Etkin Binalar için Termodinamik Yaklaşım" 1. RUMELİ SUCET Sempozyumu E-Bildiriler Kitabı, ISBN 978-625-409-661-7, s.32-44, Silivri/İSTANBUL, 2021
- [11] Erhorn, A., v. d. "Fertighaeuser im Wandel – vom Niedrigenergiehaus zum Null-Heizenergiehaus" Fraunhofer Institut für Bauphysik, 2001.

ÖZGEÇMİŞ

Ahmet CAN

Tekirdağ 1953 yılı doğumludur, 1974'te Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi'nden Makine Mühendisi unvanı alarak mezun olmuştur. Almanya Berlin Teknik Üniversitesi Enerji ve Süreç Tekniği Enstitüsü'nden, "Fachbereich Energie-und Verfahrenstechnik" 1982'de "Yüksek Mühendis "Dipl.-Ing." ve 1984'te "Doktor Mühendis "Dr.-Ing." unvanlarını almıştır. Almanya Berlin Teknik Üniversitesi Enerji ve Süreç Tekniği Enstitüsü Ölçme ve Otomatik Kontrol Anabilim Dalında 1981-1984 arası "Araştırma Görevlisi-Wissenschaftlicher Mitarbeiter" olarak çalışmıştır. 1984 Yılında Trakya Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi'nde Yardımcı Doçent, 1989 yılında Doçent ve 1997'de Trakya Üniversitesi'nde 2012'de Türk Alman Üniversitesi'nde, 2014 Yılında İstanbul Arel Üniversitesi'nde ve 2018'de İstanbul Rumeli Üniversitesi'nde Profesör unvanlarını almıştır.

Alman teknolojisinin ve standartlarının başlangıcından günümüze gelişme sürecinin de bir göstergesi Dünya'da HÜTTE **Grundlagen der Ingenieurwissenschaften** ismi ile ünlenmiş kitap bu güne kadar 10 farklı dile çevrilmiştir. Profesör Can, **HÜTTE – MÜHENDİSLİK BİLİMİ**, kitabının çeviri yazarıdır, Literatür Yayınevi, ISBN 978-975-04-04658. www.literatur.com.tr, İstanbul, Haziran 2010. Almanca 32.nci Baskısından "**HÜTTE Grundlagen der Ingenieurwissenschaften**"ın, 1600 Sayfa HÜTTE Uluslararası Çevirilerinin 11.nci Dili Türkçeye Çevirisini yapmıştır ve kendisi Almanya Internationes Bonn tarafından ödüllendirilmiştir.

Profesör Can'ın Ulusal ve uluslararası 160'ın üzerinde makalesi ve bildirisi yayınlanmıştır.



HIRVATİSTAN'DA ISI POMPALARI KULLANARAK ISITMA SEKTÖRÜNÜN KARBONDAN ARINDIRILMASI

Decarbonisation of heating sector in Croatia using heat pumps

Antun GAOVIC
ORCID: 0000-0001-8591-3172
Martina ODELJAN
ORCID: 0000-0002-2416-9295
Vladimir SOLDO
ORCID: 0000-0002-8568-3220
University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, Zagreb

ÖZET

Hepimizin tanık olduğu iklim değişikliği, çevre kirliliği ve jeopolitik durum, toplumumuzun uygun fiyatlı, güvenli ve sürdürülebilir enerjiye olan bağlılığını kesin olarak ortaya koymaktadır. Avrupa Yeşil Anlaşması'nın iklim nötrlüğü konusundaki iddialı hedefleri, farklı enerji sektörlerini karbondan arındırmak için cesur eylemler gerektiriyor. Avrupa'daki mevcut binalar, AB'nin enerji tüketiminin %40'ından ve sera gazlarının %36'sından sorumludur. Hırvatistan'daki yapı stoku, nihai enerji tüketiminin %44,23'ünü oluşturmaktadır. En alakalı sektörlerden biri olan ısıtma sektörü, yerel yenilenebilir enerji kaynaklarına dayanan düşük karbonlu teknolojileri kullanmalıdır. Ulusal enerji mevzuat çerçevesinde önemli olarak kabul edilen ve vurgulanan bu kaynaklardan biri, ısı pompalarıdır.

Bu yazıda farklı kaynak ısı pompaları uygulamalarının potansiyeli sunulmaktadır. Deniz suyu, yer ve hava kaynaklı ısı pompaları için iyi uygulama örnekleri sunulacaktır. Bu teknolojinin daha fazla benimsenmesi için ana konu, planyalardan, tasarımcılardan, bilimsel ve profesyonel personelden eyalet ve yerel seviyelere kadar farklı hedef grupların genel teknik bilgisine ve kapasitesine yapılan yatırımdır.

Anahtar kelimeler: Karbondan arındırma, Karbondioksit emisyonu, Isı pompası,

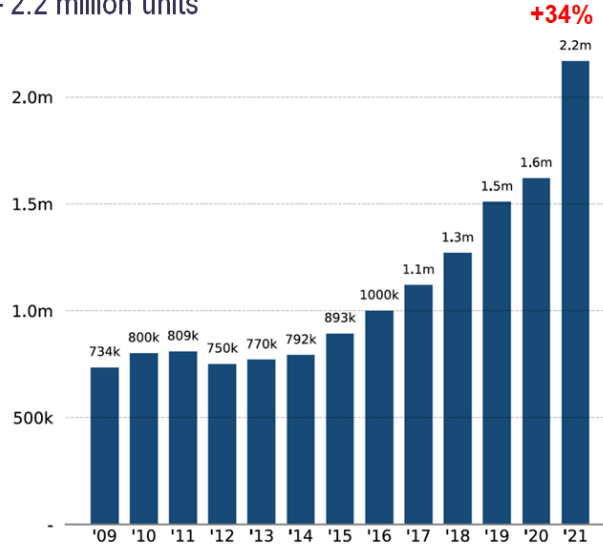
1. GİRİŞ

Isı pompalarının kullanımı, büyük ölçüde, toplam değişim ısısında, daha küçük bir kısmın yatırım enerjisine ve daha büyük bir kısmının çevreden gelen yenilenebilir enerjiye harcanması gerçeğinden kaynaklanmaktadır. Isı pompalarının en iyi verimliliği, 55 °C'ye kadar akış sıcaklıklarına sahip düşük sıcaklık ve orta sıcaklıktaki ısıtma sistemlerinde kullanıldığında gösterilir, ancak bunların uygulanması, 90°C'lik akış sıcaklıklarına kadar yüksek sıcaklık rejimleri için de mümkündür. Endüstriyel uygulamalar söz konusu olduğunda, ticari olarak temin edilebilen ısı pompaları 140 °C'ye kadar akış sıcaklıklarına izin verir, ancak ısı rezervuarının sıcaklık farkının sınırlamaları nedeniyle (30 - 90 °C) yüksek sıcaklıkta ısı kaynakları gerektirir.

Isı pompası pazarı, birkaç yıldır Avrupa Birliği düzeyinde kurulu ünite sayısında ilerici bir artış görmüştür. Avrupa Isı Pompası Birliği (EHPA) verilerine göre, 2021 yılında kurulu cihaz sayısında yıllık %34'lük bir artış kaydedilmiştir (Şekil 1).



Heat pump sales in 21 European markets - 2.2 million units

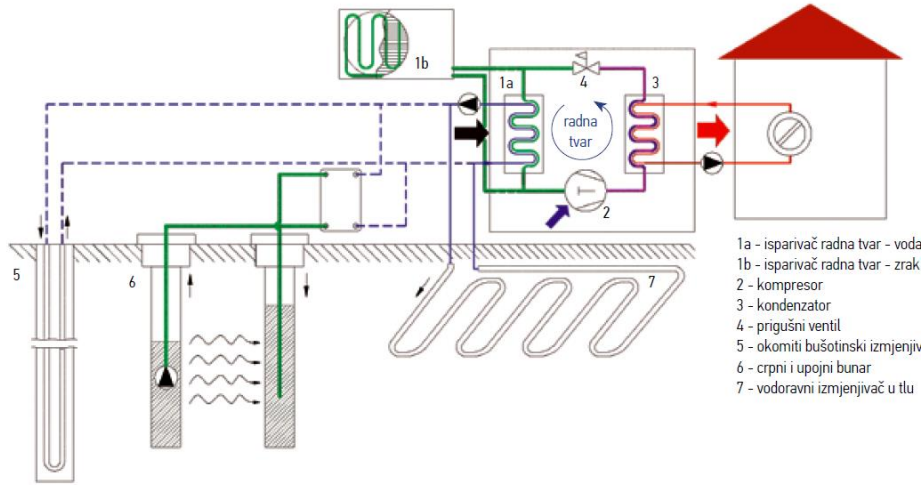


Şekil 1: AB 21 ülkeler kapsamında yeni kurulan ısı pompalarının yıllık sayısı

Enerji dönüşümünün yüksek verimliliği ve ısı pompaları söz konusu olduğunda yenilenebilir enerjinin çevreden paylarının kullanılması, fosil yakıt sistemlerine kıyasla enerji tasarrufu ve karbondioksit emisyonlarında azalma sağlar. CO₂ emisyonlarını azaltma olasılığı, güç sisteminin tahrik için bir enerji kaynağı olarak yapısına ve cihazın verimliliğine bağlıdır. Isı pompalarının arkasındaki rüzgar, enerji geçişi için düzenleyici ön koşullar sağlamayı amaçlayan 'Tüm Avrupalılar için Temiz Enerji' paketinin bir parçası olarak bir dizi direktiftir. Özellikle önemli olan, neredeyse sıfır enerjili binalar (nZEB) kavramını ortaya koyan ve son yıllarda AB Üye Devletlerinin ulusal mevzuatına aktarılan binaların enerji performansına ilişkin 2010/31/EC sayılı Direktiftir. Özellikle, Hırvatistan'da, 1 Ocak 2021'den itibaren tüm yeni binaların neredeyse sıfır enerjili binalar olması gerektiğine dair karar yürürlükte. Bina kategorisine bağlı olarak, ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma için maksimum birincil enerji miktarı ve yenilenebilir kaynaklardan gerekli enerjinin minimum % 30'u reçete edilir.

Avrupa Yeşil Mutabakatı (COM 2020), AB için temel stratejik kalkınma belgesi ve 2050 yılına kadar iklim nötrlüğüne ulaşma çabalarının temelidir. Sera gazı emisyonlarının % 60'a kadar azaltılmasını gerektirir ve yalnızca ısıtma ve soğutmanın nihai enerjinin yaklaşık % 51'ini tükettiği ve toplam CO₂ emisyonlarının % 27'sini ürettiği göz önüne alındığında, enerji sektöründe iddialı hedeflere büyük bir katkı beklenmektedir. Isı pompalarının, Avrupa Yeşil Anlaşması'nın çeşitli unsurları içinde gelecekteki enerji sisteminde ve her şeyden önce temiz enerji arzı, temiz sanayi ve enerji ve kaynakların verimli kullanımı ile enerji yenileme unsurlarında rol oynaması beklenmektedir.

Isı rezervuarının özellikleri, ısı pompasının çalışmasını büyük ölçüde etkiler, öncelikle ısı kaynağının kapasitesi, yıl boyunca sıcaklık değişkenliği ve belirli bir ısı rezervuarı formunun kullanılmasının yatırım ve işletme maliyetleri. Isı kaynaklarının en yaygın bölünmesi çevresel hava, toprak, su ve atık ısıdır (Şekil 2).



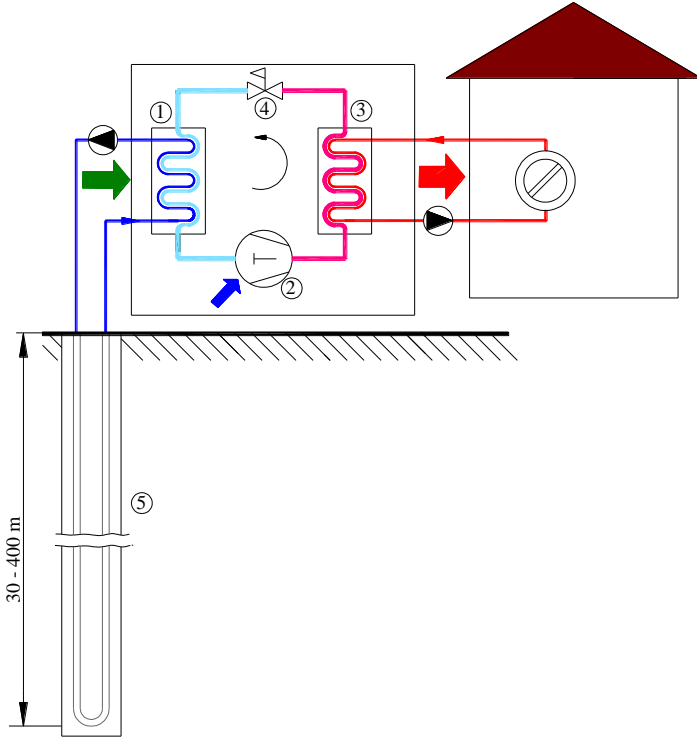
Şekil 2: Çeşitli ısı pompası tasarımları (1a – evaporatör, çalışma sıvısı suyu; 1b – evaporatör, çalışma sıvısı havası; 2 – kompresör; 3 – kondenser; 4 – genişleme vanası; 5 – dikey toprak kaynaklı ısı eşanjörü; 6 – pompalama ve dalgiç kuyusu; 7 – yatay toprak kaynaklı ısı eşanjörü)

2. ISI POMPASI TEKNOLOJİLERİ

2.1 Toprak kaynaklı ısı pompaları

Toprak, havadan sonra en yaygın ısı rezervuarıdır, ancak toprak sömürüsü, toprak ısı eşanjörünün performansı ile ilgili daha yüksek yatırım maliyetleri gerektirir. Zeminin bir ısı rezervuarı olarak temel avantajı, termal ataletidir. Yıl boyunca havaya kıyasla önemli ölçüde daha küçük sıcaklık salınımları vardır. 2 metreden daha büyük derinliklerde, mevsimsel sıcaklık genliği 10°C'den azdır ve 10-20 metrenin altındaki derinliklerin artmasıyla zemin sıcaklığının zaman değişkenliği ortadan kalkar. Toprakla ısı değişimi, toprağın termal özellikleri ve toprak ısı eşanjörünün performansı ile şartlandırılır.

Toprak ısı eşanjörünün tipine bağlı olarak, sistemler yatay ve dikey olarak ayrılabilir (Şekil 3). Her iki durumda da, bunlar, bir ara enerji vericisinin (bir su soğutma sıvısı ile bir su karışımı) toprak ısı eşanjöründen aktığı, toprakla ısı alışverişinde bulunduğu ve sistemin ısıtma veya soğutma modunda çalışıp çalışmadığına bağlı olarak evaporatör veya kondenser üzerindeki ısı pompasına aktardığı ara sistemlerdir.



Şekil 3. Isı pompasına bağlı dikey sondaj deliği ısı eşanjörü (1 – evaporatör, 2 – kompresör, 3 – kondenser, 4 – genişleme vanası, 5 – sondaj deliği ısı eşanjörü),[3]

Şekil 4, Velika Gorica'daki işletme ısıtması için kullanılan 15-70 kW ısıtma kapasitesine sahip bir yeraltı suyu ısı pompasını göstermektedir. Çift U borularının tasarımında 100 m derinliğe sahip sekiz sondaj deliği ısı eşanjörü toprağa döşenmiştir. Isıtma sisteminin dağılımı, yerden ısıtma ve fan konvektörlerinin birleşimidir.



Şekil 4: Sekiz sondaj deliği ısı eşanjörlü toprak kaynaklı ısı pompası

2.2 Su kaynaklı ısı pompaları

Bir ısı rezervuarı olarak su, yüzey sularını (göller, nehirler, denizler) ve yeraltı sularını içerir. Literatürdeki yeraltı ve yeraltı suyu sistemleri, doğrudan ve dolaylı sistemlere ayrılan jeotermal ısı pompaları kategorisinde gruplandırılmıştır. Suyun temel avantajı, yıl boyunca daha düşük sıcaklık değişkenliğidir, bu da daha derin su soyutlaması için daha fazla ifade edilir ve sıvı ile ısı eşanjörünün duvarı arasında iyi ısı transferidir. Su kullanmanın en büyük dezavantajları, fiziksel veya yasal kısıtlamalar nedeniyle mevcudiyeti ve boru ve ısı eşanjörü yüzeylerinin korozyon ve mikrobiyolojik kontaminasyonunun oluşmasını destekleyebilecek su bileşimidir (ara ısı eşanjörlerinin montajı).

2.2.1 Deniz suyu ısı pompaları

Isıtma modundaki deniz suyu ısı pompası sistemleri yenilenebilir ısı kaynağı olarak denizin termal enerjisini kullanır (Şekil 5b), soğutma modunda ise ortamdaki ısı denize aktarılır (Şekil 5a). Deniz suyunun aşındırıcı özelliği göz önüne alındığında, deniz suyu, ısı pompası evaporatöründeki soğutucu akışkanla ısı alışverişinde bulunmaz, ancak ısıyı korozyona dayanıklı bir ara ısı eşanjöründeki bir ara çalışma ortamına aktarır.



Şekil 5: Deniz suyu ısı pompaları – a) soğutma modundaki su; b) ısıtma

Isı pompalarının çalışması için deniz suyunun soyutlandığı denizin derinliği 0 - 20 m'dir. Deniz ne kadar derin olursa, suyun mevsimsel sıcaklık salınımları o kadar küçük olur. Denizin dikkate alınan derinliği denizin yüzey tabakasıdır ve bu tabakadaki sıcaklık değişimlerine denizin termohalin özellikleri denir, atmosfer ile ısı değişimi, rüzgar gibi doğal olayların neden olduğu deniz hareketi veya insan faktörleri (gemilerin hareketi vb.) gibi çeşitli fiziksel faktörlerden kaynaklanır. [2].

Interreg projesi SEADRION.

SEADRION projesi – "Adriyatik-İyon bölgesinde deniz suyu ısı pompalarını kullanarak ısıtma ve soğutma teknolojilerinin geliştirilmesini teşvik etmek", amacı ısı pompaları alanında inovasyon yeteneklerini geliştirmek ve Adriyatik-İyon bölgesindeki deniz suyu ısı pompalarının sayısını artırmak olan Avrupa Bölgesel Kalkınma Fonu'nun ortak finanse ettiği bir projedir. Projenin temel amacı, Adriyatik-İyon bölgesinde ısı pompası sektörünün inovasyon kapasitesini ve deniz suyu - su ısı pompalarına dayalı ısıtma ve soğutma kullanımını geliştirmek için araştırma kurumları ve şirketler arasındaki bilimsel ve teknolojik işbirliğini desteklemek amacıyla ulusötesi bir deniz suyu ısı pompaları ağı kurmaktır.

Projeye 4 ülkeden 6 kurum katıldı: Makine Mühendisliği ve Deniz Mimarlığı Fakültesi, Zagreb Üniversitesi - UNIZAG FSB, lider ortak olarak ve Dubrovnik Kalkınma Ajansı - DURA (Hırvatistan), Goriška Yerel Enerji Ajansı - GOLEA ve Izola Belediyesi (Slovenya), Araştırma ve Teknoloji Merkezi - CERTH (Yunanistan) ve Doğal Kaynaklar Ulusal Ajansı - AKBN (Arnavutluk).

Proje, 2018'den 2021'e kadar sürdü ve bu süre zarfında, bu tür sistemlerin uygulanması sırasında karşılaşılan sorunları ve engelleri (yönetim, yürütme, çevresel etki) tanımlamak ve

operasyonlarını izlemek (tüketim, verimlilik, tasarruf) amacıyla ikisi Hırvatistan'da ve biri Yunanistan'da olmak üzere üç deniz suyu - su ısı pompası pilot tesisi kuruldu. Ayrıca, proje kapsamında, bir numune oluşturmak amacıyla, dört ortak ülkenin her birinin temsili tesisleri için deniz suyu - su ısı pompalarının uygulanmasının enerji ve ekonomik analizi ile çevresel etki analizi gerçekleştirilmiştir.

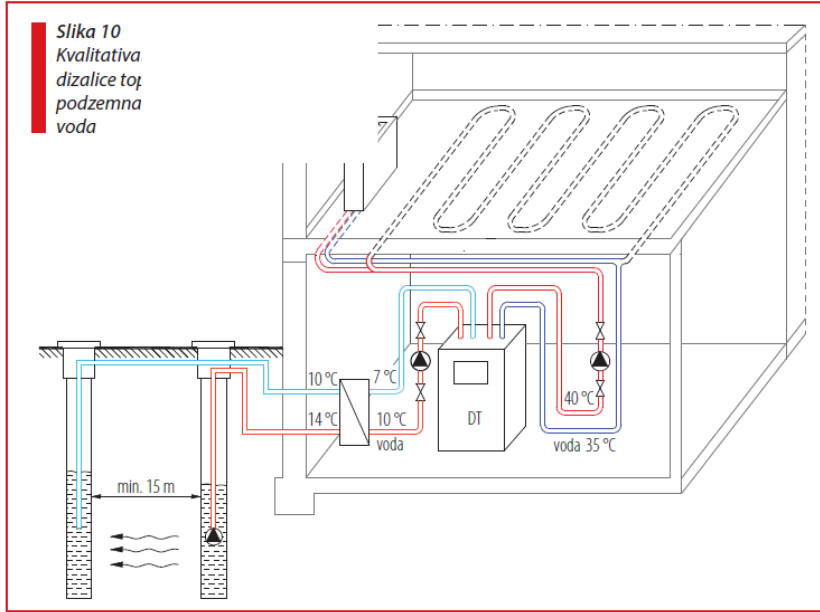


Şekil 6: Pilot tesis Rektör Sarayı, Dubrovnik

Dubrovnik'teki Rektör Sarayı'nda inşa edilen pilot tesis (Şekil 6) 432 kW kapasiteye sahiptir. Isıtma sıcaklığı rejimi 50/45 °C'dir. Su soytlaması 7 m derinliktedir.

2.2.2 Yeraltı suyu ısı pompaları

Yeraltı suyunu, pompalamayı ve dalgıçları pompalamak için aralarında mümkün olduğunca fazla mesafe olacak şekilde iki kuyuya ihtiyaç vardır (Şekil 6). Pompalama kuyusu, çalışmanın her anında yeterli su sağlamalıdır, yani pompalama kuyusunun bolluğu, bu ısı pompasının tasarımı için en önemli koşuldur. Batık pompa, pompanın işletme maliyetlerini azaltmak için genellikle 25 ila 30 m derinlikte (akiferin derinliğine bağlı olarak) monte edilir ve pompanın altında, kum ve safsızlıkların birikmesine izin veren serbest bir kuyu yüksekliği bırakılır. Sistem boyutlandırılırken, yeraltı suyu pompasının akışı, evaporatör üzerindeki suyun 3 °C ila 5 °C arasındaki sıcaklık farkı üzerinden hesaplanır. Literatür, 1 kW evaporatör kapasitesi başına 0,25 m³/s su akışına ilişkin verileri aktarmaktadır.



Şekil 7: Yeraltı suyu ısı pompasının kalitatif gösterimi

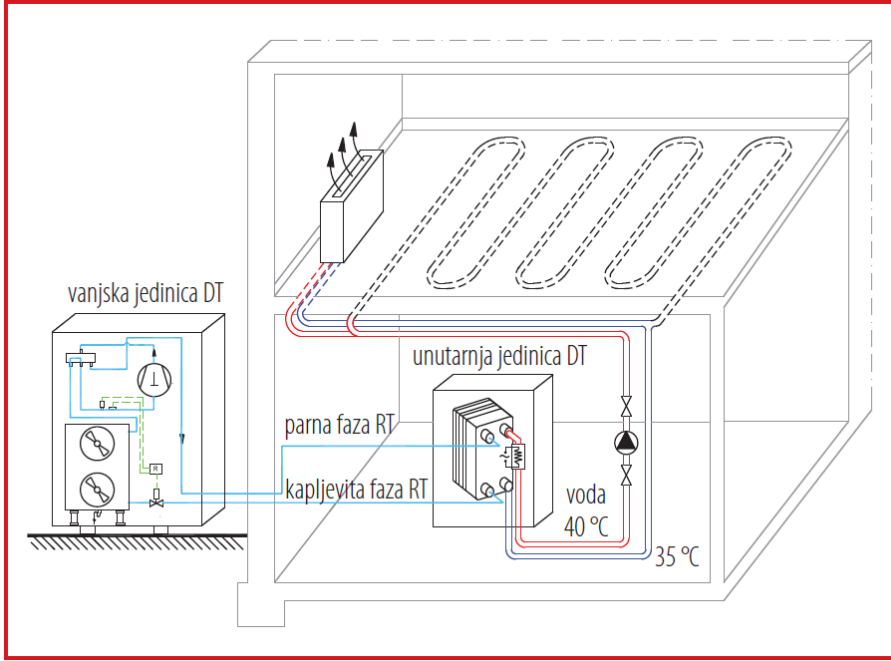
Şekil 8, Zagreb'in merkezinde, ısıtma ve soğutma için 420 kW kapasiteli bir su/su ısı pompası kullanan Palace otelini göstermektedir. Sistem 2016 yılında yenilenmiştir. Mevcut 60/50 °C ısıtma sistemi korunurken, soğutma modu 11/16 °C'dir. 20 m derinlikte yeraltı suyu 18 l/s kapasitede soyutlanır ve 350 kW ısıtma modunda ısı yükünü kapsar.



Şekil 8: Zagreb'in merkezindeki Hotel Palace bir su/su ısı pompası kullanıyor

2.3 Hava Kaynaklı Isı Pompaları

Çevresel hava, en büyük ve en uygun fiyatlı ısı rezervuarıdır. Sömürülmesi, yüksek bağlantı maliyetleri gerektirmez, ancak yalnızca bir dış ünitenin kurulabileceği erişilebilir ve güvenli bir alan gerektirir (Şekil 9). Dış ünite, kurulum yerini seçerken göz önünde bulundurulması gereken dahili fanlar ve kompresörler nedeniyle bir gürültü kaynağını temsil edebilir.



Şekil 9: Alan ısıtma ve soğutma için hava/su ısı pompasının (bölünmüş versiyon) kalitatif gösterimi

Havanın en büyük dezavantajı, bir ısı rezervuarı olarak, ısı pompasının kapasitesini ve verimliliğini etkileyen yıl boyunca sıcaklığın yüksek değişkenliğidir. Bu nedenle, bu tip ısı pompaları çoğunlukla pik ısı yükü için boyutlandırılmaz, ancak sistemler ek bir ısı kaynağı (çoğunlukla bir elektrikli ısıtıcı) ile birlikte gerçekleştirilir. Ek olarak, kış aylarında, havadaki nem nedeniyle evaporatör borularında hoar don ve buz görülebilir ve bu da cihazın verimliliğini daha da bozar. Ancak tüm bu eksikliklere rağmen cihazın performansı her geçen gün iyileştirilmekte, verimlilik artmakta ve hava/su ısı pompaları pratikte kurulu ünite sayısında en yüksek büyümeye sahiptir.

Şu anda, Avrupa Yapısal ve Yatırım Fonları programından finanse edilen IRI 2 geliştirme araştırma projesi uygulanmaktadır: Doğal soğutucu akışkanlı bir hava / su ısı pompasının araştırılması ve geliştirilmesi. Projenin bir parçası olarak, bir Hırvat hava/su ısı pompası geliştirildi ve üretildi. Makine Mühendisliği ve Gemi İnşaatı Fakültesi'nde, gelişmiş ısı pompalarının test edileceği ilgili bir ortamda sofistike bir pilot tesis faaliyete geçirilmiştir (Şekil 10).



Şekil 10: FSB üzerinde hava/su ısı pompası ile laboratuvar tesisatı



3. SONUÇ

Bir teknoloji olarak ısı pompaları, 2050 yılına kadar Avrupa Birliği'nin rekabetçi bir düşük karbon ekonomisine ve iklim nötrlüğüne ulaşma hedeflerinde vazgeçilmez bir faktördür. Uzun yıllar boyunca, mevcut düzenlemeler ısı pompalarının kullanımını teşvik etmeyi amaçlamaktadır ve aynı şey AB düzeyinde gelecekteki yönetmelik değişikliklerinden de beklenmektedir. Konvansiyonel enerji kaynaklarının arzındaki belirsizlik ve artan doğal gaz ve elektrik fiyatları, sürdürülebilir ve enerji tasarruflu sistemlerin uygulanmasında yeni zorluklar ortaya koymaktadır. Bu nedenle alternatif ısıtma sistemlerine geçiş, enerji planlaması, uygulanması ve işletilmesi için kapsamlı bir yaklaşım gerektirir. Bu makale, ısı kaynakları olarak su, toprak ve hava ile pratikte uygulanan sistemlerin örnekleri ile ısı pompası teknolojisine genel bir bakış sunmaktadır. Hırvatistan'da ısı pompası teknolojilerinin daha geniş çapta uygulanmasına yönelik temel zorluklar, geleneksel ısıtma sistemlerine kıyasla daha zorlu olan teknolojiye yatırım yapmaya yönelik finansal mekanizmalarda yer alıyor. Ayrıca, vazgeçilmez bir parça, farklı seviyelerde profesyonel kapasitelere yatırım yapmaktır.

LİTERATÜR

- [1] EHPA market report: Heat pump sales in 21 European markets
- [2] Soldo, Vladimir; Boban, Luka; QUO VADIS dizalice topline. // EGE: energetika, gospodarstvo, ekologija, etika, 2/2021 (2021), 12-16
- [3] Boban, Luka; Miše, Dino; Herceg, Stjepan; Soldo, Vladimir: Application and Design Aspects of Ground Heat Exchangers. // Energies, 14 (2021), 8; 2134, 3 doi:10.3390/en14082134
- [4] Soldo, Vladimir; Boban, Luka; Borović, Staša: Vertical distribution of shallow ground thermal properties in different geological settings in Croatia. // Renewable energy, 99 (2016), 1202-1212 doi:10.1016/j.renene.2016.08.022
- [5] Bertović, Iva: Potencijal iskorištavanja morske vode u sustavima dizalice topline – projekt SEADRION, Tehnologije dizalice topline, 1/2021. str. 15-19



ANTUN GALOVIC

Antun Galovic was born on 27. 04. 1950 in the Republic of Croatia. After graduating from elementary and secondary school, he enrolled to study at the Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture in Zagreb in 1969, where he graduated in 1974. He received his master's degree in 1979 and his Doctorate in 1986. He spent his entire working life, lasting 44 years starting in 1975, at the Department of Technical Thermodynamics at the Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Zagreb, from assistant to full professor. He was head of the Department of Technical Thermodynamics for 21 years. He has published more than 100 scientific and professional papers, which can be seen on www.irb.hr. He is the author of the two university textbooks Thermodynamics I and Thermodynamics II.

He retired in 2019 and was elected as a professor emeritus in 2021.

He speaks and writes German and speaks English.

He is married and the father of two daughters.

MARTINA ODELJAN

Martina Odeljan was born in Zagreb, where she finished primary and secondary school. She enrolled in the Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture of the University of Zagreb in the academic year 2009-2010. During the bachelor degree study she received a Rector's Award for a paper from the field of technical thermodynamics. She finished her master study in Mechanical Engineering (Process and Energy Engineering) in 2014, for which she received the highest (SUMMA CUM LAUDE) praise. Employed in 2015 as an assistant at the Chair of Technical Thermodynamics, Department of Thermodynamics and Thermal and Process Engineering. In the academic year 2015-2016 starts her postgraduate doctoral study at the Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture. She received her doctoral degree in June 2021. Currently actively participates in lectures within the subjects: Thermodynamics I, Thermodynamics II, Introduction to Thermodynamics, Fundamentals of Thermodynamics, Thermodynamics of Materials and Testing of thermal properties. Between 2017 and 2018 she participated as an associate on a professional project „Report of a study on Krk island LNG terminal Omisalj thermodynamics environmental impact“; and since 2020 participates on two IRI projects: „Development of LNG system for ships powered by dual fuel engines (FF/LNG)“ and „Development of LNG tanks for vessels for storage and regasification of LNG“.

Vladimir SOLDÓ

Curriculum Vitae – Full professor

Employed at the University of Zagreb, his research and scientific work focuses on refrigeration, heat pumps and energy efficiency.

At the faculty lab he has initiated and participated in the development, design and construction of several experimental systems used in research and education: refrigeration system for testing of natural refrigerants, air source heat pump, ground source heat pump with borehole heat exchanger, solar assisted heat pump and thermal response test unit.

As a project team leader or as a member he has been participating in several European funded projects and has established collaboration with universities and research institutes from Italy, Japan, China, Slovenia, Sweden, Switzerland and USA.

He is author of around seventy scientific and professional papers and forty studies covering topics from technology implementation to energy management and energy efficiency in buildings. He participated in the preparation of four algorithms related to the national certification of buildings energy performance and is the author of Handbook for energy certification of buildings, Chapter 9: *Refrigeration systems and heat pumps, equipment and components*.

He is the president of the Technical Committee Sector TO 86 *Refrigerating, air conditioning and heat pumps* of the Croatian Standards Institute; president of the *Croatian Heat Pump Association*; editor of the professional magazine *Heat Pump Technology*.



MONO-KRİSTAL GÜNEŞ PV PANELİ ÜZERİNDEKİ SICAKLIK ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

M. Musab BAYAT

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
ORCID:0000-0002-4631-6516

Ertan BUYRUK

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü
ORCID:0000-0002-6539-7614

Mustafa CANER

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü
ORCID:0000-0002-3674-7881

ÖZET

PV modülleri, gelen güneş ışınımının sadece 10-20%'sini faydalı işe dönüştürürken radyasyonun %40-50'si ısıya dönüşür. Biriken ısı enerji PV hücrelerinin üzerinde ısı gerilmeye neden olur ve böylece elektriksel dönüşüm verimliliğini önemli ölçüde azaltır. PV Panel üzerindeki sıcaklığın yükselmesi panelin performansı olarak nitelendirilebilen maksimum çıkış gücünü, yük altında ve yüksüz çalıştırmada üretilen akım ve gerilim değerlerini olumsuz etkiler. Bu çalışmada farklı sıcaklık değerleri altında bir Mono-Kristal güneş PV panelinin davranışı deneysel olarak incelenmiştir. PV panel üzerindeki farklı sıcaklık değerlerinin elektriksel güç çıkışını etkilediği deneysel sonuçlarda belirlenmiştir. Artan PV panel yüzey sıcaklığı akım, gerilim ve güç üretimi gibi elektrik parametrelerine negatif etki yapmış ve PV panel verimliliğini azalttığı tespit edilmiştir. Yüklü devrenin ürettiği maksimum güç, PV panel sıcaklığında 44.71 °C' de 15.01 W'dır. PV panel sıcaklığı 75 °C'ye kadar yükseldiğinde, maksimum üretilen güçten yaklaşık 14%'lük bir kayıpla gücün 12.92 W'a düştüğü gözlemlenmiştir. Ayrıca çalışma sonunda PV panellerde ısınmadan kaynaklı güç üretimindeki kayıpları azaltmak ve böylece PV panel verimliliğini artırmak için PV modülünün arka tarafına yerleştirilecek FDM içeren uygun bir deneysel düzenek ile PV modülünün çalışma sıcaklığı kontrol edilerek PV panel verimliliğinin artırılmasıyla ilgili öneriler verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: PV yüzey sıcaklığı, PV panel, PV güç değişimi

1. Giriş

Enerji, herhangi bir ülkenin ekonomik kalkınmasının temelini oluşturur ve orada yaşayan insanların yaşam kalitesini iyileştirmede önemli bir rol oynar. Gelişimin hemen hemen her alanında enerjinin önemi ve tarihsel veriler, enerji mevcudiyeti ve ekonomik faaliyet arasında önemli bir ilişki olduğunu ortaya koymaktadır. Fosil yakıtın bu konuda önemli ve güvenilir bir rol oynamasına rağmen, bir süre boyunca durmak bilmeyen kullanımı küresel ısınma ve iklim değişikliği konusunda ciddi sorunlar yaratmıştır.

Çevresel bozulma ve enerji kıtlığı konusundaki farkındalığın artması, pek çok araştırmacıyı temiz ve yenilenebilir enerji kaynakları aramaya teşvik etti [1]. Güneş enerjisinin kullanımı, temiz ve sürdürülebilir olduğundan dikkat çekmeye başladı. Güneş enerjisi kullanımı için en umut verici teknolojilerden biri fotovoltaik (PV) enerji üretim teknolojisidir. Güneş fotovoltaik kapasitesi, 2013 yılında günde 100 MW'lık yüksek bir hızla hızlı bir şekilde artmış ve toplam kapasite 2015'te 177 GW artmıştır [2]. Her ne kadar PV sistemleri ticarileştirilmiş ve yaygın olarak kullanılsa da çoğu PV panel ideal çalışma koşulları altında sadece%15-20'lik bir fotoelektrik dönüşüm verimine sahiptir [3].

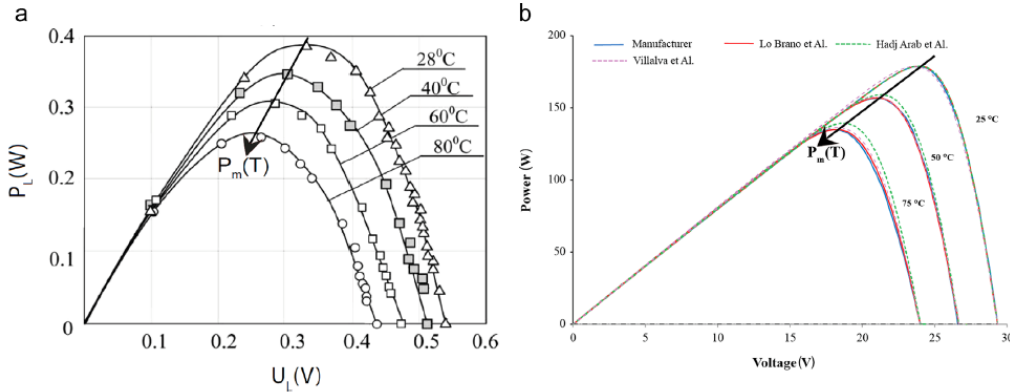


PV malzemeleri ve cihazları güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştürür. Tek bir PV cihazı hücre olarak bilinir. Bireysel bir PV hücresi genellikle küçüktür ve tipik olarak yaklaşık 1 veya 2 watt güç üretir. Bu hücreler, farklı yarı iletken malzemelerden yapılmıştır. Açık havaya uzun yıllar dayanabilmesi için hücreler, cam ve/veya plastik kombinasyonundaki koruyucu malzemeler arasına sıkıştırılır. Bir solar PV panelinin ana katmanları şunlardır: dış cam, yansıma önleyici kaplama (ARC), PV hücreleri, etilenvinil asetat (EVA), metal arka kontakt ve polivinil florür (PVF) film. Bu katmanların termo-fiziksel özellikleri Tablo 1'de [4] sunulmuştur. Fotovoltaik paneller, tasarım teknolojisine ve üreticiye bağlı olarak farklı katmanlara sahip olabilir. PV hücrelerinin güç çıkışını artırmak için, modüller veya paneller olarak bilinen daha büyük birimler oluşturmak üzere zincirler halinde birbirine bağlanırlar. Daha sonra bir veya daha fazla dizi, eksiksiz bir PV sisteminin parçası olarak elektrik şebekesine bağlanır. Bu modüler yapı sayesinde, küçük veya büyük hemen hemen her türlü elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamak için PV sistemleri kurulabilir.

Tablo 1. Fotovoltaik panel katmanlarının özellikleri

| Katman | Kalınlık (m) | Isıl İletkenlik (W/m.K) | Yoğunluk (kg/m ³) | Özgül kapasitesi J/kg. K) | Isı |
|--------------|------------------------|-------------------------|-------------------------------|---------------------------|-----|
| Cam | 0.003 | 1.8 | 3000 | 500 | |
| ARC | 100 x 10 ⁻⁹ | 32 | 2400 | 691 | |
| PV Hücreleri | 225 x 10 ⁻⁶ | 148 | 2330 | 677 | |
| EVA | 500 x 10 ⁻⁶ | 0.35 | 960 | 2090 | |
| Arka Kontakt | 10 x 10 ⁻⁶ | 237 | 2700 | 900 | |
| Tedlar | 0.0001 | 0.2 | 1200 | 1250 | |

Bir PV hücresinin performansını tanımlamak için Standart Test Koşulları (STC) kavramına ihtiyaç vardır [5]. Bir fotovoltaik panel tarafından üretilen referans elektrik gücü, 25 °C' lik bir hücrenin ortalama sıcaklığı ve 1000 W/m²'lik güneş radyasyonu yoğunluğu için tanımlanır. Bu koşullarda, PV hücresi, Watt-peak (W_p) cinsinden ölçülen maksimum gücü üretir. Bu değer üreticiler için geçerlidir, ancak gerçek çalışma koşullarında bir PV hücresinin gücü, sıcaklık değişimlerine ve güneş radyasyonu seviyesine bağlıdır. Bir PV hücresine ulaşan çoğu güneş radyasyonu elektriğe değil, termik enerjiye dönüştürülür, bu da hücre sıcaklığını artırır [6]. Fotovoltaik (PV) modüllerde sıcaklık artışları, anında verimlilik kayıplarına yol açar ve uzun süreli bozulmayı hızlandırabilir. Yüksek sıcaklıklarda çalışan silikon PV modülleri, güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesinde daha düşük verimlilik gösterir. PV ile elde edilen güneş ısısı oranı, ortama kaybolan ısı oranından daha yüksek olduğunda sıcaklık yükselmesi kaçınılmazdır. Silikon hücre sıcaklığında 1 Kelvin kadar artış, mutlak dönüşüm verimliliğini 0,08% oranında düşürerek, güç çıkışını 0.45% azaltmaktadır [7]. 15 K sıcaklık artışı, güç çıkışını yaklaşık 7% oranında azaltır. Silikon güneş pilleri, 2012 yılında mevcut global pazar PV'nin yaklaşık 86%'sini oluşturmuştur [8]. Bunun nedeni, silikonun yaygın olarak kullanılan, toksik olmayan, kolay bir şekilde katkılı olmasıdır [9]. Şekil 1 (a), sabit solar radyasyonda dört farklı sıcaklıkta bir güneş pilinin çıkış gücünün, (P_L) ve voltajının (U_L) varyasyonunu göstermektedir [10]. Grafik, gerilemeden önce voltajla ilk güç artışını göstermektedir. Maksimum çıkış gücünün P_m(T) sıcaklık bağımlılığı, sıcaklık arttıkça gücün azalmasını yansıtır. Şekil 1 (b) 'de, bir PV panelinin çıkış gücü ve voltajının bir grafiği, sıcaklık yükselmesinin bir silikon PV panelinin güç azalması üzerindeki etkisini vurgulamaktadır.



Şekil 1. (a) Silikon solar hücre voltajı ile güç değişimi (b) Silikon panel sıcaklığının voltajı ile güç değişimi

Siddiqui ve diğerleri [11] tarafından, değişen çevre ve çalışma koşulları için PV panelinin ısı ve elektriksel performansını tahmin edebilen üç boyutlu bir sayısal model geliştirdikleri bir çalışma yapılmıştır. Sonuçlar, doğrusal olarak artan elektrik enerjisi ile verimlilikte 8,47%'den 10,5%'e kadar değişiklik göstermektedir. Pantic ve diğerleri [12], güneş sıcaklığının çıkış gücü ve verimliliği üzerindeki etkisini tahmin etmek için doğrusal ve doğrusal olmayan modeller geliştirmiştir. Sonuçlar beş farklı modelle karşılaştırılmıştır ve doğrusal olmayan modelin güneş radyasyonu yoğunluğundaki ve güneş modülünün sıcaklığındaki değişimlerle çok daha iyi uyum gösterdiğini göstermiştir. Xing Ju ve diğerleri [13], güneş pili sıcaklığı 10–120 °C aralığındayken yüksek konsantrasyon koşulları altında çalışan güneş pillerinin sıcaklığını tahmin etmek için geliştirilmiş bir yöntem sunmuşlardır. Fotovoltaik panellerin sıcaklığının değişimi de literatür boyunca çeşitli çalışmalarda sayısal olarak incelenmiştir. Hamrouni ve diğerleri [14], MATLAB/Simulink yazılımını kullanan bir çalışma sunmuşlardır. Razhaghi ve Mosavi [15], MATLAB Simulink kullanarak fotovoltaik sistemlerin incelenmesini ve simülasyonunu bildirmiştir ve radyasyon veya sıcaklık girişi, maksimum güç noktasındaki önemli değişiklikleri yansıtmaktadır. Bir çalışma, hücre sıcaklığındaki 22°C'lik düşüşün PV modülünde 10,3%'lük bir enerji kazancına yol açtığını göstermiştir [16]. Yüzey sıcaklığındaki her 1K artışın açık devre gerilimindeki azalmanın 0,45% ve kısa devre akımındaki artışın 0,09% olduğunu bir başka çalışma daha ortaya koymaktadır [17]. Benzer şekilde, silikon güneş pilinin yüzey sıcaklığındaki her 1°C'lik artış için açık devre gerilimindeki azalmanın 2mV olduğunu bildiren başka bir çalışma daha vardır [18]. Bu çalışmalardan, açık devre gerilimindeki azalmanın kısa devre akımındaki artıştan daha fazla olduğu sonucuna varılabilir.

Sunulan bu çalışmada, PV hücre sıcaklığının elektrik enerjisi üretimi ve güç değişimi üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Tüm analizler laboratuvar koşullarında 1000 W/m² ışınımına sahip halojen lambalar altında gerçekleştirilmiştir.

2. Deneysel Kurulum

Sıcaklıktaki artışlar, güneş pilinin maksimum güç P_{maks} , açık devre gerilimi V_{oc} ve kısa devre akımı I_{sc} gibi elektriksel parametrelerini etkileyen güneş pilinin bant aralığını azalttığı yapılan bu deneysel çalışma ile de tespit edilmiştir. Sunulan çalışma, 1000 W/m² sabit ışınım altında deneysel çalışmalar yapılarak kanıtlanmıştır. İdeal olarak, modülü maksimum güç noktasında çalıştırmak için ohm yasasından yük direncini şu şekilde hesaplayabiliriz:

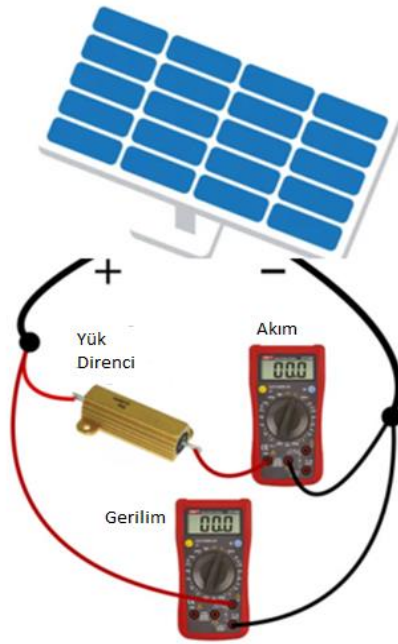
$$R_{yük} = \frac{V_{mp}}{I_{mp}}$$

Bu çalışmada 25 W mono kristal güneş paneli kullanılmıştır. Kullanılan güneş paneline ait elektriksel parametreler Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. 25W mono-kristal güneş panelinin elektriksel özellikleri

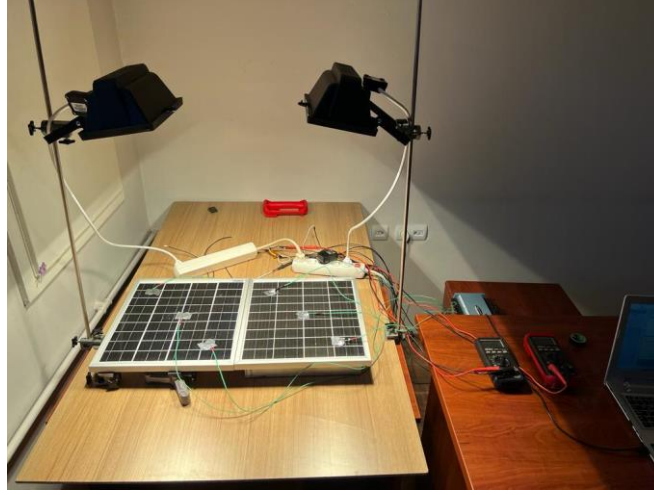
| | | |
|----------------------------|--------------|--------|
| Güç | P_m (W) | 25W |
| Gerilim (Maks. Güç) | V_{mp} (V) | 20.84V |
| Akım (Maks. Güç) | I_{mp} (A) | 1.23A |
| Açık Devre Gerilimi | V_{oc} (V) | 24.62V |
| Kısa Devre Akımı | I_{sc} (A) | 1.28A |
| Hücre Sayısı | | 36 |

Açık devre voltajı (V_{oc}) ve kısa devre akımı (I_{sc}), genellikle güneş pillerini karakterize etmek için kullanılan iki ana elektriksel parametredir. Bu deneysel çalışmada yük direnci olarak 50W 22R Ohm değerinde alüminyum direnç kullanılmıştır. Yapılan çalışmadaki yük altındaki güneş panelinin bağlantısının şematik olarak gösterimi Şekil 2'de verilmiştir.



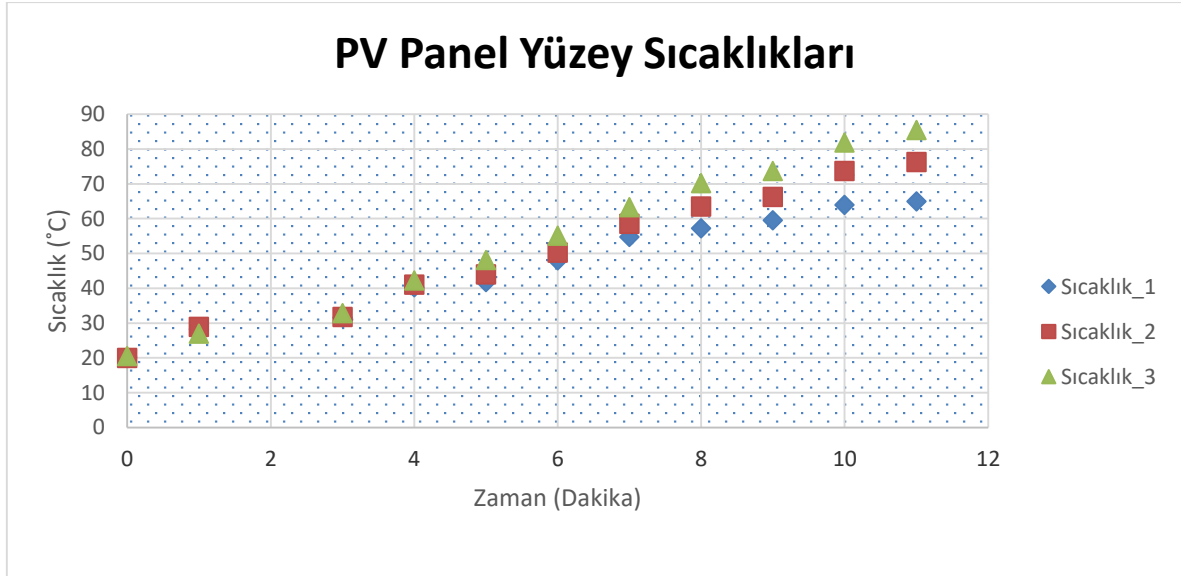
Şekil 2. Güneş panelinin bağlantısının şematik gösterimi

Yapılan deneysel çalışma neticesinde, güneş panelinin sıcaklığının artmasıyla birlikte, maksimum çıkış gücünde (P_{maks}), yükteki gerilimde (V_{mp}) ve yükteki akımda (I_{mp}) doğrusal bir azalma meydana gelmiştir. Deney, 20 °C'den başlayıp 75 °C'ye kadar, 1000 W/m²'lik sabit bir güç altında gerçekleştirilmiştir. Bu sabit güç, halojen lambalarla elde edilmiş ve deneysel kurulum Şekil 3'te gösterilmiştir.

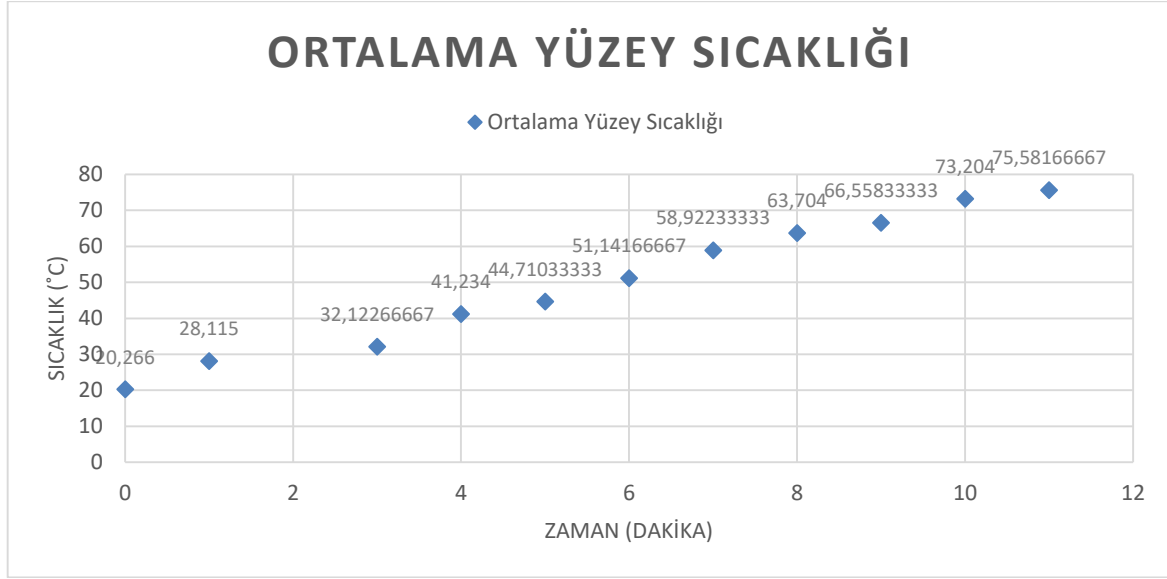


Şekil 3. Deneysel kurulum

Deney sırasında PV panelin 3 farklı noktasından yüzey sıcaklık ölçümü yapılmıştır ve bu sıcaklık değerlerinin ortalaması alınarak panelin yüzey sıcaklık değeri belirlenmiştir. Halojen lamba ile panelin yüzeyi ısıtıldığında panel yüzey sıcaklığının ortalama değerini almak için bu yöntem gerçekleştirilmiştir. Ölçümü yapılan her bir ısı çift için sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması Şekil 4' te gösterilmiştir. Elde edilen bu sıcaklık değerlerinin ortalaması alınarak PV panelin ortalama yüzey sıcaklığı belirlenmiştir ve Şekil 5'te de gösterilmiştir. Şekil 6, bir termal kamera kullanılarak kaydedilen 25,7 °C'de solar panelin sıcaklık profilini göstermektedir. Sıcaklık ölçümleri K tipi ısı çift, veri toplama için veri toplayıcı olarak "Measurement Computing USB-2416" kullanılmıştır. Ayrıca gerilim ve akım değerlerini ölçmek için dijital multimetre kullanılmıştır.

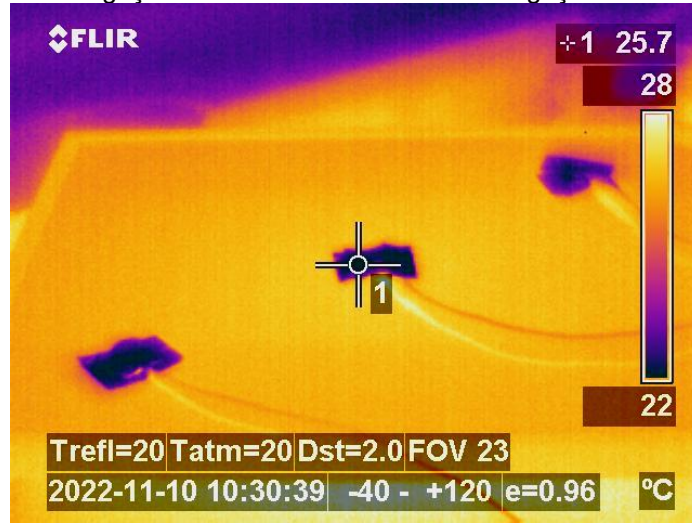


Şekil 4. PV panel yüzey sıcaklık değerleri

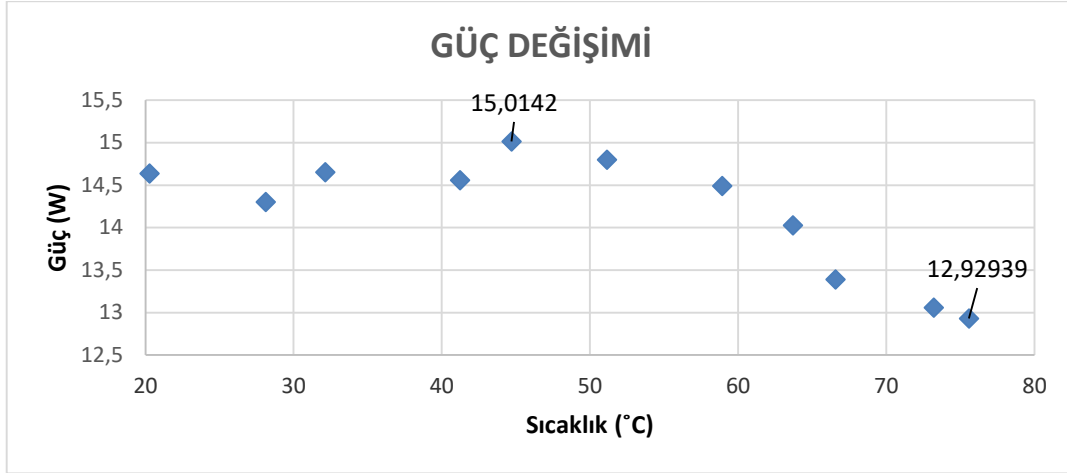


Şekil 5. PV panel ortalama yüze sıcaklığı

Deney boyunca yük direnci üzerindeki gerilim ve akım değerlerinin değişimi gözlemlenmiştir ve güç değişimi $P = V \times I$ formülünden hesaplanarak sonuçlar Tablo 3'te verilmiştir. Değişen sıcaklık değerlerine karşı üretilen güç değişimi Şekil 7'de gösterilmiştir. Sıcaklık değişimi boyunca panelden üretilen gerilim değeri en yüksek 18.31 V en düşük 16.99 V, akım değeri en yüksek 0.82 A en düşük 0.76 A ölçülürken maksimum güç 15.01 W iken üretilen minimum güç ise 12.92 W olarak ölçülmüştür.



Şekil 6. Termal kamera kullanılarak 25,7 °C'de kaydedilen sıcaklık



Şekil 7. Sıcaklık-Güç grafiği

Tablo 3. Gerilim, akım ve güç değerleri

| Gerilim (V_{mp}) | Akım (I_{mp}) | Güç (P_m) |
|----------------------|-------------------|---------------|
| 18,05 V | 0,811 A | 14,63855 W |
| 17,88 V | 0,8 A | 14,304 W |
| 18,09 V | 0,81 A | 14,6529 W |
| 18,02 V | 0,808 A | 14,56016 W |
| 18,31 V | 0,82 A | 15,0142 W |
| 18,18 V | 0,814 A | 14,79852 W |
| 17,98 V | 0,806 A | 14,49188 W |
| 17,69 V | 0,793 A | 14,02817 W |
| 17,28 V | 0,775 A | 13,392 W |
| 17,07 V | 0,765 A | 13,05855 W |
| 16,99 V | 0,761 A | 12,92939 W |

3. Sonuçlar ve Değerlendirme

Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi, özellikle diğer güç kaynaklarına erişimin zor olduğu uzak bölgelerde daha cazip hale gelmiştir. Güneş enerjisi sisteminin çıkış gücü, güneş radyasyonuna ve PV panelinin yüzey sıcaklığına bağlıdır. Güneş paneli sıcaklığı, özellikle büyük bir sistemde, bir fotovoltajik sistemin verimliliği üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Aynı zamanda sıcaklığın, P_{maks} , V_{mp} ve I_{mp} gibi diğer çıkış parametreleri üzerinde de etkisinin olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, bir solar PV sistemi kurmak için yer seçimi çok önemlidir. Solar panel sistemlerini kurmak için düşük sıcaklığa sahip bir yer seçilmelidir çünkü daha yüksek sıcaklıktaki bir ortamda kaybedilen her watt, daha büyük bir verim kaybı anlamına gelmektedir. Solar PV panel sıcaklığının önemi bu çalışmada belirtildiği gibi ihmal edilmemelidir. Sunulan bu çalışmada artan PV panel sıcaklığının değişmesiyle güç değişimi deneysel olarak belirlenmiştir. Deneysel analizde sabit ışınım altında panel yüzey sıcaklığının değişimi gözlemlenmiştir. Yük altında iken sıcaklık değişimlerine karşı solar panelin tepkisi ölçülmüştür. Grafiklerden de görüleceği üzere solar panelin yüzey sıcaklığı 20 °C'den 75 °C'ye kadar yükselmiş ve buna karşı gerilim değeri 18.31 V' dan 16.99 V' a akım değeri ise 0.82 A' den 0.76 A' e sırasıyla düşmüştür. Sonuçlar, güneş panelinin sabit ışınım altında doğrudan güneş altında kullanılması durumunda, PV panel sıcaklığının kademeli olarak artacağını ve devreye bir yük bindiğinde elde edilen gücün düşmesine neden olacağı tespit edilmiştir. Yüklü devrenin ürettiği maksimum güç, PV panel sıcaklığında 44.71 °C' de 15.01 W' dir. PV panel sıcaklığı 75 °C'ye kadar yükseldiğinde, maksimum üretilen güçten yaklaşık 14%'lük bir kayıpla gücün 12.93 W'a düştüğü gözlemlenmiştir.



Silikon hücre sıcaklığındaki her bir artış dönüşüm verimliliğini azaltarak güç çıkışını azaltmaktadır. Sıcaklık artışlarını azaltmak için uygulanan aktif ve pasif soğutma yöntemleri karşılaştırıldığında fazladan bir enerji ihtiyacına gerek duymadığı ve böylece ekonomik olarak daha uygulanabilir olduğundan dolayı pasif soğutma yöntemleri tercih edilebilir. Bu teknikler içinden faz değişim malzemesi (FDM), ısı enerjisi sabit bir faz değişim sıcaklığında emer. İlk ısıtmada FDM duyarlı bir şekilde ısınır ve erime sıcaklığına ulaştığında gizli ısıyı emer. Sonraki çalışmalar için PV modülünün arka tarafına yerleştirilecek FDM içeren uygun bir düzenek ile PV modülünün çalışma sıcaklığı kontrol edilecektir. Böylece sıcaklık artışından kaynaklanan solar panel güç düşümünün en aza indirilmesi hedeflenmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) tarafından M-2022-829 proje numarası ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] ALZAABİ AA, BADAWİYEH NK, HANTOUSH HO, HAMİD AK. Electrical/thermal performance of hybrid PV/T system in Sharjah, UAE. Int J Smart Grid Clean Energy 2014
- [2] LUPANGU C, BANSAL RC. A review of technical issues on the development of solar photovoltaic systems. Renew Sustain Energy Rev 2017; 73:950–65
- [3] MA T, YANG H, ZHANG Y, LU L, WANG X. Using phase change materials in photovoltaic systems for thermal regulation and electrical efficiency improvement: A review and outlook. Renew Sustain Energy Rev 2015; 43:1273–84DIN 1946-4, "VAC Systems in Buildings and Rooms Used in The Health Care Sector", 2008
- [4] ARMSTRONG S, HURLEY WG, A thermal model for photovoltaic panels under varying atmospheric conditions, Applied Thermal Engineering 30; 2010, p. 1488-1495
- [5] FSEC Standard 202-10. Test Method for Photovoltaic Module Power Rating; 2010
- [6] INGERSOLL JG. Simplified calculation of solar cell temperatures in terrestrial photovoltaic arrays. J Sol Energy Eng 1986; 108:95–101. MEMİŞ Samet, "A Study on Picture Fuzzy Sets" 7th IFS and Contemporary Mathematics Conference, ss. 125–132, 2021
- [7] SKOPLAKI E, PALYVOS JA. On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: a review of efficiency/power correlations. Sol Energy 2009; 83:614–24
- [8] Fraunhofer Institute. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE: Fraunhofer, Freiburg; November 7 2013
- [9] BRUTON TM. General trends about photovoltaics based on crystalline silicon. Sol Energy Mater Sol Cells 2002; 72:3–10
- [10] RADZIEMSKA E. The effect of temperature on the power drop in crystalline silicon solar cells. Renew Energy 2003; 28:1–12
- [11] M. U. SİDDİQUİ, A. F. M. ARİF, L. KELLEY, AND S. DUBOWSKY, "Three-dimensional thermal modeling of a photovoltaic module under varying conditions," Sol. Energy, vol. 86, no. 9, pp. 2620–2631, 2012
- [12] L. S. PANTIĆ, T. M. PAVLOVIĆ, AND D. D. MILOSAVLJEVIĆ, "The assessment of different models to predict solar module temperature, output power and efficiency for Nis, Serbia," vol. 109, pp. 38–48, 2016
- [13] X. JU, A. VOSSIER, Z. WANG, A. DOLLET, AND G. FLAMANT, "An improved temperature estimation method for solar cells operating at high concentrations," Sol. Energy, vol. 93, pp. 80–89, 2013
- [14] HAMROUNI N, JRAÏDİ M, CHÉRİF A, Solar radiation and ambient temperature effects on the performances of a PV pumping system, Revue des Energies Renouvelables, Vol. 11, No. 1; 2008, p. 95–106
- [15] RAZZAGHI MAJİD, SEYYED MAHDİ MOOSAVİ. Analysis of solar cells performance based on temperature and radiation changes Renewable and Clean Energy Congress, Hamedan. 2013
- [16] KRAUTER S. Increased electrical yield via water flow over the front of photovoltaic panels. Solar energy materials and solar cells. 2004 May 1;82(1):131-7



- [17]SCHWINGSHACKL C, PETITTA M, WAGNER JE, BELLUARDO G, MOSER D, CASTELLÌ M, ZEBİSCH M, TETZLAFF A. Wind effect on PV module temperature: Analysis of different techniques for an accurate estimation. Energy Procedia. 2013 Dec 31;40:77-86
- [18]MİGAN G.A. Study the operating temperature of a PV module. Project Report 2013 MVK160 Heat and Mass Transfer, Lund Sweden

ÖZGEÇMİŞ

M. Musab BAYAT

1991 yılında Ordu/Aybastı'da doğmuş, 2014'te Gazinatep Üniversitesi Mühendislik Fakültesi 'nden Elektrik-Elektronik mühendisi unvanı alarak mezun olmuştur. Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nden, 2017'de yüksek lisansını tamamlamış ve bugün doktora eğitimine devam etmektedir. Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünde "Araştırma Görevlisi" olarak çalışmaktadır..

Ertan BUYRUK

İlk, orta ve lise eğitimini Sivas'ta tamamladı. 1991 yılında Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. Temmuz 1992- Aralık 1996 yılları arasında İngiltere Liverpool Üniversitesi'nde doktorasını tamamladı. 1997 yılında Yrd. Doç., 2004 yılında Doçent, 2009 yılında Profesör unvanını aldı. Prof. Buyruk, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Endüstri Mühendisliği, Makine Mühendisliği Bölüm Başkanlıklarının yanında Mühendislik Fakültesi Dekan Yardımcılığı görevlerini de yerine getirmiştir. Evli ve bir çocuk babası olan Buyruk İngilizce bilmektedir. 2012 yılından itibaren Üniversite - Şehir ve Sanayi İşbirliği ile ilgili Rektör Danışmanlığı görevini de yürütmüştür. Prof. Buyruk, 2015-2016 yılları arasında Rektör Yardımcılığı görevini de yürütmüştür. Temel çalışma alanları: Isı ve Kütle Transferi, Termodinamik, Akışkanlar Mekaniği, Isı Yalıtımı, Soğu Depolama, Plakalı Kanatçıklı Isı Değiştiricilerde ve Nanoakışkanlarda Isı Transferi üzerinedir.

Mustafa CANER

2013 yılında Bozok Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2014 yılında Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmaya başlamıştır. Aynı Üniversitede 2018 yılında yüksek lisansını tamamlamış ve doktora çalışmasına devam etmektedir.



GÜNEYDOĞU TÜRKİYE'NİN ÜST KRETASE YAŞLI KARBONAT KAYALARININ ÜRETİLEBİLİR ANKONVANSİYONAL SIVI PETROL VE BİYOJENİK GAS MİKTARININ BELİRLENMESİ

PRODUCIBLE FLUID BIOGENIC GAS VOLUMES OF THE UPPER CRETACEOUS UNCONVENTIONAL CARBONATE PLAYS, NORTHERN ARABIAN PLATE OF TURKEY

Şamil ŞEN
Prof, Dr., İstanbul Üniversitesi
ORCID: 0000-0002-3086-9626

Berat BARSLAN
Jeoloji Mühendisi Berat Barslan Shalesys Enerji A.Ş

İ.Erdal KEREY
Prof. Dr., İstanbul Rumeli Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi
ORCID: 0000-0001-9000-8257

ÖZET

Üst Kretase yaşlı organik maddece zengin karbonat kayaları Güneydoğu Türkiye dahil Orta Doğu ve Kuzey Afrika'da ankonvansiyonel hidrokarbon kaynaklarından birisidir. Ankonvansiyonel üretilebilir sıvı petrol ve gaz miktarını belirlemek için Petrol Doygunluk İndeksi kullanılır ve S1X 100/TOC formülü ile belirlenir. Bu çalışmada yapılan analizlere göre Üst Kretase yaşlı organik maddece zengin karbonat kayaları üretilebilir sıvı petrol ve biyojenik gaz potansiyeline sahiptir

Anahtar Kelimeler: Şeyl, Petrol, Biyojenik Gaz, Güneydoğu Türkiye

ABSTRACT

Organic matter rich carbonates of the Upper Cretaceous in the Middle East and North Africa, including southeastern Turkey, are recognized as major unconventional hydrocarbon source rocks. A workflow for derisking productivity of an unconventional play is examination of the S1 X 100/TOC ratios, which represent potentially producible fluid oil and gas volumes or oil saturation index (OSI). Analyses show that the Upper Cretaceous Karababa and Karabogaz formations of the southeastern Turkey have producible fluid oil and biogenic gas potential.

Keyword: Shale, Oil, Biogenic Gas, Southeast Turkey

1. Giriş

Yatay sondaj ve hidrolik çatlatma teknolojileri ile üretilen ankonvansiyonel petrol ve gaz son yüzyılın enerji devrimi olarak bilinmektedir. ABD bu kaynaklar sayesinde dünyada en fazla petrol ve gaz üreten ülke olmuştur¹⁻². Ankonvansiyonel üretilebilir sıvı petrol ve gaz miktarının belirlenmesinde Petrol Daygunluk Indeksi kullanılmakta olup, formülü S1X100/TOC tür. Burada S1 serbest hidrokarbon miktarı ve TOC toplam organik madde miktarıdır. Son yıllarda yapılan çalışmalara göre üretilebilir sıvı petrol için bu değer 100 ile 40 mg oil/g TOC ve biojenik gaz için <math><40 \text{ mg HC/g TOC}</math>³⁻⁴ olarak öngörülmüştür.

GD Türkiyede yer alan Karababa A üyesi ve Karaboğaz Formasyonu ABD Denver'daki Niobrara Formasyonu ile benzer olup, yüksek revervli sıvı petrol ve biyojenik gaz potansiyeline sahiptirler. Bu çalışmanın amacı sözkonusu formasyonların ankonvansiyonel sıvı petrole ve biyojenik gaz potansiyelini belirlemektir.

2. Bulgular

Karababa ve Karaboğaz formasyonlarından 13 kuyudan 123 numunenin analizine göre olgun alanlarda (0,6-0,91 %Requ olgunluktaki) ortalama petrol doygunluk değerleri 116,51 mg oil/g TOC bulunmuştur. Bu değer bize bu formasyonların sıvı petrol potansiyeli olduğunu göstermektedir (Şekil 1).

Karababa ve Karaboğaz formasyonlarından 11 kuyudan 53 numunenin analizine göre olgun olmayan (0,35-0,58 %Requ olgunluktaki) alanlarda ortalama petrol doygunluk değerleri 72,61 mg HC/g TOC bulunmuştur. Bu değer bize bu formasyonların biyojenik gaz potansiyeli olduğunu göstermektedir (Şekil 1).

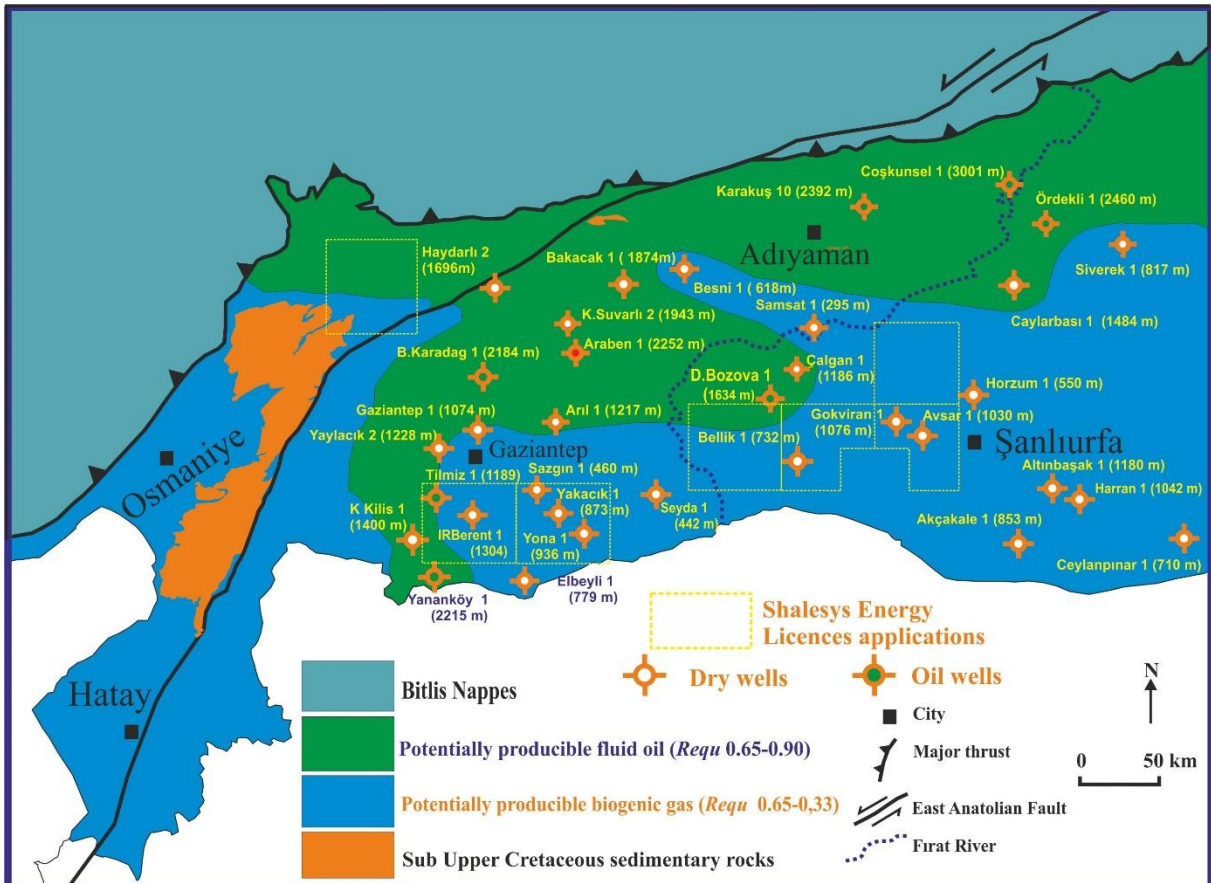


Fig.1 Karababa and Karaboğaz formasyonlarının sıvı petrol ve biyojenik gaz potansiyelini gösteren harita (Sen, 2022⁵ den değiştirilmiştir).



3. Sonuçlar

Arap Kıtası kuzeyinde, GD Türkiye'den >50.000 varil/gün petrol üretilmektedir. Bunun hemen hemen yarısı konvansiyonel yöntemlerle Üst Kretase yaşlı Karababa and Karabogaz formasyonlarından yapılmaktadır. Bu çalışma ile bu formasyonların ankonvansiyonel petrol ve biyojenik gaz potansiyeli olduğu ortaya çıkartılmıştır. Fakat maalesef bu formasyonlarda herhangi bir yatay sondaj ve hidrolik çatlatma yapılmamıştır.

KAYNAKLAR

1. Curtis, J. B. Fractured shale gas systems. AAPG Bull. 86(11), 1921–1938 (2002).
2. Steward, D. B. Te Barnett Shale Play: Phoenix of the Fort Worth Basin—A History (Te Fort Worth Geological Society and Te North Texas Geological Society, 2007).
3. Pepper, A., Perry, S. & Heister, L. Saturation isn't what it used to be: Towards more realistic petroleum fluid saturations and produced fluid compositions in organic-rich unconventional reservoirs. In Society of Petroleum Engineers/AAPG/Society of Exploration Geophysicists Unconventional Resources Technology Conference (2019).
4. Şen, Ş & Kozlu, H. Impact of maturity on producible shale oil volumes in the Silurian (Llandovery) hot shales of the northern Arabian plate, southeastern Turkey. AAPG Bull. 104(3), 507–524 (2020).
5. Şen, Ş. Producibile fluid oil saturations of the upper cretaceous unconventional carbonate plays, Northern Arabian Plate. AAPG Bull. 106(4), 739–758 (2022).

Samil SEN

Prof. Dr. Şamil Şen İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Jeoloji Mühendisliği Bölümünde öğretim üyesidir ve Shalesys Enerji kurucularındandır.

Berat BARSLAN

Jeoloji Mühendisi Berat Barslan Shalesys Enerji A.Ş nin kurucularındadır.

İ. Erdal KEREY

Prof.Dr. İ. Erdal Kerey Rumeli Üniversitesi Rektör Yardımcısıdır.



CABİR BİN HAYYAN'IN BİLİMSEL DÜŞÜNCEYE VE KİMYASAL TEKNOLOJİLERE KATKILARI

CABIR BIN HAYYAN'S CONTRIBUTIONS TO SCIENTIFIC THOUGHT AND CHEMICAL TECHNOLOGIES

Osman Çakmak

İstanbul Rumeli Üniversitesi, Sanat Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, Silivri - İstanbul

ORCID: 0000-0001-9293-5572

ÖZET

Cabir bin Hayyan Ortaçağ İslam Dünyasında kurucu ve öncü bir bilim adamıdır. Kimyanın babası olarak bilinir. Cabir, maddelerin sınıflandırılmasını, kimya ilminde kullanılan hassas ölçüm aletlerini, teraziye, deneylerde kullanılan aletlerin imal etti ve nasıl kullanılacağını ortaya koydu. Çalıştığı bilim alanlarında yüzlerce eserin sahibidir.

Câbir laboratuvar işlemlerinin esası olan uygulamaları ve teknikleri tarif etti ve uyguladı. Buharlaştırma, süblimleştirme, eritme, yoğunlaştırma, kristalleştirme, damıtma, kalsinasyon (kavurma), süzme, saflaştırma, oksitleme bu tekniklerden bazılarıdır. Damıtmayı kolaylaştıran imbic aletini geliştirdi. Metallerin rafine edilmesi ve çelik hazırlanması konusundaki çalışmaları ile döküm tekniklerinin gelişmesine katkıda bulundu. Maddeleri gazlar, metaller ve minareler olarak sınıflandı. Gaz- basınç ilişkisini açıkladı. İlk kimya laboratuvarını kurdu. Hassas teraziye kullandı. Ağırlık ve Ölçü Birimlerini hayata geçirdi. Su banyosunun ve kimyasal fırının kullanımını açıkladı. Kumaş ve deri boyama maddeleri ve saç boyalarını hazırladı. Kumaşı su geçirmez yapan ve demiri koruyan cilalar yaptı. Renkli cam üretimi için mangan dioksiti; altın renginde yazı yazmak için demir piriti kullandı. Çini ve seramiği sırlamak konularında araştırmalar yaptı ve ürünler geliştirdi. Yangında yanmayan bir tür kâğıt ile gece okunabilen mürekkep geliştirdi. Metallerin rafine edilmesi ve çelik hazırlanması döküm tekniklerinin gelişmesine katkıda bulundu.

Cabir Bin Hayyan, maddelerin atomik yapısını gösteren tespitler yaparak, kimyevi reaksiyonlarda belli miktarların belirli miktarlarla reaksiyona girdiğini söyledi. Atomun parçalanacağını söz etti ve nükleer enerjiye işaret etti.

Cabir, kimya bilimine ve kimya teknolojilerine olduğu kadar bilimsel düşünce sistemine yaptığı katkılar ile dikkat çekmektedir. Deneyselliğin ve yapılan deneylerin sonuçlarının kati olmayacağını savundu. Bilimsel düşüncenin özelliklerini açıkladı. Bilimde deneysel çalışmaları ve gözlemi merkeze oturttu. Bilimsel çalışmaların temeli olan şüpheciliği şahsında toplayan ve uygulayan bir alim olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu çalışmada Cabir'in ilmî ve düşünce hayatı ile buluşları ele alınmaktadır. Ayrıca, Câbir'in Kimya'yı temel alıp ortaya koyduğu düşünce sistemi bilim tarihçilerinin gözü ile sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Cabir Bin Hayyan, Fuat Sezgin, kimya bilim tarihi, bilimsel düşünce, kimyasal teknolojiler



ABSTRACT

Jabir bin Hayyan is a founding and pioneering scientist in the Medieval Islamic World. He is known as the father of chemistry. Jabir produced the classification of substances, precision measuring instruments used in chemistry, scales, instruments used in experiments, and revealed how to use them. He is the owner of hundreds of works in the fields of science in which he works.

Jabir described and applied the practices and techniques that are the basis of laboratory operations. Evaporation, sublimation, melting, condensation, crystallization, distillation, calcination (roasting), filtration, purification, oxidation are some of these techniques. He developed the retort, which facilitated distillation. He contributed to the development of casting techniques with his work on metal refining and steel preparation. Its substances were classified as gases, metals and minerals. He explained the gas-pressure relationship. He established the first chemistry laboratory. He used the precision scale. He implemented the units of weight and measure. He explained the use of the water bath and the chemical furnace. He prepared fabric and leather dyes and hair dyes. He made varnishes that made the fabric waterproof and protected the iron. He used manganese dioxide for the production of colored glass; and iron pyrite to write in gold. He made researches on glazing tiles and ceramics and developed products. He developed a type of paper that does not burn in fire and ink that can be read at night. The refining of metals and the preparation of steel contributed to the development of casting techniques.

Cabir Bin Hayyan made determinations showing the atomic structure of substances and said that certain amounts react with certain amounts in chemical reactions. He talked about the splitting of the atom and pointed to nuclear energy.

Cabir draws attention with his contributions to the science of chemistry and chemistry technologies as well as to the system of scientific thought. He argued that experimentation and the results of experiments would not be conclusive. He explained the features of scientific thought. He put experimental studies and observation at the center of science. He appears as a scholar who collects and applies skepticism, which is the basis of scientific studies.

In this study, Cabir's scientific and intellectual life and discoveries are discussed. In addition, the system of thought that Câbir put forward based on Chemistry is presented through the eyes of science historians.

Keywords: Cabir Bin Hayyan, Fuat Sezgin, history of chemistry science, scientific thought, chemical technologies

1. Giriş

Bilim tarihi, bilimin ekonomik, siyasi, dini ve toplumsal bağlamla ilişkisini araştıran bir disiplindir. Bilim sürekli toplumsal değerler ile olan etkileşim içinde olduğundan bilim tarihi dersleri kültürel, dini ve ahlaki değerlerin fertlere kazandırmasında önemli bir yere sahiptir.[1]

Bilim tarihi aynı zamanda bir toplumun bilime ne zaman ve hangi durumda katkı yapabildiğini örneklerle ortaya koyar. Bu katkılar yapılırken bilim adamlarının nasıl bir çaba içine girdikleri, kullandıkları yöntemleri, araç ve gereçleri de göz önüne serer. Elde edilen bilimsel sonuçların uygulamaya nasıl geçirildiği, bunların insan yaşamında ne gibi değişikliklere yol açtığı daha iyi görülür. Dolayısıyla bilim tarihi ve bilim felsefesi ile birlikte sunulan bilimi eğitimi bilimin değerini ve önemini ortaya çıkarır. Bu da öğrenci motivasyonunu artırır.

Ülkemizdeki güncel öğretim programlarının genelinde benimsenen felsefe milli değerlere ve kültürel farkındalıklara atıf yapılmasını öngörür.[2] Bu atıflar dikkate alındığında, öğrencilere kültürün ve değerlerin kazandırılmasında bilim tarihinin önemli bir araç haline geldiği daha iyi anlaşılmaktadır. Ne varki ders ve müfredatlarda bilim ve kültür ilişkisinin gereği gibi kurulamadığı tartışılmaktadır. Özellikle ders konuları verilirken bilim tarihi ve bilim felsefesi yeterli ve doğru bir şekilde sunulmamaktadır.[3]



Kendi tarihimize ait bilim adamlarının müfredatta ve ders kitaplarında yeterli bir şekilde yer almadığı genel bir kanaattir. Bilim tarihçisi Fuat Sezgin yoğun ve kapsamlı çalışmalarıyla Müslümanların bilime yaptıkları katkıları ve Türk İslam bilimcilerinin bilimsel alandaki buluşlarını belgeleri ile açığa çıkarmıştır. Bilimdeki çoğu buluş ve gelişmeler Rönesansla birlikte Batıda/Avrupa'da başlamadı. Bilimsel çalışmalar, 8.-16. Asırlar arasında Müslümanlar tarafından gerçekleştirildi. Batılılar da Müslümanlardan öğrendiler. Ancak ne varki, bu gerçekler ders kitaplarına henüz yeterince yansıtılmamıştır.

Bu çalışmada, kimya biliminin kurucusu olarak bilinen Cabir bin Hayyan'ın hem bilimsel metot ve bilim felsefesine hem de kimya bilim ve teknolojilerine getirdiği yenilikler ele alınacaktır.

Bilimsel çalışmalar, bilimsel metotlar kullanılarak yapılır. Bu amaçla dikkatli gözlem ve deneylere ihtiyaç duyulur. Herkesle aynı evreni gözlemliyoruz. Her bir araştırmacı/gözlemci, gördüğünü başkalarına da gösterebilmesi gerekir. Hepimiz aynı evreni ve tabiatı paylaştığımız ve algıladığımızı göre, bir işbirliği içindeyiz. İmece usulü ile çalışıyoruz. Ortak çalışma ile fen bilimleri tüm insanlığın ortak malı haline gelir.

Câbir tabiat bilimlerinde deneysel metodun önemini kavramış ve bu metodu bütün çalışmalarında uygulamış bir bilim adamı olarak karşımıza çıkmaktadır. Onun, "Bu kitapta duyduklarımızı, bize söylenenleri yahut okuduklarımızı değil ancak tecrübe ettikten sonra gözlediğimiz şeylerin özelliklerini zikrettik"[4] şeklindeki ifadesi meşhurdur. Ortaçağ kimyacılarının büyük ölçüde Câbir'in tesirinde kaldığını görüyoruz. Ebû Bekir er-Râzî (865 - 925), ve İbn Sînâ (980 – 1037) başta olmak üzere bir çok filozof ve bilginler onu üstad olarak tanırlar. Deneysel bilimi sistemleştirme üzerine çalışmaları ile Roger Bacon (1219/1220 - 1292) ondan "üstatların üstadı" diye söz etmiştir.[5] Francis Bacon, bilimsel metodu onun eserlerinden öğrendiği ve Dekart'ın ise onu taklit ettiğine bildirilmektedir.[6]

Deneyselliğe verdiği önemi ortaya koyan şu sözü meşhur olmuştur: "Kimya ilmindeki ilk mühim husus, pratik uygulamalar yapman ve deneyler yürütmendir, zira pratik tatbikatta yahut da deneysel çalışmalarda bulunmayan kişi, ilmin en alt seviyelerine dahi erişemez. Ey oğul, deneyler yap ki ilmi elde edesin. Alimi ellerindeki maddenin bolluğu değil, deneysel yöntemlerindeki mükemmellik mesut eder".□

1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmada Cabir bin Hayyan'ın bilimsel çalışmalarını, bilimsel düşünceye getirdiği yenilikleri ele alacağız. Cabir bin Hayyan üzerinde en kapsamlı çalışmayı bilim tarihçisi Fuat Sezgin yapmıştır. Fuat Sezgin hoca Akademisyen olarak yer aldığı Frankfurt Üniversitesinde Câbir bin Hayyân konulu doçentlik (habilitasyon) tezi hazırladı (1965, Institut für Geschichte der Naturwissenschaften) ve bir yıl sonra profesör unvanı kazandı.[7]

Ailesi hakkında çok az bilgi bulunan Cabir bin Hayyan 721 yılında Eczacı bir Türk babanın çocuğu olarak dünyaya geldi. Doğum târihi kesin olarak bilinmemekte ve yaklaşık 815 (H. 200) yılında 96 yaşında vefat ettiği kabul edilmektedir. Bir rivayete göre asıl ismi Kayahan'dır. Horasan'ın Tus kentinde doğmuş, küçük yaşta ailesi ile birlikte Kufe'ye göç etmiştir. İlk hocası, 6. İmam olarak bilinen Cafer-i Sadıktır. Bilimde ilham kaynağının Cafer-i Sadık olduğunu kendi eserlerinde özellikle belirtmektedir. İmam'ın 765 yılında ölmesi üzerine, Harun Reşid döneminde Abbasilerin hizmetine girdi. Cabir, kısa sürede Harran Üniversitesi'nde bugünkü rektör makamına tekabül eden reis-ül müderrisin olarak çalışmalarına devam etti.

Cabir bin Hayyan'ın kimya, tıp, fizik, astronomi, felsefe alanında yazdığı 1000'i aşkın kitabı vardır. Kitaplarının çoğu uygulamalı fizik ve kimya, teorik kimyaya aittir. Fizik, kimya, matematik, astronomi ve dinler tarihi konularında da kitapları vardır.[8]

Her ne kadar Câbir'in çalışmaları tıp, astronomi, matematik, felsefe ve dönemin diğer ilim alanlarına yayılmışsa da o birinci derecede bir kimyacı olarak kabul edilir. Onun kimya tarihindeki seçkin yerini ilk tesbit eden ve kimyayı sistemli bir deneysel bilim haline getirdiğini ilk gören İngiliz Bilim tarihçisi Eric John Holmyard'ın (1891–1959) olduğunu söyleyebiliriz. Bu araştırmacı, ilimler tarihinde Câbir'in yalnız kimyacı değil ayrıca tabip, filozof ve astronomi bilgini sıfatlarıyla da özel bir yere sahip olduğu görüşündedir. Alman kimyacı ve bilim tarihçisi Edmund Oscar von Lippmann (1857 – 1940) Câbir'in kimya tarihindeki yerinin Robert Boyle (1627-1691). Joseph Priestley (1733-1804)ve Antoine Lavoisier (1743-1794 gibi modern kimyanın kurucuları ile denk olduğunu söylemektedir.[9]



2. Cabir'in Buluşları ve Teorileri

Cabir bin Hayyan hakkında en kapsamlı çalışmaları Fuat Sezgin'in yaptığını belirtmiştik. Sezgin, Hayyan'ın kimya bilimine katkısını ve seviyesini şu ifadelerle özetlemektedir:[10]

"Cabir, İslam dünyasına katılan kültür merkezlerinden bazı hocalardan ve kitaplardan kimya bilimini öğrendi. Bu bilimin Cabir'de vardığı yüksek düzey, bize ulaşan kitaplarından kolaylıkla takip edilebiliyor. O karşımıza sayısal ve deneysel temellere dayanan, sonraki çok küçük katkılar bir tarafa, kimya bilimini ancak 18. ve 19. yüzyıllarda aşılacak bir düzeye getirmişti. O, zamanla kimyanın dışında, alanını bütün doğal ve filozofik bilimlerle genişletmiş bir doğa filozofu olarak karşımıza çıkıyor. O bütün evrenin matematiksel ölçüler esasına dayandığını düşünüyor, bunu "mîzan" diye adlandırıyordu. İnsanın evrenin bütün sırr perdelere yırtabileceğine, kimyasal yoldan, hayvan ve insan yaratılabileceğine inanıyordu."

Cabir bin Hayyan 'ın çoğu kaynaklarda ye alan bilimsel ufku ve bilimsel düşünceye getirdiği yenilikleri şu şekilde özetleyebiliriz:

Cabir bin Hayyan, bütün ilimler tarihinde, özellikle kimya alanında ilk defa laboratuvar kuran ve ilk defa müşahade ve deney yolunu bilimsel araştırmaya kazandıran ilim adamıdır. Cabir bin Hayyan'ın hem tahayyül, hem de teori (nazariye) ve deney/tecrübe sahasına getirdiği yeni açıklama yaklaşımları ile şaşırtmaktadır. 20. Yüzyılda ancak gündeme gelen, gerçekliğine ulaşılan konuları gündeme getirdi. Mesela bilimsel çalışmalarla canlılarda bile değişiklikler yapabilir demiştir. Bu düşüncesini şu sözlerle açıkladı: "Allah bize fizikî kanunlar vermiştir. Bunlarla bitki, hayvan hattâ insandaki benzerini yapabiliriz. Allah beşere öyle kabiliyetler bahşetmiştir ki, beşer, kâinattaki bütün sırr perdelere bunlarla çözmeye muktedirdir."

Cabir'in ancak 20. Yüzyılın sonlarında gündeme gelen genetik biliminin sınırlarını çizen açıklamalara nasıl ulaştığı tartışılmaktadır. Cabir bu düşüncelere ulaşmasında onun bütün tabii olay ve özelliklerin sayı kanunlarıyla ve matematikle halledilebileceği düşüncesi bulunduğunu söyleyebiliriz. Eşyanın özelliklerinin ölçülemeye elverişli olduğunu ve bu özelliklerin sayısal nispetlere dayandırılabilirdiğini görmüş ve ifade etmiştir. Şu sözü bu konuda dikkat çekicidir:

"Kimyasal olaylar tabiatta Cenab-ı Hak'ın takdiriyle meydana gelmektedir. Kimyager, tabiatta meydana gelen kimyasal tepkimeleri gerçekleştiren kişidir. Bilim adamı, keşfedilmiş bir buluştan yola çıkarak başka buluşlar ortaya çıkarabilen insandır"

Cabir bin Hayyan'ın genetik biliminde olduğu kadar nükleer bilim hakkında da ilk sözü söyleyen ilim adamı (alim) olarak bilinir. Yunan filozofları atom parçalanamaz (cüzî layetecezza) demiştir. Cabir ise aksine atomun da parçalanabileceğini ve onun enerji dolu ve hareketli olduğunu söyledi. Hayyan'ın atom yerine "zerre" kavramını kullandığını görüyoruz.[11] Zerreinin parçalanması sonucunda ortaya muazzam bir enerji çıkacağını ifade etti. Şu sözü meşhur olmuştur:

"Yunanlıların atom dedikleri 'cüz-i la yetecezza' da parçalanır ve bundan enerji hasıl olur. Bu öyle bir enerjidir ki, benzetmek gibi olmasın, Allah'ın kudreti gibidir. Bir habbeciğin bu şekilde parçalanması Allah göstermesin, Bağdat gibi bir şehiri yok edebilir."

Cabir zerre yani atom/element üzerinde yaptığı çalışmalarla Yunanlı bilginlerin "atom maddenin parçalanamayan en küçük birimidir" tezlerini çürütmektedir. "Her zerrede bir hareket vardır, gökteki yıldız ve gezegenlerin hareketinde olduğu gibi. Her maddenin en önemli özelliklerinden biri harekettir. En küçük zerrelere bile bir hareket vardır ve bu onların en küçük özelliğidir. Durma ve hareketsizlik diye bir şey yoktur. Hareket kâinatın biricik Yaratıcısının yaratıştaki sanatıdır."

2.1 Cabir'in Kimya Bilimi ve Endüstriyel Kimya Alanındaki Çalışmaları

Fuat Sezgin'in İslam Uygarlığında Mimari, Geometri, Fizik ve Kimya kitabında da yer alan Cabir'in buluşlarına dair bilgileri şu şekilde özetleyebiliriz: [12]

Câbir bin Hayyan'ın cevherleri ayrıştırarak hangi temel elementlerden oluştuklarını belirleyebilmek için damıtma, kristallendirme, süzme ve buharlaştırma gibi farklı yöntemler uyguladı. Bu amaçla çeşitli laboratuvar araç ve gereci kullandı. Hidroklorik asit, nitrik asit, sitrik asit (limonda ve portakalda



bulunur) ve asetik asit (şirkede bulunur) gibi maddeleri keşfetti. Asitleri nötrleştiren maddelere “alkali” adını verdi. Asitlerin nötrleşmesi için belirli miktarda alkali (baz) gerektiğini keşfetti. Keşfettiği asitler yanında altını çözen kral suyu (nitrik asit + hidroklorik asit karışımı) üretim yollarını gösterdi. Altın ve civa elementlerinin saflaştırılma metotlarını ortaya koydu. Tuzları suda çözünen maddeler olarak sınıflandırdı. Şapı kristallendirme ile saflandırdı. Civa oksit, gümüş nitrat, arsenöz asit, sitrik asit, tartarik asit ve potasyum nitratın üretilmesi gibi daha başka kimyasal maddelere ait üretimi ve hazırlanması için teknik ve yollar geliştirdi.

Câbir bin Hayyan'ın yirmiden fazla laboratuvar araç gereci kullandığı biliniyor. Ayrıca Câbir bin Hayyan ile ilgili Latince kaynaklar arasında yer alan ve kimyasal fırın resimlerinin bulunduğu Liber florum Geberti isimli kitapta kimyasal fırın modellerine yer verildiğini belirtiyor.[13] İslam Bilim ve Teknoloji Tarihi Müzesinde bu aletlerin benzerleri yapılmış ve orada sergilenmektedir.[14]

Özetle belirtecek olursak, Cabir bin Hayyan, kantitatif ve kalitatif prensiplere dayanan bir bilim olarak kimyanın kurucusudur. Sülfürik asid, nitrik asid, sodyum karbonat ve potasyumun mucididir. Zehirli ve zehirli maddelerin yapılarını inceledi. Bu konuda edindiği tecrübelerini Kitâb-üs-Sümum adlı eserinde topladı.

Dr. Sigrud Hunke (Alman felsefe doktoru, 1913- 1999) Câbir için şunları söyler: “Madenlerin o zamana kadar bilinen basit eritme metotları yerine, Câbir, bizzat ürettiği nitrik asit, sülfirik asit ve altın eritme suyunun yardımıyla eritme metotları geliştirdi. Bu sayede Câbir ve ondan sonra gelenler sayısız sentezler yaptılar. Bunlardan: Civa oksit, zincifre (kırmızı kurşun oksitin eski adı), arsenik, amonyak, gümüş nitrat, şap, göztaşı ve yakıcı potas gibi daha başka birçok terkip elde ettiler.”

Cabir keşfettiklerinin topluma nasıl yansıtılacağına dair durmadan kafa yoran bir araştırmacı oldu. Cabir'e göre tabiat insanlar için her türlü teknolojik sırları barındırmaktadır. Bir temel bilim olan kimya gündelik uygulamalara yansıdığı ölçüde faydalı olacaktır. Cabir deneysel çalışmaları ile saç boyaları hazırlıyor, kumaşı su geçirmez yapan ve demiri koruyan cilalar icad ediyordu. Cam üretiminde manganez dioksiti; altın renginde yazı yazmak için demir piriti kullanıyordu. Ateşte yanmayan bir tür kâğıt ile gece okunabilen mürekkep geliştirmiştir. Bitkilerden elde edilen sıvılarla derilerin nasıl boyanacağını ve nasıl sepileneceğini (dabağlanacağını) gösterdi. İlk imbiği yapan ve kullanan Cabir bin Hayyan'dır. Kimyasal Özellikler üzerine büyük kitabında ağırlık ve ölçü birimleri, kimyasal bileşikler ve boyalar gibi konular yer almaktadır. Bu eserlerde su banyosunun ve kimyasal fırının kullanımı açıklanmaktadır

Cabir, deney yoluyla elde edilecek bilgi ve prensiplerin kati ve değişebileceğini; bilginin araştırma ile yanlışlanabilir yada doğrulanabilir olduğunu biliyordu. Bilginin kesin değil ihtimallere dayandığı üzerinde durdu (zannî ve ihtimalî). Metodunun esasının 'mazbut müşahede ve sağlam tecrübe' olduğunun altını çizmiştir. Bu yaklaşım bugün modern bilim çalışmalarının temelini teşkil ettiğinden Cabir'in deneysel çalışmada bilimsel metodun ilk uygulayıcısı olduğu kabul edilir.

2.2 Katlı Oranlar ve Sabit Oranlar Yasaları

Cabir'e göre, madde zerre denen parçacıklar halindedir. Kimyanın görevi ise bu zerreleri birbirinden ayırmak ya da birbiriyle birleştirmektir. Onun sözünü ettiği bu parçacıklar maddenin eskiden beri bölünmez, parçalanmaz sayılan en ufak ögeleri, yani atomlardır. Daha genel anlamda bileşikler ve minerallerdir.

Cabir bin Hayyan'a göre, inceleme konusu her maddenin kimliği, elementlere yönelik çözümleme yöntemiyle belirlenebilir. Ona göre, her element yada bileşik olsun saf madde kimliğini korur. Her hangi bir örneğin değişik görünmesi onun temsil ettiği maddenin değişikliğini değil, yabancı bir madde ile karıştığını gösterir. Böylece Cabir'in çalışmaları ile kimyasal dönüşüm anlayışı belirli bir temele oturdu.

Bilindiği üzere, kimya sanayinde stokiyometri bilimi, bir kimyasal maddenin istenen miktarda üretimi için her bileşen maddeden ne kadar gerekli olduğunun belirlenmesine dayanır. Cabir'in keşfi ile bu belirleme işi “el yordamı” dediğimiz sınama-yanılma yönteminden kurtulmuş oluyordu.

Hulasa, Cabir'in atom modellerinin iki yasaya dayandığını söyleyebiliriz. Bunlar; (I) Kütlelerin korunumu yasası ve (II) sabit ve katlı oranlar yasalarıdır. Sabit oranlar yasası, bir bileşiği oluşturan elementlerin



kütleleri arasında değişmeyen bir oranın olduğunu söyler. Kütlenin korunumu ise reaksiyon sonrasında oluşan ürünlerin miktarı kadar ürün hasil olur. Bu o zamana kadar bilinmeyen şeydir.

Bilim tarihçisi Leicester bu buluşların (kütlenin korunumu ve sabit oranlar yasası) önemine dikkat çeker: Bu o kadar önemliydi ki birincisi, kimyasal cisimlerin, bir dizi temel özelliğin belli oranlarda birleşiminden meydana geldiğini, ve eski Yunanlıların bu konudaki düşüncelerinin aksine, bu temel özelliklerin ayrıştırılarak belli oranlarda tekrar birleştirilebileceğini ve böylelikle yeni cisimler meydana getirilebilir.[15]

Bileşiklerde elementlerin sayılarla ifade edilen oranda olduğu, reaksiyonların maddelerin gelişigüzel değil belli oran ve miktarlarda birbiri ile etkileştiğini şu sözleri ile ifade eder:

“Nesnelerin özellikleri (havâss), özellikle kimya alanında, ölçülebilirdir ve sayısal olarak tespit edilebilir oranlara dayanmaktadır. Mesela, mürdeseng (Cabir kurşun oksidi) eklenmesiyle sirke, ekşi tadını kaybediyorsa, sirke aslında sayılarla ifade edilebilir belirli bir bileşime sahip demektir. Bu örnekte mürdesengin yeteneği, sirkeyi başkalaştırması tesadüfi değildir, bilakis cismin iç özelliklerine bağlıdır ve bu keyfi başkalaştırma kimyasal işlemin (tedbîr) görevidir.”[16]

Halbuki bileşik oluştururken oluşan yada kırılan ve teşkil olunan bağ sayısı gibi atomun içi ile ilgili özellikler gerçek anlamda 20. Yüzyılın başlarında gelişmeye başladı. Çünkü bu yüzyıla kadar atomun içi bir muamma idi.

2.3 Sınıflandırmaya ve Ölçüye Dayalı Kimya

Maddeler üzerinde ilk sınıflandırma çalışmalarını da o yaptı. Cisimleri hassalarına göre üç sınıfa ayırdı. Bu tasnif daha sonraki sınıflandırmalara rehberlik etti. Cabir'in maddeleri üçe ayırması günümüz sınıflandırması ile büyük benzerlik gösterir:

(I) Kükürt, arsenik, cıva ve amonyum klorür gibi ısıtıldıklarında buharlaşan maddeler (uçucu cevherler); (II) altın, gümüş, kurşun, bakır, demir gibi metaller; (III) şekillendirilemeyen ancak dövülerek toz haline getirilebilen maddeler (tuzlar, minaraller). Câbir bin Hayyan'ın bu görüşü, elementlerin metaller ve metal olmayanlar şeklinde sınıflandırılmasının başlangıcı oldu.

Kimya ilminde kullanılan hassas ölçüm aletlerini keşfi de yine Cabir bin Hayyan'a aittir. Deneylede kullanılan aletlerin imalini gerçekleştiriyor; onların nasıl kullanılacağını da gösteriyordu. Takribi 1 kilograma denk gelen ağırlık biriminden, 6,480 kat daha küçük ağırlıkları ölçebilen bir hassas terazi de yine Cabir'in buluşları arasındadır.

2.4 Bilim Tarihçileri Ne Dedi?

Bilim tarihçisi Esin Kâhya'nın hazırlayıp sunduğu kitaptan [17] Câbir İbn Hayyan'ın bilimsel cephesini bilime katkılarını geniş bir şekilde öğrenme fırsatı buluyoruz. Cabir üzerine yoğun araştırma yapanlardan birisi de bilim tarihçisi Eliezer Paul Kraus'tur (1904 –1944). Kendisi hem Câbir'in eserlerini doğru olarak yayımlamaya çalışmış; hem de eserleri ve fikirleri üzerinde yorumlar yapmıştır. Çalışmalarını kitap halinde neşretmiştir. Cabir üzerinde Keza Pierre Lory, Paul Kraus, Lory, H. Corbin yanında daha başka bilim tarihçilerinin araştırmaları bulunmaktadır. Tüm bu çalışmaları topluca değerlendiren bir çalışmayı ise Süleyman Hayri Bolay yapmıştır.[18]

Cabir üzerine en kapsamlı çalışmaları yapan Fuat Sezgin şunları söylemektedir: “Müslümanlar hicri 2. yüzyılda jimya ilmini bir tecrübi ilim olarak kurdular. Bunu kuran adam büyük bir şahsiyet, büyük bir bilim adamıydı Câbir İbni Hayyân. Câbir İbni Hayyân'ın kitapları 12. yüzyılda Avrupa'ya intikal etti, ona Geber diyorlardı. Bu adamcağız Kimya ilminde öyle bir ilerleme kat ediyor ki ancak bundan sonra 18. ve 19. yüzyılda ona ilave edilebilecek yeni bazı kıpırdanmalar görüyoruz”[19]

Kimya tarihçileri Cabir'in “Kimyanın Atası” olduğu fikrinde birleşir. Kimya tarihçisi E. J. Holmyard (1891–1959) “Cabir, kimyaya Boyle ve Lavoisier kadar katkı yaptı” demektedir. Bilim tarihçisi ve arkeolog M. Mayerhoff, “Avrupa'da kimyanın gelişmesi doğrudan Cabir'e dayanır” demiştir.

Roger Bacon (1214-1291) kimya konusundaki buluşlarının Joseph Priestley (1733-1804) ve Antony Lavoisier'den (1743-1794) daha önemli olduğunu söyler.



Modern kimyanın temeli sayılabilecek deneysel çalışmalar Cabir bin Hayyan'ın yanında Zunnûn-i Mısıf (öl. 860), Raâzî (860- 925), İbni Sînâ (980-1037) ve Mecritî (?-1007) kimya alanında önemli çalışmalar yaptılar.

Kimya ilmi 12. Yüzyıldan itibaren Avrupa'ya ulaşmaya başladı. Avrupalılar, Latin Dünyası "Geber" yani Câbir isimi altında yüzlerce kitap piyasaya sürdüler. Bunları araştırdığımızda Câbir Hayyan'ın kitaplarının bir kısmının değiştirilmiş olduğunu yada küçük ilaveler yapılmış şekillerini görürüz.

Bilim tarihçisi Henry M. Leicester'in The Historical Background of Chemistry adlı kitabında kimya biliminin gelişmesine Müslümanların katkısının birkaç bakımdan önemli olduğu belirtilir. Yazar bunları şöyle sıralar: Birincisi, ilk defa Câbir bin Hayyân'ın eserlerinde görüldüğü gibi, kimyasal cisimlerin, bir dizi temel özelliğin belli oranlarda birleşiminden meydana geldiği görüldüğü gibi, eski Yunanlıların bu konudaki düşüncelerinin aksine, bu temel özelliklerin ayrıştırılarak belli oranlarda tekrar birleştiği ve böylelikle yeni maddeler meydana geldiği keşfedildi. Bu buluşlar kimyaya hem analitik, hem de sentetik bir araştırma metodu getirmektedir. İkincisi, cisimlerde bu özelliklerin belli bir denge/oran (=mîzân) içerisinde bulunduğu ele alınmıştır. Üçüncüsü, ve belki de en önemlisi, yapılan deneylerin anlatımlarında modern bir kimya deneyinin bütün unsurlarını görebiliriz. Mesela Mecritî'nin civanın oksitlenmesi üzerine yaptığı deney vardır. Bu deneyde, klasik bir kimyasal reaksiyonda olması gereken hemen her öge yer almaktadır: a) Reaksiyona giren maddeler, b) miktarları, c) reaksiyon şartları, d) reaksiyon sonunda elde edilen maddeler/ürünler ve e) miktarları.

Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794) 1774 yılında yazdığı Kimya Bilimine Giriş (Troite Elementaire de Chimee) adlı eserine göz attığımızda gördüğümüz şudur: Ne yeni bir kimyasal madde/bileşik adı vardır; ne de kimyaya ait yeni bir kavram ifade eden bilgiler vardır. Lavoisier'in bu eserinde sadece kendisinden önce var olan kimya bilgilerini sistematize etmiş; yeniden açıklamıştır. Bilinen kimyasal madde ve bileşiklere yeni semboller vermiştir.

3. Sonuç ve Değerlendirme

Sonuç olarak, Cabir ölçü ve tartı işlemlerini ustalıklı kullanmış ve element kavramına dair yeni bir bakış açısını getirmiş kimyada deneysel çalışmaların kurucusu olmuştur. Ayrıca atomun parçalanamaz oluşu tezini ilk kez reddeden kişi Câbir olmuştur. Su geçirmez kâğıt ve paslanmaz çeliğin mucididir. Platin ve altının çözülmesini sağlayan kral suyunu elde ettiği bilinmektedir. O'nun tarafından ilk kez kullanılan bazı bir çok kimya tabirleri günümüzde de hâlâ kullanılmaktadır. Araştırmalarını matematik ve deneyin sentezi halinde sunan Câbir, kimyayı madde dönüştürme sanatı olarak ortaya koymuştur. İmbikler, tüpler, fırınlar gibi pek çok laboratuvar malzemesini ilk defa icat etmiştir. Deneylerde kullanılabilecek aletlerin imalini gerçekleştirdi. Kullanış yollarını izah etti.

Câbir bin Hayyân'ın en önemli vasfının deneycilik olduğunu söyleyebiliriz. Kimya ilminin hem teorik hem de uygulama alanında temelleri atıldı. Dünyada ilk kimya laboratuvarını kuran âlim olarak bilinmektedir. Deneylerde kullanılan hassas ölçü aletleri yaptı. Kimyasal maddelerin dönüşümlerde (reaksiyonlarda) özelliklerini kaybetmeksizin birleştiğini söyleyerek element tanımına katkıda bulundu. Saf element eldesi yolunda çalışmalar yürüttü.

Kendinden sonra gelen bilim adamları, onu modern kimyanın kurucusu ve babası olarak kabul etmişler ve Cabir'in buluşlarını ve düşünce sistemini daha ileri götürmeye çalışmışlardır. Bunlar arasında, Ebu Bekr Râzî, İbn-i Sina, Mesleme El-Macriti, Farabiyi sayabiliriz. Eserleri; asırlarca İslam medreselerinde okutuldu, Bu bilim Endülüs devleti vasıtası ile de Batıya geçti. Deneylerde terazi ve ölçüm aletlerinin yaygın olarak kullanılması, deneylerde maddeler arasında sayısal ilişkilerin görülmesi ve dikkate alınması, teorilerin deney sonuçlarıyla test edilmesi ve ilişkilendirilmesi gibi modern kimyanın başlangıcını teşkil eden konular 18. Yüzyılda yeniden gündeme geldi. 18. Yüzyıla geldiğimizde Robert Boyle, Antoine Lavoisier ve John Dalton gibi bilim insanları Cabir bin Hayyan gibi İslam bilimcilerinin buluşlarını yeniden ele aldılar ve tanımladılar. Aslında bu bilim adamlarının buluşlarında bir yenilik yoktur. Bunların çoğu buluşları Cabir'in buluşlarının tekrarı niteliğindedir.



4. Sonuç

Sonuç olarak Cabir'in çalışmaları ile atom ve element öğretisi felsefi olmaktan kurtuldu, bilimsel, daha özeldi ise kimyasal bir kimlik kazanmaya başladı.

O dönemlerde siyama yaygındı. Sihir ile Simya iç içe idi. Cabir, simyanın hakim olduğu bir dünyada doğayı ve doğal güçleri deney-gözlem ve akılla kavramaya, anlamaya çalışan ilk modern kimyacı oldu. Bu çalışmalar ile sihir müspet ilmin dışına atılmış oldu. Bu suretle deney ve tecrübeye dayanan modern kimyanın temelleri atıldı.

Cabir kimyaya katkıları kadar bilimsel düşünce sistemine yaptığı katkılar ile de dikkatleri üzerine toplamaktadır. Onu büyük kılan ve ilmi hayatını tamamlayan onun tefekkürü yahut düşünce hayatı olmuştur.

O, deney yoluyla elde edilecek bilgi ve prensiplerin kat'i ve değişmez olduğunu iddiâ etmedi. Aksine modern bilim çalışmalarında olduğu gibi, bunların zannî ve ihtimâlî olduğunu özellikle belirtti. Onun metodunun esâsını, "mazbut müşâhede ve sağlam tecrübe" teşkil etmektedir.

Cabir bin Hayyan bilimsel düşüncenin özelliklerini şahsında toplayan bir şahıs olarak karşımıza çıkmaktadır. Örneğin kendi çalışmalarında deneylerin ve tahlillerin geçerliliği konusuna sürekli şüphe duyan şüpheli bir kişiliğe sahipti. Her yeni gün başka bir şeyin keşfedileceğinin farkında olup deneylerin ve tahlillerin ihtimaller üzerine kurulu olduğunu dile getiriyordu. Böylece bilimsel çalışmaların temeli olan şüpheciliği en kuvvetli bir şekilde hayatında uyguluyordu.

Cabir'in yapmış olduğu ilmi tecrübelerinde şüpheciliği ve sorgulamayı esas aldığını ve çalışmalarının en ince ayrıntısına kadar izah ettiğini görüyoruz. Elbetteki çağımız teknolojisini kullanarak aynı eserleri yazsaydı, modern sonuçlara ulaşabilirdi. Çünkü o, tümevarım metodunu kullanıyordu; maddenin en küçük parçasını bulmaya çalışıyor analiz ederek sonuca ulaşıyordu. Dış gözlemlerinde ise tümden gelim metodundan da yararlandı. Yani maddenin tabii hâlden en küçük parçasına kadar inceleyerek sonuca vardı. Bilimsel metotları takip ettiği için hayal ve kuru faraziyelerle oyalanmamış, gerçek anlamda ilmi çalışmalar ortaya koymuş ve bilimde çığır açmıştır..

KAYNAKLAR VE DİPNOTLAR

-
- [1] TARHAN, M., ALTUN, E. Sosyal bilgiler ders kitaplarında yer alan bilim tarihi konularına yönelik bir değerlendirme. Uluslararası Alan Eğitimi Dergisi, 4(2) , 111-127, 2018. <https://doi.10.32570/ijofe.485218>.
- [2] SARITAŞ, D. , Fen bilimleri dersi öğretim programında bilim- kültür-bilim tarihi ilişkisi ve uygun bir ilişki için bazı kuramsal öneriler, Eğitimde Yeni Yaklaşımlar Dergisi, Cilt 3/Sayı 1, s. 28-38, 2020.
- [3] SARITAŞ, D, Bilimin sosyo-kültürel doğası bağlamında fen bilimleri öğretmenlerinin yerli ve yabancı bilim insanları hakkındaki bilgilerinin karşılaştırılması. Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi SBE Dergisi , 9(2), 720-735, 2019. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/nevsosbilen/issue/51363/605565>
- [4] Cabir Bin Hayyan, *Muhtâru Resâ'il* s. 232 (İslam Ansiklopedisi, Cabir bin Hayyan maddesi)
- [5] Celal SARAÇ, C., "Câbir İbni Hayyan Üzerine", *İstanbul Yüksek İslâm Enstitüsü Dergisi*, 1, İstanbul s. 4-15.). 1963.
- [6] Fuat Sezgin, Roger Bacon'ın deney yöntemini kendisinin kurmadığını, sadece sistematik olarak sunduğunu belirtir (Fuat Sezgin ile Bilim Tarihi Sohbetleri, s190). Bu konuda şöyle der: "Müslümanlara göre ne tecrübe ne de teori tek başına kâfidir. Tecrübe, eğer kendisinden evvel bir teori tarafından desteklenmiyorsa ilmî hiçbir neticeye ulaştırılmaz. Bu sadece bir bocalama ve uğraşmadan ibaret kalır. [...] Cabir b. Hayyan ve İbn Heysem gibi Müslüman bilginlerde tecrübe, çalışılırken sistematik olarak faydalanılan bir vasıta. Yani tecrübeyi tesadüfen değil de sistematik olarak kullanacaksınız ve bir teori tarafından desteklenmiş olacaktır." Farabi'de



“teoriden evvel hayal etmek çok mühimdir. Önce hayalinizde geliştireceksiniz, ondan sonra teori ortaya çıkacak, sonra da tecrübeyle desteklenecek.” (Fuat Sezgin ile Bilim Tarihi Sohbetleri, s117-118).

[7] Fuat Sezgin Frankfurt Üniversitesinde doğa bilimleri tarihi alanında akademisyen olarak görev yaptığından bu alanda bir habilitasyon çalışması yapmıştır.

[8] İbnü'n-Nedîm, el-Fihrist isimli kitabında Câbir'in eserlerinin biri büyük, diğeri küçük iki liste halinde bulunduğunu, büyük listede bütün eserlerinin, küçük listede ise yalnız kimya ile alakalı eserlerinin bulunduğunu belirtir. En-Nedîm, Câbir'in 300 felsefe, 300 mekanik ve 500 tıp kitabı ile sanatlar ve savaş araçları üzerine 1300 risâle kaleme aldığı anlatır. Simya konusunda yazmış olduğu 112 kitap, Antikçağ Helenistik dönem simyacılarına sıkça göndermelerde bulunur. Kimya sahasında 500 civarında eser bıraktığı bu kaynakta belirtilmektedir. Câbir'in yazmış olduğu bu eserlerin büyük çoğunluğu zamanla kayboldu. Avrupalı birçok araştırmacı, eserlerinin itibar görmesi için kitaplarını Câbir'in ismiyle yayınlamışlardır. Avrupa'da Câbir'in 27 eseri, çeşitli Batı dillerinde basılmıştır. Bu eserlerden en önemli 10 tanesi şunlardır: Kitâbü's-Seb'în fi'l-Kimyâ, Musannefât fi İlmi'l-Kimyâ, Kitâbü'l-Havâss, Esrârü'l- Kimya, Kitâbu 1-Hâlis fi'l-Kimyâ, El- Havâssü'l-Kebîr, Kitâbü'l-Kamer fi'l Kimyâ, El-İrşad fi't-Ta'bir, Risaletün fi'l Usturlab ve Amelühû, Kitâbü'l-Hudûd fi'l Kimyâ.

[9] SEZGİN, Fuat, GAS, IV, 231-269. (CÂBİR b. HAYYÂN - TDV İslâm Ansiklopedisi (islamansiklopedisi.org.tr)).

[10] SEZGİN, Fuat, “İslam'ın Bilimler Tarihindeki Yaratıcı Yerine Bir Bakış”, Adam Akademi, 2011/1: 89-98.

[11] Kur'an-ı Kerimde, atom veya element manasına gelen “zerre” tabirini kullanılır. İslam âlimleri de elementleri zerre olarak ifade etmişlerdir. “Ne iş yaparsan yap ve sizler ona dair Kur'an'dan ne okursanız okuyun; ne yaparsanız yapın; yaptıklarınıza daldığınız anda, mutlaka biz sizi görürüz. Yerde ve gökte hiçbir zerre Rabbinden gizli değildir. Bundan daha küçüğü veya daha büyüğü şüphesiz apaçık bir Kitap'tadır.” (Yunus, 10/61). Burada zerreden, yani atomdan daha küçüğü ifadesi ile atom altı parçacıklara işaret edildiği düşünülebilir.

[12] Sezgin, Fuat, " İslam Uygarlığında Mimari, Geometri, Fizik, Kimya (Saatler, Optik, Mineraller, Savaş Tekniği, Antik Objeler)", Boyut Yayıncılık, İstanbul, 2018.

[13] Cabir bin Hayyan tarafından geliştirilen bazı kimya aletlerinin resimlerine ve açıklamalarına şu linkten ulaşılabilir: Simyadan Kimyaya: Modern Kimyanın Doğuşu | TÜBİTAK Bilim Genç (tubitak.gov.tr.)

[14] İslam Bilim ve Teknoloji Tarihi Müzesi'nin açılışı 25 Mayıs 2008 tarihinde gerçekleşti. İstanbul'da Gülhane Parkı içerisinde bulunan müze yaklaşık 600 kadar eser ihtiva etmektedir. İslam bilim tarihi alanında kurulan bu müze, bilim tarihinin değişik disiplinlerdeki gelişimini, Müslüman bilim insanlarının yüzyıllar boyu insanlığa armağan ettiği icat ve keşiflerini kapsamlı şekilde sunmakta olup, kendi sahasında büyük bir yenilik arz etmektedir.

[15] LEICESTER, H. M., “The Historical Background of Chemistry”, Dover, New York 1971, s. 66.

[16] KAHYA, Esin, “Cabir Bin Hayyan”, Diyanet Yayınları, s101.

[17] KAHYA, Esin, “Modern Kimyanın Kurucusu Cabir b. Hayyan”, TDV yayınevi.

[18] BOLAY, Süleyman Hayri, “Düşünür Olarak Câbir Bin Havyan (isamveri.org)”, Felsefe Dünyası, 17, GÜZ 1995.

[19] ÖZDEN, Hacı Ömer, “Prof. Dr. Fuat Sezgin ve Geçmişten Geleceğe Türk- İslam Bilimine Katkıları”, Bilimname XXXIX, 2019/3, 7-3.



FPFS-KNN'NİN ENERJİ VERİMLİLİĞİNE BİR UYGULAMASI

Samet MEMİŞ

İstanbul Rumeli Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü,
İstanbul, Türkiye
sametmemis@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0958-5872

ÖZET

Günümüzde enerji verimliliği bütün kuruluşlarda önemli bir konudur. Gelişen teknoloji ile her alanda yapay zekâ ve makine öğreniminin kullanımı yaygınlaşmıştır. Bu çalışmada, makine öğreniminin enerji verimliliği üzerine bir uygulaması üzerine odaklanılmıştır. Son teknoloji bir makine öğrenimi yöntemi olan FPFS-kNN UCI veri tabanından elde edilen enerji verimliliği veri setine uygulanmıştır. İyi bilinen makine öğrenimi yöntemleri ile bir karşılaştırması yapılmıştır. Sonuçlar FPFS-kNN'nin diğerlerinden daha başarılı olduğunu göstermiştir. Son olarak, FPFS-kNN ve gelecek çalışmalar hakkında bir tartışmaya yer verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Esnek kümeler, *fpfs*-matrisler, Makine Öğrenimi, FPFS-kNN, Enerji Verimliliği

1. Giriş

İşletmelerdeki enerji yönetimi, 1970'lerden önce çok az ilgi gördü [1]. 1970'lerin enerji güvenliği konusunda endişeleri artıran ve daha fazla enerji verimli teknoloji ve uygulamalar için şiddetle baskı yapan petrol krizi, dönüm noktalarından biriydi [2]. Enerji kullanım manzarası şimdi 1970'lerin başında olduğundan çok farklı. Ekonomik ve çevresel faktörler, savurganlıktan kaynaklı kayıpları ve verimsizlikleri azaltmaya artan bir odaklanma ile enerjiji nasıl kullandığımızı dair düşüncemizde bir değişime neden oluyor [3-5].

Örneğin, enerji verimliliği için uygun temel performans göstergelerinin oluşturulması, performans ve ilerlemelerin toplanması ve izlenmesi için çok önemlidir. Bu endişeleri çözmek için bilimsel topluluk aktif olarak dahil olmuştur. Konuyla ilgili literatür kapsamlıdır ve endüstriyel enerji verimliliği ile ilgili çeşitli temaları kapsar [6,7]. Bu, sosyal veya ekonomik boyutları vurgulayan katkılara yalnızca teknik bir bakış açısıyla yapılan katkıları içeren, doğası gereği disiplinler arası bir alandır [8].

Son zamanlarda makine öğrenmesi yöntemleri birçok alanda uygulanmakta ve önemli başarılar elde etmektedir [9-15]. Bu çalışma, en yeni makine öğrenme yöntemlerinden biri olan bulanık parametrelili bulanık yumuşak *k*-en yakın komşuyu (FPFS-kNN) [16] enerji verimliliğine uygulamayı amaçlamaktadır.

Mevcut çalışmanın 2. Bölümü, aşağıdaki bölümler için gerekli olan temel tanımları ve gösterimleri sağlar. Bölüm 3, öncelikle enerji verimliliği veri setini ve özelliklerini sunmaktadır. Daha sonra karşılaştırma için performans ölçütleri sunulur. Daha sonra enerji verimliliği veri setine FPFS-kNN uygulanmış ve bilinen makine öğrenmesi yöntemleri ile karşılaştırılmıştır. Son olarak, FPFS-kNN ve daha fazla araştırmaya duyulan ihtiyaç tartışılmıştır.



2. Temel Kavramlar

2.1. Bulanık Parametrelili Bulanık Esnek Matrisler

Bu bölümde, ilk olarak, *fpfs*-kümeler [17] ve *fpfs*-matrisler [18] kavramları verildi. Bu çalışma boyunca, E bir parametre kümesi, $F(E)$ E üzerindeki bütün bulanık kümelerin kümesi ve $\mu \in F(E)$ olsun. Burada, μ bulanık kümesi (yani $\text{graf}(\mu) = \{\mu(x)x \mid x \in E\}$) ile gösterilir.

Tanım 1. [17] U bir evrensel küme, $\mu \in F(E)$, ve α , be μ den $F(U)$ 'ya bir fonksiyon olsun. O halde, α 'nın grafiği olan $\{(\mu(x)x, \alpha(\mu(x)x)) \mid x \in E\}$ kümesine U üzerinde E ile parametrelendirilmiş (kısaca U üzerinde) bir bulanık parametrelili bulanık esnek küme (*fpfs*-küme) denir.

Bu çalışma boyunca, U üzerindeki tüm *fpfs*-kümelerin kümesi $FPFS_E(U)$ ile gösterilsin. $FPFS_E(U)$ 'da $\text{graf}(\alpha)$ ve α birbirini teklikle ürettiğinden dolayı, bu notasyonlar birbiri yerine kullanılabilir. Bu nedenle, herhangi bir karışıklığa yol açmadığı sürece bir $\text{graf}(\alpha)$ *fpfs*-kümesi α ile gösterilecektir.

Örnek 1. $E = \{x_1, x_2, x_3\}$ ve $U = \{u_1, u_2, u_3, u_4\}$ olsun. O halde,

$$\alpha = \{(0.4x_1, \{0.4u_2, 0.7u_3, 0.4u_4\}), (0.2x_2, \{1u_1, 0.4u_2, 0.8u_3, 0.7u_4\}), (0.3x_3, \{0.4u_1, 0.8u_3, 0.5u_4\})\}$$

U üzerinde bir *fpfs*-kümedir.

Tanım 2. [18] $\alpha \in FPFS_E(U)$. O halde $i \in \{0, 1, 2, \dots\}$ ve $j \in \{1, 2, \dots\}$ için,

$$a_{ij} := \begin{cases} \mu(x_j), & i = 0 \\ \alpha(\mu(x_j)x_j)(u_i), & i \neq 0 \end{cases}$$

ile tanımlı

$$[a_{ij}] = \begin{bmatrix} a_{01} & a_{02} & a_{03} & \dots & a_{0n} & \dots \\ a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & a_{m3} & \dots & a_{mn} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots \end{bmatrix}$$

biçiminde yazılan $[a_{ij}]$ matrisine α 'nın *fpfs*-matrisi denir. Burada, eğer $|U| = m - 1$ ve $|E| = n$ ise $[a_{ij}]$ $m \times n$ tipindedir.

Çalışma boyunca, $FPFS_E[U]$ U üzerinde E ile parametrelendirilmiş tüm *fpfs*-matrislerin kümesini gösterebiliriz.

Örnek 2. Örnek 1'de verilen α 'nın *fpfs*-matrisi aşağıdaki gibidir:

$$[a_{ij}] = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.2 & 0.3 \\ 0 & 1 & 0.4 \\ 0.4 & 0.4 & 0 \\ 0.7 & 0.8 & 0.8 \\ 0.4 & 0.7 & 0.5 \end{bmatrix}$$

2.2. Bulanık Parametrelili Bulanık Esnek k -En Yakın Komşu (FPFS- k NN) Sınıflandırıcısı

Bu bölüm ilk olarak FPFS- k NN ile ilgili temel notasyonları şu şekilde özetlemektedir (daha fazla ayrıntı için [16]'ya bakınız): Mevcut çalışma boyunca $D := [d_{ij}]_{m \times (n+1)}$ enerji verimliliği ile ilgili bir veri matrisini temsil etsin ve son sütunu veri sınıflarını içersin. Burada, m ve n , sırasıyla D 'deki özelliklerin ve örneklerin sayısını temsil eder. $m_1 + m_2 = m$ olmak üzere $(D_{test})_{m_2 \times n}$, $(D_{train})_{m_1 \times n}$, ve $(C)_{m_1 \times 1}$ sırasıyla D 'den türetilen test matrisini, eğitim matrisini, eğitim matrisinin sınıflarını gösterebiliriz. $D_{i-train}$ ve



D_{i-test} sırasıyla of D_{train} ve D_{test} matrislerinin i . satırlarını gösterebilir. Benzer şekilde, $D_{train-j}$ ve D_{test-j} sırasıyla D_{train} ve D_{test} matrislerinin j . sütunlarını gösterebilir. $T'_{m_2 \times 1}$ matrisi D_{train} ve D_{test} matrislerinden elde edilen tahmini sınıf matrisini temsil eder. $I_m := \{1, 2, \dots, m\}$ ve $I_m^* := \{0, 1, \dots, m\}$ olsun.

Tanım 3. $[a_{ij}] \in M_{m \times n}(\mathbb{R})$ olsun. O halde, $[a_{ij}]$ 'nin özellik bulanıklaştırılmışı

$$\tilde{a}_{ij} := \begin{cases} \frac{a_{ij}}{\max_k a_{kj}}, & \max_k s_{k1} \neq 0 \\ 1, & \max_k s_{k1} = 0 \end{cases}$$

ile tanımlıdır.

Tanım 4. D_{train} $m_1 \times n$ boyutlu eğitim matrisi ve $C_{m_1 \times 1}$ eğitim matrisinin sınıf matrisi olsun. O halde,

$$f_{w_{1j}} := |P(D_{train-j}, C)|, \quad j \in I_n$$

ile tanımlı matrise Pearson korelasyon tabanlı özellik ağırlık vektörü denir ve f_w ile gösterilir.

Tanım 5. $u \in \mathbb{R}^n$ olsun. O halde,

$$\hat{u}_i := \begin{cases} \frac{u_i - \min_{k \in I_n} \{u_k\}}{\max_{k \in I_n} \{u_k\} - \min_{k \in I_n} \{u_k\}}, & \max_{k \in I_n} \{u_k\} \neq \min_{k \in I_n} \{u_k\} \\ 1, & \max_{k \in I_n} \{u_k\} = \min_{k \in I_n} \{u_k\} \end{cases}, \quad i \in I_n$$

ile tanımlı vektöre u 'nun normalleştirilmiş vektörü denir ve \hat{u} .

Tanım 6. $D = [d_{ij}]_{m \times (n+1)}$ bir veri matrisi, $i \in I_m$ ve $j \in I_n$ olsun. O halde,

$$\tilde{d}_{ij} := \begin{cases} \frac{d_{ij} - \min_{k \in I_m} \{d_{kj}\}}{\max_{k \in I_m} \{d_{kj}\} - \min_{k \in I_m} \{d_{kj}\}}, & \max_{k \in I_m} \{d_{kj}\} \neq \min_{k \in I_m} \{d_{kj}\} \\ 1, & \max_{k \in I_m} \{d_{kj}\} = \min_{k \in I_m} \{d_{kj}\} \end{cases}$$

ile tanımlı matrise D 'nin sütun normalleştirilmiş matrisi (özellik bulanıklaştırılmış matrisi) denir ve $\tilde{D} = [\tilde{d}_{ij}]_{m \times n}$ ile gösterilir.

Tanım 7. $(D_{train})_{m_1 \times n}$ $D = [d_{ij}]_{m \times (n+1)}$ den elde edilmiş eğitim matrisi olsun. O halde,

$$\tilde{d}_{ij-train} := \begin{cases} \frac{d_{ij-train} - \min_{k \in I_m} \{d_{kj}\}}{\max_{k \in I_m} \{d_{kj}\} - \min_{k \in I_m} \{d_{kj}\}}, & \max_{k \in I_m} \{d_{kj}\} \neq \min_{k \in I_m} \{d_{kj}\} \\ 1, & \max_{k \in I_m} \{d_{kj}\} = \min_{k \in I_m} \{d_{kj}\} \end{cases}, \quad i \in I_{m_1} \text{ ve } j \in I_n$$

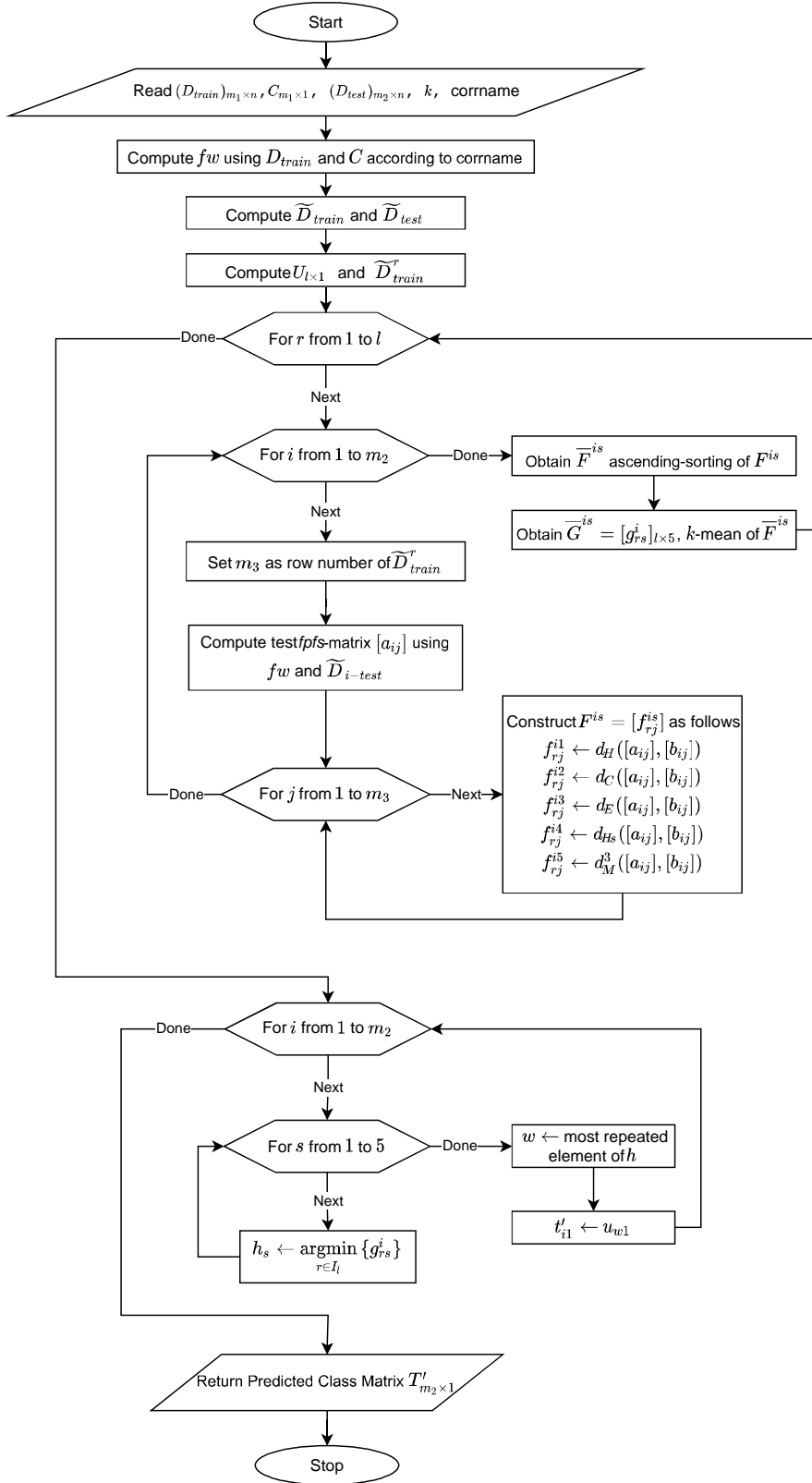
ile tanımlı matrise D_{train} 'nin sütun normalleştirilmiş matrisi (özellik bulanıklaştırılmış matrisi) denir ve $\tilde{D}_{train} = [\tilde{d}_{ij-train}]_{m_1 \times n}$ ile gösterilir.

Tanım 8. $(D_{test})_{m_2 \times n}$ $D = [d_{ij}]_{m \times (n+1)}$ den elde edilmiş test matrisi olsun. O halde,

$$\tilde{d}_{ij-test} := \begin{cases} \frac{d_{ij-test} - \min_{k \in I_m} \{d_{kj}\}}{\max_{k \in I_m} \{d_{kj}\} - \min_{k \in I_m} \{d_{kj}\}}, & \max_{k \in I_m} \{d_{kj}\} \neq \min_{k \in I_m} \{d_{kj}\} \\ 1, & \max_{k \in I_m} \{d_{kj}\} = \min_{k \in I_m} \{d_{kj}\} \end{cases}, \quad i \in I_{m_2} \text{ ve } j \in I_n$$

ile tanımlı matrise D_{test} 'in sütun normalleştirilmiş matrisi (özellik bulanıklaştırılmış matrisi) denir ve $\tilde{D}_{test} = [\tilde{d}_{ij-test}]_{m_2 \times n}$ ile gösterilir.

İkinci olarak, FPFS-kNN'nin akış diyagramı Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. FPFS-kNN akış diyagramı [16]



3. FPFS-kNN'nin Enerji Verimliliğine Bir Uygulaması ve Performans Karşılaştırması

3.1. Veri Seti

Enerji analizi için 12 farklı bina şeklinin Ecotect simülasyonu kullanılır. Binaların farklılıkları, diğer şeylerin yanı sıra, cam alanı, cam alanı dağılımı ve yönlendirmeyi içerir. 768 yapı formu üretmek için yukarıda belirtilen özelliklere dayalı senaryolar simüle edilmiştir. İki gerçek değerli yanıt tahmin etmeyi amaçlayan veri kümesini 8 özellik ve 768 örnek oluşturmaktadır. Değer en yakın tamsayıya yuvarlanırsa, problem çok sınıflı bir sınıflandırma olarak kullanılabilir. Veri kümesi parametreleri, Göreceli Kompaktlık, Yüzey Alanı, Duvar Alanı, Çatı Alanı, Toplam Yükseklik, Yönlendirme, Cam Alanı ve Cam Alanı Dağılımı'dır ve etiketleri, Isıtma Yükü ve Soğutma Yükü'dür. Verilerin özeti Tablo 1'de sunulmaktadır.

Tablo 1. UCI Makine Öğrenimi Veritabanındaki Enerji Verimliliği Veri Kümesinin özellikleri [19,20]

| Örnek Sayısı | Özellik Sayısı | Sınıf Sayısı 1 | Sınıf Sayısı 2 |
|--------------|----------------|----------------|----------------|
| 768 | 8 | 37 | 38 |

Bu çalışmada, Enerji Verimliliği veri seti, Isıtma Yükü etiketi seçilerek çok sınıflı bir sınıflandırma problemine indirgenmiştir. Burada, orijinal veriler, regresyon görevi ve çok etiketli sınıflandırma için tasarlanmıştır. Bir sınıf etiketi seçerek ve seçilen etiketin değerlerini yuvarlayarak, çok etiketli sınıflandırma problemi, çok sınıflı bir sınıflandırma problemine indirgenir.

3.2. Çok Sınıflı Sınıflandırma için Performans Metrikleri

Bu alt bölümde, yukarıda belirtilen makine öğrenimi yaklaşımlarını karşılaştırmak için performans ölçütlerinin, yani doğruluk, kesinlik ve duyarlılık [21] matematiksel gösterimleri sağlanmaktadır. $D_{test} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, $T = \{T_1, T_2, \dots, T_n\}$, ve $T' = \{T'_1, T'_2, \dots, T'_n\}$ sırasıyla sınıflandırılacak n örnekle veri kümesi, gerçek sınıfların kümesi ve tahmin edilen sınıfların kümesi olsun. O halde,

$$TP_i := |\{x_k : i \in T_k \wedge i \in T'_k, k \in I_n\}|$$

$$TN_i := |\{x_k : i \in T_k \wedge i \in T'_k, k \in I_n\}|$$

$$FP_i := |\{x_k : i \in T_k \wedge i \in T'_k, k \in I_n\}|$$

$$FN_i := |\{x_k : i \in T_k \wedge i \in T'_k, k \in I_n\}|$$

olmak üzere,

$$\text{Doğruluk}(T, T') := \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l \frac{TP_i + TN_i}{TP_i + TN_i + FP_i + FN_i}$$

$$\text{Kesinlik}(T, T') := \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l \frac{TP_i}{TP_i + FP_i}$$

$$\text{Duyarlılık}(T, T') := \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l \frac{TN_i}{TN_i + FN_i}$$

$$\text{F1 - Skor}(T, T') := \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l \frac{TP_i}{TP_i + FP_i + FN_i}$$



Burada TP , TN , FP ve FN sırasıyla gerçek pozitif, gerçek negatif, yanlış pozitif ve yanlış negatif sayıları temsil eder. Ayrıca, l toplam etiketlerin sayısıdır ve $| \cdot |$ bir kümenin kardinalitesini gösterir.

3.3. Simülasyon Sonuçları

Bu alt bölümde, FPFS-kNN [16] ile iyi bilinen sınıflandırıcılar, yani kNN [22,23,], SVM [24], Fuzzy kNN [25], Decision Tree [26], Boosted Tree [27] ve AdaBoost [28] arasındaki karşılaştırma sağlanır. Makine öğrenimi algoritmaları, MATLAB R2020b ve I(R) Core(TM) CPU i5-4200H @ 2.80 GHz ve 8 GB RAM'e sahip bir dizüstü bilgisayar kullanılarak simüle edilmiştir. Her algoritma, k -katlı çapraz doğrulama yoluyla eğitilir ve test edilir [29]. Simülasyonda, beş kat çapraz doğrulama gerçekleştiriyoruz ve 10 yineleme için ortalama sonuçları kaydediyoruz. Buradaki makine öğrenimi yöntemlerinin performans sonuçları Tablo 2'de sunulmaktadır.

Tablo 2. FPFS-kNN'nin enerji verimliliği için iyi bilinen sınıflandırıcılarla karşılaştırmalı sonuçları

| Sınıflandırıcı | Ayarlar | Doğruluk | Kesinlik | Duyarlık | F1-Skor | Çalışma Süresi |
|----------------|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| kNN | $k = 3$ | 96.0341 | 34.8721 | 29.3461 | 47.9597 | 0.2494 |
| SVM | kernel = RBF | 96.0430 | 40.6291 | 24.9679 | 49.6344 | 40.1944 |
| Fuzzy kNN | $k = 3$ | 95.3973 | 13.0188 | 13.2525 | 28.3360 | 0.0086 |
| Decision Tree | – | 97.9481 | 55.0903 | 49.4795 | 67.3957 | 0.0145 |
| Boosted Tree | – | 96.8805 | 53.0962 | 29.8355 | 57.5616 | 0.9077 |
| AdaBoost | – | 96.8805 | 53.0962 | 29.8355 | 57.5616 | 0.8741 |
| FPFS-kNN | $k = 3$, Pearson | 97.9503 | 56.5603 | 50.6345 | 69.5325 | 2.9401 |

Doğruluk, kesinlik, duyarlık ve F1-skor sonuçları yüzde olarak sunulmuştur.

Ortalama performans sonuçlarına göre FPFS-kNN diğerlerinden daha iyi performans göstermektedir. Ayrıca FPFS-kNN, 97.9503 doğruluk oranı, 56.5603 kesinlik oranı, 50.6345 duyarlık oranı ve 69.5325 F1-skor oranı üretirken, diğerlerinin genel performans sonuçları bu skor oranlarının üzerinde değildir. Öte yandan, kesinlik, duyarlık ve F1-skoru sonuçları, veri seti kararlı olmasa da, FPFS-kNN'nin en iyi performansı elde ettiğini göstermektedir.

4. Sonuçlar ve Sonraki Çalışmalar

Enerji verimliliği, herhangi bir iş alanında çok önemli bir konudur. Enerji verimliliğinde yeni teknolojik gelişmelerden yararlanmak zorunludur. Bu nedenle, bu çalışma gelişmiş makine öğrenimi tekniklerinden biri olan FPFS-kNN'yi enerji verimliliğine uygulamıştır. Uygulama için UCI makine öğrenimi veritabanındaki enerji verimliliği veri seti kullanıldı. Ayrıca, FPFS-kNN'nin iyi bilinen sınıflandırıcılarla karşılaştırmalı bir değerlendirmesi sunulmuştur. Sonuçlar, FPFS-kNN'nin diğerlerinden daha iyi performansa sahip olduğunu göstermektedir.

Ayrıca, Tablo 2'deki kesinlik, duyarlık ve F1-puanı sonuçlarından dikkate alınan veri setinin kararsız olduğu gözlemlenebilir. Bu problemin üstesinden gelmek için, enerji verimliliği hakkında yeni veri setleri toplanabilir veya bu çalışmada kullanılan enerji verimliliği veri setini stabilize etmek için yeni matematiksel araçlar kullanılabilir veya geliştirilebilir. Son olarak, FPFS-kNN, farklı kavramlar aracılığıyla geliştirilebilir veya özelleştirilebilir [30-33].



KAYNAKLAR

- [1] PETRECCA Giovanni, “Energy Conversion and Management – Principles and Application”, Springer, 2014.
- [2] KAYA Azmi, KEYES, M. A., “Energy Management Technology in Pulp, Paper and Allied Industries”, IFAC Proceedings Volumes, Cilt 13, Sayı 4, ss. 609–622, 1980.
- [3] THOLLANDER Patrik, OTTOSSON Mikael, “Energy Management Practices in Swedish Energy-Intensive Industries”, Journal of Cleaner Production, Cilt 18, Sayı 12, ss. 1125–1133, 2010.
- [4] MARIMON Frederic, CASADESÚS Marti, “Reasons to Adopt ISO 50001 Energy Management System”, Sustainability, Cilt 9, Sayı 10, 1740, 2017.
- [5] JOHANSSON, Maria T., THOLLANDER Patrik, “A Review of Barriers to And Driving Forces for Improved Energy Efficiency in Swedish Industry–Recommendations for Successful in-House Energy Management”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Cilt 82, Sayı 1, ss. 618–628, 2018.
- [6] SCHULZE, Mike, NEHLER, Henrik, OTTOSSON, Mikael, THOLLANDER Patrik, “Energy Management in Industry – A Systematic Review of Previous Findings and an Integrative Conceptual Framework”, J. Cleaner Prod. 112, 3692–3708, 2016.
- [7] MAY Gökhan, STAHL Bojan, TAISCH Marco, KIRITSIS Dimitris, “Energy Management in Manufacturing: From Literature Review to a Conceptual Framework”, Journal of Cleaner Production, Cilt 167, ss. 1464–1489, 2017.
- [8] SORRELL Steve, “Reducing Energy Demand: A Review of Issues, Challenges and Approaches”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Cilt 47, ss. 74–82, 2015.
- [9] MEMİŞ Samet, ENGİNOĞLU Serdar, “An Application of Fuzzy Parameterized Fuzzy Soft Matrices in Data Classification” International Conferences on Science and Technology; Natural Science and Technology ICONST-NST 2019, pp 68–77, 2019.
- [10] MEMİŞ Samet, ENGİNOĞLU Serdar, ERKAN Uğur, “A Data Classification Method in Machine Learning Based on Normalised Hamming Pseudo-Similarity of Fuzzy Parameterized Fuzzy Soft Matrices” Bilge International Journal of Science and Technology Research, Cilt 3, Special Issue, ss. 1-8, 2019.
- [11] MEMİŞ Samet, ENGİNOĞLU Serdar, ERKAN Uğur, “Numerical Data Classification via Distance-based Similarity Measures of Fuzzy Parameterized Fuzzy Soft Matrices” IEEE Access, Cilt 9, ss. 88583-88601, 2021.
- [12] MEMİŞ Samet, ARSLAN Burak, AYDIN Tuğçe, ENGİNOĞLU Serdar, CAMCI Çetin, “Classification Method Based on Hamming Pseudo-Similarity of Intuitionistic Fuzzy Parameterized Intuitionistic Fuzzy Soft Matrices”, Journal of New Results in Science, Cilt 10, Sayı 2, ss. 59–76, 2021.
- [13] MEMİŞ Samet, ENGİNOĞLU Serdar, ERKAN Uğur, “A Classification Method in Machine Learning Based on Soft Decision-Making via Fuzzy Parameterized Fuzzy Soft Matrices” Soft Computing, Cilt 26, Sayı 3, ss. 1165-1180, 2022.
- [14] MEMİŞ Samet, ENGİNOĞLU Serdar, ERKAN Uğur, “A New Classification Method Using Soft Decision-Making Based on an Aggregation Operator of Fuzzy Parameterized Fuzzy Soft Matrices” Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences, Cilt 30, Sayı 3, ss. 871-890, 2022.
- [15] PARMAKSIZ Zeynep P., ARSLAN Burak, MEMİŞ Samet, ENGİNOĞLU Serdar, “Diagnosing COVID-19, Prioritizing Treatment, and Planning Vaccination Priority via Fuzzy Parameterized Fuzzy Soft Matrices, Journal of New Theory,
- [16] MEMİŞ Samet, ENGİNOĞLU Serdar, ERKAN Uğur, “Fuzzy Parameterized Fuzzy Soft k -Nearest Neighbor Classifier” Neurocomputing, Cilt 500, ss. 351-378, 2022.
- [17] ÇAĞMAN Naim, ÇITAK Filiz, ENGİNOĞLU Serdar, “Fuzzy Parameterized Fuzzy Soft Set Theory and Its Applications” Turkish Journal of Fuzzy System, Cilt 1, Sayı 1, ss.21-35, 2010.
- [18] ENGİNOĞLU Serdar, ÇAĞMAN Naim, “Fuzzy Parameterized Fuzzy Soft Matrices and Their Application in Decision-Making” TWMS Journal of Applied and Engineering Mathematics, Cilt 10, Sayı 4, ss. 1105-1115, 2020.
- [19] TSANASA Athanasios, XIFARAB Angeliki, “Accurate quantitative estimation of energy performance of residential buildings using statistical machine learning tools”, Energy and Buildings, Cilt 49, ss. 560–567, 2012.
- [20] DUA Dheeru, GRAFF Casey, UCI Machine Learning Repository, University of California, Irvine, School of Information and Computer Sciences, 2019. URL: <https://archive.ics.uci.edu/ml>.



- [21] FAWCETT Tom, "An Introduction to ROC Analysis", Pattern Recognition Letters, Cilt 27, Sayı 8, ss. 861–874, 2006.
- [22] FIX Evelyn, HODGES J. L., "Discriminatory Analysis, Nonparametric Discrimination: Consistency Properties", USAF School of Aviation Medicine Randolph Field, Texas, 1951.
- [23] COVER Thomas M., HART Peter E., "Nearest Neighbor Pattern Classification", IEEE Transactions on Information Theory, Cilt 13, Sayı 1, ss. 21–27, 1967.
- [24] CORTES Corinna, VAPNIK Vladimir, "Support-Vector Networks", Machine Learning, Cilt 20, ss. 273–297, 1995.
- [25] KELLER James M., GRAY Michael R., GIVENS James A., "A Fuzzy k-Nearest Neighbor Algorithm", IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Cilt 15, Sayı 4, ss. 580–585, 1985.
- [26] BREIMAN, Leo, FRIEDMAN Jerome, OLSHEN Richard, STONE Charles, "Classification and Regression Trees", CRC Press, Wadsworth, 1998.
- [27] FRIEDMAN Jerome, "Greedy Function Approximation: A Gradient Boosting Machine", The Annals of Statistics, Cilt 29, Sayı 5, ss. 1189–1232, 2001.
- [28] FREUND Yoav, SCHAPIRE Robert, "A Decision-Theoretic Generalization of On-Line Learning and an Application to Boosting", Journal of Computer and System Sciences, Cilt 55, Sayı 1, ss. 119–139, 1997.
- [29] STONE M., "Cross-Validatory Choice and Assessment of Statistical Predictions", Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological), Cilt 36, Sayı 2, ss. 111–147, 1974.
- [30] ENGİNOĞLU Serdar, ARSLAN Burak, "Intuitionistic Fuzzy Parameterized Intuitionistic Fuzzy Soft Matrices and Their Application in Decision-Making", Computational and Applied Mathematics, Cilt 39, Sayı 4, ss. 1-20, 2020.
- [31] MEMİŞ Samet, "A Study on Picture Fuzzy Sets" 7th IFS and Contemporary Mathematics Conference, ss. 125–132, 2021.
- [32] AYDIN Tuğçe, ENGİNOĞLU Serdar, "Interval-Valued Intuitionistic Fuzzy Parameterized Interval-Valued Intuitionistic Fuzzy Soft Sets and Their Application in Decision-Making" Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, Cilt 12, Sayı 1, ss. 1541-1558, 2021.
- [33] NAEEM Khalid, MEMİŞ Samet, "Picture Fuzzy Soft σ -Algebra and Picture Fuzzy Soft Measure and Their Applications to Multi-Criteria Decision-Making", Granular Computing, Cilt 8, ss. 397–410, 2023.

ÖZ GEÇMİŞ

Samet MEMİŞ

1991 yılında Aydın'da doğdu. Lisans, Yüksek Lisans ve Doktora derecelerini Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Matematik Bölümü'nden sırasıyla 2014, 2016 ve 2021 yıllarında aldı. Doktora tezi "Yapay Zekâ ve Makine Öğrenmesi" öncelikli alanında TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Fakültesi'nden (2020-2021) birincilikle mezun oldu.

Halen İstanbul Rumeli Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölüm Başkanı ve Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Dekan Yardımcısı olarak görev yapmaktadır. Araştırma alanları Bulanık Kümeler, Esnek Kümeler, Esnek Matrisler, *fpfs*-matrisler, Benzerlik Ölçümü, Uzaklık Ölçümü, Karar Verme, Görüntü Gürültüsünü Giderme ve Makine Öğrenimidir. 30'dan fazla ulusal ve uluslararası makale ve bildirisi yayınlanmıştır. Sekiz ulusal bilimsel araştırma projesinde yer aldı. Journal of New Theory dergisinin alan editörü olarak görev yapmaktadır.



SUYA DALDIRILMIŞ HELİSEL SARILMIŞ ISI EŞANJÖRLERİNDE ISI TRANSFERİ ANALİZİ İÇİN DENEY SİSTEMİ KURULUMU

Mustafa CANER

ORCID:0000-0002-3674-7881

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü

Ertan BUYRUK

ORCID:0000-0002-6539-7614

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü

ÖZET

İnsanlık var olduğu sürece insanların ihtiyaçları giderek artmaya devam edecektir. İnsanoğlu bu ihtiyaçlara cevap verebilmek için endüstriyel teknolojiler ve sistemler geliştirmeyi sürdürmektedir. Enerji tüketimi teknolojinin gelişmesine paralel olarak artmaktadır. Böylece enerjinin üretiminin ve transferinin verimli olması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Mühendislik uygulamalarında, farklı sıcaklıklardaki iki veya daha fazla akışkan arasındaki ısı transferi en çok karşılaşılan uygulamalardandır. Akışkanlar genellikle katı bir cidar ile birbirinden ayrılmaktadırlar. Bu yapılar, ısı eşanjörü olarak isimlendirilmektedir. Sıcak kullanım suyu depolarında, depodaki suyun ısıtılması, bir kazandan veya güneş enerjisi tesisatından gelen sıcak su ile veya doğrudan elektrikli ısıtıcıların kullanılması ile sağlanır. Sıcak su ısıtma kaynağı olarak kullanılıyorsa genellikle ısı eşanjörleri olarak tanka yerleştirilen helisel olarak sarılmış borular kullanılmaktadır. Bu çalışmada suya daldırılmış farklı boyutlarda ve geometrik özelliklerde helisel ısı değiştiricilerin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla düz bakır borudan imal edilecek farklı sarım çaplarında aynı hatve değerine sahip ve aynı sarım çaplarında farklı hatvelerde ısı değiştiriciler ile farklı geometrik özelliklerde ısı değiştiricilerin ısı transferi analizini gerçekleştirmek için deneysel kurulum gerçekleştirilmiştir.

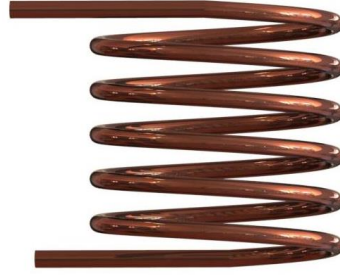
Anahtar Kelimeler: Isı eşanjörü, ısı transferi, tasarım parametrelerinin etkisi, deneysel kurulum

1. Giriş

Her geçen gün artan enerji tüketimi ve fosil yakıtların rezervlerinin sınırlı olması insanları yeni enerji kaynakları ve enerji sistemleri aramaya yönlendirmiştir. Ayrıca mevcut enerji kaynakları verimli şekilde kullanılmalıdır. Bu amaçla mevcut enerji dönüşüm teknolojilerinin ve yeni sistemlerin geliştirilmesi için çalışmalar devam etmektedir (Tuncer vd., 2021).

Farklı sıcaklıklarda ve katı bir sınır ile ayrılmış iki akışkan arasındaki ısı alışverişi süreci birçok mühendislik uygulamasında gerçekleşir. Bu alışverişi gerçekleştirmek için kullanılan cihaz ısı eşanjörü (ısı değiştirici) olarak adlandırılır. Isı eşanjörleri; soğutma, ısıtma ve diğer enerji dönüşüm sistemleri gibi çok çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılır (Than vd., 2008).

Buhar enerji santrallerinde, kimyasal işleme tesislerinde, bina ısı ve iklimlendirme sistemlerinde ve soğutma ünitelerinde kullanılmak üzere birçok tipte ısı eşanjörü geliştirilmiştir. Bunlardan biri olan helisel ısı eşanjörleri; dikkate değer ısı transfer performansları, basit konfigürasyonları ve düşük üretim maliyetleri nedeniyle enerji santralleri, nükleer reaktörler, soğutma ve iklimlendirme sistemleri, ısı geri kazanım sistemleri, kimyasal işleme ve gıda endüstrileri gibi mühendislik alanlarında kullanılmaktadır (Xin vd., 1996; Bai vd., 1999; Lin ve Ebadian, 1999).

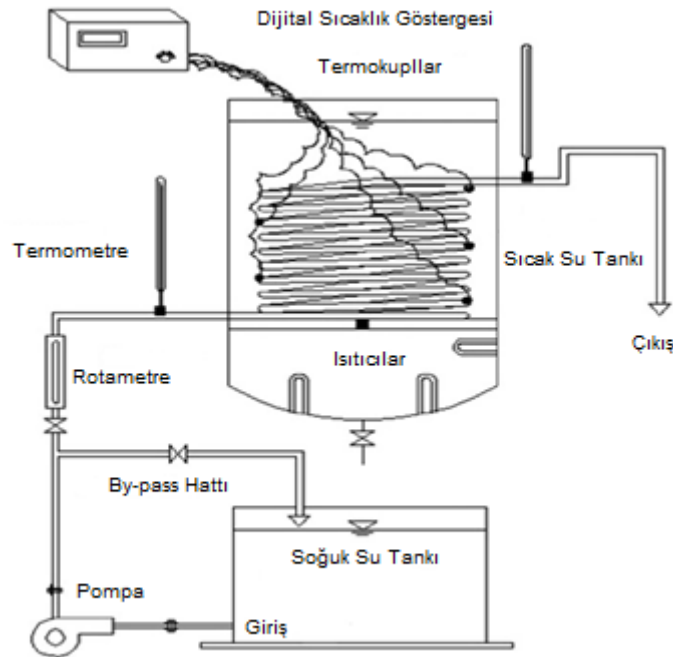


Şekil 1. Helisel ısı değıştiricinin üç boyutlu modeli

Akışkan helisel olarak sarılmış bir borudan akarken, sarmalın eğriliği merkezkaç kuvveti oluşturarak ikincil akışın gelişmesine neden olur (Izadpanah vd., 2018). İkincil akış, akışkan karışımını ve böylece ısı transferini artırır. Düz borulu ısı eşanjörlerinde (kaldırma kuvvetleri tarafından oluşturulanlar hariç) bulunmayan aksel akışa dik ek bir konvektif ısı transfer mekanizması vardır (Rennie ve Raghavan, 2006).

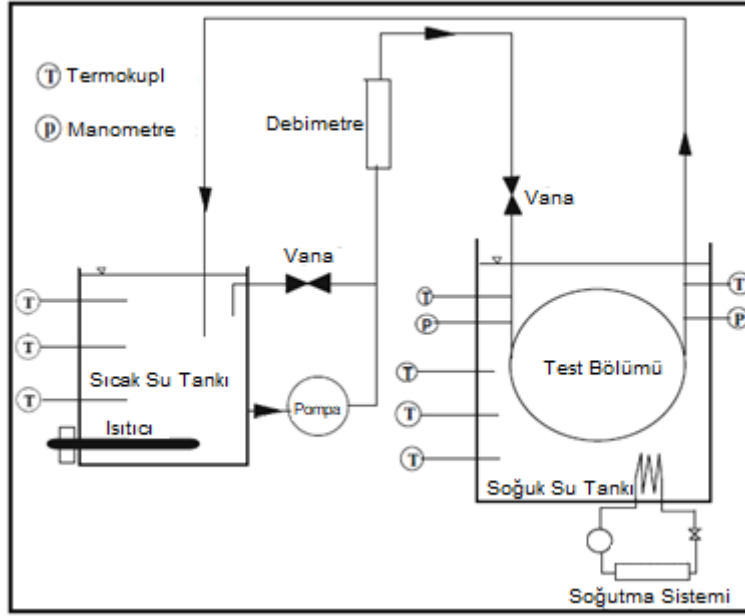
Birçok araştırmacı tarafından, helisel ısı eşanjörlerinde ısı transferini incelemek üzere çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Prabhanjan vd. (2004) suya yerleştirilen helisel sarılmış borulardan doğal konveksiyonla ısı transferinin deneysel bir araştırmasını yapmışlardır. Geliştirilen modeller, helisel sarılmış bir ısı değıştiriciden akan bir akışkanın giriş sıcaklığı, tanktaki su sıcaklığı, eşanjör boyutları ve akışkanın debisi verilen durumlarda çıkış sıcaklığını tahmin etmek için bir tahmin modeli geliştirmek için kullanılmıştır. Ali (2004) ise gliserol-su çözeltilisine yerleştirilen dikey helisel sarımlı borulardan sürekli şartlarda doğal taşınım ile ısı transferi, deneysel olarak incelemiştir. Ortalama ısı transfer katsayıları laminer ve türbülanslı doğal konveksiyona geçiş için elde edilmiştir. Ortalama Nusselt sayısını Rayleigh sayısı, sarmal çapının boru çapına oranı ve tur sayısı cinsinden hesaplamak için korelasyonlar sunulmuştur. Pawar ve Sunnapwar (2013), suyun içine yerleştirilmiş helisel ısı değıştiricilerde sürekli koşullarda konveksiyon ile ısı transferini deneysel olarak araştırmışlardır. Deneylerinde farklı geometrik özelliklerde üç adet ısı değıştirici kullanmışlardır.



Şekil 2. Pawar ve Sunnapwar (2013) tarafından tasarlanan deney düzeneği

Amori (2014) soğuk suya daldırılmış helisel borulardan oluşan ısı değiştiricilerin ısı ve hidrolik özelliklerini deneysel olarak incelemiştir. Dikey tek borulu helisel ve paralel bağlantılı üç dikey helisel sarmaldan oluşan iki tip ısı değiştirici test edilmiştir. Üçlü ısı değiştiricide, tek borulu ile karşılaştırıldığında, ısı transferinde önemli bir artış elde edilmiştir. Böylece daha küçük boyutlu ısı değiştiricilerinin kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.



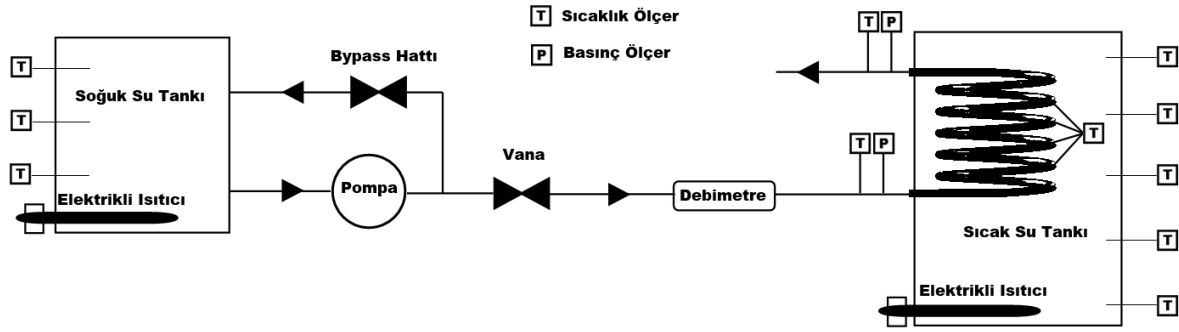
Şekil 3. Amori (2014) tarafından kullanılan deney düzeneği

Izadpanah vd. (2018) çalışmalarında bir su depolama tankının içine yerleştirilmiş helisel sarılmış borulu bir ısı eşanjörünün dış yüzeyinden doğal taşınım ile meydana gelen ısı transferini deneysel olarak incelemiştir. Eşanjörün içinde soğutucu akışkan 134-a dolaştırılmıştır. Sarmal çapı, hatve, tur sayısı ve akış hızının dış Nu sayısı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Nu sayısı için karakteristik uzunluk olarak Ra sayısı ve ısı değiştiricinin geometrik parametrelerine göre yeni bir deneysel korelasyon sunulmuştur.

Bu çalışmada suya daldırılmış farklı geometrik boyutlarda helisel ısı değiştiricilerin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Farklı sarım çaplarında aynı hatve değerlerinde ve aynı sarım çaplarında farklı hatve değerlerinde ısı eşanjörleri tasarlanmıştır. Eşanjör malzemesi olarak bakır boru tercih edilmiştir. Tasarlanan ısı eşanjörlerinin sarım çapları ve hatveleri eşanjörün toplam uzunluğu aynı olacak şekilde belirlenmiştir.

2. Deney Düzeneği

Farklı geometrik boyutlara sahip suya daldırılmış helisel sarılı ısı eşanjörlerinin ısı performansının incelenmesi planlanmıştır. Bu amaca ulaşmak için şekil 4'de şematik görünümü verilen deneysel kurulum gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4. Kurulan deney düzeneğinin şematik görünümü

Kurulan deney düzeneğinde bir soğuk su tankı, tanka yerleştirilmiş bir ısı eşanjörü, sıcak su tankı, elektrikli ısıtıcı, PID sıcaklık kontrolcüsü, sirkülasyon pompası, debimetre, sıcaklık ve basınç ölçerler kullanılmıştır. Bu elemanları görevleri kısaca şu şekilde açıklanabilir.

Sıcak su tankı: Sıcak suyun depolandığı tanktır. Isı değiştirici bu tanka yerleştirilmiştir.

Elektrikli ısıtıcı: Sıcak su tankına yerleştirilmiştir ve PID sıcaklık kontrolcüsü kullanılarak kontrol edilmiştir.

PID Sıcaklık Kontrolcüsü: Sıcak suyun sıcaklığını sabit tutmak için kullanılmıştır.

Sirkülasyon Pompası: Soğuk suyun sistemde dolaşımını sağlamaktadır.

Akış Ölçer: Sistemde dolaşan suyun debisi ölçülmektedir.

Isı Değiştirici: Sıcak sudan soğuk suya ısı transferini gerçekleştirmektedir.

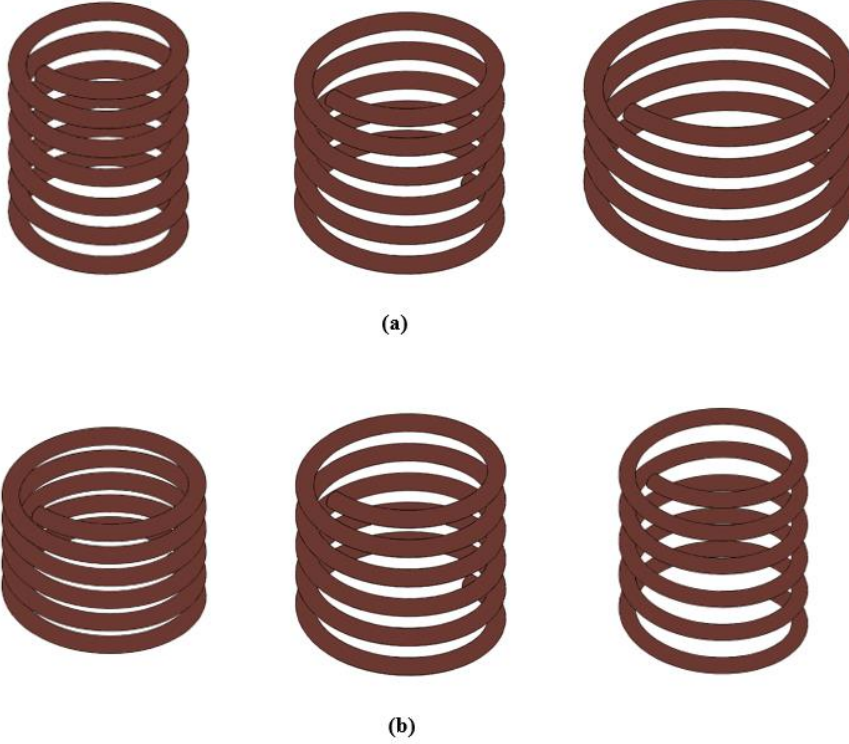
Sıcaklık Ölçerler: Isı değiştiricinin giriş ve çıkışında sıcak suyun sıcaklığına ek olarak soğuk su ve sıcak su tanklarında ve eşanjör yüzeyinde belirlenen konumlarda sıcaklık ölçümlerinde kullanılmaktadırlar.

Basınç Ölçerler: Suyun ısı eşanjörüne girmeden önce ve eşanjörden çıktıktan sonraki basıncını ölçülmesinde kullanılmaktadırlar.

Veri Kaydedici: Sıcaklık ve basınç ölçerler bu elemana bağlanmıştır. Bu şekilde sıcaklık ve basınç değerleri anlık görüntülenebilmekte ve belirlenen aralıklarla kayıt edilmektedir.

2.1. Kullanılacak Isı Eşanjörü Modelleri

Deney düzeneğinde kullanılacak eşanjörler toplam boru uzunluğu neredeyse eşit olacak şekilde, aynı çapta ve et kalınlığında bakır borulardan oluşturulacaktır. Sarım çapının ısı transferine etkisini incelemek amacıyla aynı hatve değerine sahip farklı sarım çaplarında düz bakır borulardan üretilmiş helisel ısı eşanjörleri kullanılacaktır. Hatvenin ısı transferine etkisini araştırmak amacıyla ise aynı sarım çapında farklı hatvelerde düz bakır borulardan imal edilmiş helisel ısı eşanjörleri kullanılacaktır. Şekil 5'de farklı geometrik boyutlarda eşanjör modelleri görülmektedir.



Şekil 5. Farklı boyutlarda sarılmış ısı eşanjörleri (a) Aynı hatve farklı sarım çapları (b) Aynı sarım çapları farklı hatve

Düz boru ile farklı geometrilerde boruların karşılaştırılması amacıyla düz borudan üretilen bir ısı değiştirici modeli seçilecektir. Bu modelle aynı boyutlarda yivli, kroçilli (corrugated) ve kanatlı borudan imal edilecek helisel ısı değiştiricilerin testleri yapılacaktır.

3. Deneylerin Gerçekleştirilmesi

Testlerin sürekli şartlarda gerçekleştirilmesi planlanmaktadır. Sürekli şartların sağlanması için sıcak ve soğuk su tanklarında bulunan suların sıcaklıklarının zamanla değişmemesi gerekmektedir. Sıcak su tankına doldurulan su PID sıcaklık kontrolcüsü ile kontrol edilen elektrikli ısıtıcı kullanılarak deney sıcaklığına ısıtılmakta ve bu sıcaklıkta tutulmaktadır. Deneyler başlamadan önce soğuk su tankında bulunan su da PID sıcaklık kontrolcüsü kullanılarak belirlenen sıcaklığa getirilecek ve deney süresince sıcaklığı sabit tutulmaktadır. Soğuk su sirkülasyon pompası vasıtası ile ısı eşanjörüne gönderilmektedir. Ölçülen ve veri kaydedici ile kayıt edilen veriler kullanılarak boyutların ısı transferine ve basınç düşüşüne etkisinin ortaya konulması hedeflenmektedir.

4. Sonuç

Suya daldırılmış farklı boyutlarda ve geometrik özelliklerde helisel ısı değiştiricilerin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla farklı boyutlarda ve farklı geometrik özelliklerde ısı değiştiricilerin ısı transferi analizini gerçekleştirmek için deneysel kurulum gerçekleştirilmiştir. Öncelikle düz borudan imal edilmiş farklı boyutlardaki ısı değiştiriciler göz önünde bulundurularak boyutların ısı transferine ve basınç düşüşüne etkisi ortaya konulacaktır. Sonrasında düz boru ile aynı boyutlara sahip yivli borudan, kroçilli borudan ve kanatlı borudan imal edilmiş borular kullanılacaktır. Böylece bahsedilen geometrik özelliklerin ısı transferine ve basınç düşüşüne etkileri elde edilecektir.



Teşekkür

Bu çalışma, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) tarafından M-2022-828 proje numarası ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Ali, M. E. 2004. "Free convection heat transfer from the outer surface of vertically oriented helical coils in glycerol-water solution", *Heat and Mass Transfer/Waerme- Und Stoffuebertragung*, 40(8), 615–620.
- Amori, K.E. 2014. "Thermal and Hydraulic Characteristics of a Novel Helical Coiled Tube Used as a Heat Exchanger" *Arab J Sci Eng* 39, 4179–4186.
- Bai, B., Guo, L., Feng, Z., Chen, X. 1999. "Turbulent Heat Transfer in a Horizontal Helically Coiled Tube. *Heat Transfer*", *Asian Research*, 28(5), 395–403.
- Izadpanah, E., Zarei, A., Akhavan, S., Babaie Rabiee, M. 2018. "An experimental investigation of natural convection heat transfer from a helically coiled heat exchanger", *International Journal of Refrigeration*, 93, 38–46.
- Lin, C. X., Ebdian, M. A. 1999. "The effects of inlet turbulence on the development of fluid flow and heat transfer in a helically coiled pipe", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 42(4), 739–751.
- Pawar, S. S., Sunnapwar, V. K. 2013. Studies on convective heat transfer through helical coils. *Heat and Mass Transfer/Waerme- Und Stoffuebertragung*, 49(12), 1741–1754.
- Rennie, T. J., Raghavan, V. G. S. 2006. "Numerical studies of a double-pipe helical heat exchanger", *Applied Thermal Engineering*, 26(11–12), 1266–1273.
- Than, S. , Lin, K. , Mon, M. 2008. "Heat Exchanger Design". *World Academy of Science, Engineering and Technology, Open Science Index 22, International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering*, 2(10), 1151 - 1158.
- Tuncer, A. D., Sözen, A., Khanlari, A., Gürbüz, E. Y., Variyenli, H. İ. 2021. "Analysis of thermal performance of an improved shell and helically coiled heat exchanger", *Applied Thermal Engineering*, 184
- Xin, R. C., Awwad, A., Dong, Z. F., Ebdian, M. A., Soliman, H. M. 1996. "An investigation and comparative study of the pressure drop in air-water two-phase flow in vertical helicoidal pipes", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 39(4), 735–743.

ÖZGEÇMİŞ

Mustafa CANER

2013 yılında Bozok Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2014 yılında Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmaya başlamıştır. Aynı Üniversitede 2018 yılında yüksek lisansını tamamlamış ve doktora çalışmasına devam etmektedir.

Ertan BUYRUK

İlk, orta ve lise eğitimini Sivas'ta tamamladı. 1991 yılında Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. Temmuz 1992- Aralık 1996 yılları arasında İngiltere Liverpool Üniversitesi'nde doktorasını tamamladı. 1997 yılında Yrd. Doç., 2004 yılında Doçent, 2009 yılında Profesör unvanını aldı. Prof. Buyruk, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Endüstri Mühendisliği, Makine Mühendisliği Bölüm Başkanlıklarının yanında Mühendislik Fakültesi Dekan Yardımcılığı görevlerini de yerine getirmiştir. Evli ve bir çocuk babası olan Buyruk İngilizce bilmektedir. 2012 yılından itibaren Üniversite - Şehir ve Sanayi İşbirliği ile ilgili Rektör Danışmanlığı görevini de yürütmüştür. Prof. Buyruk, 2015-2016 yılları arasında Rektör Yardımcılığı görevini de yürütmüştür. Temel çalışma alanları: Isı ve Kütle Transferi, Termodinamik, Akışkanlar Mekaniği, Isı Yalıtımı, Soğu Depolama, Plakalı Kanatçıklı Isı Değiştiricilerde ve Nanoakışkanlarda Isı Transferi üzerinedir.



DURAN DALGALI TERMOAKUSTİK SOĞUTMA SİSTEMİNİN TASARIMI VE DENEYSEL KURULUMU

Netice DUMAN

ORCID:0000-0002-9926-8511

S.C.Ü. Sivas Teknik Bilimler MYO Makine ve Metal Teknolojileri, Makine Programı

Halil İbrahim ACAR

ORCID:0000-0003-3951-6138

S.C.Ü. Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü

Özlem KUZEY

0000-0001-8779-7865

Dikçal Makina İmalat San.Tic.Ltd.Şti (KOCAELİ)

Şakir KUZEY

ORCID:0000-0003-3680-0862

Kocaeli Üniversitesi, Karamürsel MYO, Elektronik Teknolojileri Bölümü, Mekatronik Programı

ÖZET

Geleneksel soğutma sistemlerinde kullanılan soğutucu akışkanların çevre üzerindeki olumsuz etkilerinden dolayı alternatif soğutma teknolojileri arayışları artarak devam etmektedir. Termoakustik soğutma sistemi (TAS) bu yeni teknolojilerden biridir. TAS ses dalgalarının soğutma amaçlı kullanımına dayalı gelişmekte olan bir 'yeşil' teknolojidir. Bu sistemde iş gören akışkan olarak kullanılan asal gazların çevre üzerinde herhangi bir olumsuz etkisi yoktur. Bu çalışma da TAS tasarımı ile ilgili bilgiler verilmiş ve tasarım parametrelerine bağlı olarak bir deney düzeneği kurulmuştur. TAS sisteminde çalışmaların çoğu yığın malzemesi ve geometrisi üzerine yoğunlaşmıştır. Çünkü yığın, TAS sisteminin kalbi olarak kabul edilmektedir. Bundan dolayı bu çalışmada farklı yığın malzemelerinin denenmesi için bir deney düzeneği kurulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Termoakustik soğutma, Yığın, Rezonans tüpü, Akustik Güç

1. Giriş

Sürdürülebilir kalkınma ile ilgili araştırmalar, çevre koruma ve enerji tasarrufu olmak üzere iki ana konuyu kapsamaktadır. Küresel çevre kaygıları, dünyanın enerji ihtiyacını karşılamak için yenilenebilir enerji teknolojileri geliştirme zorunluluğunu beraberinde getirmiştir. TAS, minimum karbon ayak izleri nedeniyle geleneksel soğutma ve güç sistemlerinin yerini alacak uygun bir alternatif olma potansiyeline sahiptir. TAS cihazları, hava veya asal gazlarla çalışabilmeleri, hareketli bileşenlerin bulunmaması, tasarımlarındaki basitlik, güneş enerjisi ve atık ısı ile çalışabilmesi gibi nedenlerden dolayı son yıllarda alternatif bir enerji teknolojisi olarak büyük ilgi görmüştür[1].

Termoakustik soğutmanın temel prensibi Swift tarafından oluşturulmuştur [2]. Termoakustik etki, ses dalgalarının basınç dalgaları olduğu ilkesine dayanmaktadır. Ses dalgaları hava aracılığıyla moleküler çarpışmalar sayesinde yayılır. TAS, basınç salınımları yoluyla cihaz içindeki ilgili alanlara ısı pompalamak için yüksek genlikli ses dalgaları kullanır. Termoakustik sistemdeki dalga, yüksek basınçta salınan gazın ısının verildiği ve düşük basınçta uzaklaştırıldığı yığın boyunca büyük miktarda basınç ve hız dalgalanmalarına sahiptir. Sıcaklıktaki değişimlere bağlı olarak, gazın basıncı arttıkça gazın sıcaklığı da artar.

Termoakustik prensip, iki yüz yılı aşkın bir süredir araştırmacıların ilgi odağıdır. Isı kaynaklı akustik salınımlar ilk olarak 1777'de Byron Higgins tarafından gözlemlenmiş ancak asıl teorik çalışmalar 1969'dan 1980'e kadar Rott ve ortak araştırmacılar tarafından sunulan bir dizi makale ile oluşturulmuştur [3].



1986 yılında Hofler [4], tarafından 6 W soğutma gücüne sahip ilk başarılı TAS piyasaya sürülmüştür. Minner vd. [5], Reid ve Swift [6], Tijani vd. [7], Hariharan [8] gibi isimler, iş gören akışkanın rezonans frekansında salınımı sonucu, önemli bir soğutma etkisine neden olduğuna dair çalışmalar yapmışlardır.

Terdi [9], yığın malzemesi olarak naylon misina ile sarılmış fotoğraf filmi kullanarak TAS sistemini deneysel incelemiştir.

Girgin[10], yapmış olduğu deney çalışmasında iş gören akışkan olarak hava ve helyum kullanmış ve farklı boylardaki yığın malzemesi üzerinde oluşan soğutma etkilerini karşılaştırmıştır.

Somasekhar ve arkadaşları[11], kurdukları sistemde farklı boylarda rezonans tüpünün TAS performansını deneysel olarak incelemiştir.

Teja ve diğerleri [12] iş gören akışkan olarak helyumu yığın malzemesi olarak deri kullanarak deneyler yapmışlardır.

Araştırmaların çoğu Amerika Birleşik Devletleri'nde diğerleri Avrupa ve Çin'deki üniversitelerde yapılmıştır.

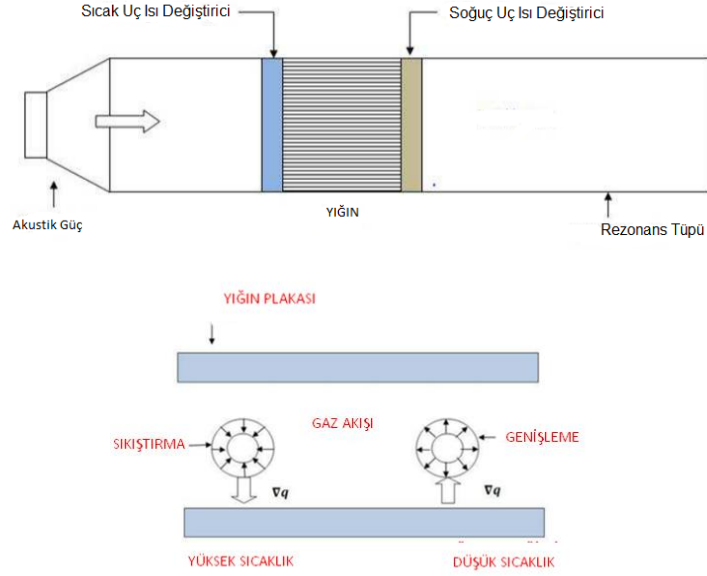
2. Termoakustik Soğutucunun Tasarımı

TAS tasarım parametreleri üç grupta toplanabilir. Tablo 1'de görüldüğü gibi birinci grup geometrik parametreleri, ikinci grup, iş gören akışkanın ve yığın malzemesinin termofiziksel özelliklerini, üçüncü grup ise işletme parametrelerini içermektedir.

Tablo 1. Termoakustiğin temelini oluşturan parametreler

| Geometrik Parametreler | Malzemeye Özgü Parametreler | İşletme Parametreleri |
|------------------------|---|--|
| λ - dalga boyu | İş Gören Akışkan | \dot{Q}_c -Soğutma gücü |
| L_s - yığın uzunluğu | K- Isıl İletkenlik | ΔT_m -İstenen sıcaklık aralığı |
| x_c - yığın merkezi | α - ses hızı | T_m - Ortalama çalışma sıcaklığı |
| $2y_0$ - yığın boşluğu | μ -Dinamik viskozitesi | P_m -Ortalama basınç |
| $2l$ - Plaka kalınlığı | γ -İzobarik ve izokorik özgül ısılar oranı | P_r - Basınç genliği |
| A-Enine kesit alanı | β - Termal genleşme katsayısı | f- Frekans |
| | Yığın Malzemesi | |
| | ρ_s -yoğunluk | |
| | c_s - özgül ısı | |
| | K_s -Isıl iletkenlik | |

Duran dalga TAS sisteminin şematik görünümü şekil 1. 'de görülmektedir. TAS sistemi, akustik kaynak, yığın, rezonans tüpü ve ısı değiştirici olmak üzere dört temel bileşenden meydana gelmektedir [4].



Şekil 2. TAS sisteminin şematik görünümü ve Termoakustik işlemler [13].

2.1. Akustik Kaynak

Bir TAS sisteminde, rezonans frekansında duran bir ses dalgası oluşturmak için rezonans tüpünün ucuna akustik güç kaynağı olarak Şekil 2 'de görülen hoparlör yerleştirilmiştir.



Şekil 2. Akustik kaynak: Hoparlör

2.2. Rezonans Tüpü

Deney düzeneğinde rezonans tüpü olarak Şekil 3'te görülen PVC boru kullanılmıştır [15,16]. PVC boru, iç yüzeyinin düzgünlüğü ve yalıtkan özelliği olması gibi nedenler yüzünden tercih edilmiştir. Rezonans tüpü uzunluğu $\lambda / 4$ olarak seçilmiştir. [2,16]. Buna göre çalışma frekansı eşitlik 4.1'de görüldüğü gibi hesaplanmıştır. Rezonans tüpünün uzunluğu hesaplanırken aynı zamanda sistemde kullanılacak olan ses dalgası frekansı da belirlenmiştir.

$$\lambda = \alpha / f \quad (4.1)$$

$$\alpha \cong 340 \text{ m/s} \quad (4.2)$$



Şekil 3. Rezonans tüpü olarak kullanılan PVC boru.

Hoparlörün rezonans tüpü ile bağlantısı Şekil 4' de görüldüğü konik bir parça kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 4. Rezonans tüpü ile hoparlörün konik parça ile birleşimi.

Hoparlörün ses izolasyonu Şekil 5' de görüldüğü gibi ahşap bir kutu kullanılarak yapılmıştır.

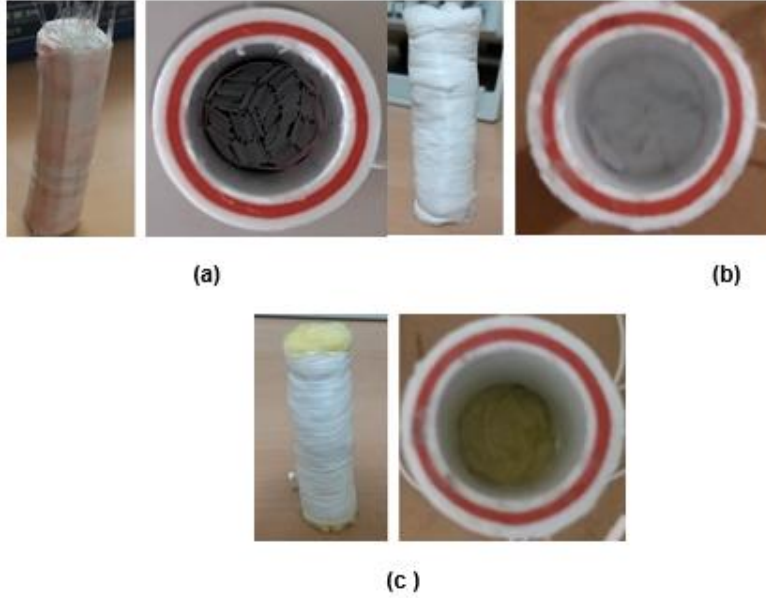


Şekil 5. Hoparlörün kutu içine alınması

2.3. Yiğın

Bir TAS sistemindeki en önemli eleman, sistemin kalbi olarak kabul edilen yiğındır. Bu nedenle yiğın özellikleri, TAS'ın performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Yiğın malzemesi olarak genellikle

Mylar ve celcor kullanılmıştır [17]. Ayrıca, fiberglas [5,18], cam [19] alüminyum [19,20], bakır [19], paslanmaz çelik [21] ve RVC [19,20] gibi diğer malzemeler de araştırılmıştır. Yığın malzemesi iyi bir ısı depolama kapasitesine ve düşük ısı iletkenliğine sahip olmalıdır. Böylece yığın içinde ısı transferi azalacak ve daha fazla ısı enerjisi depolanması sağlanmış olacaktır. Şekil 6 'da TAS sisteminde kullanılan yığın malzemeleri görülmektedir.



Şekil 6. Sistemde kullanılan yığın malzemesi (a) Mylar (b) Pamuk (c) Cam Yünü

Sistemde üç farklı yığın malzemesi kullanılmıştır. Şekil 6 (a)' da görüldüğü gibi ısı iletim katsayısı 0.16 W/mK, kalınlığı 75 mikron olan mylar yaklaşık olarak 0.3 cm eninde ve 8 cm boyunda paralel plakalar halinde kesilmiş, boşluk oluşturmak için 0.3 mm çapındaki misinalar kullanılmıştır. Böylece iş gören akışkanın yığın içerisinde serbestçe hareket etmesi sağlanmıştır.

Şekil 6 (b) de görüldüğü gibi ısı iletim katsayısı 0.07 W/mK, kalınlığı 50 mikron pamuk rezonans tüpünün çapında sarılıp 8 cm boyunda kesilmiş ve yığın tutucu işlevi gören bir bantla sarılarak deneysel çalışmaya hazır hale getirilmiştir.

Şekil 6 (c) 'de görüldüğü gibi ısı iletim katsayısı 0.04W/mK, 180 mikron kalınlığında cam yünü rezonans tüpünün çapında sarılmış ve 8 cm boyunda kesilmiş ve yığın tutucu işlevi gören bir bant ile sarılarak deneysel çalışmaya hazır hale getirilmiştir.

Yığın merkezi konumunun akustik güç kaynağı ucundan uzaklığı $\lambda/8 \leq \text{yığın merkezi} (x_c) \leq \lambda/20$ mesafede olması gerektiği literatürdeki çalışmalarda belirtilmiştir. Bu çalışmada yığın merkezinin akustik güç kaynağından uzaklığı 12 cm olarak seçilmiştir. Yığın boyunun uzun olması akustik gücü artırmaktadır [22,23]. Bununla birlikte, uzunluğun arttırılması, özellikle yoğun bir yığın için akustik empedansı ve basınç düşüşünü arttırır. Bu nedenle, yığın boyunun uzunluğunun fazla olmasının COP' de azalmaya neden olması beklenmektedir. Birçok araştırmancının bu bulguyu kanıtladığı görülmektedir. [5,24,25,26]. Sistem performansı düşünülerek yığının boyu 8 cm olarak seçilmiştir [27].

2.4 İş Gören Akışkan

TAS için en iyi iş gören akışkan olarak asal gazlar tanımlanmıştır [20,28]. Bundan dolayı sistemde iş gören akışkan olarak hava seçilmiştir.

2.5 Sıcaklık Ölçer

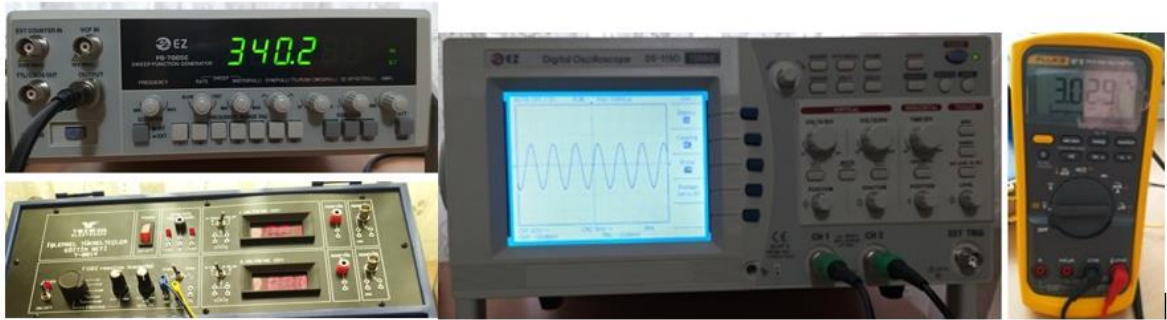
Şekil 7' de görüldüğü gibi, sıcaklık ölçümleri yığının soğuk ve sıcak uçlarına bağlanan iki adet sıcaklık ölçer kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 7. Sıcaklık ölçerlerin rezonans tüpüne bağlantısı

2.6. Sinyal Jeneratörü ve İşlemsel Yükselteç

Sistemde sinüs ses dalgası üretmek amacıyla kullanılan sinyal kaynağı ve işlemsel yükselteç, osiloskop ve voltmetre Şekil 8' de görülmektedir.



(a)

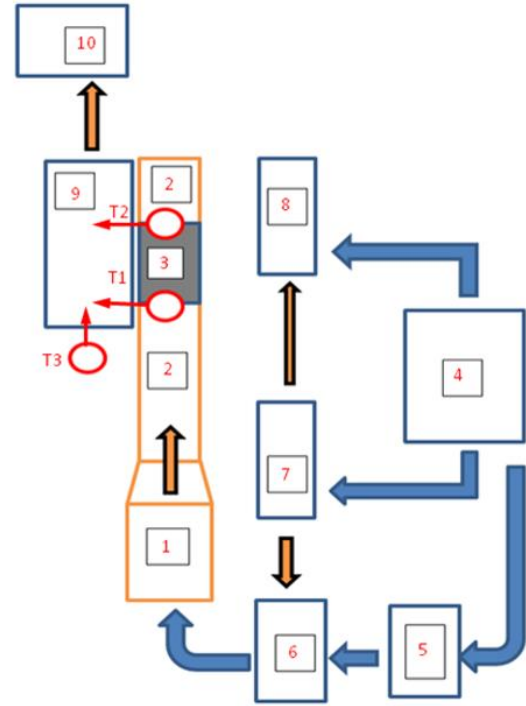
(b)

(c)

Şekil 8. Deneysel çalışmada kullanılan (a) sinyal jeneratörü ve işlemsel yükselteç (b) Osiloskop (c) Voltmetre

2.7 Deney Düzenine Montajı

Deneyde kullanılan elemanların birbirine montajı yapılarak hazırlanan deney düzeneği ve şeması şekil 9 'da görülmektedir.



| No | Sistem Elemanları |
|----|--------------------|
| 1 | Hoparlör |
| 2 | Rezonans tüpü |
| 3 | Yığın |
| 4 | Güç Kaynağı |
| 5 | DC 12V |
| 6 | İşlemsel yükselteç |
| 7 | Sinyal Jeneratörü |
| 8 | Osiloskop |
| 9 | Datalogger |
| 10 | Bilgisayar |
| T1 | T _{SİC} |
| T2 | T _{SÖĞ} |
| T3 | T _{ORTAM} |

Şekil 9. Deney düzeneği ve şematik gösterimi

Tablo 2. Deneysel çalışma da kullanılan parametreler

| Parametre | Çalışılan değer |
|-------------------------|--------------------------|
| Dalga Yapısı | Sinüs |
| Rezonans tüpü malzemesi | PVC |
| Rezonans tüp uzunluğu | 0,25 m |
| Rezonans tüpü çapı | 23 mm |
| Rezonans frekansı | 340 Hz |
| Yığın malzemesi | Mylar, cam yünü ve pamuk |
| Yığın uzunluğu | 8 cm |
| İş gören akışkan | Hava |



3. Sonuçlar ve Değerlendirme

Bu çalışmada TAS tasarımı yapılmış ve tasarım parametrelerine uygun deney düzeneği hazırlanmıştır. Deney düzeneğini tasarlanırken gerekli parametreler araştırılmış ve çalışmalar literatür kısmında verilmiştir. Hazırlanan düzende farklı yığın malzemeleri kullanılarak deneyler yapılmıştır. Düzende mylar, pamuk ve cam yünü olmak üzere ısı iletim katsayıları farklı üç yığın malzemesi kullanılmıştır. Yığın malzemesinin sıcak ve soğuk uçlarından sıcaklık ölçer ile her on dakikada bir yapılan ölçümler sonucunda yığının bir ucunda sıcaklık artışı diğer ucunda ise sıcaklık azalması olduğu anlaşılmıştır. Oluşan bu sıcaklık farkları kıyaslandığında en yüksek sıcaklık farkının mylar yığın malzemesi kullanılması durumunda olduğu gözlemlenmiştir. Mylar yığın malzemesi için elde edilen sonuçların literatür ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmada yığın malzemesi olarak daha önce literatürde üzerinde çalışma yapılmayan cam yünü ve pamuk da denenmiştir. Bu malzemeler ile yapılan deney sonuçları ilgili literatür bulunmadığı için literatüre uyumluluk incelemesi yapılamamıştır. akustik soğutma sistemlerinde performans göreceli olarak düşük olduğundan prototip geliştirme maliyeti oldukça yüksektir. Şu an için termoakustik soğutucuların ticari olarak kullanılıp kullanılmayacağını tahmin etmek oldukça zordur. Fakat bu alanda performansı yükseltmeye yönelik çalışmalar ilerledikçe termoakustik soğutucuların geleneksel soğutucularla rekabet etme imkanı artacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Bhatti, U. N., Bashmal, S., Khan, S., & Ben-Mansour, R. (2023,şubat). Numerical modeling of standing wave thermoacoustic devices—a review. *International Journal of Refrigeration*. 146, 47-62 <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2022.09.024>
- [2] Alcock, A. C., Tartibu, L. K., & Jen, T. C. (2017, Ağustos). Design and construction of a thermoacoustically driven thermoacoustic refrigerator. *International Conference on the Industrial and Commercial Use of Energy (ICUE)* (pp. 1-7). IEEE. DOI: 10.23919/ICUE.2017.8103430
- [3] Zolpakar, N. A., Mohd-Ghazali, N., & El-Fawal, M. H. (2016). Performance analysis of the standing wave thermoacoustic refrigerator: A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 54, 626-634. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.018>
- [4] Hofler, T. J. (1986). *Thermoacoustic Refrigerator Design and Performance (Heat Engine, Resonator, Microphone)*. University of California, San Diego.
- [5] Minner, B. L., Braun, J. E., & Mongeau, L. (1996). Optimizing the design of a thermoacoustic refrigerator.: *Proceedings of the international refrigeration and air conditioning conference*. 343
- [6] Reid, R. S., & Swift, G. W. (2000). Experiments with a flow-through thermoacoustic refrigerator. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 108(6), 2835-2842.
- [7] Tijani, M. E. H., Zeegers, J. C. H., & De Waele, A. T. A. M. (2002). Construction and performance of a thermoacoustic refrigerator. *Cryogenics*, 42(1), 59-66.
- [8] Hariharan, N. M., Sivashanmugam, P., & Kasthuriengan, S. (2013). Experimental investigation of a thermoacoustic refrigerator driven by a standing wave twin thermoacoustic prime mover. *International journal of refrigeration*, 36(8), 2420-2425.
- [9] Terdi, M. (2006). *Ses enerjisi ile soğutma, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, (Yüksek Lisans Tezi)*. 13s, İstanbul.
- [10] Girgin, İ., Türker, M. (2012). Thermoacoustic systems as an alternative to conventional coolers, *Journal of Naval Science and Engineering*, 8(1), 14-32.
- [11] Somasekhar, T., & Kishore, N. (2017). Thermo Acoustic Refrigeration. *IOSR J Mech Civil Eng*, 5, 58-63.
- [12] Teja, T. and Kumar, V. (2017) Design and fabrication of thermo acoustic refrigerator, *International Journal of Advances in Engineering&Technology (IJAET)*, 10(3), 309-317.
- [13] Bansod, P. C., & Raut, A. S. (2017). Review on Thermoacoustic Refrigeration. *International Journal of Innovations in Engineering and Science*, 2(3), 18-24.



- [14] Wetzel M, Herman C (1997) Design optimization of the thermoacoustic refrigerators. *Int J Refrig* 20,3–21. [https://doi.org/10.1016/S0140-7007\(96\)00064-3](https://doi.org/10.1016/S0140-7007(96)00064-3)
- [15] Wheatley JC, Swift GW, Migliori A, Hofler TJ, (1989) The United States Of America As Represented By The United States Department Of Energy,. Heat-driven acoustic cooling engine having no moving parts. U.S. Patent 4858441
- [16] Gökay, İ. & Karabacak, R. (2021). Experimental investigation of the effect of different waveforms on heat transfer in a thermoacoustic cooler. *International Journal of Refrigeration*, 129, 259-266. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2021.04.015>
- [17] Ibrahim, A., Omar, H., & Abdel-Rahman, E. (2011, Haziran). Constraints and challenges in the development of loudspeaker-driven thermoacoustic refrigerator. In 18th International Congress on Sound & Vibration, ICSV18, Rio de Janeiro, Brazil (pp. 10-14).
- [18] Hiller, R. A., & Swift, G. W. (2000). Condensation in a steady-flow thermoacoustic refrigerator. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 108(4), 1521-1527. <https://doi.org/10.1121/1.1289664>
- [19] Tasnim, S. H., Mahmud, S., & Fraser, R. A. (2011, ekim). Second law analysis of porous thermoacoustic stack systems. *Applied thermal engineering*, 31(14-15), 2301-2311. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2011.03.028>
- [20] Tasnim, S. H., Mahmud, S., & Fraser, R. A. (2012, temmuz). Effects of variation in working fluids and operating conditions on the performance of a thermoacoustic refrigerator. *International communications in heat and mass transfer*, 39(6), 762-768. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2012.04.013>
- [21] Piccolo, A. (2013, mart). Optimization of thermoacoustic refrigerators using second law analysis. *Applied energy*, 103, 358-367. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.09.044>
- [22] Swift, G. W. (2003). Thermoacoustics: A unifying perspective for some engines and refrigerators. *The Journal of the Acoustical Society of America* 113, 2379. doi: 10.1121/1.1561492 [75] Swift GW.
- [23] Tijani, M. E. H. (2001). Loudspeaker-driven thermo-acoustic refrigeration. [Phd Thesis 1 (Research TU/e / Graduation TU/e), Applied Physics]. Technische Universiteit Eindhoven. <https://doi.org/10.6100/IR547542>
- [24] Tasnim, S., Mahmud, S., & Fraser, R. (2011). Measurements of thermal field at the stack extremities of a standing wave thermoacoustic heat pump. *Frontiers in Heat and Mass Transfer (FHMT)*, 2(1). DOI: <http://dx.doi.org/10.5098/hmt.v2.1.3006>
- [25] CHEN, B., Abakr, Y. A., & Al-Atabi, M. (2013, haziran). Investigation of an atmospheric pressure thermoacoustic cooling system by varying its operating frequency. *Journal of Engineering Science and Technology*, 8(3), 364-371.
- [26] Rao, B. A., Kumar, M. P., & Rao, D. S. (2013). Design and experimental study of small-scale fabricated thermo-acoustic Refrigerator. *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, 4(9), 3830-3836.
- [27] Tijani, M. (2001). Loudspeaker-driven thermo-acoustic refrigeration. Eindhoven University of Technology, 98p, Eindhoven. (10.6100/IR547542)
- [28] Bammann, T. C., Howard, C. Q., & Cazzolato, B. S. (2005, kasım). Review of flow-through design in thermoacoustic refrigeration In *Proceedings of ACOUSTICS* (pp. 9-11).



ÖZGEÇMİŞ

Netice DUMAN

1991 yılında Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Aynı Üniversiteden 2010 yılında Yüksek Mühendis ve 2018 yılında Doktor ünvanını almıştır. 1991-1993 Yılları arasında bir özel şirkette Montaj mühendisi, 1993-2018 yıllarında Öğretim Görevlisi olarak görev yapmıştır. 2018 yılından itibaren SCÜ Sivas Teknik Bilimler MYO Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü Makine Programında Dr. Öğretim Üyesi olarak çalışmaktadır ve aynı zamanda bölüm başkanlığını yürütmektedir. Enerji, Termodinamik, Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Enerji yönetimi konularında çalışmaktadır.

Halil İbrahim ACAR

1958 Sivas doğumlu.1981 yılında Sakarya DMMO 'dan mezun oldu. Cumhuriyet Üniversitesi Sivas MYO'da çalışmaya başladı.1992 de Yrd. Doç. 1997'de doçent ve 2003'de Prof. unvanı aldı. Halen Cumhuriyet Üniversitesi Makina Mühendisliği bölüm başkanlığını yürütmektedir. Evli ve iki çocuk babasıdır. İngilizce ve Almanca bilmektedir. Çalışma Konuları: Termodinamik ve Isı Tekniği, Yeni ve Yenilenebilir Enerji Teknolojileri, Isıtma, Soğutma, İklimlendirme uygulamaları.

Özlem KUZEY

↓

1982 yılında Samsun'da doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Lise öğrenimini Samsun Milli Piyango Anadolu Lisesi'nde tamamladı. Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde lisansını tamamladı. Yüksek Lisansını Sivas Cumhuriyet Üniversitesinde tamamladı.2007-2010 yılları arasında Maksan Makina San.ve Tic.Ltd.Şti. (ANKARA), 2010-2012 yılları arasında Demirer Hidrolik San.ve Tic.Ltd.Şti. (ANKARA),2013-2014 yılları arasında Gir-San Mak.ve Hafif Silah San.Tic.A.Ş (GİRESUN) firmalarında özel sektör deneyimi oldu. Halen Dikçal Makina İmalat San.Tic.Ltd.Şti (KOCAELİ) firmasında Satın Alma ve Kalite Kontrol Mühendisi olarak görev yapmaktadır.

Şakir KUZEY

1985 yılında Bursa'da doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. 2002 yılında Bursa Mimar Sinan Teknik Lisesi, Elektrik Bölümü'nden mezun oldu. 2003 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümü'nde öğrenime başlayıp 2008 yılında onur derecesi ile mezun oldu. 2008-2012 yılları arasında Hidrolik ve Pnömatik alanında özel sektör deneyimi oldu. 2012 yılında Giresun Üniversitesi, Şebinkarahisar Teknik Bilimler MYO'da Elektrik ve Enerji Bölümü, Elektrik Programında Öğretim Görevlisi olarak göreve başladı. 2017 yılında Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Eğitimi Bölümünde Yüksek Lisansını tamamladı. 2018 yılında Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünü bitirdi. 2019 yılında Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünde Doktora Eğitimine başladı. 2021 yılında Kocaeli Üniversitesi, Karamürsel MYO, Elektronik Teknolojileri Bölümü, Mekatronik Programında göreve başladı ve halen aynı yerde çalışmaya devam etmektedir.



SERİ ÜRETİM HATLARINDA ENERJİ TASARRUFU FIRSATLARI VE TAMPON STOK TAHSİSİ

Hatice GÜNER

İstanbul Rumeli Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi

ORCID: [0000-0002-4221-9495](https://orcid.org/0000-0002-4221-9495)

ÖZET

Üretim hatlarındaki makinelerin beklenmedik bozulmaları ve işlem hızlarının birbirinden farklı oluşu üretim akışında beklemelere ve tıkanmalara neden olur. Böyle durumlarda, makine aralarında bulunan tampon stoklar üretimin daha akıcı bir şekilde akmasına olanak verir. Bu sebeple üretim hattına yerleştirilen tampon stokların kapasitesinin ayarlanması üretim verimi açısından oldukça önemlidir. Diğer taraftan, yeterli tampon stok seviyeleri beklemeler esnasında bazı makinelerin kapatılması suretiyle enerji tasarrufuna olanak sunarlar. Çevrimiçi elde edilen makine bozulmaları, tampon stok seviyeleri, makinelerin boşta olma durumları gibi üretim verileri enerji tasarrufu fırsat pencerelerinin hesaplanmasında kullanılabilirler. Bu çalışmada, üretim hatlarında makineler arasına yerleştirilen ara stok kapasitelerinin ayarlanması yoluyla bir taraftan gereksiz enerji harcanması önlenirken diğer taraftan istenilen üretim veriminin elde edilebileceği matematik bir model ile açıklanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilir üretim sistemleri, üretim hattı, tampon stok, tampon stok tahsisi problemi, enerji tüketimi, üretim oranı

1. Giriş

Teknolojideki gelişmeler ve sanayileşme ile baş gösteren çevresel sorunlar üretimde çevre dostu sistemler tasarlamayı ve çevreci yaklaşımları uygulamayı zorunlu hale getirmiştir. Üretim sistemlerindeki en büyük giderlerden biri enerji harcamalarıdır. Üretici firmalar artık yasal düzenlemeler, paydaş baskıları, ekolojik farkındalık gibi sebeplerle ve rekabet avantajı sağlamak için enerji verimliliğini gündemlerine almışlardır. Buna göre ürün kalitesini ve üretim verimliliğini etkilemeden enerji tasarrufu sağlamanın yollarını araştırmak gereklidir.

Üretim tesislerinde kullanılan enerjinin yaklaşık %75'ini üretim hatları tüketir [1]. Otomobil üretimi, gıda endüstrisi, elektronik eşya üretimi gibi seri üretimin yapıldığı tesislerde üretim hatları sıklıkla karşımıza çıkmaktadır. Bir üretim hattı, ürünü üretmek için gerekli süreçleri gerçekleştiren makinelerin sırayla dizilmesinden oluşur ve düzgün bir ürün akışı için makine aralarında tampon stoklar bulunur. Buna rağmen, makine hızlarının birbirinden farklı oluşu ve beklenmedik makine bozulmaları sebebiyle zaman zaman üretim hattında tıkanmalar ya da parça için beklemeler meydana gelebilir. Diğer bir ifadeyle, öndeki tampon stokta işlenecek parça kalmadığı durumda makine bekleme (boş) durumuna, aynı şekilde sonraki tampon stok tamamen dolduğunda makine bloke (boş) durumuna geçer ve hattaki bu bekleme ve tıkanma durumları istenilen üretim miktarlarına ulaşmayı zorlaştırır. Ortaya çıkan bu üretim kayıpları, tampon stok kapasitelerinin artırılması ile hafifletilebilir. Böyle bir durumda tampon stoklara yatırım maliyetleri, stok alanının kısıtlı oluşu gibi faktörler bir engel olarak karşımıza çıkarlar. İstasyonlar arasındaki optimal stok kapasitelerinin belirlenmesi ile ilgili problem, literatürde Tampon Stok Tahsisi Problemi (BAP) olarak bilinir. BAP probleminde amaç toplam tampon stok kapasitesini sabit tutarken üretim verimini maksimuma ulaştıran tampon kapasitelerini belirlemektir. BAP problemi, NP-zor kombinatoriyal bir optimizasyon problemidir. Konunun önemi ve zorluğu sebebiyle araştırmacıların son 50 yıldır ilgisini çeken bir konudur. Konuyla ilgili yapılan çalışmaları incelemek için Weiss vd.'nin [2] literatür araştırmasına bakılabilir.

Son zamanlarda, artan yakıt fiyatları ve global rekabet sebebiyle üretim firmaları maliyetleri aşağı çekecek yöntem arayışına girmişlerdir. Sürdürülebilir farkındalığın da artmasıyla birlikte üretimde enerji tasarrufu konusu gündeme gelmiştir. Üretim sırasında tampon stok seviyelerinin belirli bir seviyenin üzerine çıkması bazı makinelerin enerji tasarrufu için kapatılmasını mümkün kılar. Enerji tasarrufu için fırsat penceresi/zamanı denilen bu vakitler çevrimiçi üretim verilerinden hesaplanır. Brundage vd.'nin [3] seri üretim hatlarındaki enerji tasarrufunu en üst düzeye çıkarmak için geliştirdiği bu strateji, üretim verimini olumsuz etkilemeden enerji tasarrufu için belirli makinelerin kapatılmasına olanak tanır. Yazarlar, enerji verimliliğini ölçmek ve hattaki en az enerji verimli makineyi belirlemek için birtakım performans göstergeleri sunmuşlardır.

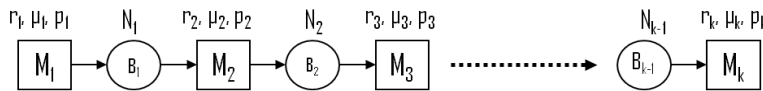
Bu çalışmada, üretim hatlarında makineler arasına yerleştirilen ara stok kapasitelerinin ayarlanması yoluyla bir taraftan gereksiz enerji harcanması önlenirken diğer taraftan istenilen üretim veriminin elde edilebileceği matematik bir model ile açıklanmıştır. Performans değerlerinin hesaplanması ve optimizasyonunda kullanılacak yöntemler hakkında bilgi verilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde enerji tasarrufu ile güncellenen tampon stok tahsisi probleminin matematik modeli gösterilmiş ve enerji tasarrufu fırsat penceresi kavramı açıklanmış, üçüncü bölümde üretim miktarı ve enerji tüketim miktarlarının tahminine yönelik bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde yüksek üretim miktarlarını elde ederken enerji tasarrufunu da sağlayan optimal tampon kapasitelerinin belirlenmesine yönelik olarak Eş-Zamanlı Pertürbasyon Stokastik Yaklaşımı (SPSA) önerilmiş ve sonuç bölümünde çalışmanın katkıları özetlenmiştir.

2. Problem Tanımı

Tampon stok tahsisi problemi (BAP), seri üretim hatlarının tasarımında karşılaşılan en önemli problemlerden biridir. Problemin amacı, makineler arasına yerleştirilen tampon stok kapasitelerinin belirlenmesidir. Tamponlar, makinelerin bekleme ve tıkanmalarını minimize ederek istenilen üretim miktarlarına ulaşılmasını sağlar. Ancak, tampon stoklara ilk yatırım maliyetleri ve tampon depolamadan kaynaklanacak maliyetler sebebiyle optimum kapasitelerin tasarlanması önemli bir husustur [4].

Şekil 1'de k-makinelı, k-1 ara stoklu bir seri üretim hattı resmedilmiştir.



Şekil 1 Seri Üretim Hattı

Şekil üzerinde kullanılan notasyonlar şu şekildedir:

M_i , i makinesi, $i = 1, \dots, k$

B_j , j tampon stoğu, $j = 1, \dots, k - 1$

μ_i , M_i makinesinin işlem hızı

p_i , M_i makinesinin arızalanma hızı

r_i , M_i makinesinin onarım hızı

N_j , B_j tamponunun kapasitesi

Bu çalışmada geleneksel BAP probleminin amaç fonksiyonu biraz daha genişletilerek çok amaçlı hale getirilmiştir. Buna göre hattın üretim hızı, PR maksimize edilirken ve enerji tüketimi, E minimize edilmektedir.

$$\max_{N=(N_1, N_2, \dots, N_{k-1})} z(N) = \frac{PR(N)}{PR_{max}} - \frac{E(N)}{E_{max}} \quad (1)$$



$$\sum_{j=1}^{K-1} N_j \leq N_{toplama} \quad j = 1, \dots, k-1 \quad (2)$$
$$N_j \geq 0 \quad j = 1, \dots, k-1$$

(1) numaralı amaç fonksiyonunda aynı anda iki amacı da gerçekleştirebilmek için her iki değer maksimum değerlere bölünerek normalize edilmiştir. (2) numaralı formülde toplam depolama alanı, $N_{toplama}$ kısıt olarak verilmiştir. Aşağıdaki bölümde yeterli tampon seviyelerinin ve makine bozulmalarının nasıl fırsata çevrildiği anlatılmaktadır.

2. 1. Enerji Tasarrufu için Fırsat Penceresi

Üretim hatlarında birim zamandaki üretim miktarını hattaki en yavaş makine, yani darboğaz belirler. Çünkü, darboğaz makine yukarıdaki tamponlar dolduğunda yukarı hattın tıkanmasına, aşağıdaki tamponlar boşaldığında ise aşağı hattın boş beklemesine neden olur. Burada asıl olan, üretim kaybı yaşamamak için, darboğaz makinenin bekleme ve tıkanmasının engellenmesidir.

Hatta makine bozulmaları gerçekleştiğinde üretim kaybına neden olur, ancak bu durum enerji tasarrufu açısından avantaja dönüştürülebilir. Tampon seviyelerinin belirli bir eşiğin üzerine çıkması bazı makinelerin enerji tasarrufu için kapatılmasını mümkün kılar. Arızalı istasyon (Md) ile en yavaş istasyon (Ms) arasındaki tamponların boşalması ($d < s$) veya tamamen dolması ($d > s$) için geçen süre ya da en yavaş istasyonun bekleme ya da tıkanma durumuna gelene kadar geçen süre enerji tasarrufu için kullanılabilir fırsat penceresidir. Bu zamanlarda, Brundage vd.'nin [3] geliştirdiği makinelerin enerji tüketimi performans değerleri hesaplanarak en fazla enerji tüketimine sebep olan makineler geçici olarak kapatılabilir. Aşağıdaki bölümde birim zamandaki üretim miktarı ve enerji tüketimi ölçüm metotlarından bahsedilecektir.

3. Performans Değerlendirmesi

Makinelerin bozulma sıklıkları, onarılma hızları, işlem hızları ve tampon stok kapasiteleri üretim miktarının tahminini zorlaştıran faktörlerdir. Üretim hızını, dolayısıyla birim zamanda üretilen ürün miktarını tahmin etmek için literatürde ayrıştırma (Decomposition) ve toplama (Aggregation) analitik yaklaşım metotları ya da simülasyon tekniği kullanılmıştır. Bu çalışma için simülasyon tekniğinin kullanımı önerilmiştir. Enerji tüketimini tahmin etmek için üretim hattındaki sensör verileri kullanılabilir.

4. Optimal Tampon Kapasitelerinin Bulunması: Eş-Zamanlı Pertürbasyon Stokastik Yaklaşımı

Simülasyon modeli mevcut parametreler (operasyon süresi, tamir süresi, bozulma oranı ve ara stok kapasitesi) ile çalıştırılıp birim zamandaki ürün miktarı, PR hesaplanır. Tampon kapasiteleri, Spall [2] tarafından geliştirilen Eş-Zamanlı Pertürbasyon Stokastik Yaklaşımı (SPSA) ile değiştirilerek tekrar tekrar ürün tahmini yapılır. En çok üretimi sağlayan ve en düşük enerji tüketimini gerçekleyen tampon kapasitesi değerleri optimal değerler olarak belirlenir.

Tampon stok kapasitelerinin optimal değerlerini bulmak için kullanılacak SPSA yöntemi, geleneksel Sonlu Farklar Stokastik Yaklaşımı (FDSA) kadar doğru sonuçlar verir ve tek seferde birden fazla parametreyi değiştirdiğinden FDSA'dan daha hızlı optimale ulaşır. SPSA seçmemizin sebeplerini şu şekilde sıralayabiliriz:

- Gürültülü amaç fonksiyonları kullanılabilir.
- Lokal ve global olarak yakınsar.
- Genetik algoritma, benzetilmiş tavlama gibi metotlara göre daha az katsayının belirlenmesi gerekir.
- Geleneksel stokastik yaklaşımlara göre daha az ölçüme gerek duyar.



$$\frac{\text{SPSA'da gerekli } z(N) \text{ ölçüm sayısı}}{\text{FDSA'da gerekli } z(N) \text{ ölçüm sayısı}} = \frac{\text{Her iterasyonda 2 gözlem}}{\text{Her iterasyonda } 2p \text{ gözlem}} \rightarrow \frac{1}{p} \quad (3)$$

Burada p parametre sayısını göstermektedir. Problemin amaç fonksiyonu $z(N)$ 'nin türevini sıfır yapan değerler ile optimal tampon kapasiteleri elde edilir.

$$g(N^*) = \left. \frac{dz(N)}{dN} \right|_{N=N^*} = 0 \quad (4)$$

Ancak z fonksiyonunun değeri doğrudan hesaplanamadığından gradyan değerleri SPSA ile tahmin edilir. Gradyanlar tahmin ederken her bir iterasyonda simülasyondan elde edeceğimiz ürün miktarına ait iki ölçüme ve sensör verilerinden elde edilen enerji tüketim miktarlarına ihtiyaç olacaktır. Amaç fonksiyonuna ait gözlemi $y(N, \omega)$ ile gösterirsek bu gözlemin beklenen değeri de gerçek amaç fonksiyonuna eşit olur, $z(N) = E[y(N, \omega)]$. Buradaki ω gürültüyü ifade etmektedir. Gradyanları aşağıdaki denklemi kullanarak tahmin edebiliriz.

$$\hat{g}_t(\hat{N}_t) = -\frac{y(N^+) - y(N^-)}{2c_t \Delta_t} \quad (5)$$
$$N^+ = \hat{N}_t + c_t \Delta_t$$
$$N^- = \hat{N}_t - c_t \Delta_t$$

Burada t iterasyon numarasını, c_t yüzde pertürbasyon katsayısını, Δ_t pertürbasyon vektörünü göstermektedir. Δ_t 'nin elemanları Bernoulli değişkenleridir, eşit olasılıklarla 1 ve -1 değerini alırlar, c_t sıfırdan büyüktür ve t sonsuza yaklaşırken değeri sıfıra yakınsar, $c_t > 0$, $c_t \rightarrow 0$ as $t \rightarrow \infty$.

Her iterasyonda parametreler güncellenirken gradyan tahminleri kullanılır. Tasarım parametreleri kısıtları yoksa (6) ile kısıtları varsa (7) ile güncellenir.

$$\hat{N}_{t+1} = \hat{N}_t - a_t \hat{g}_t(\hat{N}_t) \quad (6)$$

$$\hat{N}_{t+1} = P_N(\hat{N}_t - a_t \hat{g}_t(\hat{N}_t)) \quad (7)$$

P_N , olursuz değerleri en yakın sınır değerine yansıtan projeksiyon fonksiyonudur. a_t artış dizisidir ve t değeri arttıkça sıfıra yakınsar, $a_t > 0$, $a_t \rightarrow 0$ as $t \rightarrow \infty$.

5. Sonuç

Seri üretim hatlarındaki tampon stok kapasitelerinin tasarımı üretim verimi açısından oldukça önemlidir. Son zamanlarda çevresel duyarlılığın ve enerji maliyetlerinin artması üretimde enerji tasarrufu sağlayan yeni stratejilerin geliştirilmesini gerekli kılmaktadır. Yeterli tampon stok seviyeleri beklemeler ve tıkanmalar esnasında bazı makinelerin kapatılması suretiyle enerji tasarrufuna olanak sunarlar. Bu çalışmada, üretim hatlarında makineler arasına yerleştirilen ara stok kapasitelerinin ayarlanması yoluyla bir taraftan gereksiz enerji tüketimi önlenirken diğer taraftan istenilen üretim veriminin elde edilebileceği matematik bir model ile açıklanmıştır. Performans değerlerinin hesaplanması ve optimizasyonunda kullanılabilecek yöntemler hakkında bilgi verilmiştir.



KAYNAKLAR

- [1] Brundage, M. P., Chang, Q., Li, Y., Arinez, J., & Xiao, G. (2014). Sustainable manufacturing performance indicators for a serial production line. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 13(2), 676-687.
- [2] Weiss, S., Schwarz, J. A., & Stolletz, R. (2019). The buffer allocation problem in production lines: Formulations, solution methods, and instances. *IIE Transactions*, 51(5), 456-485.
- [3] Brundage, M., Chang, Q., Wang, S., Feng, S., Xiao, G., & Arinez, J. (2013, September). Energy savings opportunities and energy efficiency performance indicators for a serial production line. In *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems* (pp. 302-309). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [4] Alaouchiche, Y., Ouazene, Y., & Yalaoui, F. (2021). Energy-efficient buffer allocation problem in unreliable production lines. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 114, 2871-2885.
- [5] Spall, J.C. (1992). Multivariate stochastic approximation using a simultaneous perturbation gradient approximation. *IEEE transactions on automatic control*, 37(3), pp.332-341.

ÖZGEÇMİŞ

Hatice GÜNER

Hatice Güner, lisans ve yüksek lisansını Endüstri Mühendisliği üzerine yapmıştır. Doktorasını ABD'nin Michigan eyaleti Wayne State Üniversitesi'nde "Üretim hatlarında verimlilik analizi ve darboğaz yönetimi" adlı tezi ile tamamlamıştır.

2012-2013 yılları arasında Qatar Üniversitesi'nde araştırmacı olarak, 2013-2016 yılları arasında ise özel bir üniversitede Yardımcı Doçent olarak çalışmıştır. Şu anda İstanbul Rumeli Üniversitesi'nde doktor öğretim üyesi olarak eğitim ve bilimsel çalışmalarına devam etmektedir. Yazarın, araştırma ilgi alanları optimizasyon ve simülasyon teknikleri, imalat sistemi tasarımı ve operasyon yönetimidir.



TÜRKİYE BİYOÇEŞİTLİLİĞİ; ETKİLENME NEDEN VE KORUMA ÖNLEMLERİ

Biodiversity Of Türkiye; Causes Of Impact And Conservation Measures

İLHAMİ KIZIROĞLU

Hacettepe Üniversitesi E.Öğr.Üyesi. OSTİM Teknik Üniversitesi Müh., Fak. Öğr. Üyesi; Türkiye
Tabiatını Koruma Derneği YK Bşk Yard.
ikiziroglu@gmail.com ORCID: 0000-0002-8421-2435

ÖZET

Bu çalışmada, Türkiye'nin biyolojik çeşitliliği ve karşı karşıya bulunduğu tehdit ve tehlikelere kısaca değinilmiştir. Biyoekolojik açıdan kıtasal özelliklere sahip olan Türkiye'de 11 707 bitki taksonu bulunmakta ve bu sayının da üçte biri sadece Türkiye'de doğal popülasyon oluşturan bitki türlerinden oluşmaktadır. Köyceğiz'deki sığla ormanı (*Liquidambar orientalis*), bir orman ağacı olarak endemik bir bitki türünün orman olarak bir yapılanma oluşturması örneği, dünyada çok nadir örneklerdendir. Hayvan grupları açısından da kıtasal özellikler gösterir. Omurgasız hayvan gruplarının tamamının henüz belirlenemediği Türkiye'de, yaklaşık omurgasız hayvan türü sayısını 70-80 bin olarak verebiliriz. Omurgalı hayvan grubunda ise en fazla türle temsil edilen balıkları tür sayısı 928'dir. Türkiye'de 39 çift yaşamlı; 124 sürüngen ve 170 memeli türü betimlenmiştir. Ayrıca Anadolu'da betimlenen 525 kuş türü sayısı Rusya hariç diğer Avrupa ülkelerinden daha fazladır. Bu kuş türlerinin 70 'ine sadece rastlantı ile en fazla iki kez rastlandığı görülmüştür. Bu sayı çıkarılırsa Türkiye'de sık rastlanabilecek kuş türü sayısı 455 olarak ortaya çıkmaktadır. Bu denli zengin biyoçeşitliliğe sahip olan Türkiye'de bu biyolojik elemanların önemli bir bölümü çevresel bozulmalarla tehdit altına girmiştir. Sulak alan, ormanlık bölge, terestrik alanların bozulması, çölleşme tehdidi, özellikle erozyonun olumsuz etkileri ve çeşitli gazların salınımı ile ortaya çıkan iklim değişimine neden olan bozucu etmenlerle tehdit altına girmekle karşı karşıyadır. Bu olumsuzluklara engel olunması amacıyla çevre eğitimi, kent müzelerinin rolü ile çevre bilinci oluşturma'nın önemi de ortaya konmaya çalışılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Biyolojik çeşitlilik, tehditler, sulak alanlar, ormanlar, kuş türleri, hava kirliliği, iklim değişimi.

ABSTRACT

In this study, Türkiye's biodiversity and the threats and dangers it faces are briefly presented. In Türkiye, which has continental characteristics from a bioecological point of view, there are 11 707 plant taxa, and one third of them consist of endemic plant species that form natural populations only in Türkiye. The Oriental Amber Tree (*Liquidambar orientalis*) in Köyceğiz is one of the rare examples in the world where an endemic plant species forms a forest structure as a forest tree. It also shows continental characteristics in terms of animal groups. In Türkiye, where not all invertebrate groups have been identified yet, we can give the number of invertebrate species as 70-80 thousand. In the vertebrate group, the number of fish species is the highest with 928. In Türkiye, 39 species of amphibians, 124 species of reptiles and 170 species of mammals have been described. In addition, the number of 525 bird species described in Anatolia is higher than in any other European country except Russia. It was found that 70 of these bird species were encountered only by chance, at most twice. Subtracting this number gives a total of 455 bird species commonly encountered in Türkiye. In Türkiye, which has such a rich biodiversity, a large part of these biological elements is threatened by



environmental degradation. Wetlands, forest areas, land degradation, the threat of desertification, especially the negative effects of erosion and climate change caused by the release of various gases are threatened. To prevent these negative impacts, efforts are also being made to emphasise environmental education, the role of urban museums and the importance of raising awareness about the environment.

Keywords: Biodiversity, threats, wetlands, forests, bird species, air pollution, climate change.

GİRİŞ

Ekoloji ve eksik ekolojik yaklaşım; doğanın korunamaması ile ilgili davranış; bir bakıma ekonomik işlevleri de sınırlamaktadır. Örneğin, hammadde ve yenilenemeyen kaynaklardaki azalma, insanoğlunu ne gibi önlemler almaya yöneltecektir? Bu soruya yanıt aramak artık küresel bir görev olmuştur. Yine dünyadaki kontrolsüz nüfus artışına bağlı iyi beslenememe ve ortaya çıkan açlık sorunu, nasıl çözümlenmelidir? Ayrıca nüfus artışı ile doğrudan ilişkisi olan endüstriyel kirlenme sonucunda, çevre tahribatı ve kirlenme nasıl önlenecektir? Kullanılan yoğun ve kontrolsüz pestisit, insan ve çevresel öğeleri nasıl etkilemektedir? Çeşitli atık gazlardan kaynaklanan hava ve su kirliliği nasıl önlenmelidir? Su kaynaklarının yetersizliği sonucunda ölüm oranlarının artması, önemli bir ekolojik sorun değil midir? Biyolojik çeşitlilik, iklim koruması ve çölleşme gibi birbirine zıt konuların açıklanmasına ve tartışılmasına çalışılacaktır(bkz. Kazancı et al., 1995; Korn et al.2008, Kiziroğlu, 2019; Kiziroğlu et al.,2009 ve 2013).

Bu ve buna benzer daha birçok çevre odaklı sorun, ekolojik düşünce ve davranışın küresel anlamda yaygınlaşmaması sonucu, bir bakıma **dünya çevre savaşlarına** yol açacaktır. Bu savaşların da galibi olacağını düşünen bazı ülke ve yöneticileri, aynı yerkürede olduğumuzu neden unutuyor? Günümüzde en çok dikkati çeken çevre sorun ve çözümleri içerisinde öncelenmesi gerekenler iklim değişikliği ve ona neden olan her türlü **atık üretimi; biyolojik kaynakların ölümü; su sorunu; toprak erozyonu; küresel ısınma, iklim değişimi, ormansızlaştırma ve nüfus yoğunluğu** gibi en temel sorunlardır (Profft et al.2008; Kiziroğlu, 2019). Bu çalışmada, bazı olgular ele alınırken, önce **biyolojik çeşitliliğe** değinilecek, etkileyen neden ve korunmasına yönelik önlemler üzerinde durulacaktır. Biyolojik çeşitlilik ve çevre eğitimi üzerinde de durulacaktır.

BİYOLOJİK ÇEŞİTLİLİĞİN TANIMI

Rio de Janeiro kentinde 1992'de toplanan "Dünya Çevre Doruğunda", imzalanan **"Biyolojik Çeşitlilik Hakkındaki Sözleşme"** metnindeki tanımı şöyledir: *"Kara, deniz ve diğer su ekosistemlerini içeren, bütün kaynaklardaki ve parçası oldukları ekolojik ağ dahilindeki tüm canlı organizmalarda gözlenen çeşitliliği ifade eder"*.

Biyoçeşitlilik Sözleşmesi, uluslararası çevre koruma sözleşmeleri arasında, en çok kabul gören çevre sözleşmesidir. Türkiye bu sözleşmeye 1996 yılında taraf olmuştur. Her üye ülke kendi ulusal biyolojik çeşitlilik stratejisi/eylem planını hazırlamak ve eylem planının içerdiği önlemleri uygulamaya koymakla yükümlüdür.

Gerek yerel ve gerekse global ölçekte biyolojik çeşitliliğin korunmasına yönelik birçok sözleşme yapılmıştır. Türkiye, 14.02.1997 tarihinde Biyolojik Çeşitlilik Sözleşmesini imzalamış ve bu çerçevede **Ulusal Biyolojik Çeşitlilik Strateji Eylem Planını** geliştirmiştir (TC Çevre ve Orman B., 2008). Biyolojik Çeşitlilik ve mevcut doğal kaynaklar, sonraki kuşakların ve şu andaki toplum katmanlarının kullanımına sunulurken, herhangi bir zarara uğramaması gereken önemli yaşamsal öğelerdir. Bu öğelerin **koruma-kullanma entegre yönetim planlaması** bağlamında garanti altına alındığı Biyolojik Çeşitlilik Sözleşmesinde üç temel hedefe ulaşılması öncelenir: Bunlar

*Biyoçeşitliliğin korunması;

*Biyolojik kaynakların sürdürülebilirliğinin sağlanması ve

*Genetik kaynakların küresel ölçüde kullanımının bilinçli, adil ve eşit olarak yapılmasıdır.



Biyçeşitlilik, çeşitli ekosistem ve yaşam alanları ve canlı türleri ile ilgili, kapsamı geniş bir kavramı belirtir: Örneğin, **orman; tatlı su; deniz ve diğer karasal ekosistemleri; toprağı; kültür bitki, evcil ve yabani türleri; mikroorganizmaları ve doğanın diğer bileşenlerini** kapsar. Buna göre Biyçeşitlilik, dört grupta incelenir:

1) Genetik Çeşitlilik;

Bir tür veya populasyonun sahip olduğu *genlerin* tümüne "**Gen Havuzu**" denir. Gen havuzunda, genlerin bir ya da daha fazla biçimi bulunur. Aynı genlerin farklı formları "**Allel**" olarak adlandırılır. İşte, Allel çeşitliliği, populasyonların "**Genetik Çeşitliliği**" anlamına gelir.

2) Tür Çeşitliliği;

Tür; doğal koşullar altında birbirleriyle çiftleşebilen ve üreme yeteneğine sahip, yavru yetiştirme potansiyelinde olan bireylerin ait olduğu taksonomik bir birimdir. Bir ekosistemdeki tür sayısı, tür bazında biyolojik zenginliği ifade eder.

3) Ekosistem; Ekolojik olaylar ve işlevler çeşitliliği:

Önce **habitat çeşitliliğinin**, sonra da **tür çeşitliliğinin** ortaya çıkmasını sağlayan önemli bir etmendir. Bir bölgedeki **ekosistemlerin**, daha küçük ölçekte de **habitatların çeşitliliği, biyolojik çeşitliliğin** kaçınılmaz bir parçası olarak değerlendirilir.

Aşırı avcılık, et ve fildişi için avlanan karasal hayvan ve diğer tıbbi ürünlerin elde edilmesi için canlı varlıklar, soyları tükeninceye kadar avlanmaktadır. Kontrolsüz ve yoğun pestisit kullanımı; toprak erozyonu; iklim değişimi; küresel ısınma; doğal alanların tahribi ve aşırı nüfus artışı biyolojik çeşitliliği olumsuz etkiler. Her yıl soyu tükenmekte olan canlı hayvan türü sayısı yüzlerle ifade edilmektedir: Birleşmiş Milletlerin bir raporuna göre, her gün 130 hayvan ve bitki türünün soyu tükenmektedir. Bu çerçevede avcılara silah avcılığı yerine, **fotoğraf avcılığı/fotosafari** yapmalarını salık veririz (Kiziroğlu et al. 2010). Biyçeşitliliğin yok oluşunu önleyici kesin ve geçerli önlemlerin mutlaka alınması gerekir.

TÜRKİYE’NİN BİYOEKOLOJİK ÖNEMİ

►Türkiye bir yandan Avrupa, diğer yandan Kafkas, İran ve Arabistan kökenli canlı elemanlarına sahip, önemli biyolojik potansiyeli ile dikkat çeker. Taşıdığı olağanüstü zengin biyolojik çeşitlilik ile ılıman iklim kuşağının en önemli ülkeleri arasında yer alır.

► Türkiye'nin biyolojik zenginliği, sahip olduğu çeşitli iklim tipleri (karasal iklim, okyanus iklimi ve Akdeniz iklimi); jeolojik ve jeomorfolojik yapısı; zengin su kaynakları (deniz, göl ve akarsu); büyük yükseklik farkları (deniz seviyesi-5000 m); çok çeşitli habitat tipleri ve coğrafi konumundan kaynaklanır..

► Bu elemanlar bir yandan Akdeniz, Karadeniz ve Ege Denizi kuşağındaki farklı yapı gösteren alçak ve dağ orman ekosistemlerini (Akdeniz kuşağındaki selvi ve sedir ormanları) oluşturur;

► Diğer yandan İç ve Doğu Anadolu'nun step karakterli çok zengin step ve bozkır ekosistemlerini barındırır.

► Bunlara ek olarak Türkiye soyu tükenme tehdidi altındaki birçok canlı türüne örneğin

a)Ak ve Tepeli pelikan (üreme alanları Manyas, Gediz ve Büyük Menderes Deltası)(Resim 16b)

b)Flamingo (üreme alanları Sultansazlığı, Resim 2a , Seyfe Gölü, Tuz Gölü) ve

a) C)Dikkuyruk ördeğe (Burdur Gölü kışlağı; Resim 14b) yaşama olanağı sunan, çok önemli sulak alanlara sahiptir;

Görüldüğü gibi Türkiye bu kıtasal karakterli ekosistem bütünlüğü içinde, biyolojik çeşitlilik ve kaynak açısından, Palearktiğin en önemli doğal kaynak bölgesi durumundadır.

TÜRKİYE’NİN BİYOÇEŞİTLİLİĞİ

*Türkiye'nin değişik biyotopları bünyesinde barındırması, hem bitki(flora) hem de hayvan (fauna)varlığının çeşitlenmesini sağlamıştır:

*Özellikle tohumlu bitki türlerindeki endemizm, kıta Avrupası ile yarış edecek durumdadır:

*Avrupa Kıtasındaki bitki türlerinin % 75'i Türkiye'de bulunur. On binin üzerindeki

tohumlu bitki türü varlığının yaklaşık 1/3'ü sadece Türkiye'de doğal populasyon oluşturur; yani endemiktir.

*Burada geniş Anadolu steplerindeki biyolojik potansiyel önem kazanmaktadır.

*Hayvan varlığı açısından da kıtasal karakterlidir.



*Omurgalı hayvanların tür bazında tespiti yapılmış ve adlandırmaları kısmen tamamlanmış olmasına karşın,

*Tür sayısının 70-80 bin olabileceği varsayılan omurgasızlarla ilgili yoğun çalışmaların yapılmasına gereksinim vardır.

*En son değerlendirmelere göre, yurdumuzda 525 kuş türü saptanmıştır. Bunların da 70'i en fazla iki kez gözlemlendiği için, rastlantısal türler olarak değerlendirilebilir. Bu türler çıkarıldığında Türkiye'de sıkça gözlemlenen kuş türü sayısı 455 olarak belirlenmiştir (Kızıroğlu, 2008;2021,2022)

Boğaz üzerinden göçer kuş türü katarlarına hem ilkbahar hem de sonbahar göç döneminde rastlamak olasıdır. Gerek yırtıcı kuş ve gerekse leylek türlerinin, dünyanın en güzel gökyüzüne sahip Boğaziçi üzerindeki göç valslerine doyum olmaz. Göç valsini mart- mayıs ve eylül-ekim aylarında izlerken, göçmen kuş katarlarını oluşturan birey sayıları doruk noktasına ulaşır (Kızıroğlu 2015).

Türkiye ve Anadolu Coğrafyası hem faunal, hem de floral elemanlar açısından oldukça zengin bir yapı gösterir (Kızıroğlu et al.2006). Dünyanın çoğu bölgesinde bu kadar küçük bir alanda, böylesine bir biyolojik zenginliğe rastlamak mümkün değildir. Anadolu'da toplam yabancı ve kültür bitkileri dahil 11707 bitki taksonu saptanmıştır (Güner et al.2012; Kızıroğlu et al.2013; Muminjanov (Ed.) et al.2019). Yurdumuzu özellikle kuş (525 kuş türü belirlenmiştir) ve diğer canlı türleri (, bkz. Tablo 1) için çekici yapan, zengin yükseltiler; sulak alan; orman; mera ve bozkır gibi farklı doğal zenginliklere sahip olma özelliğidir.

Tablo 1. Türkiye'deki hayvan ve bitki türlerinin grupları ve tür sayısı¹⁾

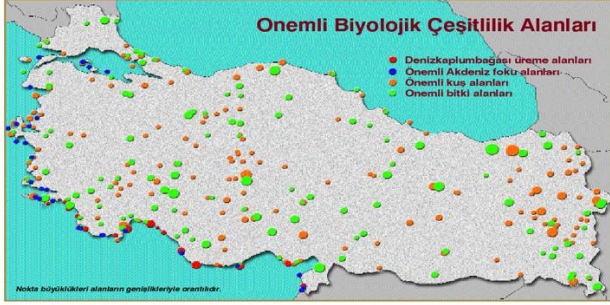
| Bitki ve Hayvan Grupları | Betimlenmiş Tür Sayısı | Endemik Tür Sayısı ve (%) |
|--|--|---------------------------|
| Bitki Taksonu Sayısı ⁶⁾ | 11 707 | |
| Hayvanlar: | 70 000-80 000 | |
| Omurgasızlar | 68 758-78 758 | |
| Orthoptera/Tettigoniidae ¹⁾ | 160 | 109 68,1 |
| Omurgalılar | 1 786/(42340)** | |
| Balıklar | 928/(25 000) | 3 0,6 |
| Çift Yaşamlılar | 39/(3 025) | 1 5,0 |
| Sürüngenler | 124/(5 115) | 2 2,2 |
| Kuşlar ²⁾ | 525 ³⁾ ;454 ⁴⁾ /(11 400) ⁵⁾ | - - |
| Memeliler | 170/ (4 200) | 1 0,6 |

*)= Kızıroğlu et al.(2006): ¹⁾ Çıplak, B.(2003); ²⁾Kızıroğlu(1989;1993;2008;2009;2021;2022); ³⁾ =Kızıroğlu(2015)=Soyu tükenen tür sayısı=2 (%0,5). ⁴⁾ = Kızıroğlu (2022)= Türkiye'de en fazla iki kez izlenen 71 kuş türü dışında, sürekli izlenen kuş türü sayısı; ⁵⁾= Parantez içindeki sayı dünyadaki kuş türü sayısı (HBW, 2019 ve Gill et al.,2021'e göre); ⁶⁾= Parantez içindeki sayılar dünyadaki tür sayısı;⁶⁾ Güner et al., 2012 ve Muminjanov (Ed.) et al.2019'e göre.

ÖNEMLİ BİYOLOJİK ÇEŞİTLİLİK ALANLARI

Türkiye'de 266 Önemli Doğa Alanı bulunuyor. Antalya ve Konya bu alanlar açısından en zengin illerdir. Önemli Doğa Alanları'nın sadece %19'u koruma altındadır. Ülkemizdeki önemli doğal alanlar 18 farklı koruma statüsüyle korunmaktadır(Kızıroğlu et al.,2006). Hatta bazen tek bir alana birkaç koruma statüsü verilmiştir. Bu koruma statülerinin bir kısmı ulusal mevzuata göre ilan edilirken, bir kısmı da uluslararası sözleşmelere dayanarak oluşturulmuştur. Ancak tüm bu statüleri uygulayabilmek için kısıtlı olanaklar bulunmaktadır ve bu nedenle alanlar etkili bir şekilde yönetilememektedir. İdeal koşullar altında, Türkiye Cumhuriyeti'nin korunan alanlar ağını gözden

geçirerek uluslararası öneme sahip olduğu kanıtlanmış tüm biyolojik çeşitlilik alanlarına (kuş, bitki, denizkaplumbağası ve Akdeniz foku alanları ile diğer türler için önemli olduğu bilinen alanlar) uygun bir koruma statüsü vermesi ve bu bölgelerdeki kaynakları doğal yapıya zarar vermeden kullanmanın yollarını araması gerekiyor. Türkiye'de 165 önemli kuş alanı, 122 önemli bitki alanı, 17 denizkaplumbağası üreme alanı ve 35 önemli Akdeniz foku alanı tanımlanmış durumdadır. Bu önemli biyolojik çeşitlilik alanları, Türkiye'nin hemen her yerine dağılmış ve birbirleriyle önemli ölçüde iç içe girmiştir (Harita 1). Ulusal Sulak Alan Komisyonu 41 alanı, korunan sulak alan bölgesi olarak ilan etmiştir (Meriç et al. 2013, s. 92).



Harita 1. Önemli koruma ve biyolojik çeşitlilik alanları

BİYOÇEŞİTLİLİĞİN EN YOĞUN YAŞANDIĞI EKOSİSTEMLER

Koruma alanlarında yaşayan ve kullananlar öncelikli olmak üzere, hedef gruplara yönelik bilinç artırımı çalışmaları yapılmalıdır. İlköğretim ile yüksek öğrenimde **biyolojik çeşitlilik alanında** eğitim programları oluşturulmalıdır. Yaygın eğitim kapsamında başta ilgili bakanlıklar olmak üzere, yetkili kuruluşlarla yakın işbirliğine girilmesinin katkısı kalıcı olacaktır. Böylece toplumun tüm katmanları biyolojik çeşitlilik ve çevre koruması ile ilgili bilinçlendirilmiş olur. Biyoçeşitliliğe en yoğun olarak aşağıdaki ekosistemlerde rastlanır:

1-Step Ve Bozkır Alan Ekosistemi

Anadolu'nun genel biyolojik resmi çizildiğinde en önemli yeri stepine alanların aldığı görülür. Bu alanlardaki çalışmaların azlığı ise oldukça üzücü bir durumdur. Oysa step alanlarda belki de Türkiye'nin en önemli biyolojik potansiyeli saklıdır. Buralar tarım orman alanlarının iç içeliği nedeniyle entansif bir ayırımın çok zor olduğu; ancak mutlaka bu ayırımın yapılması gereken mera alanlarıdır. Meralık bölgeler nüfus artışının da verdiği zorlama ile tarım arazisine dönüştürülmüştür. Bu alanlardaki insan faaliyetleri, bu genetik potansiyelin yok olmasına yol açabilir. Buralardaki en önemli tehdit, toprağı tutan geven gibi bitkilerin sökülmesi ve böylece toprağın akarak erozyon tehdidinin aktif hale geçmesi ve kontrolsüz otlatma nedeniyle toprak kalitesinin bozulup verimsizleşmesidir.

2-Orman Ekosistemi

Akdeniz Bölgesinin karakteristiğini yansıtan makilik orman alanları içerisine yayılmış meşe, kara ve kızıl çam ekosistemleri biyolojik çeşitliliğin ortaya çıkmasına olanak verir. Orman ekosistemlerinin yersiz ve anlamsız gerekçelerle yok edilmesi, önemli bir çevre sorunu olarak tüm insanlığı ilgilendirir. Doğanın akciğerleri yerine geçen ve bizim karasal iklim kuşağındaki ormanlarımız başta olmak üzere, tropik ormanlar ve Amazon ormanları ülkemizde de olduğu gibi özellikle fosil yakıt ve altın arama, madencilik ve diğer amaçlarla yok edilmektedir (Kızıroğlu 2019; Ensari et al.2021). Ayrıca tropik ormanlarda hayvan otlatması; soya fasulyesi tarımı ve palm yağı plantajları ve diğer zirai monokültür tarımı için ormanlık araziler daraltılmakta ve kesilmektedir. Bu gün yerkürenin yaklaşık %30'unu ormanlık alanlar oluşturur. Son elli yılda, her yıl 7.3 milyon hektar ormanlık alan elden çıkmıştır. Bir zamanlar tropik ormanlar, dünya orman varlığının % 15'ini oluşturuyordu. Bu gün ise bu oran sadece % 6-7 kadar olup, yarıdan daha fazlası tahrip olmuş; ya kesilerek, ya da yakılarak yok edilmiştir.

Bizdeki ormanlar, özellikle kıyı kesimleri, haziran ayıyla birlikte sürekli yangın tehdidi altındadır. Türkiye orman varlığının % 56' sını (12.5 milyon hektar) yangına duyarlı bölgelerdedir. Ormanlar sadece biyolojik çeşitliliğin kaynağı değil; aynı zamanda havada bulunan CO₂'in de kullanıcısı olup, onun atmosferde veya okyanuslarda birikmesini engelleyerek, bu gazın olumsuz etkilerini azaltmaktadır.



Dünyanın en önemli sorunu betona dayandırılan ekonomik sistemlerin yaygınlaştırılmış olmasıdır. Beton demek, enerji kullanımı demektir. Bu da CO₂ üretimine yol açmaktadır. CO₂ üretmeden enerji elde etmede bir seçenek olarak sunulan nükleer enerjiden enerji temini projesi de tüm dünyada, çökmüştür. Özellikle Çernobil ve en son Japonya'daki Fukijama nükleer kazalarının, bu sektörden mutlaka uzaklaşılmasını insanlara öğretmiş olması gerekirken, hala Türkiye başta olmak üzere, bu yatırımlar sürdürülmektedir. Orman ve ormanlık alandan şu anda ne geriye kalmışsa, bunun evrensel ve yerel anlamda korunması gerekir. Özellikle yangın; açma ve diğer nedenlerden ötürü, ormanlık vasfını kaybeden alanların, vakit geçirilmeden bir ulusal plan ve proje dahilinde ivedilikle ağaçlandırılması gerekir. Bu ise güçlü bir devlet eli ile gerçekleştirilebilir. Özellikle tropik bölgelerde devlet eliyle bu işi yapacak gücün sınırlı olduğu bilinmektedir. Çünkü buralarda yok edilen ormanların yerine yenilerinin tesisi hem zaman alacak, hem de oldukça yüksek maliyete yol açacaktır (Zimmermann, 2016). Bunu üstlenecek bir devlet yapısı da şu anda oralarda pek var görünmüyor.

Türkiye ormanlarının (22.3 milyon ha), yarısı degrade; yani bozuk orman niteliğindedir. Kişi başına düşen orman varlığı ise sadece 0.3 hektar ile Avrupa'daki en düşük değerdir. Ormanlık alanların bakım ve korunması diğer canlılarla birlikte, insanımıza da yaşamsal rekreatif olanaklar sunar. Öyle ki her hektar ormanlık alanının 168 kişiye rekreatif hizmet sunduğunu bilmemiz gerekir. Bu nedenle, tahrip edilen ormanlık alanların kesinlikle başka sektörler kaydırılmasının önüne geçilmeli ve ivedilikle yeniden bilinçli ağaçlandırmalara önem verilmelidir. Biyoçeşitliliğe ev sahipliği yapan Türkiye ormanlarının bazı özellikleri:

*Türkiye yüzölçümünün 22,3 milyon hektarlık kısmı orman rejimine(%26,2) girmektedir.

*Bu alanın % 44'ü verimli(8,9milyon ha)(genel alana oranı % 11,4) ve % 56'sı (11,3 milyon ha) verimsizdir.

*Ormanlık sektörünün milli gelir içindeki payı sadece binde 17,5'dir.

*Yurdumuz ormanlarının % 55'i yapraklı, % 45'i ibrelili ağaç ormanıdır (Kızıroğlu, 2010).

*Türkiye bakir orman varlığı itibariyle oldukça zengindir.

*Özellikle güneyde Akdeniz Bölgesi kıyı kesimi, kuzeyde Kastamonu ve Bolu ormanları biyolojik çeşitliliğin en önemli yaşama alanlarını oluşturur.

*Genelde çam, sedir, göknar, kayın, gürgen veya meşe/kayın karışık orman ekosistemleri ve zengin bitki toplulukları Türkiye'yi Avrupa'nın en zengin orman ekosistemlerini barındıran ülke konumuna sokar.

*Yine Anadolu ana karasındaki sığla (Fethiye, Köyceğiz kısmen Marmaris) ormanları belki de Avrupa kıtasında endemik bir bitki türünün oluşturduğu tek orman ekosistem zenginliğidir.

*Akdeniz Bölgesinin karakteristiğini yansıtan makilik orman alanları içerisinde yayılmış meşe, kara ve kızıl çam ekosistemleri biyolojik çeşitliliğin ortaya çıkmasına olanak vermektedir.

*Oysa Avrupa ülkelerinin çoğundaki orman ekosistemleri tek düze (monoton) ve aynı ağaç türünden oluşmuş (genellikle hızlı büyüyen ibrelili türleri) monokültürlerdir.

*Bu nedenle özellikle Türkiye Biyolojik Çeşitlilik Stratejileri belirlenirken orman ekosistemlerine çok önem verilmesi gerekir.

*Ormanın birçok işlevi arasında en önemlilerinden birisi de orman toprağının porlu yapısı ve kök sistemi ile yağışı biriktirmesidir.

*Bu şekilde 1 m³ orman toprağı 200 litre su depolar

*Ormanlarımızdaki ağaç tahribatının azalması demek, akarsularla denizlere çamur ve toprak birikintisinin taşınmaması ve erozyonun önlenmesi ve bunun sonucu olarak büyük ölçüde su baskınlarının önlenmesidir. Ormanlar özellikle yerleşim alanlarına yakın bölgelerde Su Koruma Bölgesi olarak da önem kazanır. Bu bölgelerde filtrelenen su, içme suyu olarak kullanılır. Orman oluşturduğu büyük yüzeyi ile zararlı maddeleri çeker. Bu filtreleme ile ormandaki zararlı madde depolanması açık araziye göre 20 kat daha fazladır. Bunların dışında ormanların sosyal içerikli işlevi de vardır. Bu bağlamda her ha ormanlık alanın 168 kişiye rekreatif hizmet sunduğu belirlenmiştir (Resim 1a ve b).

*Ormanların sürdürülebilir işletilmesi ile ormandan yararlanma, koruma ve dinlenme işlevlerinin büyük ölçüde garanti altına alındığı görüşü yaygındır. Türkiye'de de yukarıdaki ölçütlere uygun ormancılığın yapılması Avrupa'ya uyum sürecinde büyük önem taşımaktadır. Özellikle bu hususta gençlerin eğitimi önemlidir.

*Bu çerçevede "Bilmobil", yani hareketli "Orman Okulları" veya okul içi ve okul dışındaki

“Kent Müzelerindeki” bilgilendirmeler sayesinde, orman ekosistemi ile ilgili bilgi ve aydınlatıcı belgelerle çevre bilincinin artırılması amaçlanır.



Resim 1a-b- Kıyı kesimi ve iç bölgelerdeki orman varlığında zengin biyoçeşitlilik ögelerine rastlanır.

3-Sulak Alan ve Akarsular

Sulak alanlar yeryüzünün % 6-10'unu kapsar. Bu alanların dağılımı ise şöyledir: %2 Göller; % 30 yağışa bağlı turbalık bataklıklar, % 26'sı akifere(yeraltı su kaynağı) bağlı turbalıklar; % 20'si çeşitli bataklıklar ve % 15'i taşkın ovalardan oluşur (Meriç et al. 2013 b, s.111).

Türkiye'de 400'ün üzerinde irili ufaklı sulak alan bulunur. Bu alanlar ülke yüzölçümünün % 4,5'ini (3,2 milyon ha) kaplar. Bu sulak alanların 68'i A sınıfı; 200'ü ise uluslararası öneme sahiptir. Hatta 14'ü **Ramsar Sözleşmesi** kapsamına alınmıştır (Meriç et al.2013a;b). 26 nehir havzasını kapsayan, 7 drenaj bölgesi bulunmaktadır. Üç yönden denizle çevrili ve bir de içdenizi olan Anadolu ana karası, barındırdığı akarsu ve diğer sulak alanlarla birlikte, çeşitli canlı gruplarına yaşama olanağı sunmaktadır. Bu olgunun eğitim sürecinde toplum katmanlarına öğretilmesi, “ÇEVRE BİLİNÇLİ TOPLUM” için önemlidir. Orman ve Su İşleri bakanlığı tarafından çeşitli sulak alan havzalarının biyolojik çeşitliliği ile ilgili projeler yürütülmüştür. Örnek olarak Gediz Deltası'nı verebiliriz(GEDİZ DELTASI, 2012).

Tüm bu özelliklere karşın, Türkiye'nin su kaynakları her geçen gün azalmakta ve bu nedenle yeni yöntemler, özellikle; damlama yöntemi kullanılarak, tarımsal alanlarda sulamaya geçilmesinin önemi, tüm ülkelerde olduğu gibi, ülkemiz için de geçerlidir. Anadolu su bütçesinin en verimli ve optimal olarak kullanılması gerekir. Çünkü kişi başına tüketilen yıllık su miktarı sadece 1500-1700 litre arasında olan Türkiye'nin aslında, İsveç'le, burada 11 000 litredir, karşılaştırıldığında, ne denli fakir bir ülke olduğu görülecektir. Su kaynaklarının azlığı ve bundan doğacak sorunlar, su fakiri ülkelerin olduğu gibi, diğer ülkeler için de son derece önemli bir çevresel sorundur (Kızıroğlu, 2001:2007a ve 2007 b).

*Nehir havzası ve drenaj bölgelerindeki yüzey akışı çok düşük olup, sadece 186 milyar m³ tür.

*Akiferlerdeki su rezervinin 94 milyar km³ olduğu varsayılmaktadır.

*Sulanabilir alan miktarı ise 3, 9 milyon hektar olup, bunun 3,4 milyon ha'lık kısmı yüzey, 0,4 milyon hektarlık kısmı ise akiferlerden yararlanılarak sulanmaktadır.

*Damlama yöntemi ile sulamaya en kısa zamanda geçilip yaygınlaştırılması ve akiferlerden sulamanın mutlaka sona erdirilmesi, su kaynaklarının optimal ve verimli kullanılmasının bir ön koşuludur.

*Palearktığın iki önemli kuş göç yolu Anadolu üzerinden geçmektedir. Kuşların bu göç yolculukları sırasında irili ufaklı birçok sulak alandan yararlandığı bilimsel bir gerçektir. Gerek Kuzey Doğu Anadolu Çoruh Vadisi yırtıcı kuş göç yolu ve İstanbul Boğazı Leylek göç yolu ve gerekse cephe göçü yapan göçmen kuş türlerinin göç yolu üzerindeki Anadolu su sistemleri, onlar için yaşamsal önem taşır.

*Türkiye'nin sınır aşan iki önemli akarsu sistemi olan Dicle ve Fırat havzası zengin bitki ve hayvan türleri barındırır.

*Ancak bu akarsuların çoğunda, özellikle Karadeniz'e akanlarda kirlilik çok yüksek boyutta olup, canlı yaşamına olanak veremeyecek düzeye gelmiştir.

*Karadeniz'e boşalan 54 akarsudaki kirlilik oranı çok yüksektir. Sulak alanlardaki

çevresel sorunlar ve tür kaybına neden olan etmenleri aşağıdaki başlıklar halinde vermek mümkündür.

- *Endüstriyel, evsel ve tarımsal kirlilik unsurlarının sulak alanlara karışması sonucu oluşan kirlilik;
- *Sulama teknolojisinin en son yöntemlere göre yapılamaması ve su kaybının büyük oluşu;
- *Aşırı otlatma ve sulak alanlardaki balık yetiştiriciliğinin yaygınlaşarak kontrolsüz yapılması;
- *İkinci konut ve turizm faaliyetlerinin yoğunlaşması sonucu sulak alan ekosistemlerinde yol açılan bozulmalar.
- *Sucul ekosistemlerdeki aşırı kirlilik,
- *Aşırı ve uygun olmayan balık avlanması
- *Yasa dışı avcılık,
- *Yaşama alanlarındaki tahribatlar,
- *Aşırı turizm ve turistik faaliyetler,
- *Su rejimini değiştirmeye yönelik yapay müdahaleler. Buna en tipik örnek Sultanzalığı'nda deşarj kanallarının döşenmesi ile su rejimindeki değişimler sonucunda burada sayıları yüzbinlere ulaşan flamingo nüfusu çok azalmıştır (Resim 2; 3 a ve b).



Resim 2. a- Sultanzalığı Doğa Koruma Alanı ilan edildikten sonra Ramsar Sözleşmesi kapsamına alınan çok önemli bir sucul ekosistemdir ; Bölgedeki Flamingo nüfusu tüm dünya nüfusunun 1/7'sine ulaşabilmekte idi. b- Dalyan Çayı



Resim 3. a- Türkiye'nin önemli sulak ekosistemlerinden örnekler(soldaki resim: İztuzu; sağdaki: Finike Cennet Koyu).

KENT MÜZELERİNİN İŞLEVI

Tüm toplum katmanları açıklanan ekosistemlerdeki biyolojik çeşitlilik ve çevre koruması ile ilgili bilinçlendirilmelidir:

*Böylece yaygın eğitim çerçevesinde kent müzeciliğinin en önemli işlevlerinden birisi yaşama geçirilmiş olur.

*KENT MÜZELERİ, ÇEVRE VE DOĞAYI KORUMAYA yönelik TOPLUM BİLİNCİ



oluşturmada, önemli bir misyonu üstlenir.

*Bu bağlamda her çeşit programı gündemine almalı, konunun uzman ve toplum katmanlarını bir araya getirmelidir.

Bunun için, örneğin aşağıdaki ana başlıklarla ilgili konular işlenerek toplumun çevre bilinci artırılabilir:

a-Atık Sorunu; Ülkemizde ve tüm dünyada bilinçsizce üretilen (Türkiye’de günde 65 bin ton) çöp dağları:

*Sorunsalın insanoğlunu bir gün boğacağı; doğaya bırakılan atıkların çözünürlüğünün çok yal aldığı; örneğin bir sigara filtresinin 2; bira kutusunun 10-100; plastiğin 1000 ve cam şişenin 4000 yılda yıkıldığı ile ilgili çevre bilincini artırıcı ve neden bu materyallerin doğaya atılmaması gerektiği işlenmelidir.

*Yine doğaya atılan atıkların % 60’nın boya ve boya ürünleri olduğu ve bunun olumsuz taraflarının neler olduğu irdelenmelidir.

b-Su Sorunu: Su kaynaklarının sorumsuzca tüketilmesinin sonuçları üzerinde durulmalıdır.

*Bu bağlamda, dünya nüfusunun % 40’ının yaşadığı 80 ülkede, su sıkıntısının neden had safhada olduğu;

- 3,7 litre benzinin, 3 milyon litre içme suyunu kirlettiği;
- Bir paket tereyağı üretimi için 400 litre suya gereksinim duyulduğu;
- Dünyadaki mevcut su varlığının, ancak %1’inin kullanılabilir olduğu;
- Su kaynaklarının süratle tükendiği ; bu nedenle;
- Dünyada her gün sağlıksız suyu içmek zorunda kalan 25 000 kişinin öldüğü, anlatılmalıdır.

c-Hammadde olarak kağıt: Kağıt tüketiminin çok yüksek olması, örneğin insanlar arasındaki gereksiz yazışmadan yüz bin ailenin vazgeçmesinin, 150 000 ağaç demek olduğu ve yine bir büro elemanının yılda 81 kg kaliteli kağıdı çöpe attığı ve böylece orman hammaddesinin hızlı tüketimine yol açtığı işlenmelidir.

ç-Çölleşme: Son 3-4 yılda 24-25 milyon ha doğal alanın çölleştiğini ve şu anda dünya yüzölçümünün %6’sının çölleşmiş olduğunu ve %29-30’unun da çölleşme yolunda olduğu vurgulanmalıdır.

d-Ormanlık alanların yok edilmesi: Her dakikada 14 ha yağmur ormanının yok edildiği; ormanların tahrip edilmemesi; bu nedenle yangınlara neden olunmaması gerektiği işlenmelidir.

e-Nüfus artışı ve Çevre: Dünya nüfusunun her gün 250 bin, her yıl 93 milyon birey arttığını; eğer çevre bilinçli davranılmazsa, bu artışa konu olanların da potansiyel birer çevre yok edici aday olacağını ve tüm bunlara bilinçsiz insanoğlunun neden olduğunun öğretilmesi gerekir. Bu bağlamda, çevreyi tahrip ederek, insanlara kendi sonunu hazırlama sürecini hızlandırmaması gerektiği öğretilmelidir.

f-Biyolojik çeşitlilik: Biyolojik çeşitliliğin önemini ortaya koyucu programlar yürütülmelidir.

g-Çevre kirlenmesi: Kirlenmenin günün birinde bumerang gibi, insanoğlunun sonunu hazırlayacağı ile ilgili basit ve anlaşılır programların, özellikle genç kuşaklara aktarımında KENT MÜZELERİNİN uygun yapılanma içine girmesi gerektiği bilinmelidir. Bu da, önce insanın, içinde yaşadığı doğayı kirleticilik geninden arındırılması sonucunda gerçekleşebilir. Yani önce iç çevremizi tanıyıp hırs, istek ve arzularımıza gem vurmaya öğrenmeliyiz. İç çevremizdeki yetkinlik ve uyum, dış çevremize, çocuklarımıza ve torunlarımıza yansiyacak ve sağlıklı bir toplum oluşacaktır. Bunun sağlanmasında **kent müzeleri ve yaygın eğitim merkezlerine** önemli görevler düşer(Kiziroğlu 2011; Kiziroğlu et al., 2021).

TÜRKİYE’NİN BİYOLOJİK KAYNAKLARINI TEHDİT EDEN ETMENLER

Biyolojik Çeşitlilik Büyük Tehdit Altında(Kelaynak Tükendi)(Resim 6a):Bu gün var olan türlerin %20’si bu yy.yok olacaktır. Yoğun ve bölgesel sınırlanmış ve şehirleşme;(Resim 4.a ve b)



Resim 4. a- Ektiğimizi biçiyoruz; kimi bölgeler kuraklık çekerken, diğer bazı bölgeler su baskınları ile karşı karşıya kalıyor. b-Sucul Ekosistemler kirlenerek bozuluyor
*Sulak alanların kurutulması;
*Turizm ve turistik faaliyetler, doğal alanların yoğun bir şekilde kullanılmasına neden oluyor;
*Hava kirliliği, yıllık dünya CO₂ salım miktarı 38 milyar ton (Resim 5.a ve b).



Resim 5. a- CO₂ ve sera gazı salımları doğal yapıyı çok olumsuz etkiliyor. b- Orman yangını ise özellikle haziran-eylül dönemlerinde çok artıyor. Türkiye'de 2021 yılında 175 bin hektar orman alanı kül olmuştur.

- *Yol ağının genişlemesi-yeni yolların plansız-programsız inşası;
- *Doğal zenginliklerin yurt dışına kaçırılması;
- *Böcek öldürücülerin ve yabancı ot öldürücülerinin yoğun ve bilinçsiz kullanımı;
- *Yoğun ve bilinçsiz avlanma;
- *Orman yangınları : Kendi Akciğerini Hançerleyen Başka Bir Canlı Türü Var Mı?(Resim 5b)
En son popülasyonu Birecik/Urfa'da kalmıştı; yanlış tarım politikaları, kurutulan sulak alan ve yoğun pestisit kullanımı sonucunda (özellikle DTT) doğal soyu 1988 yılında tükenmiştir(Resim 6 a ve b).



Resim 6.a-Kelaynak, *Geronticus eremita*(<http://tr.wikipedia.org/wiki/Kelaynak>).b-Küçük bir çay

TOPRAK EROZYONU



Her yıl on iki milyon hektarlık tarım arazisi bozulup degrade edilmekte, başta yağmur ormanları olmak üzere ormanlık alanlar tahrip edilmektedir. Bir saniyede yağmur ormanlarından, bir futbol sahası büyüklüğündeki alan bozulmaktadır. Buralar insanlığın temel besin maddelerini kazandığı tarım arazileridir. Avrupa Toprak Bürosunun verdiği bilgiye göre her gün 1000 km² tarım arazisi yok olmaktadır. Bunda **yol yapımı, şehirlerdeki betonlaşma** ve **endüstriyel alanların genişletilmesinin** rolü büyüktür. Ayrıca kullanılan yoğun kimyasallar toprak mikroorganizma faunasını, yani diğer bir ifade ile mikrokozmoz, tamamen tahrip ederek toprağı verimsizleştirmektedir (Resim 7).

Dünya genelinde her yıl 25 milyar ton verimli toprak, erozyon sonucu yok oluyor. Dünyada 2,7 milyar insan çölleşme tehdidi altında. 2050'de bu sayının dört milyara ulaşması bekleniyor. Türkiye'de çöl yok; ancak özellikle Konya ve Iğdır ile Güneydoğu Anadolu Bölgesi çölleşme tehlikesi altında. Yılda Türkiye'deki toprak kaybı 168 milyon tonu bulmaktadır. Avrupa ülkeleri arasında kıtasal ölçekte kaydedilen toprak kaybı ise 300 milyon tondur. Bu da Türkiye'nin her yıl tek başına neredeyse tüm Avrupa'da kaybedilen toprağın üçte ikisini kaybettiği anlamına geliyor.

Türkiye'nin 77, 9 milyon ha olan toprak varlığının 26,3 milyon hektarı tarım arazisi; 20.2 milyon hektarı ormanlık alandır. Yine toplam arazinin % 24,5'i I.+II.+III. sınıf topraklardan oluşur; bu kaliteli üç sınıf toprak içinde tarım topraklarının payı, % 90 olup, arazilerin % 60'ının yüksekliği 1000 metrenin üzerinde; % 62,5'inin eğimi ise %15'ten daha fazladır. Bu değerlere sahip olan Anadolu toprağı, aşırı otlama; monokültür tesisi; erozyon, aşırı gübreleme ve aşırı kimyasal kullanımı; tarım ve yeşil alanların değiştirilmesi gibi daha birçok neden, toprak erozyonunu doğrudan veya dolaylı olarak tetikleyen etmenlerden bazılarıdır. Kuzey ve güneydeki sıradağlar nedeniyle iklim ve arazinin jeocoğrafyası arasında sıkı bir bağ vardır. Türkiye'nin farklı coğrafi bölgelerdeki iklim özellikleri nedeniyle mikroklimatik alanlar oluşmuştur. Ülkemizdeki toprakların % 7.22'sinde hafif, % 20.04'ünde orta, % 36.42'sinde şiddetli, % 22.32'sinde çok şiddetli olmak üzere toplam % 83.20'sinde erozyon yaşanmaktadır (Balabanlı et al.2005)(<http://www.millidegerlerikorumavakfi.net>).

Tarım sektörünün toplam istihdamdaki oranı % 35.4 kadardır. Rasyonel tarımın yapıldığı ülkelerde tarımsal ürünlerin % 60'ı, ülkemizde ise % 25-30'u gıda sanayinde değerlendirilir. Çölleşme ve kuraklık aynı zamanda, erozyon, toprak örtüsünün yok olması, tarımsal ürün çeşitlerinde düşüş, biyolojik çeşitliliğin yok olması gibi sonuçları da doğuruyor(Koehler, 2008).

Türkiye'de tarım arazilerindeki erozyonun ülke maliyeti 6,7 milyar dolara ulaşıyor. Türkiye'nin su potansiyelinin yüzde 74'ü tarımda kullanılıyor. Azalan yağışlar ve aşırı kullanma nedeniyle Tuz Gölü'nün alanı yüzde 50 küçülürken, Ereğli Bataklığı, Bafa Gölü ve Akşehir Gölü yok olma tehlikesiyle karşı karşıya bulunmaktadır. En büyük tatlı su rezerv alanı olan Beyşehir Gölü'nde ise derinlik 24 metreden 9 metreye kadar düşmüştür.

Şu anda bir dizi toprak koruma ve yeniden eski haline döndürme teknolojileri geliştirilmiştir. Sürdürülebilir tarım uygulamaları, ürün çeşidi ve sırasına göre düzenlenmesi, ve teras çalışmalarına önem verme gibi önlemler, kısa vadeli çözümlerdir. Ancak bu kısa süreli çözümlerin geniş zamana yaygınlaştırılması da kaçınılmaz görünmektedir. Orman alanlarının çay ve fındık ekim alanlarına dönüştürülmesine ek olarak plansız yerleşim, toprak kayıplarına neden oluyor

Biyocoşunluğun karasal(terrestrik) alanlarda varlığını sürdürebilmesi için toprağın korunması ve erozyona yol açacak müdahalelerden mutlaka kaçınılması gerekmektedir. Çünkü toprak sadece biyocoşunluğa yaşama olanağı sağlamaz, aynı zamanda aşağıdaki işlevleri de yerine getirir;

Yaşama alanı işlevi: İnsan, bitki ve hayvan dünyası biyolojik çeşitlilik ve genetik çeşitliliğe olanak verir.

Düzenleme işlevi: Biyotik ve abiyotik madde değişiminin özellikle de organik ve zararlı maddelerin mikrobiyel yıkımı, yeraltı suyunun fiziksel ve kimyasal filtrelenmesi.

Taşıyıcılık işlevi: Toprak ekonomi, seyrüsefer, dinlenme, yerleşim, besin sağlama ve işleme, emisyon ve atıkların azaltılması için birçok işlevi yerine getirir.

Kültürel işlevler: İnsanlık tarih ve kültürünün temelini oluşturan bir yaşam alanıdır.

Ayrıca tarihi gizleyen bir koruyucu işleve sahiptir(Göbekli tepe).

Üretim işlevi: Toprak, tarım, ormancılık için sürekli biyolojik kütlelerin yenilediği

bahçecilikte ise insan için yaşamsal temelli hammadde ürettiği bir ortamdır.

Toprağın Ekosistem içindeki bu işlevlerine ilaveten, tüm organizmaların yaşadığı

yerkürenin üst yüzeyidir; dünyanın su örtüsüdür, dünyanın dağlık örtüsüdür, dünyanın toprak örtüsüdür.

Küresel anlamda günümüzde şu anda 20 milyon kilometre karelik alan bozulmuş; yani degrade olmuştur. Toprak Ayağımızın Altından Kayıyor; Türkiye’de Erozyon Avrupa’dan 12, Afrika’dan 17 misli daha fazladır; Çölleşme, 110 ülkeyi etkiliyor, bunun da 18’i gelişmiş ülkedir.

Dünyada 250 milyondan fazla kişi çölleşmeden doğrudan etkilenirken, dünya düzeyinin üçte biri veya bir başka deyişle 4 milyar dönümü aşkın arazi çölleşme tehdidi altındadır. Bugün dünya üzerinde yaklaşık 135 milyon kişi çölleşme nedeniyle göç etme tehlikesi altındadır. Kuraklık ve çölleşme, insan kaynaklı iklim değişikliğiyle birlikte, sonuçları açısından günümüzde insanoğlunun karşı karşıya olduğu ve mutlaka ciddiye alması gereken en önemli küresel ve bölgesel çevre konularından biridir. Ülkemizde tarım alanlarının yüzde 59’unda, orman alanlarının yüzde 54’ünde ve mera alanlarının yüzde 64’ünde aktif erozyon görülmektedir. Her yıl 182 milyon ton verimli üst toprak sürüklenerek akarsular tarafından taşınmaktadır. Yurdumuzda, özellikle İç Anadolu’da, Konya ilinin Karapınar dolaylarında rüzgar erozyonu meydana gelmektedir. Suların sebep olduğu erozyon, bütün Türkiye’de, özellikle dağlık bölgelerde ortaya çıkmaktadır. Devlet Su İşlerinin yaptığı etütlere göre, Dicle, Fırat, Seyhan, Ceyhan, Yeşilırmak, Kızılırmak ve Sakarya nehirlerinin her yıl sürükleyip denizlere götürdüğü humus toprağının toplamı 441 milyon tondur. Bu toprağın yok olması sonucu, 45-50 yıl önce bağlık, bahçelik ve tarımsal verimi çok yüksek olan araziler, şimdi tamamen kıraç topraklar haline gelmiştir. Aşırı su kullanımı, yanlış sulama yöntemleri, orman alanlarının yok edilmesi, meraların amaç dışı kullanımı, yok edilen sulak alanlar, su kaynaklarının hızla kuruması, yanlış tarım politikaları sonucu çölleşme ve kuraklıkla karşı karşıyayız.

2030 yılında yerkürede 3 milyar daha fazla insan yaşayacaktır. Besin maddesi üretimi daha da artırılabilmektedir. Tarım için ayrılan alanın sınırlı olmasına rağmen insanoğlunun daha fazla besine ihtiyacı olacaktır. Bu yüzden de tarımsal alanlar kişi başına 0,85 hektardan 0,4 hektara düşecektir. Degrade olan toprak parçasının verimi her geçen gün düşecektir. Kurak bölgelerde ve duyarlı ekosistemlerde yaklaşık bir milyar insan yaşamaktadır. Toprağın bozulmasının sürmesi bu bölgelerde her yıl 45-50 milyar dolarlık kayba yol açacaktır. Orman tahribi degradasyonun en önemli nedenidir. Bitki örtüsünün olmadığı bölgeler, üst toprağın yağmur ve rüzgarla erozyona uğraması kaçınılmaz olacaktır. Su erozyonu ile değerli toprak denizlere taşınacaktır. Su erozyonu ve tuzlanma şu anda bir milyar hektar araziye etkilemiştir. Bu da arid bölgenin yarısına denk düşer. Rüzgar erozyonuna maruz kalan alan ise 550 milyon hektardır. Eğer her yıl, hektarda bir santimlik toprak parçası erozyona uğrayacak olursa, bu 100-150 tonluk değerli toprağa eşdeğerdir. Öyle ki toplam arazi varlığımız göz önüne alındığında, %62’inde eğim dikliği %12’den; %48’inde ise %20’den daha fazladır. Buna karşılık %2-20 eğime sahip arazilerimizin miktarı ise ancak 29,7 milyon ha’dır. Bu nedenle, etkili toprak derinliklerine bakıldığında, arazilerimizin %37,2’sinin işlemeli tarıma uygun olduğu görülür. Bu yıl(2023) su varlığımızın 112 milyar metreküpün tamamı kullanılacak ve yüksek düzeyde su stresi yaşanacaktır öngörülür, gelinen 2023 Ocak ayı sonuna doğru, ne yazık ki gerçekleşiyor gibi. Bu durum da yılın diğer dönemlerinde bir su krizi ile karşılanabileceği anlamına gelmektedir. Yani her damla yağmur suyuna ihtiyacımız olacaktır.



Resim 7. Toprak erozyonu

Anadolu’da erozyonun biyoçeşitlilik üzerindeki olumsuz etkisi çok büyüktür. Tüm anılan etmenlerden biyoçeşitliliğin korunması için bazı önlemlerin yaşama geçirilmesi kaçınılmazdır. Çünkü biyoçeşitliliğin



korunması, ulusal olduğu kadar, evrensel boyut ve önemde olan bir görevdir. Aşağıda korunma altına alınan birçok bitki ve hayvan türünün resmi görülmektedir (bkz. Resim 8-18).



Resim 8. Sevgi çiçeği (*Centaurea tchihatcheffii*) (<http://www.akdeniz.edu.tr/muhfak/cevre/coastlearn-r/bio/boxes/losshabi.htm>) ve Ters lale (*Fritillaria imperialis*)



Resim 9. Kardelen (*Galanthus nivalis*) (<http://tr.wikipedia.org/wiki/Kardelen>)





Resim 10. Turuncu kelebek, *Lycaena dispar* (<http://www.schmetterling-raupe.de/art/dispar.htm>)



Resim 11. Yeşil kaplumbağa (*Chelonia mydas*) (<http://www.ntvmsnbc.com/news/239709.jpg>)



Resim 12. Deniz kaplumbağası, *Caretta caretta* (<http://www.yenisafak.com.tr/aktuel/?t=11.11.2007&c=5&i=51901>)

Akdeniz foku küresel ölçekte nesli çok büyük tehlike altında olan 12 türden biridir(IUCN, 2006). Türkiye'de yaşayan Akdeniz fokunun korunması ile ilgili "Foça ve Yalıkavak Pilot Projesi" ÇOB koordinasyonunda sürdürülmüştür.



Resim 13.a-Anadolu leoparı (*Panthera pardus tulliana*)
(<http://www.tabut.net/index.php?showtopic=48401>)

b-Akdeniz foku : *Monachus monachus* (http://tr.wikipedia.org/wiki/Akdeniz_foku)

Urfa'da yaşayan yabani ceylan koruma altına alınmış ve günümüzdeki sayısı 200 bireye ulaşmıştır.



Resim 14a-Ceylan; *Gazella gazelle*

(<http://www.dogadernegi.org/dogabulten/index.php?sayfa=ceylan>)

b-Dikkuyruk; *Oxyura leucocephala*



Resim 15 a-Şahin, *Buteo buteo eupatria*

b-İskender papağanı, *Psittacula*



Resim 16 a-Kara leylek, *Ciconia nigra*



b- Akpelikan, *Pelecanus onocrotalus*



Resim 17 a-Kara çaylak, *Milvus migrans*



b-Yılan kartalı, *Circaetus gallicus*



Resim 18. a-Büyük orman kartalı, *Aquila aquila*



b- Angıt, *Tadorna ferruginea*



HAVA KİRLİLİĞİ VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ

Sanayi devrimine geçiş süreci, on sekizinci yüzyılın ortalarına doğru başlamıştır. Daha sonra da çeşitli gelişim dönemleri, örneğin endüstri; enerji; nanoteknoloji; yazılım; bilişim ve robotik devrim süreci gibi dönemler birbirini izlemiştir. Anılan ve benzer dönem, devrim ve gelişim basamaklarında insanoğlu havaya, sürekli karbondioksit(CO₂) ve sera gazlarını(karbon monoksit, metan azot monoksit, nitröz oksit, hidroflorür ve perfloro karbonlar, sülfürhekza florid, ozon) salmıştır. CO₂ salınımı ile endüstrileşme süreci, atbaşı giden ve birbirini tetikleyen aşamalıdır. Eğer çeşitli sanayi kollarınca üretilen CO₂ kontrollü ve ölçülü olarak salınır, doğal sirkülasyon bozulmazsa; bu gaz bitkiler tarafından asimilasyonda kullanıldığı için, zarar vermeden tüketilebilir. Kömür gibi fosil yakıt kaynakları, termik santraller, tarım ve endüstriyel kaynaklı etkinlikler nedeniyle, havadaki CO₂ yoğunluğu 280 ppm'den, günümüzde neredeyse iki misli artarak 400 ppm sınırına dayanmıştır. Bu artışın da çeşitli olumsuz etkileri olmuş ve özellikle iklim değişikliğinin çok hızlı bir tarzda olumsuz şekilde ortaya çıkmasına yol açmıştır. Endüstriyel kalkınmanın sınırsız CO₂ salımı ile paralellik gösterdiği gerçeğinin nihayet, küresel ölçekte anlaşılması ile Kyoto Protokolü ve Antlaşması 11 Aralık 1997'de imzalanmıştır (Kızıroğlu et al. 2021). Dünya iklimini koruyucu amaç taşıyan bu protokol, 2005 yılında yürürlüğe girmiş ve 2011 Aralık ayında 191 ülke taraf olmuştur. En fazla sera gazı ve CO₂'i üreten Amerika Birleşik Devletleri Kyoto Protokolünü, 2001 yılında protesto etmiş ve sonuçta reddetmiştir. Kanada ise protokolü önce imzalamış; ancak bir hafta sonra, imzasını geri çekmiştir. İmzacı ülkeler, iklim değişikliğinin en önemli etken maddesi olan adı geçen gazların miktarını 2008-2012 zorunlu indirim döneminde %5.2 azaltarak 1990 yılı düzeyine çekmeyi kabul etmişlerdir. Sözleşme tarafları ikinci bir zorunlu dönem olarak kabul ettikleri 2013-2020 periyodunda da indirime gideceklerini kayıt altına almışlardır. Bu dönemde ise sözleşme taraflarından sadece 144 ülke sözleşmeye sadık kalmıştır. 20 Nisan 2020'ye kadar ikinci Kyoto Protokolüne uyan ülke sayısı 136'ya inmiştir. Bu ülkeler 2020 yılından sonraki sürecin nasıl işleyeceği ile ilgili olan Paris antlaşmasını da imzalamışlar, böylece sera gazları ve CO₂ salımını kontrol altına almayı taahhüt etmişlerdir. ABD, Kanada ve Avustralya, Birleşmiş Milletlerin iklim sözleşmesini imzalamamakla, dünya iklimini bozmayı sürdürceklerini de kabul etmişlerdir. Türkiye Kyoto Antlaşmasına 2009 yılında imzalamıştır. Sözleşmelere taraf olan ülkeler, ne yazık ki hala egoistliğini sürdüren ABD'nin etkisi altında olup, küresel hava sıcaklığının artmasının durdurulmasında, yeterince aktif değiller. Bu nedenle de küresel sıcaklık, arttıkça artıyor. Sadece yerkürede değil, aynı zamanda okyanusların da sıcaklığı her geçen gün yükseliyor. Paris Antlaşmasında yerküredeki sıcaklık artışının 2 hatta 1,5°C ile sınırlandırılması hedeflenmiştir. Ancak 2015 yılındaki Paris Protokolünden sonra geçen 5 yıllık süreçte, taraf olan hiç bir ülke milli iklim ve CO₂ salımını indirgemek için verdiği sözde duramamıştır. Çünkü fosil kaynak rezervlerini elinde bulunduran Suudi Arabistan, ABD, Rusya ve Avustralya, alınması düşünülen her türlü önlemleri bloke etmeyi, göz göre göre sürdürmektedir. Dünya sağlık kuruluşu (WHO) örneğin, 2012 yılındaki her dokuz ölümden birinin, havaya verilen ve kanseri tetikleyen bu gaz ve diğer zehirlerden kaynaklandığını açıklamıştır. Tüm bu olumsuzlukların engellenmesi için bazı önlemlerin de alınması gerekmektedir: *Örneğin toplu taşıma yaygınlaştırılmalı; yüksek enerji sarfiyatlı eski teknolojiler devre dışı bırakılmalı; atıksu arıtılıp kullanıma sunulmalı; mevcut santrallerde elektro filtreler zorunlu hale getirilmeli ve kısa süreli denetimler uygulanmalı; solar enerjinin yaygınlaştırılmasındaki mevcut engellemeler kaldırılmalı; vahşi çöp depolama yerine, ayrıştırılmış çöp uygulamaları geliştirilerek, geri kazanıma önem verilmeli ve mevcut tesislerden elektrik enerjisi sağlanmalı; yatırımlı ekolojik evlere ağırlık verilmeli.* Ayrıca, fosil kaynaklı yakıtlar yerine, yenilenebilir enerji teknolojilerinin hızla geliştirilerek devreye sokulması kaçınılmazdır. Özellikle doğadaki temiz enerji kaynakları hızla devreye sokulmalı ve bu amaçla yeni gelişmelere yatırım yapılmalıdır. Bunların kısa, orta ve uzun vadeli planlamalarla gerçekleştirme yoluna gidilmelidir. Doğada tüm insanlığın gereksinimini karşılayacak miktarda temiz enerji bulunmaktadır. Yeter ki bunun elde edilmesi için, yeni teknolojilere yatırım yapılmasını engelleyen kartellerin bu işten ellerini çekmeleri ve bütünleşik bir dünya görüşü ile hareket etmeleri sağlansın.

Yenilenebilir enerjideki en son gelişmiş teknoloji ve bu kaynakların sürdürülebilirliğinin sağlanması gerekir. Uygun dönemlerde üretilen enerjinin, depolanma yöntemleri geliştirilmelidir. Bunun için yapılacak yatırımlar, ilk planda yüksek gibi görünse de, uzun vadede hammaddesi bedava olan bu kaynaklardan elde edilecek enerjinin kullanımı, çok düşük maliyetli olacaktır. Rüzgar yoğunluğu, yüksek olan alanlarımız sınırlıdır. Bunları eski teknolojilere kurban etmeden, çeşitli sınırlamalarla gelişmiş teknoloji kullanılmasının sağlanması için, üniversite ve teknoloji enstitülerince



ivedilikle yatırımlara geçilmelidir (Kızıroğlu 2019). Örneğin RES teknolojileri geliştirilmeli ve tek bir rüzgar gülünün kapasitesi en az 7 Megawatt olmalı, ondan sonra buna uygun RES-Çiftlikleri kurulmalıdır. Bunlar da kurulurken ÇED süreci mutlaka izlenmelidir (Kızıroğlu, 2014 ve Kızıroğlu et al.2015). Üç tarafı denizlerle çevrili olan ülkemizde, off shore alanlar belirlenmeli ve denizel rüzgar enerjisi potansiyelinden yararlanılmalıdır. Solar enerji teknolojisinin gelişmesi ve yaygınlaştırılması gerekmektedir.

YOĞUN NÜFUS ARTIŞI

Dünya nüfusu alabildiğince artmaktadır. Yirminci yüzyılın başında 1,5 milyar olan dünya nüfusu bu gün 7.5 milyar sınırını aşmıştır. 2050 yılına kadar bu ölçekte nüfus artışı sürerse, dünya nüfusunun on milyarı aşması beklenmelidir. Mevcut nüfusun da yaklaşık dört milyarı şehirlerde yaşamaktadır. En kolay yoldan bu insanlara iş ve meslek sağlanması gerekir. Bunun için de gelişmiş ve gelişmekte olan toplumlar, şehirleri betonlaştırıp, onlara inşaat sektöründe çalışma olanağı sunarak karşılamakta ve bu insanların üretici işlevlerini yok etmektedir. Çünkü bu yolla insanları iş ve meslek sahibi yapmak en ucuz ve en kolay olanıdır. Ancak bu sürecin de sonu gelmiş ve şehirler mevcut betonluk yapılara doymuştur. O halde şehirlerde iskan edilmiş bu insanlar neyle yaşamını sürdürecektir? En önemli sosyal sorun da burada yatmaktadır. Bu sorunun çözümüne yanıt ararken de her şeyin azalıp, daraldığı görülecektir. Artan küresel dünya nüfusu, bu artışı doğal varlık ve rezervlerin azalması ile ödemek zorunda kalacaktır. Her toplum, iyi beslenmek, sağlık hizmetlerinden en iyi yollardan yararlanmak ve kafasını sokacak bir barınak istemektedir. Başta aileler ve tüm sorumlular, doğum kontrolüne dikkat etmelidir. Bu önemli sorunu ciddi bir şekilde ele almaları gerekir. Aile planlaması ve bu konudaki eğitimler önemlidir.

BİYOÇEŞİTLİLİĞİN KORUNMASI

Koruma altındaki alanlar dışındaki biyolojik çeşitliliğin korunmasına yönelik, yasal düzenlemeler yapılmalıdır. Örneğin

- Toprak; Doğa Koruma ve Biyogüvenlik Yasası çıkarılmalı ve Ulusal Biyogüvenlik Kurulu kurulmalıdır.
- Bataklıkları Kurutma Yasası kaldırılmalı ve uygulamalar ivedilikle durdurulmalı; bu konuda hiçbir resmi kurumun bütçesine para ayrılmaması sağlanmalıdır. Gerekirse sulak alan ve bataklık kurutulması anayasal olarak yasaklanmalıdır.
- Biyolojik çeşitliliğin korunması ve sürdürülebilir kullanımı, ulusal düzeyde bütün sektörel plan ve programlarla bütünleştirilmelidir.
- Biyolojik çeşitliliği tehdit eden faktörlerden genetik yapısı değiştirilen organizmalar (GDO) ile yabancı türlere yönelik ülke politikaları belirlenmelidir.
- Ekoturizm desteklenmelidir.
- Sanayide temiz teknoloji desteklenmeli, çevre korumaya yönelik önlemler için sanayi özendirilmelidir.
- Sivil Toplum Kuruluşları (NGO) ile işbirliği alanları geliştirilmeli ve KENT MÜZELERİNİN bu konudaki işlevleri genişletilmelidir.
- ÇED (Çevresel Etki Değerlendirmesi) sürecinde biyolojik çeşitliliğin kaybının önlenmesi ilkesine öncelik verilmeli; Stratejik ÇED süreci yasallaştırılarak uygulamaya konmalıdır.
- Organik tarım uygulamaları yaygınlaştırılarak korunmalı ve desteklenmelidir.
- Bozkır ekosistemleri korunmalıdır.
- Zarar görmüş/bozulmuş ekosistemlerin restorasyonu ve geri kazanımı için kaynak temini, planlama ve uygulama çalışmaları yapılmalıdır.

Tüm bunlara ek olarak, Türkiye biyoçeşitliliği için yaşamsal önemde olan aşağıdaki

bazı seçilmiş konularla ilgili olarak yaygın eğitim çerçevesinde eğer varsa, **Kent Müzelerinin** görev üstlenmesi önerilebilir (Kızıroğlu, 2011; Kızıroğlu et al. 2021:

*Milli Ağaçlandırma ve Erozyonla Mücadele Yasası uygulanmalıdır.

*Orman alanlarında 2b-uygulanmasına son verilmelidir.

***Turizmi Teşvik Kanunu'nda** ekosistemlerin sürdürülebilirliğini dikkate almayan,

kıyı-orman alanlarının kullanımıyla ilgili maddeler sürdürülebilir kalkınma ve biyolojik çeşitliliğin korunması ilkeleri göz önünde bulundurularak değiştirilmelidir.



*Biyolojik çeşitliliği korumanın ilk adımı korunacak alanları belirlemektir...

Bu çerçevede, Türkiye'nin

- ▶ önemli kuş alanları,
- ▶ önemli bitki alanları,
- ▶ denizkaplumbağası üreme alanları ve
- ▶ önemli Akdeniz fokü alanları belirlendi.

Bu çalışmalar sonucunda üretilen haritalar, Türkiye'nin hemen her yerine dağılmış çok sayıda önemli biyolojik çeşitlilik alanı olduğunu kanıtlar.

- ▶ Doğal sit alanları Türkiye'deki önemli biyolojik çeşitlilik alanlarını en etkili şekilde kapsayan koruma statüsüdür. Türkiye'deki diğer alan koruma statüleri
- ▶ tabiatı koruma alanı,
- ▶ milli park,
- ▶ tabiat parkı,
- ▶ özel çevre koruma alanı ve
- ▶ Ramsar alanı gibi düzenlemeler ne yazık ki çok kısıtlı bir alanı kaplıyor.

EĞİTİM SÜRECİNDE DOĞA KORUMA BİLİNCİ VE ÇEVRE EĞİTİMİ

*"Çevre Eğitimi", insanın çevresi ile ilişkilerini öğretmede etkili ve kalıcı bir yaklaşımdır.

*İnsanın çevresini ve çevresinin de onu nasıl etkilediği eğitimin başlıca konusudur.

Gelişmekte olan ülkeler kategorisinde yer alan ülkemizin, sahip olduğu biyolojik zenginliğini kaybetmeden, gelişimine devam etmesi için toplumun ve öğrencilerin doğa koruma bilincini geliştirecek şekilde eğitilmesi, özellikle gelecek kuşaklar için, çok büyük önem taşır. Çevre Eğitimi, dünyadaki bütün sosyal, bilimsel, kültürel, ekonomik vb. konularda, disiplinler arası bir yaklaşımı sergiler. Yaşam kalitesini artıracak, onu koruyacak ve geliştirecek akılcı bir yaklaşımı işler ve yaşama geçirir (De Haan et al. 1997; 2000; Kızıroğlu, 2000).

*Biyolojik çeşitlilikle ilgili sözleşmelerin hedeflerine ulaşabilmesi, çevre ve doğaya özgü aktif korumacılığın, toplumsal kabul görmesi ile mümkün olur. Buna ulaşmanın yolu da çevre eğitiminden geçer. Çevre Eğitimi aşağıda verilen kapsamlarda gerçekleştirilir:

- a) Örgün Eğitim;
- b) Yaygın Eğitim;
- c) Kitle Eğitimi;
- d) Kitle iletişim kaynakları ile eğitim
- e) Üniversitede eğitim.

*Bu eğitim sürecindeki ders veya derslerin sınıf geçmeyi etkilememesine çalışılmalı ve bu dersler notsuz olmalıdır. Böylece not alma stresi ile konunun önemini ikinci plana itilmesi önlenmelidir. Çevre eğitimine yönelik üç yaklaşımdan söz edilir. Bunlar;

- a) Çevre yönetimi ve kontrolü için eğitim;
- b) Çevre bilinci ve yorumu için eğitim;
- c) Sürdürülebilirlik için eğitim.

Her üç yaklaşıma en büyük katkı, örgün eğitim yanında, yaygın eğitimle ve dolayısı ile **Kent Müzelerinin** bu konudaki yapılanma ve örgütlenmeleri ile sağlanacaktır.

*Okul dışı mekanlarda, ör. **Kent Müzelerinde**, çocuk ve gençlerle çevre eğitimsel çalışmalar gerçekleştirilmelidir.

*Doğa koruma ve çevre eğitimi konularında çeşitli meslek grupları eğitilmeli ve hizmet içi eğitim sürecinden geçirilmeli veya bir üst eğitime tabi tutulmalıdır. Çevre ve doğa korumayla ilgili sorunlar hakkında halka bilgi verilmeli; danışma ve açıklama yapma olanağı sağlanmalıdır. Bu konuda üniversiteler, orta öğretim kurumları, yerel yönetimler, **Kent Müzeleri** ve ilgili bakanlıklar işbirliği yapmalı; aynı zamanda sivil toplum örgütlerinin de devreye girmesi sağlanmalıdır. Özellikle orman ekosistemine yönelik "**Çevre Eğitimi**", yani "**Orman Pedagojisi**" Milli Eğitim(MEB) ve Tarım-Orman Bakanlıklarının(TOB) müşterek çalışmaları ile yaygınlaştırılmalıdır.

Kent Müzelerinde Yaparak-yaşayarak öğrenme(Audio-visuel) temelli eğitime katkı aşağıdaki yollarla sağlanabilir: Bunun için

- a-Konuyla ilgili yazı kaleme alma: şarkı, film, hikaye yazma vs...
- b-Poster hazırlama;
- c-Model yapımı;



d- Dramatizasyon;

e-Oyunlar;

f-Araştırma Ödevleri gibi eylemler gerçekleştirilmelidir.

*Bunların yanında kent müzelerinin önemli işlevlerinden birisinin, yaşamda çeşitlilik bulunduğu ve bu nedenle biyolojik formların korunması gerektiğini öğretici bir yapılanmaya kavuşturulmasıdır. İnsan eylem ve davranışları, üretim, tüketim ve faaliyetlerinin, onun kültür ve değerlerine göre değiştiğini, ancak sonuçta çevre sorunlarının bu eylemlere bağlı olarak oluştuğunun GÖRSEL ve ANLAŞILIR bir şekilde ele alınması KENT MÜZELERİNİN en önemli hedeflerinden birisi olmalıdır(Kiziroğlu, 2011; Kiziroğlu et al. 2021).

SONUÇ

Nüfus artışının frenlenerek, doğal kaynakların sonu gelmeden, tüm insanlığın dengeli bir şekilde kullanmasının sağlanması, en temel insanlık görevi olması gerekirken; son iki yılda, tüm dünyayı saran ve sarsan *Korona-virüsü olayı*, insanların asgari müştereklerde bile birbirine yardım etmedikleri gerçeğini gözler önüne sermiştir. Bu nedenle “-*gemisini kurtaran kaptan*”, özdeyişinin bir an önce değişmesi ve o gemide hepimize yer olması gerçeğinin, dünyayı yönettiğini sananlarca, iyi algılanması ve ona göre stratejiler geliştirmeleri gerekmektedir. Ana sorun; İnsan türünün (*homo s. sapiens*), insanlardan nasıl korunabileceği sorunsalında yatmaktadır: Bu sorunsal ortadan kaldırılabılır mi? Eğer çözümlenebilirse,

A) İnsan/doğal çevre ilişkileri düzene girebilir;

B) Çevre kirlenmesi önlenir.

C) Toplumsal,

D) Siyasal,

E) Kültürel,

F) Düşünsel,

G) Ekonomik ve

H) Bilinçli olarak doğayı kirlenmenin engellenmesi sağlanabilir

Bu da, önce insanın, içinde yaşadığı doğayı kirlenmeden geninden arındırılması

sonucunda gerçekleşebilir. Yani önce iç çevremizi tanıyıp hırs, istek ve arzularımıza gem vurmaya öğrenmeliyiz. İç çevremizdeki yetkinlik ve uyum, dış çevremize, çocuklarımıza ve torunlarımıza yansıtacak ve sağlıklı bir toplum oluşacaktır.

KAYNAKÇA

- Balabanlı, C., Türk, M. & Yüksel, O.(2005). Erozyon ve Çayır- Mera İlişkileri. *Süleyman Demirel Ün., Orman Fak., Dergisi, Seri: A, Sayı 2: 23-34.*
- Çıplak, B.(2003). Distribution of Tettigoniinae (Orthoptera, Tettigoniidae) bush-crickets in Turkey. *Biodiversity and Conservation 12: 47-64.*
- De Haan, G., Mann, J.& Reid A.M. (Eds.)(2000). Educating for Sustainability. Umweltbildung und Agenda 21. Peter Lang Europaeische Verlag der Wissenschaften. Frankfurt am Main, Berlin, Bern, Basel, Brussels, New York, Oxford, Wien.
- De Haan G. Et al.(1997). Umweltbildung als Innovation: Springer Verlag, Heidelberg.
- Ensari, Y. & Kiziroğlu, İ. (2021). Türkiye ve Dünyanın Çevre Sorunları ve Çözümleri. *Elazığ Kültür ve Tanıtma Vakfı Dergisi 31(Sayı 54: Ocak 2021): 59-79.*
- GEDİZ DELTASI (2012). Gediz deltası Sulak Alan Havzası Biyolojik Çeşitlilik Araştırması. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, DKMP Gn.Md., Hassas Alanlar Dairesi Bşk., Ankara, 369 pp.
- Gill, F., Donsker D.& Rasmussen, P.(ed)(2021). IOC World Bird List(v.11.1).Doi 10.14344/IOC.ML.11.1.
- Güner A, Aslan S, Ekim T, Vural M & Babaç MT (2012) *Türkiye Bitkileri Listesi (Damarlı Bitkiler)*. Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi, Flora Araştırmaları Derneği, 2012.
- HBW and Bird International(2019). Handbook of the birds of the World and BirdLife International digital checklist of the birds of the World. Version 4. Available at: http://datazone.birdlife.org/usefiles/file/Species/Taxonomy/HBW-BirdLife_Checklist_v4_Dec19.zip.
- Kazancı, N., Kiziroğlu, İ & Kideys A.E.(1995). Biological diversity action plan. Report of the World Bank Wetland, river, marine, lake, island and cave ecosystems. Ministry of Forestry, Ankara, Turkey,



- 117 pp.
Kızıroğlu, İ. (2022). Analysis and Comparison of World Bird Lists. *Tabiat ve İnsan(Nature and Men)* 192 (Cilt 1): 3-15.
- Kızıroğlu, İ. (2021). *Kuşlar*. Yurdumuzda Karşılaşılabileceğiniz Kuş Türleri. Türkiye Ormancılar Derneği Yay., Kuban Mat., Ankara, 321 pp.
- Kızıroğlu, İ. (2019). *Ekolojik Potpuri 2*. Sarıyıldız Mat., Ankara, 425 s.
- Kızıroğlu, İ. (2015). *Pocketbook for Birds of Türkiye. Türkiye Kuşları Cep Kitabı*.English /Turkish, (second edition), 577 pp. (renkli resimli/with colour photos). Sarıyıldız Ofset ve Matbaacılık, 2015, Ankara.
- Kızıroğlu, İ. (2014). Türkiye'nin Enerji Sorunsalı, Alternatif Enerji ve Çözümler: Ekolojik Açıdan Bir Değerlendirme. *Tabiat ve İnsan* 187(48): 13-28.
- Kızıroğlu, İ. (2011). Biyolojik Çeşitlilik; Çevre Eğitimi ve Buna Kent Müzelerinin Katkısı. *Tabiat ve İnsan* 45 (Aralık 2011): 3-14.
- Kızıroğlu, İ. (2010). *Genel Biyoloji. Canlılar Bilimi*; Renkli.VII Baskı: Okutman Yayıncılık. Ankara; 610 pp. (ISBN: 978-605-5884-21-5). Kızıroğlu, İ.(2009). The Pocket Book for Birds of Türkiye. Türkiye Kuşları Cep Kitabı. Türkçe/İngilizce, Ankamat, Ankara, 564 pp. Kızıroğlu, İ.(2008). Species List and Red Data Book for Birds in Türkiye. Ankamat, Ankara, 168 pp.
- Kızıroğlu, İ. (2007a). Suyun Önemi, Sürekliliği, Korunması, Sosyokültürel ve Ekolojik Açıdan Bir Değerlendirme I. *Çevre ve İnsan* 70: 26-31.
- Kızıroğlu, İ. (2007b). Petrol Savaşı Yerine; Su Savaşı II. *Popüler Bilim* 164 (14) (Ekim 2007): 36-39.
- Kızıroğlu, İ. (2001). *Ekolojik Potpuri 1*. TAKAV Mat., Ankara.
- Kızıroğlu, İ. (2000). Türkiye'de Çevre Eğitimi; Halkın Bilinçlendirilmesi ve Katılımı. Türkiye Cumhuriyeti Çevre Bakanlığı Çevre Şurası Genel Sekreterliği Tebliğleri. IV. *Çevre Şurası*, 6-8 Kasım 2000, İzmir: pp.131-160. Kızıroğlu, İ.(1993). The Birds of Türkiye (Species List in Red Data Book). Desen Ofset Inc. Ankara. TTKD Publication Nr.20: 48 pp. Kızıroğlu, İ.(1989). Türkiye Kuşları. OGM Yayını, Gazi/Ankara, 314 pp.
- Kızıroğlu, İ. & Ensari, Y. (2021). Küresel Çevre Sorunları ve Çözümler. *Orman ve Av* 99 (Ocak-Şubat 1): 17-27.
- Kızıroğlu, İ. & Sözen, M. (2021). Biyolojik Çeşitlilik ve Çevre Eğitimine Kent Müzelerinin Katkısı; Elazığ Kent Müzesinin Kurulması. *Elazığ Kültür ve Tanıtma Vakfı Dergisi* 31(Sayı 55: Temmuz 2021): 24-4.
- Kızıroğlu, İ. & Erdoğan, A. (2015). Relations Between Ecosystem and Wind Energy. *Fresenius Environmental Bulletin* Vol. 23; No. 1: 163-171. (F-2014-256).
- Kızıroğlu, İ., Turan, L. & Erdoğan, A. (2013). Biological Diversity and its threats in Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin* Vol. 21; No. 3:770-778.
- Kızıroğlu, İ., Sertoğlu, M., Turan, L., Erdoğan, A., Adızel, Ö. & Sert, H. (2010). *Ekolojik Avcılık (FOTOSAFARI) Eğitimi*. Çevre-Orman Bakanlığı- Yay., Gökçe Ofset, Ankara, 268pp.(Renkli Resimli). ISBN: 975-7460-04-6. Kızıroğlu, İ., Turan, L. & Parlar, H. (2009). Biyolojik Zenginliklerimiz Yok Oluyor. *Popüler Bilim* 16/187(Eylül 2009): 44-49. Kızıroğlu, İ., Adızel, Ö. & Bahadır, M. (2006). Nature Reserves and Biodiversity in Turkey and Related Policy Measures along with Joining the EU. *Fresenius Environmental Bulletin* Vol.15-No.9b-2006:1156-1160.
- Koehler, H.H.(2008). Der ReviTec-Ansatz zur Bekämpfung von Bodendegradation und Desertifikation: Konzept und Projekte. In:Korn et al.2008; 85-87.
- Korn, H., Schliep, R & Stadler ,J.(Red.)(2008). Biodiversität und Klima – Vernetzung der Akteure in Deutschland III – Ergebnisse und Dokumentation des 3. Workshops. Bundesmat für Naturschutz-Skripten 241, 95 pp.
- Meriç, T & Çağırankaya, S.S.(Ed.)(2013a). Türkiye'nin Önemli Sulak Alanları: Ramsar Alanlarımız. Orman ve Su İşleri Bakanlığı. DKMP Gn.Md., Hassas Alanlar DBşk., Ankara, 168 pp.
- Meriç, T & Çağırankaya, S.S.(Ed.)(2013b). Sulak Alanlar. Orman ve Su İşleri Bakanlığı. DKMP Gn.Md., Hassas Alanlar DBşk., Ankara, 160 pp.
- Muminjanov, H. & Karagöz, A. (Editörler) (2019). *Türkiye'nin Biyoçeşitliliği*: Genetik Kaynakların Sürdürülebilir Tarım ve Gıda Sistemlerine Katkısı. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü(FAO), Ankara, 2019, 203s:s.16.
- Profft, I. & Seiler, M. (2008). Beispiel für eine Kommunikations- und Informationsstrategie und deren Umsetzung aus dem Bereich Wald und Forstwirtschaft. In:Korn et al.2008; 80-82. TC



Çevre ve Orman Bakanlığı (2008). *Ulusal Biyolojik Çeşitlilik Stratejisi ve Eylem Planı*. TC. Ç-Orman Bk., DKMP Gn.Md., Doğa Koruma D.Bşk.,Ankara, 176 pp.
Zimmermann, N. (2016). So bekommen wir die 5 größten Umweltprobleme in den Griff. DW, Themen Wissen&Umwelt.

Prof. Dr. Ing. İlhami Kızıroğlu,

OSTİM Teknik Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, OSTİM/ANKARA

Dr. Kızıroğlu, İstanbul Üniversitesi'nde lisans; Almanya, Münih Ludwigs-Maximilian Üniversitesi'nde Ekoloji ve Doğa Koruma/Ekosistem Manejmanı üzerine doktora çalışması yürütmüştür. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Bölümü Kurucusudur. Bölüm Başkanlığı; H.Ü. Eğitim Fak. Dekanlığı; Işık Üniversitesi Mühendislik Fakültesinde Dekan Vekilliği. Şu anda OSTİM Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümünde Öğretim Üyesidir. Alexander von Humboldt bilim bursunu kazanarak, Münih ile Berlin Teknik ve Heidelberg Üniversitelerinde ekolojik ve çevre koruma, çevre yönetimi ile ilgili araştırmacı olarak çalışmıştır.

Prof. Dr. Kızıroğlu, Hacettepe Üniversitesi Senatosunun iki bilim insanına verdiği "Bilimde Üstün Başarı Ödülüne" layık bulunmuştur. Akdeniz Üniversitesi "Çevre Bilimine Hizmet Ödülü" ve Orman ve Su İşleri Bakanlığı'nın Sulak Alanların Korunmasına yönelik çalışmaları nedeniyle "Bilim Ödülü"ne ; çalışma arkadaşları ile yürüttüğü "Sultansazlığı Manejman Planlaması Projesi" "Henry Ford Çevre Ödülü" ne değer bulunmuştur. Rüzgar Enerji Santralleri, Hidro Elektrik Santralleri ve Güneş Enerji Santralleri ile ilgili Ekolojik Değerlendirme Raporları düzenlemiş, bu çalışmaların yürütücülüğü ve koordinasyonunu üstlenmiştir. Ekoloji , Çevre Koruma, Ornitoloji, Yenilenebilir Enerji Sistemleri ve Ekosistem Yönetimi (Manejmanı) ile Çevre Eğitimi ile ilgili 400 adet bilimsel çalışması olup, yarısına yakını yabancı dildedir. 27 kitabı vardır. En son üç kitabı "Ekolojik Potpuri 2"; "Kuşlar" ve "Üniversite Hayatına Giriş 1. Ve 2. Baskısı" kitaplarıdır.

Bilimsel çalışmalarının çoğu Ekoloji, Çevre Koruma ve Ekosistem Yönetimi(Manejmanı) ile Çevre Eğitimi konularındadır. Evli olup iki çocuğu ve üç torunu vardır.

Prof. Dr. Ing. İlhami Kızıroğlu,

OSTİM Technical University, Department of Industrial Engineering, OSTİM/ANKARA

Dr. Kızıroğlu holds a Bachelor's degree from Istanbul University and a PhD in Ecology and Conservation/Ecosystem Management from Ludwigs-Maximilians University, Munich, Germany. He is the founder of Hacettepe University, Department of Natural Sciences. Head of the department; H.Ü. Faculty of Education. Dean's Office; Acting Dean of the Faculty of Engineering, Işık University. He is currently a faculty member at OSTİM University of Technology, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering. He was a recipient of the Alexander von Humboldt Science Fellowship and conducted research at the Technical Universities of Munich and Berlin and at the University of Heidelberg in the field of environmental and nature conservation and management.

Prof. Dr. Kızıroğlu was awarded the "Outstanding Achievement in Science Award" by the Senate of Hacettepe University to two scientists. He was awarded the "Service Award for Environmental Science" of Akdeniz University and the "Science Award" of the Ministry of Forestry and Water Resources for his work on wetland protection, and the "Sultansazlığı Managing Planning Project" carried out with his colleagues received the "Henry Ford Environmental Award". He prepared ecological assessment reports on wind farms, hydroelectric power plants and solar power plants and undertook the implementation and coordination of these studies. He has authored 400 scientific studies on ecology, conservation, ornithology, renewable energy systems and ecosystem management, and environmental education, almost half of which are in foreign languages. He has 27 books. His last three books are "Ecological Potpourri 2", "Birds" and "Introduction to University Life 1st and 2nd Edition".

Most of his academic studies are on ecology, conservation and ecosystem management, and environmental education. He is married and has two children and three grandchildren.



LOJİSTİK SEKTÖRÜNDEKİ AĞIR TİCARİ ARAÇ SEÇİMİNE ESNEK KARAR VERME YÖNTEMLERİNİN BİR UYGULAMASI

Ömer KARAKOÇ

Marmara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye,
İstanbul Rumeli Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü,
İstanbul, Türkiye, omer.karakoc@rumeli.edu.tr, ORCID: 0000-0002-7283-1538

Samet MEMİŞ

İstanbul Rumeli Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü,
İstanbul, Türkiye, sametmemis@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0958-5872

Bahar SENNAROĞLU

Marmara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi İstanbul, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye,
bsennar@marmara.edu.tr, ORCID: 0000-0002-6809-634X

ÖZET

Taşımacılık sektöründe yer alan lojistik firmalarının en temel ihtiyaçlarından biri de yük taşıma araçlarının maliyetlerini düşürmektir. Özellikle yeni bir araç alımı veya araç filosunun tamamen yenilenmesi söz konusu olduğunda, ilgili şirket karar vericilerinin en uygun aracı seçmek için mükemmel bir karar vermesi gerekir. Farklı karar algoritmaları denenmeli ve ilgili çalışmalar karşılaştırılmalıdır. Bu çalışma, bir firmanın araç filosuna katmak istediği yeni yük aracı alım sürecini değerlendirmek için gerekli olan seçim kriterlerini ve bu kriterlerin önem ağırlıklarını belirlemeyi amaçlamaktadır. Esnek karar verme algoritmaları, ağır ticari araç seçiminde 20 kriterin ağırlıklarını belirlemiştir. Araçların sıralaması esnek karar verme yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Modele uygun en iyi araç seçimi modellenmiştir.

Anahtar Kelime: Esnek kümeler, Esnek karar verme, *fpfs*-matrisler, Tedarikçi seçimi, Araç seçimi

1. Giriş

Ürünlerin nakliyesi maliyet giderlerinin büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Lojistik, müşterilerin ihtiyaçlarını karşılarken, üreticiden son tüketiciye kadar her türlü ürün ve hizmeti etkin ve verimli bir şekilde taşımak, depolamak, kontrol etmek ve planlamaktan ibarettir. Firmanın karını maksimize edebilmesi, yeni müşteriler kazanabilmesi, mevcut müşterilerini kaybetmemesi ve prestijini koruyabilmesi için, ürünlerin istenilen yer ve zamanda, maliyet ve kalite odaklı olarak hazırlanması, esas olarak uygun ağır ticari araçlarla kendi araç filosunu oluşturmasına bağlıdır.

Bu sorunların genel motivasyonu, araç alımlarında genellikle fiyat gibi tek bir faktörün dikkate alınması ve süreçlerin tam olarak ele alınmaması dolayısıyla yanlış aracın seçilmesidir. Dolayısıyla rekabet gücü azalır ve işveren için bir maliyet oluşturur. Karar vericiler bu kararları alırken doğru ve sağlıklı değerlendirme süreçlerine ihtiyaç duyarlar. Böylece nitel ve nicel faktörleri değerlendirebilen çoklu karar verme yöntemleri uygulanmaktadır. Literatürde birçok karar verme yöntemi mevcuttur ve bu çalışmada esnek karar verme (SDM) yöntemlerinden yararlanılmıştır.

Çalışmanın geri kalanı şu şekilde düzenlenmiştir: Bölüm 2, çok kriterli karar verme yaklaşımları için araç seçimine ilişkin kısa bir literatür taraması sunar. Bölüm 3, *fpfs*-matrisleri kavramını ve *fpfs*-matrislerine dayalı beş SDM yöntemini verir. Bölüm 4, beş SDM yöntemini ticari araç seçim problemine uygular. Son olarak, araç seçimi ve SDM yöntemleri ile ilgili nihai açıklamalar ve tartışma sağlanmaktadır.



2. İlgili Çalışmalar

Birçok lojistik firması ticari araç seçiminde çok kriterli karar verme yöntemlerini kullanmıştır. Ancak ulaşım seçim problemleri de bu kavramla ele alınmaktadır. Bu doğrultuda yapılan güncel çalışmalar şu şekildedir:

[1]'de otomobil seçim probleminde Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve hedef programlama yöntemleri kullanılarak örnek bir karar destek modeli sunulmuştur. [2]'de en iyi araba seçimi problemi için çok kriterli bulanık PROMETHEE yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca yedi araba modeli de kriterlere göre değerlendirilmiştir. [3]'te tüketicilerin araç satın alırken karşılaştıkları sorunları azaltmak için çok kriterli bir araç seçim modeli geliştirilmiştir. Bu çalışmada araç satın alınırken kullanılan kriterler şu şekilde belirlenmiştir: fiyat, motor gücü, konfor, yakıt tüketimi, güvenlik ve ulaşım hızı. [4]'te, farklı araba seçenekleri arasından en iyisini seçmek için AHP ve TOPSIS (İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Sıralama Tercihi Tekniği) yöntemlerinin bir kombinasyonu kullanılmıştır. Araç seçiminde en önemli kriterin sırasıyla güvenlik, fiyat ve yedek parça bulunabilirliği olduğu ortaya çıkmıştır. [5]'te toplu taşımanın dört ulaşım alternatifi ELECTRE yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. [6]'da bir lojistik firması için taşıma modunu seçebilmek için AHP kullanılmıştır. [7]'de otomobiller, Fuzzy AHP ve PROMETHEE II yöntemleri kullanılarak maliyet, güvenlik ve otomobil sınıfı kriterlerine göre sıralanmıştır. [8]'de AHP ve TOPSIS yöntemleri kullanılarak Hindistan'daki sedan otomobiller için bir sıralama yapılmıştır. [9]'da orta gelir grubunun AHP ve VIKOR yöntemlerini kullanarak satın alabileceği 22 otomobil markası yer almaktadır. [10]'da, Türkiye'de satışa sunulan 11 farklı elektrikli otomobil modeli, TOPSIS ve Entropy yöntemleri kullanılarak pil kapasiteleri, beygir gücü, aerodinamik katsayıları, menzilleri ve satış fiyatlarına göre sıralanmıştır. [11]'de, elektrikli araba seçim problemi için aralık değerli küresel bulanık AHP-ELECTRE yöntemini sunulmuştur. [12]'de, çevre dostu araba seçimi için en uygun arabayı seçmek için ANP-ELECTRE III yöntemlerini kullanmıştır.

Tablo 1. Taşıt seçim problemi ile ilgili çalışmaların detayları

| Yıl | Ref | Kavramlar ve Yöntemler | Karar Verme Probleminin Türü |
|------|------|----------------------------------|---------------------------------|
| 2006 | [1] | AHP Hedef Programlama | Otomobil Seçim Problemi |
| 2007 | [2] | PROMETHEE | Araba Seçimi |
| 2009 | [3] | Kural tabanlı araba seçim modeli | Araç Seçimi |
| 2010 | [4] | AHP and TOPSIS | Araba Seçimi |
| 2011 | [5] | ELECTRE | Ulaşım Seçimi |
| 2014 | [6] | AHP | Taşıma Modu Seçimi |
| 2018 | [7] | Fuzzy AHP and PROMETHEE II | Otomobil seçimi |
| 2019 | [8] | AHP and TOPSIS | Hindistan'da Sedan Araba Seçimi |
| 2020 | [9] | AHP and VIKOR | Otomobil Marka Seçimi |
| 2020 | [10] | TOPSIS and Entropy | Elektrikli Araba Seçimi |
| 2021 | [11] | AHP-ELECTRE | Elektrikli Araba Seçimi |
| 2022 | [12] | ANP-ELECTRE III | Çevre Dostu Araç Seçimi |

3. Temel Kavramlar

Bu bölümde, ilk olarak, *fpfs*-kümeler [13] ve *fpfs*-matrisler [14] kavramları verildi. Bu çalışma boyunca, E bir parametre kümesi, $F(E)$ E üzerindeki bütün bulanık kümelerin kümesi ve $\mu \in F(E)$ olsun. Burada, μ bulanık kümesi (yani $\text{graf}(\mu)$) $\{\mu^{(x)}_x \mid x \in E\}$ ile gösterilir.

Tanım 1. [13] U bir evrensel küme, $\mu \in F(E)$, ve α , be μ den $F(U)$ 'ya bir fonksiyon olsun. O halde, α 'nın grafiği olan $\{(\mu^{(x)}_x, \alpha(\mu^{(x)}_x)) \mid x \in E\}$ kümesine U üzerinde E ile parametrelendirilmiş (kısaca U üzerinde) bir bulanık parametrelendirilmiş bulanık esnek küme (*fpfs*-küme) denir.



Bu çalışma boyunca, U üzerindeki tüm $fpfs$ -kümelerin kümesi $FPFS_E(U)$ ile gösterilsin. $FPFS_E(U)$ 'da $\text{graf}(\alpha)$ ve α birbirini teklikle ürettiğinden dolayı, bu notasyonlar birbiri yerine kullanılabilir. Bu nedenle, herhangi bir karışıklığa yol açmadığı sürece bir $\text{graf}(\alpha)$ $fpfs$ -kümesi α ile gösterilecektir.

Örnek 1. Let $E = \{x_1, x_2, x_3\}$ and $U = \{u_1, u_2, u_3, u_4\}$. Then,

$$\alpha = \{(0.3x_1, \{0.4u_2, 0.3u_3, 0.6u_4\}), (0.2x_2, \{1u_1, 0.4u_2, 0.2u_3, 0.3u_4\}), (0.4x_3, \{0.4u_1, 0.2u_3, 0.5u_4\})\}$$

is an $fpfs$ -set over U .

Tanım 2. [14] $\alpha \in FPFS_E(U)$. O halde $i \in \{0, 1, 2, \dots\}$ ve $j \in \{1, 2, \dots\}$ için,

$$a_{ij} := \begin{cases} \mu(x_j), & i = 0 \\ \alpha(\mu(x_j)x_j)(u_i), & i \neq 0 \end{cases}$$

ile tanımlı

$$[a_{ij}] = \begin{bmatrix} a_{01} & a_{02} & a_{03} & \dots & a_{0n} & \dots \\ a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & a_{m3} & \dots & a_{mn} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots \end{bmatrix}$$

biçiminde yazılan $[a_{ij}]$ matrisine α 'nın $fpfs$ -matrisi denir. Burada, eğer $|U| = m - 1$ ve $|E| = n$ ise $[a_{ij}]$ $m \times n$ tipindedir.

Çalışma boyunca, $FPFS_E[U]$ U üzerinde E ile parametrelendirilmiş tüm $fpfs$ -matrislerin kümesini göstereceğiz.

Örnek 2. Örnek 1'de verilen α 'nın $fpfs$ -matrisi aşağıdaki gibidir:

$$[a_{ij}] = \begin{bmatrix} 0.3 & 0.2 & 0.4 \\ 0 & 1 & 0.4 \\ 0.4 & 0.4 & 0 \\ 0.3 & 0.2 & 0.2 \\ 0.6 & 0.3 & 0.5 \end{bmatrix}$$

Tanım 3. $[a_{ij}] \in M_{m \times n}(\mathbb{R})$ olsun. O halde, $[a_{ij}]$ 'nin özellik bulanıklaştırılması

$$\tilde{a}_{ij} := \begin{cases} \frac{a_{ij}}{\max_k a_{kj}}, & \max_k s_{k1} \neq 0 \\ 1, & \max_k s_{k1} = 0 \end{cases}$$

ile tanımlıdır.

Tanım 4. $m \geq 2$ olmak üzere $[s_{i1}] \in M_{(m-1) \times 1}(\mathbb{R})$ olsun. O halde,

$$\hat{s}_{i1} := \begin{cases} \frac{s_{i1} - \min_k s_{k1}}{\max_k s_{k1} - \min_k s_{k1}}, & \max_k s_{k1} \neq \min_k s_{k1} \\ 1, & \max_k s_{k1} = \min_k s_{k1} \end{cases}$$

ile tanımlı matris $[s_{i1}]$ 'nin normalizasyonu denir ve $[\hat{s}_{i1}]$ ile gösterilir.

İkinci olarak, sonraki bölümlerde gerekli olacak beş SDM yönteminin [15,17] algoritma adımlarını veriyoruz. Çalışma boyunca, $I_n = \{1, 2, \dots, n\}$ ve $I_n^* = \{0, 1, 2, \dots, n\}$ olsun. Yukarıdaki bahsedilen beş SDM yöntemi Tablo 1'de detaylandırılmıştır.

Tablo 1. Bu çalışmada kullanılan SDM Yöntemlerinin özellikleri

| Yıl | Ref | Gösterim / İsim | Teorik Yapı | Karar verme Konsepti |
|------|------|-----------------|---------------------------------|--|
| 2018 | [15] | MBR01 | <i>f</i> <i>pfs</i> -matrisler | Karşılaştırma Matrisi |
| 2018 | [15] | CCE10 | <i>f</i> <i>pfs</i> - matrisler | Toplama Operatörü |
| 2019 | [16] | EMK19 | <i>f</i> <i>pfs</i> - matrisler | TOPSIS |
| 2020 | [14] | PEM | <i>f</i> <i>pfs</i> - matrisler | Alternatiflerin ve Parametrelerin Yaygınlık Etkisi |
| 2021 | [17] | G17(<i>R</i>) | <i>f</i> <i>pfs</i> - matrisler | (<i>R</i>) İndis Kümesine Dayalı Toplama Operatörü |

Algoritma 1. MBR01 [15]

1. Adım Bir *f**pfs*-matris $[a_{ij}]_{m \times n}$ oluşturulur.

2. Adım

$$\chi(a_{ij}, a_{kj}) := \begin{cases} 1, & a_{ij} \geq a_{kj} \\ 0, & a_{ij} < a_{kj} \end{cases}$$

olmak üzere

$$b_{ik} := \sum_{j=1}^n a_{0j} \chi(a_{ij}, a_{kj}), \quad i, k \in I_{m-1}$$

ile tanımlı $[b_{ik}]_{(m-1) \times (m-1)}$ matrisi elde edilir.

3. Adım $c_{i1} := \sum_{k=1}^{m-1} b_{ik}$, $i \in I_{m-1}$ ile tanımlı $[c_{i1}]_{(m-1) \times 1}$ elde edilir.

4. Adım $d_{i1} := \sum_{k=1}^{m-1} b_{ki}$, $i \in I_{m-1}$ ile tanımlı $[d_{i1}]_{(m-1) \times 1}$ elde edilir.

5. Adım $s_{i1} := c_{i1} - d_{i1}$, $i \in I_{m-1}$ ile tanımlı $[s_{i1}]_{(m-1) \times 1}$ skor matrisi elde edilir.

6. Adım $\{s_{k1} u_k | u_k \in U\}$ karar kümesi elde edilir.

Algoritma 2. CCE10 [15]

1. Adım Bir *f**pfs*-matris $[a_{ij}]_{m \times n}$ oluşturulur.

2. Adım $s_{i1} := \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{0j} a_{ij}$, $i \in I_{m-1}$ ile tanımlı $[s_{i1}]_{(m-1) \times 1}$ skor matrisi elde edilir.

3. Adım $\mu(u_k) = \frac{s_{k1}}{\max_i s_{i1}}$ olmak üzere $\{u(u_k) u_k | u_k \in U\}$ karar kümesi elde edilir.

Algoritma 3. EMK19 [16]

1. Adım $[a_{ij}^1], [a_{ij}^2], \dots, [a_{ij}^t]$ *f**pfs*-matrislerini oluşturulur.

2. Adım

$$b_{ij} := \frac{1}{t} \sum_{k=1}^t a_{ij}^k, \quad i \in I_{m-1}^* \text{ and } j \in I_n$$

ile tanımlı $[b_{ij}]$ elde edilir.

3. Adım $i \in I_{m-1}$ ve $j \in I_n$ olmak üzere $c_{ij} := b_{01} b_{ij}$ ile tanımlı $[c_{ij}]$ elde edilir.

4. Adım

$$c_{1j}^+ := \max_i \{c_{ij}\} \quad \text{ve} \quad c_{1j}^- := \min_i \{c_{ij}\}, \quad i \in I_{m-1} \text{ ve } j \in I_n$$

ile tanımlı $[c_{1j}^+]$ pozitif ideal çözüm matrisi ve $[c_{1j}^-]$ negatif ideal çözüm matrisi elde edilir.

5. Adım $s_{i1}^+ := \sqrt{\sum_{j=1}^n (c_{ij} - c_{1j}^+)^2}$ ve $s_{i1}^- := \sqrt{\sum_{j=1}^n (c_{ij} - c_{1j}^-)^2}$, $i \in I_{m-1}$ ve $j \in I_n$

ile tanımlı $[s_{i1}^+]$ ve $[s_{i1}^-]$ elde edilir.

6. Adım

$$s_{i1} := \frac{s_{i1}^-}{s_{i1}^+ + s_{i1}^-}, \quad i \in I_{m-1}$$

ile tanımlı $[s_{i1}]$ skor matrisi elde edilir.

7. Adım $\{s_{k1} u_k | u_k \in U\}$ karar kümesi elde edilir.



Algoritma 4. PEM [14]

1. Adım $m \geq 2$ ve $n \geq 1$ olmak üzere bir $[a_{ij}]_{m \times n}$ *fpfs*-matrisi oluşturulur.

2. Adım

$$s_{i1} := \sum_{j=1}^n \left[\left(\frac{1}{m-1} \sum_{k=1}^{m-1} a_{kj} \right) \left(\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n a_{it} \right) a_{0j} a_{ij} \right], \quad i \in I_{m-1}$$

ile tanımlı $[s_{i1}]_{(m-1) \times 1}$ skor matrisi elde edilir.

3. Adım $\mu(u_k) = \frac{s_{k1}}{\max s_{i1}}$ olmak üzere $\{\mu(u_k)u_k | u_k \in U\}$ karar kümesi elde edilir.

Algoritma 5. G17(R) [17]

1. Adım Bir *fpfs*-matris $[a_{ij}]_{m \times n}$ oluşturulur.

2. Adım $R \subseteq I_n$ olmak üzere bir R indis kümesi belirlenir.

3. Adım $b_{i1} := \sum_{j \in R} a_{0j} a_{ij}$, $i \in I_{m-1}$

ile tanımlı $[b_{i1}]_{(m-1) \times 1}$ elde edilir.

4. Adım $c_{i1} := \sum_{j=1}^n a_{0j} a_{ij}$, $i \in I_{m-1}$

ile tanımlı $[c_{i1}]_{(m-1) \times 1}$ elde edilir.

5. Adım $V = \left\{ u_i : b_{i1} = \max_{k \in I_{m-1}} b_{k1} \right\}$ kümesi elde edilir.

6. Adım

$$s_{i1} := \begin{cases} c_{i1}, & u_i \in V \\ b_{i1}, & u_i \in U - V \end{cases}, \quad i \in I_{m-1}$$

ile tanımlı $[s_{i1}]_{(m-1) \times 1}$ skor matrisi elde edilir.

7. Adım $\{s_{k1}u_k | u_k \in U\}$ karar kümesi elde edilir.

4. SDM Yöntemlerinin Ağır Ticari Araç Seçimine Bir Uygulaması

Bu bölüm [18]'de verilen Ankara'daki bir lojistik şirketi için en iyi ağır ticari aracı seçme problemini ele almaktadır. Şirketin bu problemde 18 adet ağır ticari aracı bulunmaktadır. Şirket, eski üretim yılına sahip üç otomobil yerine beş yeni otomobil almayı ve araç filosunu 20 araca çıkarmayı planlamaktadır. Uygulamadaki araç seçim problemi için lojistik firmasında çalışan bir yönetici, bir araç bakım elemanı, iki şoför ve [18]'in yazarlarından oluşan altı uzmandan oluşan bir ekip oluşturulmuştur. Araç sekiz farklı marka (BMC, DAF, FORD, MAN, MERCEDES, RENAULT, SCANIA, VOLVO) tarafından belirlenmiştir. Daha sonra araç seçim problemi için kriterler belirlenmiştir. Araç seçim kriterlerinin belirlenmesinde literatür çalışmaları [1,4] ve ulaşılan farklı yük taşımacılığı firmalarından elde edilen bilgiler kullanılmıştır. İlgili veriler Tablo 3'te mevcuttur.

Bu problemin incelemesinde, alternatifler ağır ticari aracı temsil etmektedir. $U = \{u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6, u_7, u_8\}$ olmak üzere alternatifler $u_1 :=$ "BMC", $u_2 :=$ "DAF", $u_3 :=$ "FORD", $u_4 :=$ "MAN", $u_5 :=$ "MERCEDES", $u_6 :=$ "RENAULT", $u_7 :=$ "SCANIA", and $u_8 :=$ "VOLVO" şeklinde gösterilir. Ayrıca, $E = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{15}, x_{16}, x_{17}, x_{18}, x_{19}, x_{20}\}$ olmak üzere parametreler $x_1 :=$ "Motor özellikleri", $x_2 :=$ "Yakıt deposu kapasitesi", $x_3 :=$ "Hareket kapasitesi", $x_4 :=$ "Yük", $x_5 :=$ "Şanzıman tipi", $x_6 :=$ "Güvenli sürüş", $x_7 :=$ "Kullanım kolaylığı", $x_8 :=$ "Teknolojik faktörler", $x_9 :=$ "Fiyat", $x_{10} :=$ "Yakıt tüketimi", $x_{11} :=$ "2. el fiyatı", $x_{12} :=$ "Ödeme kolaylığı", $x_{13} :=$ "Bakım maliyeti", $x_{14} :=$ "Garanti süresi/km", $x_{15} :=$ "Filoya Benzerlik", $x_{16} :=$ "Marka", $x_{17} :=$ "Tasarım", $x_{18} :=$ "Benzin istasyonu sayısı", $x_{19} :=$ "Yedek parça bulunurluğu" ve $x_{20} :=$ "Ortalama onarım süresi" şeklinde gösterilir. Tablo 4, yukarıda bahsedilen parametreler için bulanık ağırlıkları göstermektedir.



3. RUMELİ SÜRDÜRÜLEBİLİR ÇEVRE İÇİN ENERJİ VE TASARIM SEMPOZYUMU
3rd RUMELİ ENERGY AND DESIGN FOR A SUSTAINABLE ENVIRONMENT SYMPOSIUM
2-3 Şubat 2023 / February 2-3, 2023
Silivri, İSTANBUL

Tablo 3. [18]'deki ağır ticari araç seçim verileri

| Parametreler Araçlar | Motor özellikleri | Yakıt deposu kapasitesi | Hareket kapasitesi | Yük | İletim tipi | Güvenli sürüş | Kullanım kolaylığı | Teknolojik faktörler | Fiyat | Yakıt tüketimi | 2. el fiyatı | Ödeme kolaylığı | Bakım maliyeti | Garanti süresi/km | Filoya Benzerlik | Marka | Tasarım | Servis istasyonu sayısı | Yedek parçaların mevcudiyeti | Ortalama onarım süresi |
|-------------------------|-------------------|-------------------------|--------------------|-------|-------------|---------------|--------------------|----------------------|--------|----------------|--------------|-----------------|----------------|-------------------|------------------|-------|---------|-------------------------|------------------------------|------------------------|
| BMC | 7 | 600 | 2142 | 10550 | 2 | 7.5 | 7 | 7.5 | 198000 | 28 | 125000 | 18 | 1400 | 180000 | 1 | 2 | 5.5 | 78 | 9.5 | 75 |
| DAF | 10 | 750 | 2500 | 12532 | 3 | 9 | 9.5 | 9 | 238000 | 30 | 185000 | 24 | 1800 | 230000 | 3 | 5 | 9 | 25 | 8.5 | 50 |
| FORD | 6 | 650 | 2500 | 10566 | 1 | 8 | 7 | 7.5 | 172000 | 26 | 115000 | 30 | 1600 | 180000 | 1 | 4.5 | 6.5 | 55 | 10 | 65 |
| MAN | 8.5 | 760 | 2814 | 10700 | 2 | 9 | 8 | 8 | 232000 | 27 | 182000 | 22 | 2000 | 200000 | 2 | 6 | 8 | 20 | 8 | 50 |
| MERCEDES | 7.5 | 580 | 2416 | 11178 | 2 | 10 | 9 | 9 | 247000 | 24 | 195000 | 28 | 2200 | 250000 | 2 | 9 | 10 | 18 | 9 | 45 |
| RENAULT | 9.5 | 780 | 2785 | 13100 | 3 | 10 | 10 | 10 | 252000 | 26 | 193 | 28 | 1900 | 200000 | 2 | 7 | 9.5 | 19 | 8 | 55 |
| SCANIA | 9 | 580 | 2148 | 12550 | 3 | 9.5 | 10 | 8.5 | 235000 | 27 | 181000 | 24 | 1950 | 225000 | 3 | 6.5 | 10 | 22 | 8.5 | 55 |
| VOLVO | 10 | 690 | 2379 | 12400 | 3 | 9 | 9.5 | 9.5 | 255000 | 25 | 198000 | 18 | 2100 | 220000 | 3 | 8 | 9.5 | 25 | 8.5 | 45 |



Tablo 4. [18]'deki araba seçim problemi için alternatiflerin parametrelerinin etkileri ve ağırlıkları

| Parametreler | Parametre Etkileri | Parametre Ağırlıkları |
|---------------------------------------|--------------------|-----------------------|
| x_1 Motor özellikleri | Pozitif | 0.050 |
| x_2 Yakıt deposu kapasitesi | Pozitif | 0.006 |
| x_3 Hareket kapasitesi | Pozitif | 0.031 |
| x_4 Yük | Pozitif | 0.042 |
| x_5 Aktarım türü | Pozitif | 0.011 |
| x_6 Güvenli sürüş | Pozitif | 0.094 |
| x_7 Kullanım kolaylığı | Pozitif | 0.043 |
| x_8 Teknolojik faktörler | Pozitif | 0.053 |
| x_9 Fiyatı | Negatif | 0.081 |
| x_{10} Yakıt tüketimi | Negatif | 0.120 |
| x_{11} 2. el fiyatı | Pozitif | 0.032 |
| x_{12} Ödeme kolaylığı | Pozitif | 0.029 |
| x_{13} Bakım maliyeti | Negatif | 0.059 |
| x_{14} Garanti süresi/km | Pozitif | 0.050 |
| x_{15} Filoya Benzerlik | Pozitif | 0.078 |
| x_{16} Marka | Pozitif | 0.080 |
| x_{17} Tasarım | Pozitif | 0.027 |
| x_{18} Servis istasyonu sayısı | Pozitif | 0.047 |
| x_{19} Yedek parçaların mevcudiyeti | Pozitif | 0.056 |
| x_{20} Ortalama onarım süresi | Negatif | 0.010 |

Tablo 4'teki parametrelerin önem derecelerini ele alalım. Daha sonra Tablo 3'teki değerler [0,1] aralığında olmadığı için özellik bulanıklaştırması ile normalleştirilir (bkz. Tanım 3). Bu nedenle, $[a_{ij}]$ *fpfs*-matrisi Tablo 3'ten elde edilen normalleştirilmiş değerler ve Tablo 4'teki bulanık ağırlıklar aracılığıyla aşağıdaki gibi oluşturulur.

$$[a_{ij}] = \begin{bmatrix} 0.050 & 0.006 & 0.031 & 0.042 & 0.011 & 0.094 & 0.043 & 0.053 & 0.081 & 0.120 & 0.032 & 0.029 & 0.059 & 0.050 & 0.078 & 0.080 & 0.027 & 0.047 & 0.056 & 0.010 \\ 0.700 & 0.769 & 0.761 & 0.805 & 0.667 & 0.750 & 0.700 & 0.750 & 0.224 & 0.067 & 0.631 & 0.600 & 0.364 & 0.720 & 0.333 & 0.222 & 0.550 & 1.000 & 0.950 & 0.000 \\ 1.000 & 0.962 & 0.888 & 0.957 & 1.00 & 0.900 & 0.950 & 0.900 & 0.067 & 0.000 & 0.934 & 0.800 & 0.182 & 0.920 & 1.000 & 0.556 & 0.900 & 0.321 & 0.850 & 0.333 \\ 0.600 & 0.833 & 0.888 & 0.807 & 0.333 & 0.800 & 0.700 & 0.750 & 0.325 & 0.133 & 0.581 & 1.00 & 0.273 & 0.720 & 0.333 & 0.500 & 0.650 & 0.705 & 1.000 & 0.133 \\ 0.850 & 0.974 & 1.000 & 0.817 & 0.667 & 0.900 & 0.800 & 0.800 & 0.090 & 0.100 & 0.919 & 0.733 & 0.091 & 0.800 & 0.667 & 0.667 & 0.800 & 0.256 & 0.800 & 0.333 \\ 0.750 & 0.744 & 0.859 & 0.853 & 0.667 & 1.000 & 0.900 & 0.900 & 0.031 & 0.200 & 0.985 & 0.933 & 0.000 & 1.000 & 0.667 & 1.000 & 1.000 & 0.231 & 0.900 & 0.400 \\ 0.950 & 1.000 & 0.990 & 1.000 & 1.000 & 1.000 & 1.000 & 1.000 & 0.012 & 0.133 & 0.001 & 0.933 & 0.136 & 0.800 & 0.667 & 0.778 & 0.950 & 0.244 & 0.800 & 0.267 \\ 0.900 & 0.744 & 0.763 & 0.958 & 1.000 & 0.950 & 1.000 & 0.850 & 0.078 & 0.100 & 0.914 & 0.800 & 0.114 & 0.900 & 1.000 & 0.722 & 1.000 & 0.282 & 0.850 & 0.267 \\ 1.000 & 0.885 & 0.845 & 0.947 & 1.000 & 0.900 & 0.950 & 0.950 & 0.000 & 0.167 & 1.000 & 0.600 & 0.045 & 0.880 & 1.000 & 0.889 & 0.950 & 0.321 & 0.850 & 0.400 \end{bmatrix}$$

Burada $\{x_9, x_{10}, x_{13}, x_{20}\}$ parametreleri karar verme sürecini olumsuz etkilemektedir. $[a_{ij}]$ *fpfs*-matrisi oluşturmak için negatif parametrelere ait değerler 1'den çıkarılır çünkü, bir *fpfs*-matris pozitif etkilere dayalı olarak oluşturulur.

İkinci olarak, MBR01, CCE10, EMK19, PEM ve G17(R) gibi SDM yöntemlerini yukarıda bahsedilen $[a_{ij}]_{6 \times 17}$ *fpfs*-matrisine uyguluyoruz. SDM yöntemleri tarafından oluşturulan karar kümeleri ve öncelik sıralamaları sırasıyla Tablo 4 ve 5'te gösterilmektedir.



Tablo 4. $[a_{ij}]$ için SDM yöntemleri tarafından üretilen karar kümeleri

| SDM Yöntemi | Karar Kümeleri |
|----------------------|---|
| MBR01 [15] | { ⁰ BMC, ^{0.7361} DAF, ^{0.3921} FORD, ^{0.3583} MAN, ¹ MERCEDES, ^{0.8953} RENAULT, ^{0.8575} SCANIA, ^{0.9261} VOLVO} |
| CCE10 [15] | { ^{0.7884} BMC, ^{0.9550} DAF, ^{0.8432} FORD, ^{0.8787} MAN, ^{0.9789} MERCEDES, ^{0.9286} RENAULT, ^{0.9774} SCANIA, ¹ VOLVO} |
| EMK19 [16] | { ⁰ BMC, ^{0.6874} DAF, ^{0.1642} FORD, ^{0.4447} MAN, ^{0.8490} MERCEDES, ^{0.5220} RENAULT, ^{0.8848} SCANIA, ¹ VOLVO} |
| PEM [14] | { ^{0.5927} BMC, ^{0.9602} DAF, ^{0.6567} FORD, ^{0.7902} MAN, ^{0.9414} MERCEDES, ^{0.8818} RENAULT, ^{0.9543} SCANIA, ¹ VOLVO} |
| G17(I_{17}) [17] | { ⁰ BMC, ^{0.7872} DAF, ^{0.2590} FORD, ^{0.4269} MAN, ^{0.9002} MERCEDES, ^{0.6627} RENAULT, ^{0.8931} SCANIA, ¹ VOLVO} |

Tablo 5. $[a_{ij}]$ için SDM yöntemleri tarafından üretilen ve [18]'de üretilen öncelik sıralaması

| Karar Verme Yöntemi | Sıralama Emirleri |
|----------------------|--|
| PROMETHEE [18] | MAN < BMC < FORD < DAF < MERCEDES < SCANIA < RENAULT < VOLVO |
| MBR01 [15] | BMC < MAN < FORD < DAF < SCANIA < RENAULT < VOLVO < MERCEDES |
| CCE10 [15] | BMC < FORD < MAN < RENAULT < DAF < SCANIA < MERCEDES < VOLVO |
| EMK19 [16] | BMC < FORD < MAN < RENAULT < DAF < MERCEDES < SCANIA < VOLVO |
| PEM [14] | BMC < FORD < MAN < RENAULT < MERCEDES < SCANIA < DAF < VOLVO |
| G17(I_{17}) [17] | BMC < FORD < MAN < RENAULT < DAF < SCANIA < MERCEDES < VOLVO |

Tablo 5'teki öncelik sıralamaları, CCE10 ve G17(R)'nin aynı öncelik sıralamalarını ürettiğini göstermektedir. MBR01 dışındaki beş SDM yönteminin tümü, Tablo 3 ve 4'teki değerlere dayalı olarak şirketin en uygun ağır ticari aracının VOLVO, en uygun olmayanın ise BMC olduğu konusunda hemfikirdir.

Tablo 5'teki PROMETHEE sonuçlarına [18] göre, aynı verilere dayalı olarak şirketin en uygun ağır ticari aracı VOLVO iken, en uygun olmayan MAN'dır. Karşılaştırma, MBR01 hariç Tablo 5'teki tüm yöntemlerin en uygun ağır ticari aracın VOLVO olduğu konusunda hemfikir olduğunu göstermektedir.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, [18]'deki veriler kullanılarak ağır ticari araç seçim problemine *fpfs*-matrisleri tarafından oluşturulan beş son teknoloji SDM yöntemi [14-17] uygulandı. Sonuç olarak, incelenen SDM yaklaşımları etkili sıralama yeteneklerine sahiptir. [18]'deki çok kriterli karar verme yöntemi PROMETHEE ile aynı optimum alternatifi üretirler.

Ağır ticari araç seçim problemine birçok çok kriterli karar verme yöntemi uygulanmıştır. Literatürden farklı olarak, söz konusu şirkette ağır ticari araç seçim problemine, bulanık parametreler ve alternatifler içeren problemleri modelleyen *fpfs*-matrisler uygulanmıştır. Sonuçlar, ağır ticari araç seçim problemine ilişkin tedarikçi seçiminin *fpfs*-matrisler aracılığıyla farklı bir bakış açısı sunmaktadır. Sonuçlar Ankara'daki bir şirketin verilerinden elde edilmiş olmasına rağmen, SDM yöntemleri modelleme yetenekleri nedeniyle ülke genelinde ve dünyadaki herhangi bir araba seçim probleminde kullanılabilir. Örneğin, enerji planlaması [19] ve akademik performans değerlendirme [20] ile ilgili çalışmalar farklı problemlerde yeteneklerini göstermektedir.



Buradaki ağır ticari araç seçim problemi için sonuçları geliştirmek üzere birkaç SDM tekniği kullanmak mümkündür. Ağır ticari araç seçim problemi kaynaklarının sıralamasının doğruluğu, ağır ticari araç seçim problemine ilişkin kapsamlı veriler toplanarak ve *f*ps-matrisleri, sezgisel bulanık parametrelili sezgisel bulanık esnek matrisler (*if*ps-matrisler) [21] ve aralık değerli sezgisel bulanık parametrelili aralık değerli sezgisel bulanık esnek matrisler (*d*-matrisler) [22] kullanılarak ve yeni SDM teknikleri önerilerek de geliştirilebilir. Ek olarak, betimsel bulanık kümeler (*p*f-kümeler) [23-25] ve esnek kümelerin hibrit yapıları, ağır ticari araç seçim probleminde bulanık ve sezgisel belirsizliğin ötesindeki belirsizlikleri modellemek için kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] TERZİ Ümit, HACALOĞLU Sinan Emre, ALADAĞ Zerrin, "A Decision Support Model for the Automobile Purchasing Problem", İstanbul Commerce University Journal of Science, Cilt 5, Sayı 10, ss. 43-49, 2006.
- [2] BALLI Serkan, KARASULU Bahadır, KORUKOĞLU Serdar, "En Uygun Otomobil Seçimi Problemi İçin Bir Bulanık Promethee Yöntemi Uygulaması", Dokuz Eylül University Faculty of Economics and Administrative Sciences Journal, Cilt 22, Sayı 1, ss.139-147, 2007.
- [3] Bozdemir, Y. İLKER TURGUT Yılmaz, "Developing Systematical Vehicle Selection Model which Has Rule Based Decision Making Mechanism", Electronic Journal of Machine Technologies, Cilt 6, Sayı 2, 19-27, 2009.
- [4] Yousefi, Ali, HADI-VENCHEH Abdollah, "An Integrated Group Decision Making Model and its Evaluation by DEA for Automobile Industry", Expert Systems with Applications, Cilt 37, Sayı 12, ss. 8543-8556, 2010.
- [5] JACEK Zak, "The Methodology of Multiple Criteria Decision Making/Aiding in Public Transportation". Journal of Advanced Transportation, Cilt 45, Sayı 1, pp 1-20, 2011.
- [6] KUMRU Mesut, KUMRU Pınar Yıldız, "Analytic Hierarchy Process Application in Selecting the Mode of Transport for a Logistics Company". Journal of Advanced Transportation, Cilt 48, Sayı 8, ss. 974-999, 2014.
- [7] SHARMISTHA Roy, MOHANTY Suneeta, MOHANTY Satarupa. "An Efficient Hybrid MCDM Based Approach for Car Selection in Automobile Industry" In 2018 International Conference on Research in Intelligent and Computing in Engineering (RICE), ss. 1-5, 2018.
- [8] ROHIT Singh, AVIKAL Shwetank "A MCDM-Based Approach for Selection of a Sedan Car from Indian Car Market" Harmony Search and Nature Inspired Optimization Algorithms. Advances in Intelligent Systems and Computing, Cilt 741. Springer, Singapore., ss. 569-578, 2019.
- [9] BABACAN, Adem. "Car Selection for The Middle-Income Group in Turkey. VIKOR Method as a Multi-Criteria Decision-Making" University Journal of Economics and Administrative Sciences, Cilt 21, Sayı 1, ss. 293-307, 2020.
- [10] GAVCAR, Erdoğan, KARA, Nusret, "Application of Entropy and TOPSIS Methods in Electric Car Selection". Business and People Magazine, Cilt 7, Sayı 2, ss.351-359, 2020.
- [11] TEPE Serap, "The Interval-Valued Spherical Fuzzy Based Methodology and its Application to Electric Car Selection". Düzce University Journal of Science & Technology, Cilt 9, Sayı 5, ss.1970-1983, 2021.
- [12] MUMANİ, Ahmad, MAGHABLEH, Ghazi, "An Integrated ANP-ELECTRE III Decision Model Applied to Eco-Friendly Car Selection" Journal of Engineering Research, Cilt 10, Sayı 3A, ss. 1-33, 2022
- [13] ÇAĞMAN Naim, ÇITAK Filiz, ENGİNOĞLU Serdar, "Fuzzy Parameterized Fuzzy Soft Set Theory and Its Applications" Turkish Journal of Fuzzy System, Cilt 1, Sayı 1, ss.21-35, 2010.
- [14] ENGİNOĞLU Serdar, ÇAĞMAN Naim, "Fuzzy Parameterized Fuzzy Soft Matrices and Their Application in Decision-Making" TWMS Journal of Applied and Engineering Mathematics, Cilt 10, Sayı 4, ss. 1105-1115, 2020.
- [15] ENGİNOĞLU Serdar, MEMİŞ Samet, "A Configuration of Some Soft Decision-Making Algorithms via *f*ps-Matrices" Cumhuriyet Science Journal, Cilt 39, Sayı 4, ss. 871-881, 2018.
- [16] ENGİNOĞLU Serdar, MEMİŞ Samet, KARAASLAN Faruk, "A New Approach to Group Decision-Making Method Based on TOPSIS under Fuzzy Soft Environment" Journal of New Results in Science, Cilt 8, Sayı 2, ss. 42-52, 2019.
- [17] ENGİNOĞLU Serdar, AYDIN Tuğçe, MEMİŞ Samet, ARSLAN Burak, "SDM Methods' Configurations (2017-2019) and Their Application to a Performance-Based Value Assignment



- Problem: A Follow up Study”, *Annals of Optimization Theory and Practice*, Cilt 4, Sayı 1, ss. 41-85, 2021.
- [18] KABAK Mehmet, UYAR Ömer, “A Multi Criteria Approach for Heavy Commercial Vehicle Selection Problem in Logistics Sector”, *Gazi University Faculty of Engineering and Architecture Journal*, Cilt 28, No 1, ss. 115-125, 2013.
- [19] MEMİŞ Samet, KARAKOÇ Ömer, “An Application of Soft Decision-Making Methods to Energy Planning of Turkey”, *2nd Rumeli Energy and Design Symposium for Sustainable Environment*, İstanbul, Türkiye, ss. 146-157, 2022.
- [20] MEMİŞ Samet, KARAKOÇ Ömer, “Academic Performance Evaluation at Istanbul Rumeli University via Soft Decision-Making”, *2nd Rumeli Engineering Education Symposium*, İstanbul, Türkiye, ss. 79–87, 2022.
- [21] ENGİNOĞLU Serdar, ARSLAN Burak, “Intuitionistic Fuzzy Parameterized Intuitionistic Fuzzy Soft Matrices and Their Application in Decision-Making”, *Computational and Applied Mathematics*, Cilt 39, Article No. 325, 2020.
- [22] AYDIN Tuğçe, ENGİNOĞLU Serdar, “Interval-Valued Intuitionistic Fuzzy Parameterized Interval-Valued Intuitionistic Fuzzy Soft Sets and Their Application in Decision-Making”, *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, Cilt 12, Sayı 1, ss. 1541-1558, 2021.
- [23] MEMİŞ Samet, “A Study on Picture Fuzzy Sets”, *7th IFS and Contemporary Mathematics Conference*, ss. 125–132, 2021.
- [24] MEMİŞ Samet, “Another View on Picture Fuzzy Soft Sets and Their Product Operations with Decision-Making”, *Journal of New Theory*, Cilt 2022, Sayı, 38, 1–13, 2022.
- [25] NAEEM Khalid, MEMİŞ, Samet, “Picture Fuzzy Soft σ -Algebra and Picture Fuzzy Soft Measure and Their Applications to Multi-Criteria Decision-Making”, *Granular Computing*, Cilt 8, ss. 397–410, 2023.



ÖZGEÇMİŞ

Ömer KARAKOÇ

1992 yılında Yozgat'ta doğdu. 2016 yılında Sabancı Üniversitesi Endüstri Mühendisi olarak mezun oldu. 2019 yılında Marmara Üniversitesi'nde İllerin Gelişmişlik Düzeyinin Gri Küme Analizi ile Değerlendirilmesini tamamlayarak yüksek lisansını tamamladı. Daha sonra aynı üniversitede doktora programına kaydoldu. 2021 yılında Rumeli üniversitesinde öğretim görevlisi olarak göreve başladı. Halen akademik çalışmalarına burada devam etmektedir.

Samet MEMİŞ

1991 yılında Aydın'da doğdu. Lisans, Yüksek Lisans ve Doktora derecelerini Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Matematik Bölümü'nden sırasıyla 2014, 2016 ve 2021 yıllarında aldı. Doktora tezi "Yapay Zekâ ve Makine Öğrenmesi" öncelikli alanında TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Fakültesi'nden (2020-2021) birincilikle mezun oldu. Halen İstanbul Rumeli Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölüm Başkanı ve Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Dekan Yardımcısı olarak görev yapmaktadır. Araştırma alanları Bulanık kümeler, Esnek kümeler, Esnek Matrisler, *f*ps-matrisler, Benzerlik Ölçümü, Uzaklık Ölçümü, Karar Verme, Görüntü Gürültüsünü Giderme ve Makine Öğrenimidir. 30'dan fazla ulusal ve uluslararası makale ve bildirisi yayınlanmıştır. Sekiz ulusal bilimsel araştırma projesinde yer aldı. Journal of New Theory dergisinin alan editörü olarak görev yapmaktadır.

Bahar SENNAROĞLU

Marmara Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde profesördür. Bahar Sennaroğlu, 26 Ekim 2020 tarihinden itibaren Endüstri Mühendisliği Bölüm Başkanı olarak görev yapmaktadır. Yüksek Lisans ve Doktora derecelerini Marmara Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümünden almıştır. Araştırma ilgi alanları arasında çok kriterli karar verme, deneysel tasarım ve tahmin teknikleri bulunmaktadır. Birçok uluslararası hakemli dergi makalesi ve konferans bildirisi yayınladı.



TESİS YERİ SEÇİMİNDE YENİLENEBİLİR ENERJİ KULLANIMI AÇISINDAN SİLİVRİ BÖLGESİNİN ÖNEMİ VE BİR UYGULAMA

THE IMPORTANCE OF SILIVRI REGION FOR RENEWABLE ENERGY IN FACILITY LOCATION SELECTION AND AN APPLICATION

Abdullah Zübeyr ŞEKERCİ,
İstanbul Rumeli Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi
ORCID Nr: 0000-0003-4181-0387

ÖZET

Bu çalışma üç farklı literatürden beslenerek üretim faaliyetinde bulunan fabrikalar için RES-Yoğun bölgeleri seçmeyi hedeflemektedir. RES için tesis yeri seçimi (FLS) literatüründe, en uygun yer seçimi genellikle rüzgar ve güneş gibi belirli bir yenilenebilir enerji kaynağının bölgesel yoğunluğuna göre yapılır. RES seçim (S) literatüründe ise güneş, rüzgar, hidro gibi en uygun kaynaklardan biri seçilir. Buna ek olarak Normal FLS literatüründe bir tesis için konum, tedarikçi ve pazar yakınlığı gibi temel kriterler ele alınır. Bu bağlamda bu çalışma üç literatürden yola çıkarak RES'in yoğunlaştığı ve fabrika kurulabilecek bölgelerin seçimine odaklanmıştır. İstanbul'da fabrika kurulabilecek olası lokasyonlar baz alınarak lokasyonlar belirlenmiştir. Seçim sürecinde literatürde en sık kullanılan kriterler seçilmiştir. Böylece 5 ana kriter ve bunlara bağlı 13 alt kriterden oluşan bulanık analitik hiyerarşi süreci (FAHP) yapısı oluşturulmuştur. Silivri Bölgesi, daha önce belirlenen üç alternatif lokasyondan RES'in en iyi kullanılacağı bölge olarak seçilmiştir. Elde edilen sonucun doğruluğu gerçek verilerle test edilerek onaylanmıştır.

Anahtar Kelimeler: FAHP, yenilenebilir enerji kaynakları, tesis yeri seçimi, bölge seçimi.

ABSTRACT

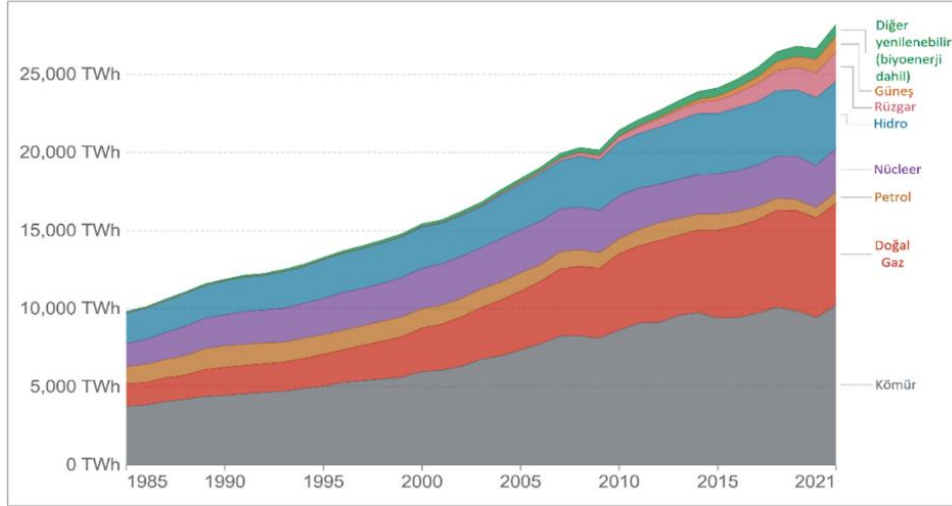
This study aims to select RES-Intensive regions for factories engaged in production activities based on three different kinds of literature. In the facility location selection (FLS) literature for RES, the most suitable site selection is usually made according to the regional density of a particular renewable energy source, such as wind and solar. In addition, In the RES selection literature, one of the most suitable sources, such as solar, wind, and hydro is selected. In addition, the Normal FLS literature considers key criteria for a facility, such as location, supplier and market proximity. In this context, this study focused on selecting the regions where RES is concentrated and where factories can be established based on three kinds of literature. Locations have been determined based on possible locations where factories can be established in Istanbul. The most commonly used criteria in the literature were selected for the selection process. Thus, the fuzzy analytical hierarchy process (FAHP) structure was established with 5 main criteria and 13 sub-criteria related to them. Silivri Region has been selected as the region where the RES will be utilized best from the three alternative locations previously determined. The accuracy of the result obtained has been confirmed by testing with real data.

Key Words: FAHP, renewable energy source, facility location selection, region selection.



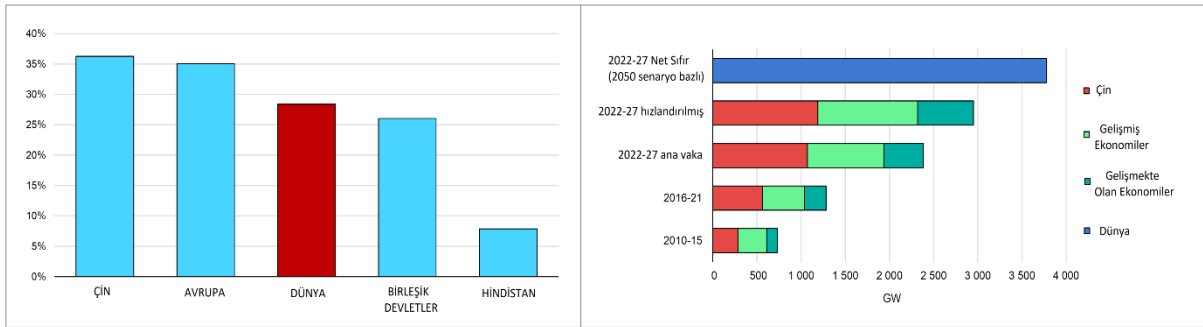
1. Giriş

21. yy.'da artış ivmesi oldukça yükselen CO₂ emisyonunun temel sebebi enerjide yüksek oranda kullanılan kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtlardır. Bu durum dünyada olağanüstü yıllık sıcaklık artışına yol açmaktadır. Küresel ve ulusal ölçekte yenilenebilir enerjiyi teşvik eden politikalar ile fosil yakıt kullanım artışı azaltılabilmektedir. Şekil 1 1985-2021 yılları arasında elektrik üretiminde kullanılan birincil enerji kaynaklarını göstermektedir.



Şekil 1. 1985-2021 Arasında Birincil Enerji Kaynaklarından Elektrik Üretimi [1].

Fosil yakıtlar ve diğer enerji kaynakları dünya genelinde yaklaşık olarak %60 oranında elektrik üretiminde kullanılmaktadır. Bunun dışında binalarda, ulaşımda, endüstride yakıt ve ısınma gibi ihtiyaçlar için de kullanılmaktadır. Bunların oranları her sene Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) tarafından yayınlanmaktadır [2]. Şekil 1'de gösterildiği gibi fosil yakıtlar enerji kullanımında azaltılmış olsa da hala CO₂ emisyon artışında ana paya sahiptir. Dolayısıyla Türkiye'nin de 2009'da katıldığı Kyoto Protokolü ve 2016 yılında imzaladığı Paris İklim Anlaşması gibi anlaşmalar sürdürülebilir olmayan bu artışı minimize etmeye çabalamaktadır [3]. Bu bağlamda katılımcı, izleyici ve diğer birçok ülke net sıfır emisyon politikaları gereğince RES'e yönelmektedir. Görüldüğü gibi son yıllara doğru RES'ten üretilen elektrik oranı neredeyse %50 orana ulaşmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı 2022-2027 arasında dünya mevcut kurulu yenilenebilir enerji kapasitesinin 2400 GW, yani %75 olarak artmasını beklemektedir. Bu artıştaki en büyük pay ise Çin'e aittir. Şekil 2'de sol tarafta ülkelerin kurulu RES kapasitesi artış oranları yüzde olarak, sağ tarafta da GW değer olarak gösterilmektedir.



Şekil 2. Bölge Bazlı RES Kurulu Kapasitesi Artış Oranı-Yüzde ve GW değer Olarak [4].



Şekil 2’de görüldüğü gibi devletler sürdürülebilir enerji kaynaklarına hızlıca yönelmektedirler. Bu alanda en büyük devrim daha öncesinde fosil yakıt alanında da lider konumda olan Çin’e aittir. Buna ek olarak Türkiye, yer aldığı Avrupa Birliği Bölgesi’nde yenilenebilir enerji alanında yedi itici güce sahip ülkeden biridir [4]. Tablo 1, Türkiye’nin termik ve yenilenebilir enerjide geldiği durumu göstermektedir.

Tablo 1. Türkiye’de Birincil Enerji Kaynaklarından Elektrik Üretiminde Yerli/İthal ve Fosil/RES Oranı [5]

| 2010 - TÜRKİYE Elektrik Üretimi-Birincil Enerji Kaynakları Dağılımı | | | | | 2021 | | 2022 | |
|---|----------------------|---------------|--------------------------|----------------|--------------------------|----------------|--------------------------|----------------|
| Yerli (Y) İthal (İ) | FOSİL (F) RES (R) | Kaynak | Üretim (1.000 GWh) | Oran (%) | Üretim (1.000 GWh) | Oran (%) | Üretim (1.000 GWh) | Oran (%) |
| Y+İ | F+R | TOPLAM | 211.208 | 100,00% | 331.241 | 100,00% | 334.252 | 100,00% |
| Y | F+R | Toplam | 96.352 | 45,62% | 167.576 | 50,59% | 183.028 | 54,76% |
| İ | F+R | Toplam | 114.856 | 54,38% | 163.665 | 49,41% | 151.224 | 45,24% |
| Y+İ | R | Toplam | 55.837 | 26,44% | 118.263 | 35,70% | 132.457 | 39,63% |
| Y | R | Toplam | 55.837 | 26,44% | 118.263 | 35,70% | 132.457 | 39,63% |
| İ | R | Toplam | 0 | 0,00% | 0 | 0,00% | 0 | 0,00% |
| Y | R | Hidroelektrik | 51.795 | 24,52% | 55.695 | 16,81% | 66.867 | 20,00% |
| Y | R | Rüzgar | 2.916 | 1,38% | 31.137 | 9,40% | 30.643 | 9,17% |
| Y | R | Güneş | 0 | 0,00% | 13.294 | 4,01% | 15.680 | 4,69% |
| Y | R | Diğer | 1.126 | 0,53% | 18.137 | 5,48% | 19.267 | 5,76% |
| Y+İ | F | Toplam | 155.371 | 73,56% | 212.978 | 64,30% | 201.795 | 60,37% |
| Y | F | Toplam | 40.515 | 19,18% | 49.313 | 14,89% | 50.571 | 15,13% |
| İ | F | Toplam | 114.856 | 54,38% | 163.665 | 49,41% | 151.224 | 45,24% |
| Y | F | Yerli Kömür | 40.515 | 19,18% | 49.313 | 14,89% | 50.571 | 15,13% |
| İ | F | İthal Kömür | 14.532 | 6,88% | 54.889 | 16,57% | 70.410 | 21,06% |
| İ | F | Doğalgaz | 98.144 | 46,47% | 108.439 | 32,74% | 80.451 | 24,07% |
| İ | F | Diğer | 2.180 | 1,03% | 337 | 0,10% | 363 | 0,11% |

Yukarıda gösterilen Tablo 1.’e göre yerlilik oranı yıllar içinde hayli artış göstermektedir. Buna başlıca katkı sağlayan unsur ise elektrik üretiminde sürekli artış gösteren RES oranıdır. Belirtmelidir ki ülkemizde RES tamamen yerli olmakla beraber fosil yakıtların yarısından fazlası ithaldir. Buna ek olarak 2013 yılında Enerji Bakanlığı, 2023 hedeflerinden birinin RES oranının %30’a çıkarılması ve doğal gaz oranının %30’a indirilmesini belirtmiş ve bu başarılmıştır [6].

Bu bağlamda Türkiye’de ve dünyada RES oranının artması literatürü bu alanda zenginleştirmiştir. Yine dönüşümlü olarak literatür de RES’e yönelimi artırmaktadır. Bu çalışma İstanbul İlinde fabrika kurulabilecek, organize sanayi bölgesi (OSB) ya da OSB’ye yakın üç alternatif bölge arasından üretim tesisleri için RES’ten en fazla yararlanılacak bölgeyi seçmeyi amaçlamaktadır. Seçim işlemi için 5 ana kriter ve 13 alt kriterden oluşan FAHP yapısı kullanılmıştır. Literatürde RES S işlemi için son yıllarda çok kriterli karar verme yöntemlerinin (MCDM) kullanımı artmıştır. Dolayısıyla kriterler literatürden seçilmiştir. Seçim işleminin sonucunda RES’ten yararlanmak için Silivri Bölgesi fabrika kurmaya en elverişli bölgedir. Seçim işleminin sonucu gerçek enerji haritaları ile de doğrulanmıştır.



2. Literatür Taraması

Son yıllarda RES'e yönelim ve bu doğrultudaki politikalar hayli arttığından dolayı literatürde de bu alandaki çalışmalar paralel olarak artış göstermiştir. Bu alanda MCDM ile yapılan çalışmalar bu çalışmanın araştırma alanındadır. Bununla beraber RES S, RES FLS ve Normal FLS literatüründen faydalanılmıştır. Böylece Tablo 2 literatürdeki uygulamaları ve Tablo 3 bunların metotlarını göstermektedir.

Tablo 2. MCDM ile RES S, RES FLS ve Normal FLS Uygulamaları İçin Literatür Taraması

| Yazar(lar) | Yıl | Uygulama | | | |
|-----------------------|------|-----------|------------|-----------|------------|
| | | RES S | Rüzgar FLS | Güneş FLS | Normal FLS |
| Theodorou vd. [7] | 2010 | √ | | | |
| Önüt [8] | 2010 | | | | √ |
| Sadeghi vd. [9] | 2012 | √ | | | |
| Aydın [10] | 2013 | | √ | | |
| Kengpol vd. [11] | 2013 | | | √ | |
| Kabir ve Sumi [12] | 2014 | | | | √ |
| Noorallahi vd. [13] | 2016 | | | | √ |
| Damgacı vd. [14] | 2017 | √ | | | |
| Wang vd. [15] | 2018 | | √ | | |
| Duman [16] | 2018 | | | √ | |
| Ishfaq vd. [17] | 2018 | √ | | | |
| Darani vd. [18] | 2018 | | | | √ |
| Doğan ve Uludağ [19] | 2018 | | | √ | |
| Gücer [20] | 2018 | | | | √ |
| Solangi vd. [21] | 2019 | √ | | | |
| Can ve Yücel [22] | 2019 | | √ | | |
| Ammar vd. [23] | 2019 | | | | √ |
| Karakul [24] | 2020 | √ | | | |
| Derse ve Yontar [25] | 2020 | √ | | | |
| Anderluh [26] | 2020 | | | | √ |
| Vagiona [27] | 2021 | | | √ | |
| Urfalı ve Eymen [28] | 2021 | | √ | | |
| Komchorrit [29] | 2021 | | | | √ |
| Güner vd. [30] | 2021 | | | √ | |
| Abdel-Basset vd. [31] | 2021 | √ | | | |
| Nong [32] | 2021 | | | | √ |
| Bilgiç vd. [33] | 2021 | √ | | | |
| Xuan vd. [34] | 2022 | | | √ | √ |
| Öztaş [35] | 2022 | | | √ | |
| Sarkodie vd. [36] | 2022 | √ | | | |
| TOPLAM | | 10 | 4 | 6 | 9 |

Tablo 3. MCDM ile RES S, RES FLS ve Normal FLS Uygulama Metotları İçin Literatür Taraması

| Yazar(lar) | Yıl | Metod* | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|------|--------|-----|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | | F | AHP | F | TP | VK | GR | PR | II | EL | MR | CP | BW | AN | SW |
| Theodorou vd. [7] | 2010 | | √ | | | | | √ | | √ | | | | | |
| Önüt [8] | 2010 | √ | √ | √ | √ | | | | | | | | | | |
| Sadeghi vd. [9] | 2012 | √ | √ | √ | √ | | | | | | | | | | |
| Aydın [10] | 2013 | | | √ | √ | √ | | | | | | | | | |
| Kengpol vd. [11] | 2013 | √ | √ | | √ | | | | | | | | | | |
| Kabir ve Sumi [12] | 2014 | √ | √ | | | | | √ | | | | | | | |
| Noorallahi vd. [13] | 2016 | √ | √ | | | | | | | | | | | | |
| Damgacı vd. [14] | 2017 | | | √ | √ | | | | | | | | | | |
| Wang vd. [15] | 2018 | √ | √ | | √ | | | | | | | | | | |
| Duman [16] | 2018 | | | | √ | | | | | | √ | | | | |
| Ishfaq vd. [17] | 2018 | | √ | | √ | √ | | | | | | | | | |
| Darani vd. [18] | 2018 | √ | √ | | √ | | | | | | | | | | |
| Doğan ve Uludağ [19] | 2018 | | √ | | | | √ | | | | | | | | |



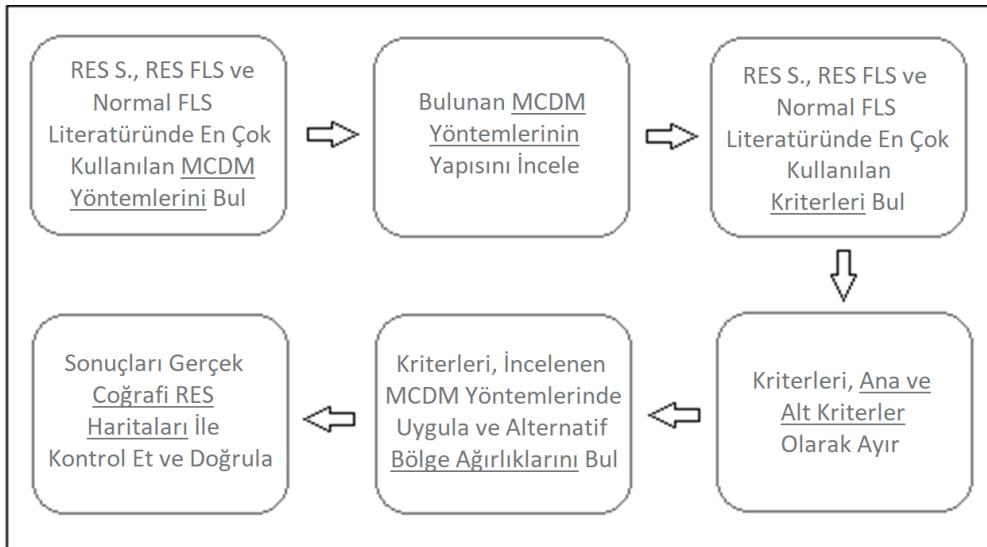
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|------|----------|-----------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Gücer [20] | 2018 | √ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Solangi vd. [21] | 2019 | √ | √ | √ | | | | | | | | | | | | | | | |
| Can ve Yücel [22] | 2019 | √ | √ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ammar vd. [23] | 2019 | √ | √ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Karakul [24] | 2020 | √ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Derse ve Yontar [25] | 2020 | | | | √ | | | | | | | | | | | | | | |
| Anderluh [26] | 2020 | √ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Vagiona [27] | 2021 | √ | | √ | √ | √ | √ | √ | | | | | | | | | | | |
| Urfalı ve Eymen [28] | 2021 | √ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Komchorrit [29] | 2021 | √ | | √ | | | | | | | | | | | | | | | |
| Güner vd. [30] | 2021 | √ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Abdel-Basset vd. [31] | 2021 | √ | | √ | √ | √ | | | | | | | | | | | | | |
| Nong [32] | 2021 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bilgiç vd. [33] | 2021 | | | | | | | | | | | | √ | √ | | | | | |
| Xuan vd. [34] | 2022 | | | | | | | | | | | | | | | | √ | | √ |
| Öztaş [35] | 2022 | | | | | | | | | | | | √ | | | | | | |
| Sarkodie vd. [36] | 2022 | | | | √ | | | | | | | | √ | √ | | | | | |
| TOPLAM | | 8 | 21 | 5 | 15 | 4 | 1 | 3 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

*F: Fuzzy, TP: TOPSIS, VK: VIKOR, GR: GRA, PR: PROMETHEE, EL: ELECTRE, MR: MOORA, CP: COPRAS, BW: BWM, AN: ANP, SW: SWARA, WS: WASPAS.

Literatür taramasında görüldüğü gibi son yıllarda en uygun RES belirleme sürecinde MCDM yöntemlerinin kullanılması artmıştır. Bu yöntemlerden FAHP ve FTOPSIS diğerlerine nazaran daha çok kullanılmaktadır. Çalışmamızda da seçim işlemi FAHP ile yapılmıştır. Bundan sonraki metodoloji bölümünde FAHP yapısı ve kriter seçimi incelenmiş ve sonrasında seçim işlemi yapılmıştır.

3. Metodoloji

Bu çalışma belli bir metodolojiye göre hazırlanmıştır. İlk adımda literatür taramasında belirtildiği gibi MCDM yöntemleri araştırması yapılmıştır. Sonrasında bu yöntemlerin yapısı incelenmiş ve literatürde en sık kullanılan kriterler bu yapılarda uygulanmıştır. Sonuç olarak bölge ağırlıkları bulunmuştur. Bu sonuçların doğrulanması için gerçek enerji haritalarından yararlanılmıştır. Şekil 3 bu metodolojiyi açıklamaktadır.



Şekil 3. Çalışmanın Metodolojik İlerleyişi



Şekil 3'teki metodolojik ilerleyişe göre sonraki bölümde literatürden elde edilen yöntem olan FAHP'nin yapısını incelenmiştir.

3.1. FAHP'in Yapısı

AHP 1990 yılında Saaty'nin [37] öne sürdüğü analitik bir karar verme yöntemidir. Bu yapı insan görüşlerini Saaty dilsel ölçeği ile matematiksel ifadelerle çevirir ve ana-alt kriterler arasından en uygun alternatifi seçer. Bu çalışma ise gerçeğe daha da yakın sonuçlar elde etmek için AHP'nin bulanık formatını kullanmayı tercih etmiştir. Kullanılan FAHP modeli Saaty'nin AHP yapısını geliştiren Buckley'in modelidir [38]. FAHP'nin dilsel ölçeği Tablo 4'te gösterilmektedir.

Tablo 4. Bulanık Sayıların Dilsel Ölçeği [12]

| Saaty Ölçeği | Tanımlar | Üçgensel Bulanık Sayılar | Üçgensel Bulanık Sayılar-Tersi |
|--------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------------|
| 1 | Eşit önem seviyesi | (1,1,1) | (1,1,1) |
| 2 | Ara değer | (1,2,3) | (1/3, 1/2, 1) |
| 3 | Zayıf önem seviyesi | (2,3,4) | (1/4, 1/3, 1/2) |
| 4 | Ara değer | (3,4,5) | (1/5, 1/4, 1/3) |
| 5 | Orta önem seviyesi | (4,5,6) | (1/6, 1/5, 1/4) |
| 6 | Ara değer | (5,6,7) | (1/7, 1/6, 1/5) |
| 7 | Güçlü ağırlıklı | (6,7,8) | (1/8, 1/7, 1/6) |
| 8 | Ara değer | (7,8,9) | (1/9, 1/8, 1/7) |
| 9 | Çok güçlü önem seviyesi | (8,9,9) | (1/9, 1/9, 1/8) |

FAHP'in ana ve alt kriterleri ağırlıklandırma sürecinin adımları aşağıda gösterilmektedir [39]:

Adım 1. İkili karşılaştırma matrisi \tilde{C}^k , uzman görüşlerine göre belirlenir. Bu matris \tilde{d}^k_{mn} bulanık sayılarından oluşur:

$$\tilde{C}^k = \begin{bmatrix} \tilde{d}^k_{11} & \tilde{d}^k_{12} & \cdots & \tilde{d}^k_{1j} \\ \vdots & \cdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{d}^k_{n1} & \tilde{d}^k_{n2} & \cdots & \tilde{d}^k_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Eğer karar verici birden çoksa:

$$\tilde{d}_{ij} = \frac{\sum_{m=1}^M \tilde{d}^k_{ij}}{K} \quad (2)$$

Eşitlik 2 ile \tilde{d}_{ij} karar ölçütlerinin ortalaması alınır ve aşağıdaki matris elde edilir:

$$\tilde{C} = \begin{bmatrix} \tilde{d}_{11} & \cdots & \tilde{d}_{ij} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{d}_{n1} & \cdots & \tilde{d}_{nn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Adım 2. \tilde{d}_{ij} üçgensel bulanık sayılarından oluşan her satırın değeri \tilde{r}_i olarak, geometrik ortalama ile elde edilir [40]:

$$\tilde{r}_i = (\prod_{j=1}^n \tilde{d}_{ij})^{1/n} \quad i=1,2,..n \quad (4)$$

Adım 3. Sonrasında ağırlıklandırma işlemi aşağıdaki gibi yapılır ve \tilde{w}_i değerleri elde edilir [41]:



$$\tilde{w}_l = \tilde{r}_l \otimes (\tilde{r}_1 \oplus \tilde{r}_2 \oplus \dots \oplus \tilde{r}_n)^{-1} = l_i, m_i, u_i \quad (5)$$

Adım 4. Adım 3'te elde edilen l_i, m_i, u_i değerleri küçük, orta ve büyük olarak bir bulanık üçgen sayıyı ifade etmektedir. Dolayısı ile bu bulanık sayı Ortalamaların Merkezi (COA) yöntemi ile durulaştırılır:

$$D_i = \frac{l_i + m_i + u_i}{3} \quad (6)$$

Adım 5. Durulaştırma işleminin sonucunda elde edilen değer normalize edilir ve bu değer istenen kriterin ya da alternatifin ağırlığını ortaya koyar:

$$N_i = \frac{D_i}{\sum_{n=1}^N D_i} \quad (7)$$

Yukarıda açıklanan aşamalar FAHP yapısının ana ve alt kriterler ile alternatifleri değerlendirirken, yani her aşamasında ayrı ayrı uygulanır. Son olarak istenen alternatifin ağırlığı ortaya konur.

3. 2. Literatürden Kriter Elde Etme

Şekil 3'e göre metodolojik ilerleyişte literatürden kriter elde etmek için Tablo 5 oluşturulmuş ve çalışmalarda en sık kullanılan kriterler gösterilmiştir.

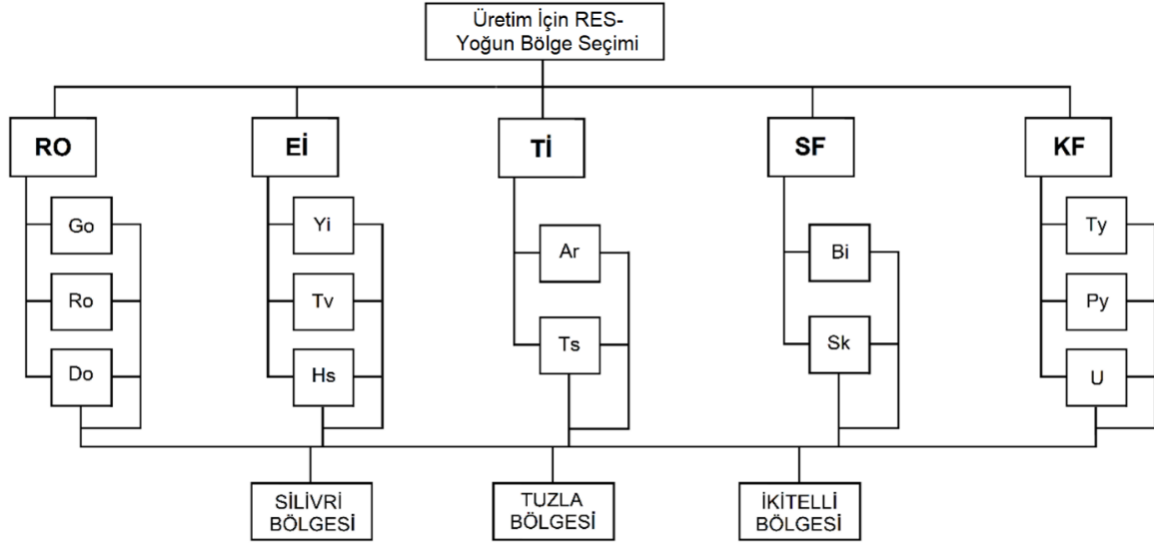
Tablo 5. RES S ve RES FLS Literatüründe En Sık Kullanılan Kriterler

| Yazar | Yıl | Kriterler | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|------|----------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------------|-----------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|----------|
| | | Ana Kriterler* | | | | | | Alt Kriterler** | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | RO | RÖ | Eİ | Tİ | SF | KF | RO | | | RÖ | | EI | | | | TI | | SF | | KF | | | |
| | | | | | | Go | Ro | Do | Ge | Rh | Yi | Tv | Hs | Em | Ar | Ts | Bi | Sk | Ty | Py | U | Sy | | |
| [7] | 2010 | | | √ | √ | √ | | | | | | √ | | | | √ | | √ | | | | | | |
| [8] | 2010 | | | √ | | √ | | | | | | √ | | | | √ | | √ | | | | | | |
| [9] | 2012 | | | √ | √ | √ | | | | | | √ | | | | √ | √ | | √ | | | | | |
| [10] | 2013 | √ | √ | √ | √ | | √ | | √ | | √ | √ | | | | √ | | | | | | | √ | |
| [11] | 2013 | √ | √ | √ | √ | | √ | | √ | | √ | √ | | | | √ | | | | √ | √ | | | |
| [12] | 2014 | √ | | √ | | | √ | | √ | | √ | √ | | | | | | | | √ | √ | | | |
| [13] | 2016 | √ | √ | | √ | | √ | | √ | | √ | √ | | | | √ | | | | √ | √ | | | |
| [14] | 2017 | | | √ | √ | √ | | | | | | √ | | | | √ | | √ | | | | | | |
| [15] | 2018 | √ | √ | √ | √ | | √ | | √ | | √ | √ | √ | | | √ | | | | √ | √ | | | |
| [16] | 2018 | √ | √ | √ | √ | | √ | | √ | | √ | √ | | √ | | √ | | | | √ | √ | | √ | |
| [17] | 2018 | √ | | √ | | | √ | √ | √ | | √ | √ | | √ | | √ | | | | | √ | √ | | |
| [18] | 2018 | | | √ | | √ | | | | | √ | √ | | | | √ | | √ | | | √ | √ | | |
| [19] | 2018 | √ | | √ | √ | √ | √ | | √ | √ | √ | √ | √ | | √ | | √ | √ | | √ | √ | √ | √ | |
| [20] | 2018 | | | √ | √ | √ | | | | | √ | √ | | | | √ | | √ | | √ | √ | √ | √ | |
| [21] | 2019 | | | √ | √ | √ | | | | | √ | √ | | √ | | √ | √ | √ | √ | | √ | √ | √ | |
| [22] | 2019 | | √ | | √ | √ | | | | | √ | √ | | | | √ | √ | | | | √ | √ | √ | |
| [23] | 2019 | √ | | | √ | √ | | | √ | | √ | √ | | | | √ | √ | √ | | | | √ | √ | |
| [24] | 2020 | √ | | | | | √ | √ | √ | | √ | √ | | | | √ | √ | √ | √ | | | | √ | |
| [25] | 2020 | √ | | | | | √ | √ | √ | | √ | √ | √ | | | √ | √ | √ | √ | | | | √ | |
| [26] | 2020 | | | √ | | | √ | | | | √ | √ | | | | √ | | | | | | | √ | |
| [27] | 2021 | √ | | | √ | | √ | | √ | | √ | √ | | | | √ | | | | √ | √ | √ | √ | |
| [28] | 2021 | √ | √ | √ | √ | √ | √ | | √ | | √ | √ | | | √ | √ | | | | √ | √ | √ | √ | |
| [29] | 2021 | | | √ | √ | √ | √ | | | | √ | √ | | | | √ | | √ | | | √ | √ | √ | |
| [30] | 2021 | √ | √ | √ | √ | √ | √ | | √ | | √ | √ | | | √ | | | | | √ | √ | √ | √ | |
| [31] | 2021 | √ | | √ | √ | √ | √ | | √ | √ | √ | √ | | | √ | √ | √ | √ | | √ | √ | √ | √ | |
| [32] | 2021 | | | √ | √ | √ | √ | | | | √ | √ | | | | √ | | √ | | √ | √ | √ | √ | |
| [33] | 2021 | √ | | | | | √ | √ | √ | | √ | √ | √ | | | √ | | | | | | | √ | |
| [34] | 2022 | √ | | | √ | | √ | √ | √ | | √ | √ | | | | √ | | | | | √ | √ | √ | |
| [35] | 2022 | √ | | √ | | | √ | √ | √ | | √ | √ | | | √ | | | | | | √ | √ | √ | |
| [36] | 2022 | √ | | √ | √ | √ | √ | √ | √ | | √ | √ | | | √ | √ | √ | √ | √ | | √ | √ | √ | |
| TOPLAM | | 19 | 8 | 20 | 19 | 14 | 20 | 15 | 12 | 8 | 5 | 3 | 19 | 6 | 5 | 4 | 20 | 8 | 11 | 7 | 9 | 15 | 12 | 6 |



*Ana Kriterler: RO: RES Oranı, RÖ: RES Özellikleri, Eİ: Ekonomik İmkanlar, Tİ: Teknik İmkanlar, SF: Sosyoekonomik Faktörler, KF: Konum Faktörleri,
**Alt Kriterler: Go: Güneş RES Oranı, Ro: Rüzgar RES Oranı, Do: Diğer RES Oranı, Ge: Güneşlilik Eğimi, Rh: Rüzgar Hızı, Yi: Yatırım ve İşletme Maliyetleri, Tv: Teşvik ve Vergiler, Hs: Hizmet Süresi, Em: Enerji Hatlarına Mesafe, Ar: Arazi Özellikleri, Ts: Teknoloji ve Sanayi Gelişmişliği, Bi: Bölgesel İstihdam, Sk: Sosyal Kabul Edilirlilik, Ty: Tedarikçilere Yakınlık, Py: Pazara Yakınlık, U: Ulaşım, Sy: Su Kaynağına Yakınlık.

Tablo 5'te görüldüğü gibi bazı ana ve alt kriterler yüksek değerde bazıları alçak değerde elde edilmiştir. Bu tabloya göre hazırlanan Saaty'nin [37] FAHP hiyerarşik tablosu Şekil 4'te gösterilmektedir.



Şekil 4. Üretim İçin RES-Yoğun Bölge Seçimi-FAHP Hiyerarşik Yapısı

Şekil 4'te gösterilen kriterlerin açıklaması ve seçim sebepleri maddelerle açıklanmıştır:

- 1. RO (RES Oranı):** RES-Yoğun bölgeleri belirten ana kriterdir. Literatürde de yüksek oranda tercih edilmiştir.
 - a. Go (Güneş RES Oranı):** Tesis kurulacak bölgenin güneşli gün sayısını, güneş santrali yoğunluğunu ya da potansiyelini belirten alt kriterdir.
 - b. Ro (Rüzgar RES Oranı):** Tesis kurulacak bölgenin rüzgarlı gün sayısını, rüzgar hızını, rüzgar santrali yoğunluğunu ya da potansiyelini belirten alt kriterdir.
 - c. Do (Diğer RES Oranı):** Tesis kurulacak bölgenin güneş ve rüzgar dışında, jeotermal ya da biyogaz gibi RES kaynak yoğunluğunu ya da potansiyelini belirten alt kriterdir.
- 2. Eİ (Ekonomik İmkanlar):** Tesis kurulacak bölgedeki ekonomik avantaj ya da dezavantajları belirten ana kriterdir.
 - d. Yi (Yatırım ve İşletme Maliyetleri):** Tesis kurulacak bölge için yatırım ve işletme maliyetlerini belirten alt kriterdir.
 - e. Tv (Teşvik ve Vergiler):** Tesis kurulacak bölgenin teşvik ve vergi durumlarını belirten alt kriterdir.
 - f. Hs (Hizmet Süresi):** Tesis kurulacak bölgede tesisin hizmet verme süresini belirten alt kriterdir.
- 3. Tİ (Teknik İmkanlar):** Tesis kurulacak bölgenin teknik ve teknolojik imkanlarını belirten ana kriterdir.
 - g. Ar (Arazi Özellikleri):** Tesis kurulacak bölgenin arazi düzlüğü, genişleme imkanları, sağlamlığını belirten alt kriterdir.
 - h. Ts (Teknik ve Sanayi Gelişmişliği):** Tesis kurulacak bölgenin teknolojik ve sanayi altyapısını belirten alt kriterdir.



4. **SF (Sosyoekonomik Faktörler):** Tesis kurulacak bölge nüfusuna dair işgücü potansiyeli ve sosyal kabulü belirten ana kriterdir.
 - i. **Bi (Bölgesel İstihdam):** Tesis kurulacak bölgenin istihdam edilebilecek işgücünü belirten alt kriterdir.
 - j. **Sk (Sosyal Kabul Edilebilirlik):** Tesis kurulacak bölge nüfusu tarafından çevresel faktörler, iş imkanları ya da farklı avantaj ve dezavantajlar dahilinde tesisin kabul edilebilirliğini belirten alt kriterdir.
5. **KF (Konum Faktörleri):** Tesis kurulacak bölgenin yollara, hammadde tedarikçisi ya da müşterilere olan konumunu belirten ana kriterdir.
 - a. **Ty (Tedarikçilere Yakınlık):** Tesis kurulacak bölgenin hammadde üreticilerine yakınlığını belirten alt kriterdir.
 - b. **Py (Pazara Yakınlık):** Tesis kurulacak bölgenin müşterilere yakınlığını belirten alt kriterdir.
 - c. **U (Ulaşım):** Tesis kurulacak bölgenin yol altyapısını belirten alt kriterdir.

FAHP yapısına Tablo 4'teki bazı ana ve alt kriterler alınmamış ve açılımları açıklanmaya ihtiyaç duyulmamıştır. Sebese ise, hem literatürde az kullanılmaları hem de çalışmamıza uymamalarıdır. Bu bölümden sonra FAHP ikili karşılaştırma matrisleri Uygulama başlığı altında incelenmiştir.

4. Uygulama

FAHP ikili karşılaştırma matrisleri üç uzmanın ayrı ayrı görüşlerini alarak hazırlanmıştır. Bununla beraber ikili karşılaştırma değerlerini tekil hale getirmek için Eşitlik 2'deki gibi uzman skorlarının ortalaması alınmıştır. Bu şekilde toplamda 19 ikili karşılaştırma tablosu oluşmuştur. Bunlardan ikisi çalışmada paylaşılmaktadır. Tablo 6 ana kriterlerin kendi arasındaki karşılaştırma matrisini ve Tablo 7 RO ana kriteri ile alt kriterleri arasındaki karşılaştırma matrisini göstermektedir.

Tablo 6. Ana Kriterlerin En Uygun RES-Yoğun Bölge Seçimi İçin İkili Karşılaştırma Matrisi

| ANA | RO | Eİ | Tİ | SF | KF | r_{ij} | w_j | DURU (ORT) | NORMAL |
|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------|----------------|------------|--------|
| RO | 1,0 1,0 1,0 | 4,0 5,0 6,0 | 3,0 4,0 5,0 | 5,0 6,0 7,0 | 3,0 4,0 5,0 | 2,83 3,44 4,02 | 0,36 0,51 0,69 | 0,52 | 0,52 |
| Eİ | 0,2 0,2 0,3 | 1,0 1,0 1,0 | 2,0 3,0 4,0 | 3,0 4,0 5,0 | 1,0 1,0 1,0 | 1,00 1,19 1,38 | 0,13 0,18 0,24 | 0,18 | 0,18 |
| Tİ | 0,2 0,3 0,3 | 0,3 0,3 0,5 | 1,0 1,0 1,0 | 3,0 4,0 5,0 | 1,0 1,0 1,0 | 0,68 0,80 0,96 | 0,09 0,12 0,17 | 0,12 | 0,12 |
| SF | 0,1 0,2 0,2 | 0,2 0,3 0,3 | 0,2 0,3 0,3 | 1,0 1,0 1,0 | 0,3 0,2 0,2 | 0,27 0,29 0,33 | 0,03 0,04 0,06 | 0,04 | 0,04 |
| KF | 0,2 0,3 0,3 | 1,0 1,0 1,0 | 1,0 1,0 1,0 | 6,0 5,0 4,0 | 1,0 1,0 1,0 | 1,04 1,05 1,06 | 0,13 0,15 0,18 | 0,16 | 0,14 |
| TOPLAM | | | | | | 5,82 6,77 7,75 | | | 1 |

Tablo 6'da görüldüğü gibi üretim için RES-Yoğun bölge seçiminde RO ana kriteri öne çıkmıştır. Tablo 7 bu ana kriterin alt kriterleri arasındaki ikili karşılaştırma matrisini göstermektedir.

Tablo 7. RO Ana Kriterinin Alt Kriterlerinin İçin İkili Karşılaştırma Matrisi

| RO | Go | Ro | Do | r_{ij} | w_j | DURU (ORT) | NORMAL |
|----|----------------|----------------|-------------|----------------|----------------|------------|--------|
| Go | 1,0 1,0 1,0 | 1,0 1,0 1,0 | 4,0 5,0 6,0 | 1,59 1,71 1,82 | 0,40 0,47 0,54 | 0,47 | 0,47 |
| Ro | 1,0 1,0 1,0 | 1,0 1,0 1,0 | 3,0 4,0 5,0 | 1,44 1,59 1,71 | 0,36 0,43 0,51 | 0,44 | 0,43 |
| Do | 0,17 0,20 0,25 | 0,20 0,25 0,33 | 1,0 1,0 1,0 | 0,32 0,37 0,44 | 0,08 0,10 0,13 | 0,10 | 0,10 |



TOPLAM 3,35 3,66 3,96

1

Tablo 7'de görüldüğü gibi RO ana kriterinin alt kriterleri arasında güneş ve rüzgar enerjisi oranları bölge seçiminde daha öne çıkmaktadır. Bunlar arasında da güneş enerjisi oranı daha öne çıkmaktadır. Bu şekilde hazırlanan 19 tablo sonucunda Tablo 8 genel ağırlıklandırma ve sıralama değerlerini göstermektedir.

Tablo 8. Genel Ağırlıklandırma ve Sıralama

| ANA | w.* ANA | ALT | w. ALT | SİLV. | TUZL. | İKT. | w. SİLV. | w. TUZL. | w. İKT. |
|-----------------|---------|-----|--------|-------|-------|------|----------|----------|---------|
| RO | 0,52 | Go | 0,47 | 0,35 | 0,39 | 0,26 | 0,09 | 1,00 | 0,06 |
| | | Ro | 0,43 | 0,50 | 0,21 | 0,29 | 0,11 | 0,05 | 0,06 |
| | | Do | 0,10 | 0,37 | 0,38 | 0,25 | 0,02 | 0,02 | 0,01 |
| Eİ | 0,18 | Yi | 0,68 | 0,25 | 0,34 | 0,41 | 0,03 | 0,04 | 0,05 |
| | | Tv | 0,24 | 0,40 | 0,34 | 0,26 | 0,02 | 0,01 | 0,01 |
| | | Hs | 0,08 | 0,32 | 0,32 | 0,36 | 0,005 | 0,005 | 0,005 |
| Tİ | 0,12 | Ar | 0,65 | 0,45 | 0,35 | 0,20 | 0,04 | 0,03 | 0,02 |
| | | Ts | 0,35 | 0,26 | 0,34 | 0,40 | 0,01 | 0,01 | 0,02 |
| | | Bi | 0,85 | 0,22 | 0,33 | 0,45 | 0,01 | 0,01 | 0,02 |
| SF | 0,04 | Sk | 0,15 | 0,36 | 0,34 | 0,30 | 0,002 | 0,002 | 0,002 |
| | | Ty | 0,48 | 0,28 | 0,33 | 0,39 | 0,02 | 0,02 | 0,03 |
| KF | 0,14 | Py | 0,32 | 0,28 | 0,28 | 0,44 | 0,01 | 0,01 | 0,02 |
| | | U | 0,20 | 0,30 | 0,30 | 0,40 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| TOPLAM SİRALAMA | | | | | | | 0,37 | 0,32 | 0,31 |
| | | | | | | | 1. | 2. | 3. |

*w: ağırlığı belirtir.

Tablo 8'de görüldüğü gibi Silivri Bölgesi belirlenen ana ve alt kriterler arasında üretim için RES-Yoğun bölge seçiminde en uygun bölge olarak belirlenmiştir. Bazı bulgular ve bunların doğruluğu bir sonraki bölümde ele alınmıştır.

5. Bulgular ve Tartışma

Bu kısımda sadece nihai sıralama sonucu değil bazı ara değerler de tartışmaya açılmıştır. Örnek olarak ana kriter puanlamasında uzmanlarımız RO'yu en yüksek olarak puanlamıştır. Çünkü ana kriterlerin ikili karşılaştırmasında hedef en yoğun RES bölgesini seçmektir. Dolayısıyla bu yüksek oran diğer ağırlıklarla da çarpılarak sıralamaya etki etmiştir. Örneğin, başka yönden bakıldığında KF ana kriteri altında İkitelli Bölgesi ilk sırada puan almıştır. Ancak genelde RES oran yüksekliği amaçlandığından toplamda birinci olamamıştır. Tablo 9 bunun gibi durumları analiz etmektedir ve alt kriter ağırlıklarındaki farklı sıralamaları göstermektedir.

Tablo 9. Alt Kriterlerde Bölge Sıralaması Analizi

| ANA | w.* ANA | ALT | w. ALT | SİLV. | TUZL. | İKT. | w. SİLV. | w. TUZL. | w. İKT. |
|-----|---------|-----|--------|-------|-----------|-----------|-----------|----------|---------|
| RO | 0,52 | Go | 0,47 | 0,35 | 0,39 | 0,26 | 0,09 | 1,00 | 0,06 |
| | | Ro | 0,43 | 0,50 | 0,21 | 0,29 | 0,11 | 0,05 | 0,06 |
| | | Do | 0,10 | 0,37 | 0,38 | 0,25 | 0,02 | 0,02 | 0,01 |
| Eİ | 0,18 | Yi | 0,68 | 0,25 | 0,34 | 0,41 | 0,03 | 0,04 | 0,05 |
| | | Tv | 0,24 | 0,40 | 0,34 | 0,26 | 0,02 | 0,01 | 0,01 |
| | | Hs | 0,08 | 0,32 | 0,32 | 0,36 | 0,005 | 0,005 | 0,005 |
| | | | | TOP. | 1,22 (1.) | 0,98 (2.) | 0,80 (3.) | | |



3. RUMELİ SÜRDÜRÜLEBİLİR ÇEVRE İÇİN ENERJİ VE TASARIM SEMPOZYUMU
3rd RUMELİ ENERGY AND DESIGN FOR A SUSTAINABLE ENVIRONMENT SYMPOSIUM
2-3 Şubat 2023 / February 2-3, 2023
Silivri, İSTANBUL

| | | | | | | | | | | |
|----|------|----|------|-----------|-----------|-----------|------|------|------|------|
| Ti | 0,12 | Ar | TOP. | 0,97 (3.) | 1,00 (2.) | 1,03 (1.) | 0,04 | 0,03 | 0,02 | |
| | | | | 0,65 | 0,45 | 0,35 | | | | 0,20 |
| | | | Ts | 0,35 | 0,26 | 0,34 | | | | 0,40 |
| SF | 0,04 | Bi | TOP. | 0,70 (1.) | 0,69 (2.) | 0,60 (3.) | 0,01 | 0,01 | 0,02 | |
| | | | | 0,85 | 0,22 | 0,33 | | | | 0,45 |
| | | | Sk | 0,15 | 0,36 | 0,34 | | | | 0,30 |
| KF | 0,14 | Ty | TOP. | 0,58 (3.) | 0,67 (2.) | 0,75 (1.) | 0,02 | 0,02 | 0,03 | |
| | | | | 0,48 | 0,28 | 0,33 | | | | 0,39 |
| | | | Py | 0,32 | 0,28 | 0,28 | | | | 0,44 |
| | | | U | 0,20 | 0,30 | 0,30 | | | | 0,40 |
| | | | TOP. | 0,86 (3.) | 0,91 (2.) | 1,23 (1.) | | | | 0,01 |

Tablo 9'un amacı ana ve alt kriterlerin ağırlık etkisi olmadan sadece bölge bazlı değerlendirmeleri ayrı ayrı ele alabilmektir. Görüldüğü gibi genel sıralamada son sırada çıkan İkitelli Bölgesi ekonomik imkanlar ya da konum faktörleri gibi bazı alanlarda ilk sıradadır. Bunun bilinen sebebi diğer iki bölgeye göre şehir merkezine çok daha yakın olması ve farklı imkanlara, konumlara erişebilmesidir. Buna benzer olarak sosyoekonomik imkanlarda da bölgesel istihdamın yüksek ağırlığı ile öne çıkmıştır. Yine merkeze yakın olmasıyla ilgilidir. Bir diğer elde, Silivri Bölgesi esasen teknik imkanlar alanında İkitelli'den önde olmasa da arazi bakımından en uygun yer olduğu bilinmektedir. Bu kriter de bu bölgeyi öne taşımıştır. Bu gibi farklı çıkarımlar da yapılabilir.

Buna ek olarak çalışmanın amacı RES oranı ve potansiyeli yoğun bölgeyi seçmektir. Dolayısıyla seçilen bölgenin gerçek durumla ilişkisini analiz etmek için bu ilçelerin güneş ve rüzgar yoğunluğu belli kaynaklardan elde edilmiştir. Bu bağlamda Tablo 9 gerçek verilere dayalı olarak rüzgar, Tablo 10 ise güneş RES oranları ve potansiyelini göstermektedir.

Tablo 9. İstanbul İlçeleri Rüzgar RES Kurulu Güçleri [42]

| BÖLGE | İLÇE | Santral İsmi | Firma İsmi | Kurulu Güç (MW) | Sıralama | FAHP Sıralaması |
|------------------------------------|-----------|-------------------------------|------------------------------|------------------|---------------|-----------------|
| SİLİVRİ ya da Yakın Bölge | ÇATALCA | İstanbul RES | Universal Wind Enerji | 200 MW | | |
| | ŞİLE | Ömerli RES | Erciyes Anadolu Holding | 100 MW | | |
| | ÇATALCA | Çatalca Rüzgar Santrali | Sanko Enerji | 93 MW | | |
| | SİLİVRİ | Silivri Rüzgar Santrali | Eksim Enerji | 63 MW | | |
| | ÇATALCA | Hacıbey RES | Kıvanç Enerji | 51 MW | | |
| | SİLİVRİ | Çanta Rüzgar Santrali | Erciyes Anadolu Holding | 50 MW | | |
| | ÇATALCA | Yamaçtepe 2 RES | Sancak Enerji | 30 MW | | |
| | ÇATALCA | Aydos Rüzgar Santrali | Serbest Enerji | 14 MW | | |
| | ÇATALCA | Çataltepe RES | Süper Elektrik Üretim | 10 MW | 1. | 1. |
| | ÇATALCA | Küptepe Rüzgar Santrali | Nokta Yatırım Holding | 10 MW | | |
| | SİLİVRİ | Mahmut Şevket Paşa RES | Paşa Enerji | 8,00 MW | | |
| | SİLİVRİ | Tepe Rüzgar Santrali | Teperes Elektrik | 5,85 MW | | |
| | SİLİVRİ | Gazi RES | Arı En Elektrik Üretim | 5,00 MW | | |
| | SİLİVRİ | Sakarbayır RES | Arı En Elektrik Üretim | 3,00 MW | | |
| | SİLİVRİ | Ertan RES | Ertan Enerji Elektrik Üretim | 3,00 MW | | |
| | B.ÇEKMECE | Ayyıldız Enerji RES | Ayyıldız Enerji | 0,50 MW | | |
| | Y.A.* | ÇATALCA | Salteks Tekstil Çatalca RES | Salteks Tekstil | 2,35 MW | |
| Y.A. | SİLİVRİ | Kavak Tekstil İstanbul RES | Kavak Tekstil | 1,00 MW | | |
| Y.A. | SİLİVRİ | Göksular Un RES | Göksular Un | 1,00 MW | | |
| Y.A. | ÇATALCA | ADC Sağlık RES | ADC Sağlık | 0,75 MW | | |
| Y.A. | ÇATALCA | Terkos Barajı Rüzgar Santrali | iBB | 0,50 MW | | |
| SİLİVRİ RÜZGAR RES TOPLAM | | | | 651,95 MW | 651,95 | 0,50 |
| TUZLA ya da Yakın Bölge | ÜSKÜDAR | Silivri Rüzgar Santrali | Eksim Enerji | 63 MW | | |
| | ŞİLE | Şile RES | Türkerler Holding | 50 MW | 3. | 3. |
| TUZLA RÜZGAR RES TOPLAM | | | | 113 MW | 113 | 0,21 |
| İKİTELLİ | G.PAŞA | Gaziosmanpaşa RES | Öz-Yel Elektrik Üretim | 50 MW | | |
| | G.PAŞA | Tayakadın RES | Fina Enerji | 50 MW | 2. | 2. |
| | G.PAŞA | Kemberburgaz RES | Alto Holding | 33 MW | | |



| | | | | | | |
|-----------------------------------|---------|--|-----------------------|---------------------------------------|---------------|-------------|
| ya da Yakın Bölge | SARIYER | Boğaziçi Üniversitesi Sarıtepe Kampüsü Rüzgar Santrali | Boğaziçi Üniversitesi | 0,90 MW | | |
| İKİTELLİ RÜZGAR RES TOPLAM | | | | 133,90 MW | 133,90 | 0,29 |
| | | | | FAHP - GERÇEK VERİ KORELASYONU | %97,23 | |

*Y.A.: Yapım Aşamasında

Tablo 9'da görüldüğü gibi İstanbul OSB'lerinde en yoğun rüzgar RES oranı beş kat farkla Silivri Bölgesi'ndedir. Diğer iki OSB birbirine çok yakın değerdedir ve FAHP sıralaması da gerçek verileri yakalamıştır. Tablo 9'un altındaki yüksek korelasyon değeri bunu ifade etmektedir. Pearson'a [43] göre 0,90-1,00 arasındaki değerler "çok yüksek ilişki" olarak tanımlanır.

Tablo 10. İstanbul İlçeleri Güneş RES Kurulu Güçleri [44]

| BÖLGE* | İLÇE | Santral İsmi | Firma İsmi | Kurulu Güç (MW) | Sıralama | FAHP Sıralaması |
|--|------------|-----------------------------|-------------------------|---------------------------------------|---------------|-----------------|
| TUZLA ya da Yakın Bölge Y.A. | ATAŞEHİR | Yeditepe Üniversitesi GES | Yeditepe Üniversitesi | 1,00 MW | | |
| | PENDİK | Teknopark İstanbul GES | Teknopark İstanbul | 0,46 MW | | |
| | ÇEKMEKÖY | Özyeğin Üniversitesi GES | Fina Enerji | 0,35 MW | | |
| | ÜSKÜDAR | Özel ASFA GES | Özel ASFA Okulları | 0,041 MW | 1. | 1. |
| | ÜMRANİYE | Anel İş Merkezi GES | Anel Enerji | 0,027 MW | | |
| | TUZLA | Fronius İnverter İstanbul | F. İnverter İstanbul | 0,008 mw | | |
| | TUZLA | Tuzla Şelale Park GES | İBB | 0,55 MW | | |
| TUZLA GÜNEŞ RES TOPLAM | | | | 2,436 MW | 2,436 | 0,39 |
| SİLİVRİ ya da Yakın Bölge | B.ÇEKMECE | B.çekmece Gölü Yüzer GES | İBB | 0,24 MW | | |
| | ARNAVUTKÖY | Samson Ölçü GES | Samson Ölçü | 0,17 MW | | |
| | ARNAVUTKÖY | Aktaş Akıncı Tekstil GES | Aktaş Akıncı Tekstil | 0,10 MW | 2. | 2. |
| | ÇATALCA | Osman Muzaffer T. GES | Osman Muzaffer T. | 0,005 MW | | |
| SİLİVRİ GÜNEŞ RES TOPLAM | | | | 0,515 MW | 0,515 | 0,35 |
| İKİTELLİ ya da Yakın Bölge | İKİTELLİ | İkitelli Termal GES | | 0,50 MW | | |
| | EYÜPSULTAN | Eyüp Belediyesi GES | Eyüp Belediyesi | 0,037 MW | 3. | 3. |
| | K.ÇEKMECE | İETT İkitelli Fabrikası GES | İETT İkitelli Fabrikası | 0,009 MW | | |
| İKİTELLİ GÜNEŞ RES TOPLAM | | | | 0,46 MW | 0,46 | 0,26 |
| | | | | FAHP - GERÇEK VERİ KORELASYONU | %75,33 | |

*İstanbul'daki diğer lisanssız GES'ler (çeşitli firmalar): 21 MW

Tablo 10'da görüldüğü gibi İstanbul OSB'lerinde en yoğun güneş RES oranı rüzgar oranındaki gibi beş kat farkla Tuzla Bölgesi'ndedir. Diğer iki OSB birbirine çok yakın değerdedir ve FAHP sıralaması da gerçek verileri yakalamıştır. Tablo 10'un altındaki orta üstü ve yüksek korelasyon değeri bunu ifade etmektedir. Pearson'a [43] göre 0,70-0,89 arasındaki değerler "yüksek ilişki" olarak tanımlanır.

6. Sonuç

Bu çalışma literatürdeki en uygun RES S ya da RES FLS çalışmalarından daha başka bir amaç gütmektedir. Normal FLS literatüründeki çalışmaları RES S ve RES FLS literatüründeki çalışmalarla birlikte ele alıp üretim yapan firmalar için yeni bir öneri sunmaktadır. Bu öneri firmaları RES-Yoğun bölgelerde üretim yapmaya teşvik etmektir. Bu bağlamda çalışma üç alternatif İstanbul OSB'si içinden RES-Yoğun bölgeyi FAHP ile seçmeyi amaçlamaktadır. Ancak RES-Yoğun bölgeleri seçerken normal FLS literatüründen de faydalanarak konum, ekonomik faktörler gibi durumları da ele almıştır. Bunun için belirtilen üç literatürden MCDM yöntemleri ile yapılan çalışmalar içinden 6 ana kriter ve 17 alt kriter belirlemiştir. Bu kriterler arasından 5 ana kriter ve 13 alt kriteri FAHP'in yapısında kullanmıştır. Sonuç olarak alternatif OSB bölgesi olarak Silivri Bölgesi seçilmiştir. Bu seçim işleminin detayları bulgular ve tartışma bölümünde ele alınmıştır. Öyle ki, bölgesel istihdam ya da ekonomik imkanlar gibi alanlarda İkitelli Bölgesi, teknik imkanlar gibi alanlarda Tuzla Bölgesi öne çıkmıştır ancak RES seçiminde genel



olarak Silivri Bölgesi ön planda kalmıştır. Son olarak FAHP yapısının gerçek RES oranları ya da potansiyeli verilerini yüksek ilişkili korelasyonlarla yakaladığı gözlenmiştir. Böylece çalışma 2023 için hedeflenen %30 RES oranının üstüne çıkabilmiş Türkiye için literatüre birçok katkı sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] World Economic Forum, “Energy Transition: These Regions Produce A Lot of Carbon Emissions - Here’s What They Plan to Do About It” Ağustos 2022.
<https://www.weforum.org/agenda/2022/08/electricity-capacity-power-renewable-energy/>
- [2] International Energy Agency, “World Energy Outlook 2022: Chapter 1. Overview and Key Findings” Ekim 2022.
<https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>
- [3] ŞEKERCİ A. Zübeyr, “Investigation of The Effect of Increased CO₂ Gas Emissions on Temperature Levels in Turkey: An Application with ANFIS and Linear Regression” 2st Rumeli Energy and Design for A Sustainable Environment Symposium, Haliç, February 17 – 18, 2022: 169-181.
- [4] International Energy Agency, “Renewables 2022: Chapter 1. Renewable electricity” Aralık 2022.
<https://www.iea.org/reports/renewables-2022>
- [5] Enerji Atlası, “Türkiye Elektrik Üretimi” 2022.
<https://www.enerjiatlası.com/elektrik-uretimi/>
- [6] TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, “2023’TE HEDEF YÜZDE 30 YENİLENEBİLİR ENERJİ (MİLLİYET)” Mayıs 2013.
https://www.emo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=98075
- [7] THEODOROU Savvas, FLORİDES Georgios, TASSOU Savvas, “The Use of Multiple Criteria Decision Making Methodologies for the Promotion of RES Through Funding Schemes in Cyprus, Are View” Energies, Cilt 38, Sayı 12, Sf. 7783-7792, 2010.
- [8] ÖNÜT Semih, EFENDİGİL Tuğba, KARA S. Soner, “A Combined Fuzzy MCDM Approach for Selecting Shopping Center Site: An Example from Istanbul, Turkey” Expert Systems with Applications, Cilt 37, Sayı 3, Sf. 1973-1980.
- [9] SADEGHI Arash, LARIMIAN Taimaz, MOLABASHI Ali, “Evaluation of Renewable Energy Sources for Generating Electricity in Province of Yazd: A Fuzzy MCDM Approach” Procedia - Social and Behavioral Sciences, Cilt 62, Sayı 3, Sf. 1095-1099, 2012.
- [10] AYDIN Yaşar, “Bulanık Topsis Ve Vikor Yöntemi Kullanılarak Rüzgâr Enerjisi Santral Yer Seçimi” T.C. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 66, 2013.
- [11] KENGPOL Athakorn, RONTLAONG Piya, TUOMINEN Markku, “A Decision Support System for Selection of Solar Power Plant Locations by Applying Fuzzy AHP and TOPSIS: An Empirical Study” Journal of Software Engineering and Applications, Cilt 06, Sayı 09, Sf. 470-481, 2013.
- [12] KABIR Golam, SUMI R. Sultana, “Power Substation Location Selection Using Fuzzy Analytic Hierarchy Process and PROMETHEE: A Case Study from Bangladesh” Energy, Cilt 72, Sf. 717-730, 2014.
- [13] NOOROLLAHİ Ehsan, FADAİ Dawud, SHİRAZİ M. A, kbaarpour, GHODSİPOUR S. Hassan, “Land Suitability Analysis for Solar Farms Exploitation Using GIS and Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP)—A Case Study of Iran” Energies, Cilt 9, Sayı 8, Sf. 643-667, 2016.
- [14] DAMGACI Elif, BORAN Kurtuluş, BORAN Fatih Emre, “Sezgisel Bulanık TOPSIS Yöntemi Kullanarak Türkiye’nin Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Değerlendirilmesi” Politeknik Dergisi, Cilt 20, Sayı 3, Sf. 629-637, 2017.
- [15] WANG Chai-Nan, HUANG Ying-Fang, CHAI Yu-Chien, NGUYEN V. Thanh, “A Multi-Criteria Decision Making (MCDM) for Renewable Energy Plants Location Selection in Vietnam under a Fuzzy Environment” Applied Sciences, Cilt 8, Sayı 11, Article Number: 2069, 2018.
- [16] DUMAN M. Hilmi, “Batı Akdeniz Bölgesinde Güneş Enerjisi Santrali İçin Kuruluş Yeri Seçimi” Akdeniz Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 81, 2018.
- [17] ISHFAQ Sarmad, ALI Saad, ALI Yousaf, “Selection of Optimum Renewable Energy Source for Energy Sector in Pakistan by Using MCDM Approach” Process Integration and Optimization for Sustainability, Cilt 2, Sayı 8, Sf. 61-71, 2018.



- [18] DARANI S. Kazani, ESLAMI A. Akbari, JABBARİ Mona, ASEFİ Hossein, "Parking Lot Site Selection Using A Fuzzy AHP-TOPSIS Framework in Tuyserkan, Iran" *Journal of Urban Planning and Development*, Cilt 144, Sayı 3, Article Number: 04018022, 2018.
- [19] DOĞAN Hatice, ULUDAĞ A. Serhat, "Yenilenebilir Enerji Alternatiflerinin Değerlendirilmesi ve Uygun Tesis Yeri Seçimi: Türkiye'de Bir Uygulama" Cilt 14, Sayı 2, Sf. 157-180, 2018.
- [20] GÜCER Berkcan, "Tesis Yeri Seçiminde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi ve Cam Sanayi Kuruluşu İçin Bir Örnek" *Toros Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 81, 2018.
- [21] SOLANGI Y. Ahmed, TAN Qingmei, MIRJAT N. Hussain, ALI Sharafat, "Evaluating the Strategies for Sustainable Energy Planning in Pakistan: An Integrated SWOT-AHP and Fuzzy-TOPSIS Approach" *Journal of Cleaner Production*, Cilt 236, Sayı 2, Article Number: 117655, 2019.
- [22] CAN Gökhan, YÜCEL M. Ali, "Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Analitik Hiyerarşi Prosesi Kullanarak Rüzgar Enerji Santralleri İçin Yer Tespiti" *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 17. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, Türkiye, 25 - 27 Nisan 2019*, Sf.1-7, 2019.
- [23] AMMAR Hachemi, BENBAHA Nouredine, BOUKEBBOUS S. Eddine, "Siting Analysis of PV Water Pumping System Using GIS-Based Fuzzy Analytic Hierarchy Process" *4th International Conference on Power Electronics and Their Applications (ICPEA)*, Sf. 1-5, 2019.
- [24] KARAKUL A. Kayahan, "Bulanık AHP Yöntemi İle Yenilenebilir Enerji Kaynağı Seçimi" *Bingöl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, Cilt 10, Sayı 19, Sf. 127-150, 2020.
- [25] DERSE Onur, YONTAR Emel, "SWARA-TOPSIS Yöntemi ile En Uygun Yenilenebilir Enerji Kaynağının Belirlenmesi" *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, Cilt 31, Sayı 3, Sf. 389-410, 2020.
- [26] ANDERLUH Alexandra, HEMMELMAYR Vera, RUDIGER Dag, "Analytic Hierarchy Process for City Hub Location Selection – The Viennese Case" *Transportation Research Procedia*, Cilt 46, Sf. 77-84, 2020.
- [27] VAGIONA Dimitra, "Comparative Multicriteria Analysis Methods for Ranking Sites for Solar Farm Deployment: A Case Study in Greece" *Energies*, Cilt 14, Sayı 24, Article Number: 8371, 2021.
- [28] URFALI Tuğrul, EYMEN Abdurrahman, "CBS Ve AHP Yöntemi Yardımıyla Kayseri İli Örneğinde Rüzgâr Enerji Santrallerinin Yer Seçimi" *Geomatik Dergisi*, Cilt 6, Sayı 3, Sf. 227-237, 2021.
- [29] KOMCHORN RIT Kraisee, "Location Selection of Logistics Center: A Case Study of Greater Mekong Subregion Economic Corridors In Northeastern" *ABAC Journal Assump University*, Cilt 41, Sayı 2, Sf.137-155, 2021.
- [30] GÜNER E. Deniz, TEKİN Senem, ÇİLEK Ahmet, ÇİLEK M. ÜNAL, "Güneş Enerjisi Santrali için Uygun Alanların CBS Tabanlı AHP Yöntemi ile Belirlenmesi: Mersin İli Örneği" *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, Cilt 36, Sayı 1, Sf. 11-24, 2021.
- [31] ABDEL-BASSET Mohamed, GAMAL Abdullah, CHARKRABORTTY R. Kumar, RYAN MICHAEL, "Evaluation Approach for Sustainable Renewable Energy Systems Under Uncertain Environment: A Case Study" *Renewable Energy*, Cilt 168, Sayı 12, Sf. 1073-1095, 2021.
- [32] NONG T. Nhu-Mai, "A Hybrid Model for Distribution Center Location Selection" *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, Cilt 38, Sf. 40-49, 2021.
- [33] BİLGİÇ Sezi, TORGUL Belkız, PAKSOY Turan, "Sürdürülebilir Enerji Yönetimi İçin BWM Yöntemi ile Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Değerlendirilmesi" *Verimlilik Dergisi*, Sayı 2, Sf. 95-110, 2021.
- [34] XUAN H. Ao, TRINH V. Vu, TECHATO Kuaanan, PHOUNGTHONG Khampe, "Use of Hybrid MCDM Methods for Site Location of Solar-Powered Hydrogen Production Plants in Uzbekistan" *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, Cilt 52, Sayı 2, Article Number: 101979, 2022.
- [35] ÖZTAŞ Ömer, "Güneş Pv Enerji Santrali Yer Seçimi İçin CBS'ye Dayalı Hibrit Bir Yaklaşım" *T.C. Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 55, 2022.
- [36] SARKODIE W. Ofori, OFOSU E. Antwi, AMPIMAH B. Chris, "Decision Optimization Techniques for Evaluating Renewable Energy Resources for Power Generation in Ghana: MCDM Approach" *Energy Reports*, Cilt 8, Sf. 13504-13513, 2022.
- [37] SAATY L. Thomas, "The Analytic Hierarchy Process in Conflict Management" *The International Journal of Conflict Management*, Cilt 1, Sayı 1, Sf. 47-68, 1990.
- [38] Buckley J. J., "Fuzzy Hierarchical Analysis" *Fuzzy Set Systems*, Cilt 17, Sf. 243-247, 1985.



- [39] ŞEKERCİ A. Zübeyr, AYDIN Nezir, "A Stochastic Model for Facility Locations Using the Priority of Fuzzy AHP" Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences, Cilt 40, Sayı 3, Sf. 649-662, 2022.
- [40] YAZIR Devran, TEKEL Yusuf, "Türkiye, İngiltere Ve Çin Halk Cumhuriyeti (ÇHC) Üçgeninde Denizcilik Kümelenmelerinin Bulanık AHP Yöntemi ile Analizi" Denizcilik ve Lojistik Araştırmaları Dergisi, Cilt 4, Sayı 2, Sf. 181-208, 2022.
- [41] AYDIN Elif, ÇAĞIL Gültekin, "Bulanık AHP ve Bulanık Hedef Yaklaşımı ile Hammadde Tedarikçisi Seçimi" İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi, Cilt 9, Sayı 5, Sf. 3568-3597, 2020.
- [42] Enerji Atlası, "İstanbul Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Haritası" 2022
<https://www.enerjiatlası.com/ruzgar-enerjisi-haritasi/istanbul>
- [43] ŞEKERCİ A. Zübeyr, YAZICIOĞLU O. "AHP Yöntemi ile Tedarikçi Seçimi: Gıda Sektöründe Bir Uygulama" Al Farabi Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi, Cilt 3, Sayı 2, Sf. 23-41, 2019.
- [44] Enerji Atlası, "İstanbul Güneş Enerjisi Potansiyeli Haritası" 2022
<https://www.enerjiatlası.com/gunes-enerjisi-haritasi/istanbul>

ÖZGEÇMİŞ

Abdullah Zübeyr ŞEKERCİ

1992 yılında İstanbul'da doğdu. İstanbul Ticaret Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nden 2016 yılında mühendis unvanıyla mezun oldu. 2019 yılında İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nden "Yüksek Mühendis" unvanını aldı.

Halen Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde doktora çalışmalarına devam etmektedir. İstanbul Rumeli Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır. Tedarik zinciri ağ tasarımı, enerji üretim-dağıtım optimizasyonu, stokastik modelleme ve bulanık karar verme yöntemleri ile optimizasyon alanlarında çalışmaktadır.



RESTORAN İŞLETMELERİNDE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK VE ENERJİ TASARRUFU

Doğukan BAYESEN
Orcid ID: 0000-0001-7697-7051
Mustafa Oğuzhan Ercan
Orcid ID: 0000-0001-5498-0591
İstanbul Rumeli Üniversitesi

ÖZET

Bu çalışmada restoran işletmelerinde sürdürülebilirlik uygulamaları ele alınarak açıklanmıştır. Çalışmanın amacı restoran işletmelerinde sürdürülebilirlik ve enerji tasarrufu konularına dikkat çekmek ve sektör paydaşlarını bilgilendirmektir. Restoran işletmelerinde sürdürülebilirlik uygulamaları yiyecek içecek, yapı ve tasarım, mobilya ve malzeme ile kurumsal sosyal sorumluluk olmak üzere dörde ayrılmaktadır. Çalışmada sözü edilen uygulamalar detaylıca anlatılarak sürdürülebilir restoran işletmelerine dikkat çekilmekte ayrıca bu uygulamaların restoran işletmelerinde gerçekleştirilme alanlarından bahsedilmektedir. Ayrıca çalışmada restoran işletmelerinde sürdürülebilirlik uygulamalarının avantajları ve önemine değinilerek enerji tasarrufunun çevre ve ekonomiye katkısı da açıklanmıştır. Yapılan literatür taraması neticesinde restoran işletmelerinin sürdürülebilirlik uygulamaları alanlarının oldukça geniş olduğu ve bu uygulamaların doğru bir şekilde yürütülmesiyle çevreye olumlu geri dönüş sağlayacağı sonuçlarına ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Restoran işletmeleri, Sürdürülebilirlik, Enerji, Enerji tasarrufu.

1. Giriş

Sanayi Devriminden sonra gerçekleşen endüstrileşme hareketleriyle birlikte, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler çevre sorunlarıyla karşı karşıya kalmıştır [1]. Küresel ısınma, iklim değişiklikleri, deniz kirliliği, gürültü kirliliği ve hava kirliliği sebepleriyle geleceğimizin tehdit altında olması insanoğlunu çeşitli önlemler alma gerekliliğine itmiştir. Bu kapsamda birçok etkinlik düzenlenmiş ve konu üzerine dikkat çekilmeye çalışılmıştır [2]. Bu sorunlara dikkat çekmek amacıyla 1987 yılında yayınlanan Brundtland raporu sürdürülebilirliğin öneminden bahsederek kaynakların korunması ve çevreyle ilgili limitlerin belirlenmesi gibi sürdürülebilirliğin temel ilkelerini ortaya çıkarmıştır [2, 3]. Sürdürülebilirlik kavramını, günümüz ihtiyaçlarını gelecek nesilleri etkilemeyecek veya onları ihtiyaçlarından mahrum bırakmayacak koşullarla gidermek olarak tanımlamak mümkündür [4].

Giderek büyüyen bir sorun haline gelen çevre kirliliği, küresel ısınma ve iklim değişiklikleri gibi insanoğlunun geleceğini kötü etkileyebilecek problemlerin temel sebebidir. Bu sorunların artmasındaki nedenlerden biri fosil yakıtlar olan petrol ve kömür gibi kaynakların enerji olarak tüketimidir [5]. Enerji kavramını ise herhangi bir işi yapabilme yeteneği olarak tanımlamak mümkündür. Bu yeteneği kullanmak için gerekli olan materyaller ise enerji kaynağı olarak tanımlanmaktadır. Enerji kaynakları dönüştürülebilirliklerine ve kullanımına göre ikiye ayrılmaktadır [6]. Çevre sorunlarına sebebiyet vermesi enerji kaynaklarının ana karakteristik özelliğidir [7].

Ancak yine de tüm enerji kaynakları çevre sorunlarına sebebiyet vermemektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları olarak bilinen rüzgâr, güneş, biyo-kütle, hidrolik, hidrojen, gel-git ve jeotermal enerji herhangi bir çevre sorununa neden olmamaktadır. Bu noktada adı geçen kaynaklar sürdürülebilirliği sağlamak adına önemli bir araç olarak görülmektedir [6].

İnsan ihtiyaçlarının artmasıyla değişim göstererek gelişen restoran işletmeleri enerji tüketiminin fazla olduğu yerlerden biridir. Maliyet hesaplamaları yapıldığında enerji harcamalarının personel ve yiyecek-içecek maliyetlerinden sonra 3. sırada yer aldığı görülmekte ve bu durum enerji tüketiminin önemli boyutlarda olduğunu göstermektedir [5, 8].

Bu çalışmada restoran işletmelerinde sürdürülebilirlik ve enerji tasarrufuna yönelik hangi faaliyetlerin gerçekleştirildiğine dair detaylı bir alan yazın incelemesi yapılarak mevcut durum değerlendirilmiştir. Aynı zamanda çalışma içerisinde sürdürülebilir enerji ve enerji tasarrufu hakkında detaylı bilgilere yer verilmiştir.

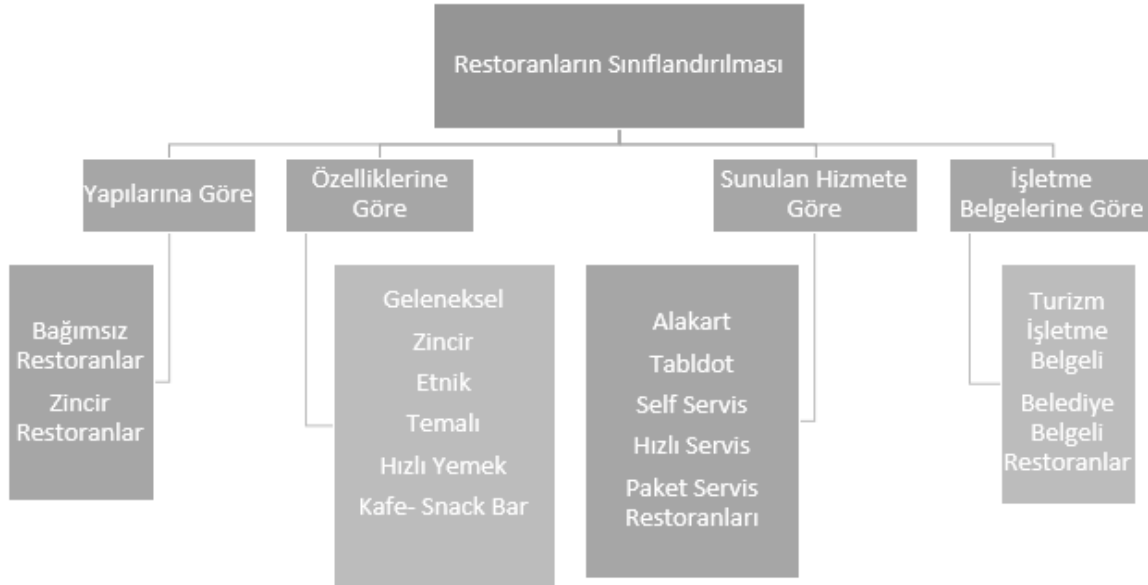
2. Restoran İşletmeleri

İlk olarak şifa vermek amacıyla çorba servisi yapılan, daha sonra yemek servisine evrilerek yiyecek içecek işletmelerine dönüşen mekânlar restoran olarak tanımlanmaktadır. Restoran, kelime anlamı olarak iyileştirme ve onarma anlamını taşımaktadır. Günümüzde ise bir işletmenin restoran olarak tanımlanması için belirli koşulları sağlaması gerekmektedir. Bu koşullar ise şunlardır:

- Her müşteri için özel olarak masa ve sandalyenin bulunması,
- Çorbasından tatlısına kadar bir menüsünün bulunması,
- Her bir ürünün ayrı ayrı fiyatlandırılması ve
- Siparişlerin sırasıyla alınıp sırasıyla teslim edilmesidir [9].

Ülkemizde ise restoranlar genellikle lokanta olarak isimlendirilmekte ve yiyecek ve içeceklerin hazırlanarak belli bir ücret karşılığında satıldığı yerler olarak tanımlanmaktadır [9].

Yiyecek içecek sektörü sürekli gelişim gösteren bir sektördür. Doğal olarak birbirinden farklı ve değişken özellikte yiyecek içecek işletmeleri de çoğalmaktadır. Aynı zamanda bu işletmeler şekil 1'de de gösterildiği gibi yapılarına, özelliklerine, sunulan hizmete ve işletme belgelerine göre farklı sınıflara ayrılabilir [9, 10]. Günümüzde ise restoran işletmeleri bazı kıstaslara göre sınıflandırılmaktadır. Uluslararası olarak değerlendirilen işletmeler "Dünyanın en iyi restoranı" veya "Michelin Yıldızı" gibi kıstaslara tabi tutulmaktadır [11].

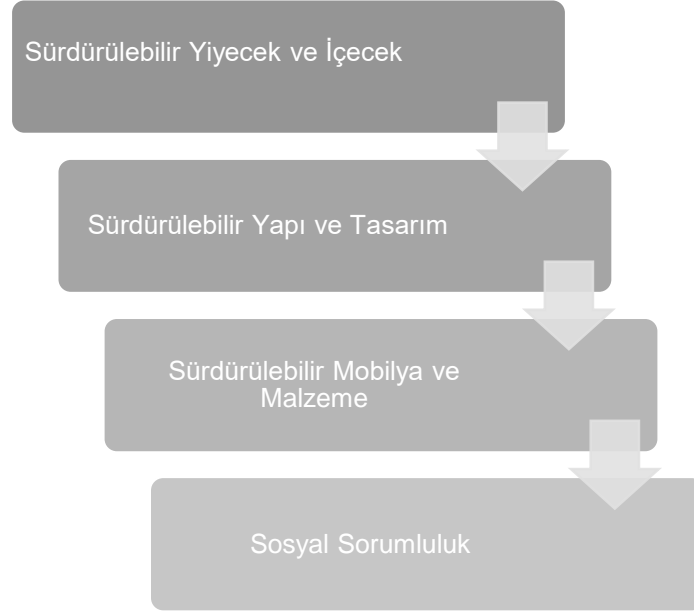


Şekil 1. Restoranların sınıflandırılması [12].

Restoran işletmeleri için hizmet sektöründeki diğer işletmelerden farklı olduğunu söylemek yanlış olmayacaktır. Bunun sebebi sanat, gelenekler ve hizmet deneyimlerini bir araya getirmesidir [13]. Restoran işletmeleri herkes için ulaşılabilir konumdadır ve toplumun sosyal ve kültürel değerlerini yansıtmaktadır. Bu sebeple enerji tasarrufu ve sürdürülebilirlik konularında topluma öncülük etmektedir [14].

3. Restoran İşletmelerinde Sürdürülebilirlik

Restoranlar işletmelerinde sürdürülebilir kaynaklar oldukça çeşitlidir. Yapılan bir araştırmada şekil 2'de de görüldüğü üzere restoran işletmelerinde sürdürülebilirlik uygulamaları kapsamlı bir şekilde sınıflandırılmıştır [15].



Şekil 2. Restoranlarda sürdürülebilirlik uygulamaları [15].

Sürdürülebilirlik kavramı, restoran işletmelerinin menüleri açısından değerlendirildiğinde özellikle yöresel yemek trendlerinin sürdürülebilirliği desteklediği görülmektedir. Dünyada milyarlarca restoran işletmesi olduğu ve her bir restoranın karbon ayak izi düşünüldüğünde yerel yiyeceklerin temini sürdürülebilirlik açısından önemlidir. Taşımacılık alanının neden olduğu çevresel sorunlara karşı yerel ürünlerin tercihi çevreci bir restoran işletmesinin temelini oluşturmaktadır [16]. Bir gıda ürününün tabağa gelene kadar 2.414,016 kilometre yol kat ettiği bilinmektedir. Bu durum hem taşımacılık sektörünün araçlardan yayılan zehirli gazlar yoluyla çevreye verdiği zararı hem de yerel ürünlerin çevreci restoranlar için neden tercih edildiğini açıklamaktadır. Dolayısıyla yerel ürünlerin kullanılmasının ambalajlama, taşıma ve dondurma gibi karbon ayak izini arttıracı durumları engelleyebileceği görülmektedir [17]. Diğer yandan organik yiyeceklerinde güncel bir trend konumunda olması sürdürülebilirliği destekler niteliktedir [18].

Restoran işletmeleri yapısal ve tasarımsal açıdan değerlendirildiğinde ise kullanılan malzemeler, ulaşım, çevreye duyarlılık ve arazi kullanımının sürdürülebilirlik açısından önemli olduğu görülmektedir. Yapısal açıdan restoran işletmesinin bulunduğu binalarda sürdürülebilir malzemelerin kullanılması gerekmektedir. Örneğin geri dönüştürülmüş veya geri dönüşüme müsait yapı malzemelerinin kullanılması çevreyi korumak adına önem taşımaktadır [15].

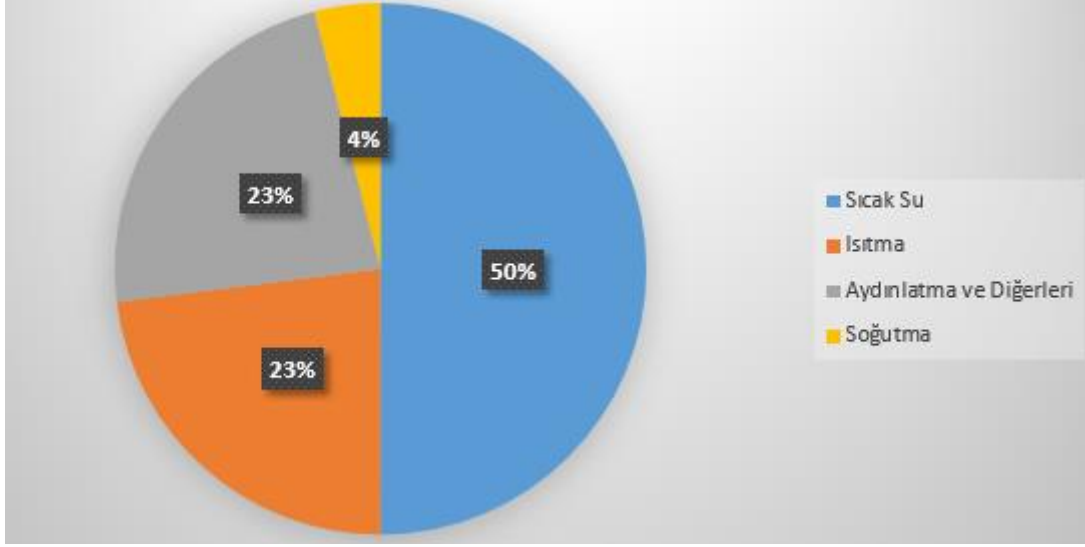
Sürdürülebilirlik açısından önemli diğer bir uygulama ise mobilya ve teçhizatır. Bilindiği üzere restoranların iç ortamlarında temel olarak masa ve sandalyeler, kumaş malzemeler ve porselen ve cam malzemeler kullanılmaktadır. Bu aşamada ürünlerin temininde doğada çabuk bozulabilecek ve çevreye zarar vermeyecek ürünlerin tercih edilmesi sürdürülebilirlik ve çevre için önemlidir [19, 20].

Son olarak kurumların sosyal sorumlulukları, toplumların refah düzeylerini arttırmak amacıyla gerçekleştirilen çevreci ve doğa dostu eylemler olarak tanımlanmaktadır [21].

4. Restoran İşletmelerinde Enerji Tasarrufu

Yiyecek içecek sektörünün enerji tüketimi konusunda büyük taleplerinin olduğu ve bu talebin doğru kullanılmadığı takdirde ciddi çevre sorunlarına neden olduğu bilinmektedir. Ayrıca restoran işletmelerinde enerji kullanımı için talebin ortalama %60 ile %70'i ısıtma ve sıcak su kullanımı için

gelmektedir. İşletmeler arasında çeşitlilik gösterse de ilk sırada sıcak su kullanımı bulunmaktadır [22]. Şekil 3'te restoran işletmelerinde enerji kullanım oranları gösterilmektedir.



Şekil 3. Restoranlarda enerji tüketimi [5].

Restoran işletmelerinde enerji tasarrufunu sağlamak adına bazı hususlara dikkat etmek gerekmektedir. Bu hususlardan ilki yapısal açıdan enerji tasarrufudur. Yapısal açıdan değerlendirildiğinde restoran işletmelerinde enerji tasarrufu sağlamak adına binanın mimarisi ve tasarımına dikkat edilmesi gerekmektedir [23]. Bina izolasyonları gibi basit tasarruf yöntemlerinin yanı sıra akıllı ve yeşil sistemlerin kullanılması restoran işletmelerinde enerji tasarrufunu büyük ölçüde arttıracak ve çevresel sorunlara neden olmayacak uygulamalardır [24].

Isınma harcamalarının düşürülmesi ve enerji tasarrufunun sağlanması için ısıtma ortam sıcaklığının en yüksek 22 derecede soğutma işleminde ise en düşük 24 derecede tutulması önemlidir. Soğutma sistemlerinin dış sıcaklığın 30 derecenin altında olduğu durumlarda çalıştırılmaması gerekmektedir. Bu durum ortam sıcaklığında yapılacak 1 derecelik azalmanın yakıt tüketimini ortalama olarak %6 oranında düşürebildiği düşünüldüğünde tasarrufun büyüklüğünü göstermektedir. Gereksiz yere yapılan 1 derecelik soğutma ise enerji tüketimini büyük oranda arttırmaktadır. Ortam sıcaklığının 1 derece düşürülmesi %6, iki derece düşürülmesi %12 ve 3 derece düşürülmesi ise %18 oranlarına varan tasarruf sağlamaktadır. Bina izolasyonları da bu noktada öne taşımakta ve pencere ile kapılar gibi ısı kaybına neden olacak alanların yalıtımla desteklenmesi gerekmektedir [5].

Diğer bir tasarruf yolu da restoran işletmelerinde kullanılan ekipmanlarla ilgilidir. Kullanılacak elektronik ekipmanların A sınıfı olması enerji tasarrufu ve verimi arttırmaktadır [5].

5. Sonuç

Restoran işletmeleri insan ihtiyaçlarına göre değişim gösteren ve gelişen işletmelerdir. Endüstrileşme ve kadınların iş hayatına atılmasıyla birlikte sayıları artmaya başlayan restoran işletmeleri günümüzde turizm sektörünün önemli bir parçası haline gelmiştir. Bu artışa bağlı olarak enerji tüketiminde restoran işletmelerinin payının arttığını söylemek mümkündür. Görüldüğü üzere enerji tüketimi, diğer sektörler gibi restoran işletmeleri içinde büyük bir gider kalemidir. Aynı zamanda enerjinin doğru kullanılmaması gibi etmenler çevreye ve doğaya büyük hasarlar vermektedir. Günümüzde kullanılan enerji kaynaklarının çoğu fosil yakıtlara bağlıdır. Bu durum restoran işletmelerinin çevreye verdiği zararın boyutunu gözler önüne sermektedir.

Günümüzde ortaya çıkan birçok uygulama bu durumu tersine çevirmek için bir mücadeleye girmiştir. Sürdürülebilirlik kavramı ve enerji tasarrufu kavramları bu uygulamalara örnek olarak gösterilebilir. Sürdürülebilirliğin amacı doğaya ve çevreye zarar vermeden kullandığımız kaynakları geleceğe aktarabilmektir. Restoran işletmelerinde de sürdürülebilirliği sağlamak mümkündür. Yerel kaynakların kullanılması bunlardan biridir. Yerel ürünlerin kullanımı taşımacılık kaynaklı oluşabilecek çevre



zararlarını engellemektedir. Ayrıca yerel ekonomiye de katkı sağlamaktadır. Organik ürünlerin kullanılması aynı etkileri yaratmakta ayrıca ürünlerin üretildiği topraklarda kimyasal tarım ilaçları kullanılmadığı için çevreyi korumaktadır. Diğer taraftan kullanılan malzeme ve teçhizatlarında sürdürülebilirlik açısından önemli olduğunu söylemek mümkündür. Kullanılan ürünlerin doğada çabuk çözünür olması ve zararlı bir kimyasal içermemesi de sürdürülebilirlik açısından önem arz etmektedir. Yeşil binalar ve yapısal uygulamalarında sürdürülebilirlik açısından önemli olduğunu söylemek mümkündür. Bu binalarda kullanılan malzemeler ve binanın yapılacağı arazinin kullanımı gibi etmenler sürdürülebilirliği destekler nitelikte olmalıdır. Binalar kadar iç ortamda kullanılan malzemelerinde sürdürülebilir olması gerekmektedir. Örneğin plastik gibi doğaya zarar veren malzemelerin kullanılması yerine doğadan çabuk bozularak zarar vermeyecek malzemelerin kullanılması gerekmektedir.

Çevre için diğer önemli konulardan biride enerjinin doğru kullanımı ve enerji tasarrufudur. Günümüzde fosil yakıtlardan enerji üretiminin oldukça yaygın olduğu bilinmektedir. Fosil yakıtlar çevre için oldukça zararlıdır. Dolayısıyla enerji tasarrufu fosil yakıt tüketimini azaltarak hem işletme ekonomisine hem de çevreye oldukça fayda sağlamaktadır. Diğer bir seçenekte restoranların kendi yenilenebilir enerjilerini üretmesidir. Örneğin güneş enerjisinden faydalanan bir restoran hem kendi enerjisini kullanarak ekonomisine fayda sağlayabilecek hem de çevreye zarar vermeyecektir.

Sonuç olarak çevrenin korunması amacıyla enerji tasarrufu sağlamak büyük önem arz etmektedir. Diğer yandan sürdürülebilir restoran işletmeleri doğanın dengesini korumaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] YAZICIOĞLU İrfan, AYDIN Ayla, "Yeşil Restoran Uygulamaları Üzerine Nitel Bir Araştırma: İstanbul Örneği." Gazi Üniversitesi Turizm Fakültesi Dergisi, 1, ss. 55-79, 2018.
- [2] SÜNNETÇİOĞLU Serdar, "Sürdürülebilirlik Kapsamında Yiyecek ve İçecek İşletmelerindeki Uygulamalar: İzmir'deki Restoran İşletmelerinin Sürdürülebilir Restoran İşletmeciliği Kavramına Yaklaşımlarının Değerlendirilmesi" Dokuz Eylül Üniversitesi, Doktora Tezi, Sosyal Bilimleri Enstitüsü, Temmuz 2013.
- [3] YURTSEVEN Rıdvan, KAYA Ozan, "Eko-gastronomi ve Sürdürülebilirlik", 11. Ulusal Turizm Kongresi, 2-5 Aralık 2010.
- [4] YAZAR Kadir Hakan, "Sürdürülebilir Kentsel Gelişme Çerçevesinde Orta Ölçekli Kentlere Dönük Kent Planlama Yöntem Önerisi", Ankara Üniversitesi, Doktora Tezi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, 2006.
- [5] ÖZTÜRK Harun Kemal, ÖZTÜRK Hande Mutlu, DOMBAYCI Ömer Altan, "Turizm Sektöründe Enerji Tüketimi ve Enerji Tasarruf Olanakları" Güncel Turizm Araştırmaları Dergisi, 2(1), ss. 17-28, 2018.
- [6] KOÇ Erdem, KAYA Kadir, "Enerji Kaynakları-Yenilenebilir Enerji Durumu" Mühendis ve Makina, 56(668), ss. 36-47, 2015.
- [7] BİLGİNOĞLU Mehmet Ali, "Gelişmekte Olan Ülkelerde Enerji Sorunu ve Alternatif Enerji Politikaları" Erciyes Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi, 9, ss.122-147, 1991.
- [8] HİLALOĞULLARI Melih, AKDAĞ Gürkan, ÜZÜLMEZ Meral, "Yeşil Restoran Uygulamalarının Müşterilerin Memnuniyetleri ve Davranışsal Niyetleri Üzerindeki Etkisi: İstanbul İlinde Bir Uygulama" The Effect of Green Restaurant. Journal of Tourism and Gastronomy Studies, 10(3), ss. 2237-2255, 2022.
- [9] BİNGÖL Ramazan, "Restoran işletmeciliği: restoranlar ve lokantalar nasıl yönetilir?" İstanbul: Timaş Yayınları, 2009.
- [10] KURNAZ Alper, "Sürdürülebilir Yeşil Restoranlar" ÖZDOĞAN Osman N. içinde, Yiyecek İçecek Endüstrisinde Trendler II, ss. 51-81, Ankara: Detay, 2016.
- [11] ERTOPCU İsmail, "Restoran İşletmelerinin Sosyal Medya Kullanımı: Instagram Örneği" Güncel Turizm Araştırmaları Dergisi, 3(1), ss. 49-64, 2019.
- [12] GÜDÜK Tanju, "Birinci Sınıf Restoranların Web Sitelerinin Tasarım ve Pazarlama Faaliyetleri Açısından Değerlendirilmesi" Trakya Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, 2016.
- [13] GHERİBİ Edyta, "Innovation Strategies in Restaurant Business" Ekonomika I Organizacija, ss. 152-163, 2017.
- [14] PEKKÜÇÜKŞEN Şerife, YİĞİT Yunus, "Atık yönetiminde iyi uygulama örneği: Yeşil Nesil Restoran Hareketi" Turkish Studies-Economics, Finance, Politics, 14(1), ss. 121-139, 2019.
- [15] LEGRAND Willy, SLOAN Philip, SİMONS-KAUFMANN Claudia, FLEİŞHER Sarah, "A Review of Restaurant Sustainable Indicators" in Joseph S. Chen (ed.) 6 (Advances in Hospitality and Leisure, Volume 6), Emerald Group Publishing Limited, ss.167-183, 2010.



- [16] SİMS Rebecca, "Food Place and Authenticity: Local Food and Sustainable Tourism Experience" *Journal of Sustainable Tourism*, 17(3), ss. 321-336, 2009.
- [17] GRA (Green Restaurant Association-Yeşil Restoranlar Derneği) www.dinegreen.weebly.com (17.12.2022).
- [18] JANG Jung Yong, KİM Gon Woo, BONN Mark A., "Generation Y Consumers' Selection Attributes and Behavioral Intentions Concerning Green Restaurants" *International Journal of Hospitality Management*, 30(4), ss. 803-811, 2011.
- [19] SANDIKÇI Mustafa, "Dekorasyon ve Planlama. Profesyonel Restoran Yönetimi, İlkeler, Uygulamalar ve Örnek Olaylar" Editörler: SARIŞIK, Mehmet, ÇAVUŞ, Şenol, KARAMUSTAFA, Kurtuluş, Ankara: Detay Yayıncılık, ss. 83-225, 2019.
- [20] SÜNNETÇİOĞLU Serdar, YILMAZ Burcu, "İzmir'deki Restoran Yöneticilerinin Sürdürülebilir Restoran İşletmeciliği Üzerine Yaklaşımlarının Değerlendirilmesi" *Karabük Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 5(1), ss. 94-114, 2015.
- [21] KOTLER Philip, LEE Nancy, "Corporate Social Responsibility: Doing the Most Good for Your Company and Your Cause" *Best practices from Hewlett-Packard*, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2005.
- [22] UNEP, PERERA Oshani, HIRSCH Stephen, FRIES Peter, "Switched On: Renewable Energy Opportunities in the Tourism Industry" *United Nations Publication*, 2003.
- [23] HU Hsin-Hui, PARSA H.G., SELF John, "The Dynamics of Green Restaurant Patronage" *Cornell Hospitality Quarterly*. 51(3), ss. 344-362, 2010.
- [24] SÖĞÜT Ziya, "Binalarda Enerji Taraması ve Örnek Uygulama" *Savunma Bilimleri Dergisi*, 8(2), ss. 127-143, 2009.

ÖZGEÇMİŞ

Doğukan BAYESEN

1996 yılında Seyhan'da doğmuş, 2018'te ÇOMÜ Gökçeada Uygulamalı Bilimler Yüksekokulu'ndan gastronom unvanı olarak mezun olmuştur. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nden, 2020'de "Yüksek Gastronom/Bilim Uzmanı" unvanını almıştır. İstanbul Rumeli Üniversitesi Meslek Yüksekokulunda „Öğretim Görevlisi“ olarak çalışmaktadır.

Mustafa Oğuzhan Ercan,

1995 yılında Elazığ'ın Merkez ilçesinde dünyaya geldi. İlk ve orta öğrenimini Elazığ'da tamamlayan Ercan, 2018 yılında Atatürk Üniversitesi Turizm Fakültesi ve Gastronomi ve Mutfak Sanatları Bölümü birincisi olarak mezun oldu.

Ercan, 2021 yılında Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Gastronomi ve Mutfak Sanatları Anabilim Dalında "Gastronomi Turizmi Kapsamında Türk Tatlılarının Şefler Tarafından Değerlendirilmesi: Füzyon Mutfak Uygulamaları Kapsamında Ürün Geliştirme Çalışması" isimli teziyle yüksek lisans derecesini aldı. Otelcilik ve yiyecek-içecek sektöründe uzun yıllar mutfak departmanında şef olarak faaliyet gösteren Ercan, şuan İstanbul Rumeli Üniversitesi Aşçılık Programında öğretim görevlisi olarak çalışmaktadır. Sürdürülebilir Gastronomi Turizmi, Füzyon Mutfak, Yöresel Mutfaklar, Pasta, Tatlı, Ekmek Ürünleri ve Turizm Pazarlaması alanlarında akademik çalışmalarına devam etmektedir.



A STUDY ON PASSIVE, ACTIVE AND HYBRID BATTERY COOLING SYSTEMS USED IN ELECTRIC VEHICLES

Emre TORUN

emretorun@gmail.com ORCID: 0000-0003-4823-7843

Ertan BUYRUK

buyruk@cumhuriyet.edu.tr ORCID: 0000-0002-6539-7614

ABSTRACT

Nowadays, electric vehicles obtain the electrical energy necessary for their operation from the battery systems which they contain. Vehicle batteries provide energy to the engine by meeting the voltage and current values required for the engine of the electric vehicle to operate, thus enabling the vehicle to move.

Batteries, which are responsible for providing electrical energy to the engine, release a high amount of heat energy both during charging and while being discharged during use of the vehicle. In order for the battery to work at the highest efficiency, to have a long life and not to cause loss of life and property, the operating ambient temperature must be kept within a certain range. In order to achieve this, the battery system should be managed thermally, and the battery cells should not be allowed to rise above a certain temperature value. Battery Cooling Systems should ensure that the heat generated in the battery is quickly discharged to the outside environment, keeping the temperature within certain limits, and should be able to meet the tasks of uniform distribution of the cell temperatures in the battery.

With the work to be done, the performances of battery cooling systems with different designs and features such as phase change material, heat pipe, forced convection and their different combinations will be examined by setting up experimental setups under different operating conditions. The results obtained will be compared both among themselves and with the numerical analysis results obtained by modeling some designs to be determined in the Ansys program Fluent module.

Keywords: Electric Vehicle, Battery Cooling System, Phase Change Material, Heat Pipe, Heat Transfer

1. Introduction

Today, with the increase in the total human population in the world, both energy, food and beverage resources are limited and it seems that the available resources are insufficient. The scarcity of resources leads to finding different alternatives for the needs of humanity. The fossil fuel process, which started with the discovery of oil in the 19th century and its use in vehicles, led scientists to research tools and vehicles that use different energy sources, due to the fact that the resources began to be insufficient in the 21st century, the decrease in reserves and the inability to find new fossil resources. In addition, the depletion of fossil fuels has motivated researchers, scientists and industrialists to research more efficient, suitable and environmentally friendly energy sources with the help of energy storage strategy [1]. Electric vehicle research, which is one of them, has become widespread especially in recent years. Although the development of electric vehicles has grown rapidly in the last ten years, the world electric vehicle stock has exceeded 5 million in 2018 with an increase of 63% compared to the previous year [2]. Despite the Covid-19 outbreak, sales of electric vehicles increased by 43% in 2020 compared to the previous year and reached 4.6% of total vehicle sales worldwide [3]. According to the research conducted by the Canals research company, electric vehicle sales will reach 30 million in 2028, and by 2030 it will reach almost half of the total number of passenger cars sold on a global basis. [4].

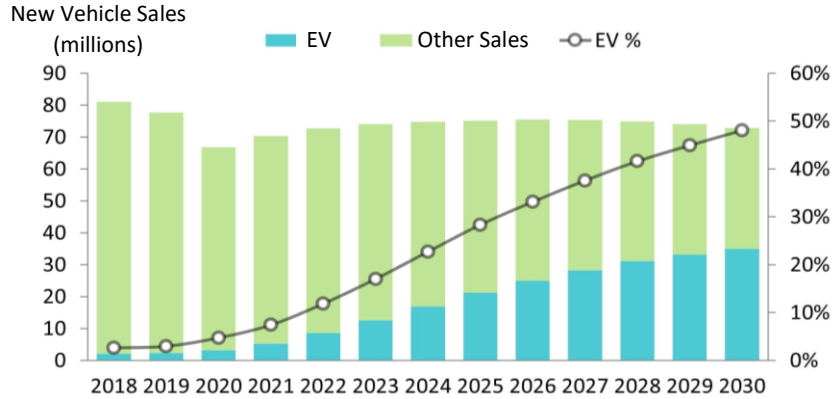


Figure 1. Annual Global Passenger Car Sales Until 2030 [4]

Different types of rechargeable battery systems are used in electric vehicles. Some of these battery systems are Nickel-Cadmium type batteries, Nickel-metal Hydride type batteries, Lead-acid type batteries and Lithium-Ion type batteries. Among these four types of batteries, Lithium-ion batteries have been found to be the most suitable solution for use in electric vehicles due to their high energy storage density, long battery life, low self-discharge rate and light weight [5]. Li-ion batteries release a high amount of thermal energy due to electrochemical reactions while being charged or discharged during operation. Li-ion batteries generate heat due to reversible entropy, resistive diffusion, lowering the density gradient of the battery, and chemical reactions [6]. Research shows that the temperature of the battery should remain in the range of 15-40°C in order to benefit from the maximum efficiency of the battery [7,8,9,10].

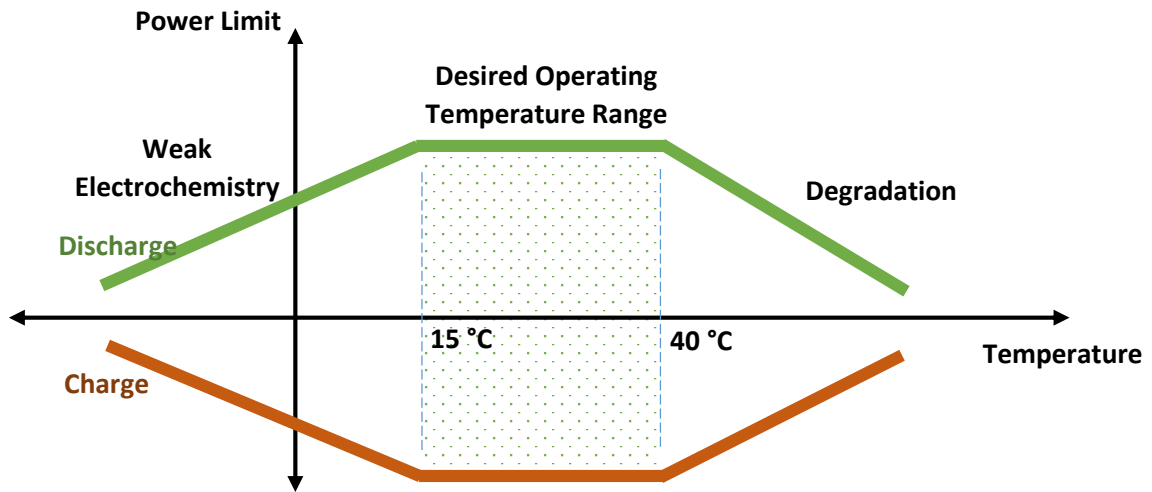


Figure 2. The Effect of Temperature on Charge and Discharge Conditions in Li-ion Battery Systems [10]

The heat produced by the battery can be removed to the outside by different methods. These systems are called passive cooling systems if the generated heat is thrown to the outside without using energy from the outside, and called active cooling systems if the heat is thrown to the outside using energy from the outside. Systems created by using more than one active or passive cooling system together are called hybrid cooling systems

Cooling with natural convection, cooling with heat pipe and cooling systems using phase change materials (PCM) can be given as examples of passive cooling systems. For active cooling systems, air forced convection battery cooling, liquid forced convection battery cooling and battery cooling using thermoelectric material can be given as examples. PCM and air forced convection battery cooling system, PCM and liquid forced convection battery cooling system, PCM and heat pipe system and different combinations of these systems can be given as examples of hybrid cooling systems.



Passive cooling systems or hybrid cooling systems containing completely passive cooling systems are preferred more than active cooling systems because they can cool without consuming energy. However, in high power requirements and high charge/discharge rates, active cooling systems or hybrid cooling systems with an active cooling system may be required. In recent years, studies have been carried out especially on passive hybrid cooling systems created by using phase change materials and heat pipes, and on active hybrid cooling systems with phase change materials, heat pipes and forced convection with air/liquid.

The cooling performance of hybrid systems created by using heat pipes and phase change materials in the designed systems will be examined, and it is planned to compare the experimental results to be obtained both among themselves and with the numerical analysis results obtained by modeling some of the designs to be determined in the Fluent module of the Ansys program. In addition, this study was presented as a doctoral thesis subject under the title of "Experimental and Numerical Investigation of the Performance of Passive, Active and Hybrid Battery Cooling Systems Used in Electric Vehicles".

2. Design And Method

In this study, the performance of battery cooling systems with different designs will be examined theoretically and experimentally. In order to examine and compare the performance of each design in detail, experimental setups will be created and the results will be compared by obtaining the necessary data.

There will be a computer, data logger, charge/discharge module, power supply and thermocouples in the experimental setups to be established. The designed systems will consist of also battery cells, aluminum block, pure and composite phase change material, heat pipes, fins and cooling fan. The duties of these elements in the experimental setups are as follows;

Computer: It will be used to evaluate the data collected in the data logger.

Data Logger: Temperature values of thermocouples placed at certain points in battery cells will be read and recorded at regular intervals.

Charge/Discharge Module: Battery cells will be charged/discharged at specified charge/discharge rates.

Power Source: It will provide the necessary electrical energy to operate the fan.

Thermocouple: It will be used to determine the temperature distribution at certain points in the battery module.

Metal Sawdust: It will be used to make composite PCM by mixing with phase change material in certain proportions. Thus, it is aimed to increase the thermal conductivity of PCM.

Metal Block: It will be used in designs to increase heat transfer by placing it between the battery cell and PCM or heat pipe. It is planned to be made of aluminum material.

Battery cells: 18650 type cylindrical Lithium-ion battery cells will be used.

Phase change material: Materials that store heat when transitioning from solid to liquid state in a certain temperature range and can radiate this stored heat when transitioning from liquid state to solid state. In case of an increase in battery temperature, it will be used to stop or slow down the temperature increase of the battery by storing the heat as latent heat. The type of phase change material used in the design has been chosen to be suitable for the efficient operation of the system according to the melting temperature range.

Heat Pipes: These are the systems consisting of evaporator and condenser parts, taking the heat from the evaporator part and quickly discharging it from the condenser part. The heat pipe used in the system will be used to quickly dissipate the heat released to the outside environment. The heat pipes are liquid fluid, made of copper material, the inner surface is porous and flat, and they are used in different lengths.

Fins: It is a necessary system for more efficient and rapid heat transfer. In the system, the fin is used to dissipate the heat generated in the secondary phase changing material chamber to the external environment more quickly.

Fan: It will be integrated into the system to realize forced convection with air.

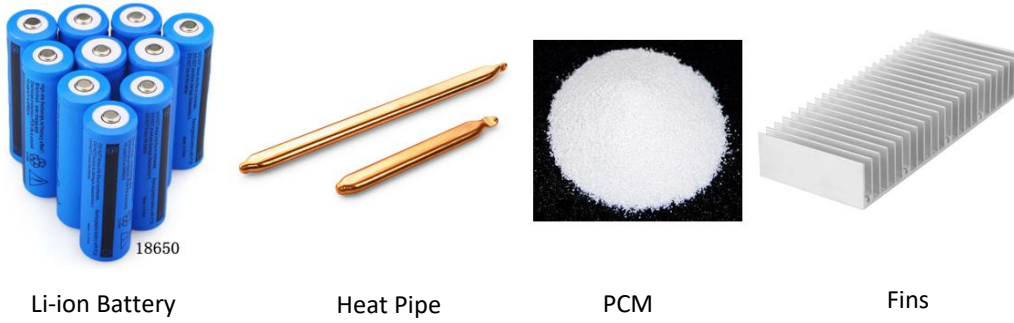


Figure 3. Battery, Heat Pipe, PCM and Fin Used in Experiments

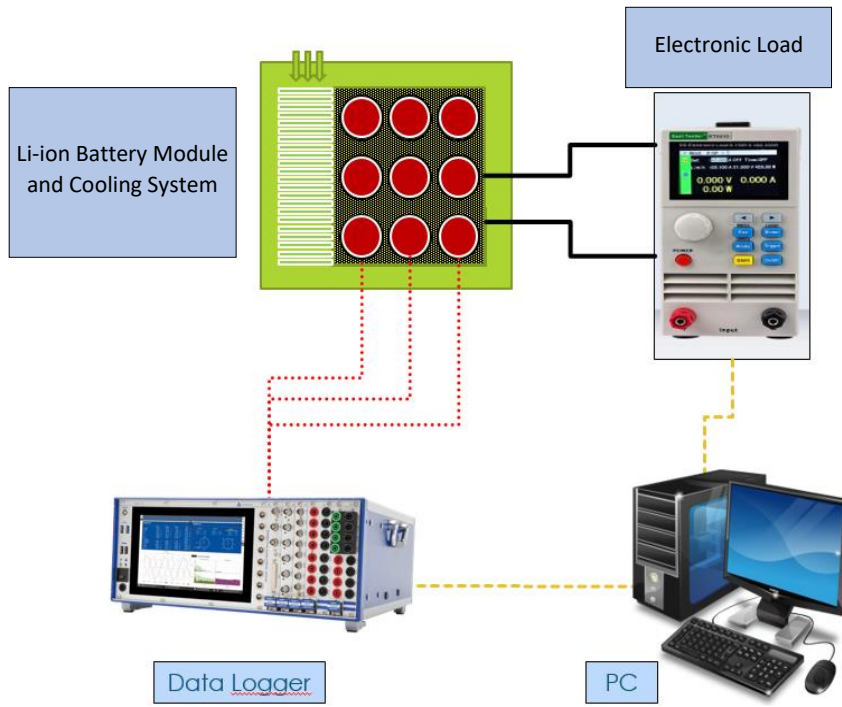


Figure 4. Experimental Setup

The systems to be examined will be as follows.

a) System-1: Battery Cooling System Without Any Cooling System

This system is designed in such a way that the battery cells are cooled by natural convection without the use of any external cooling system. This system will be evaluated as a reference system in the study and the results obtained from other designs will be compared with this system first.

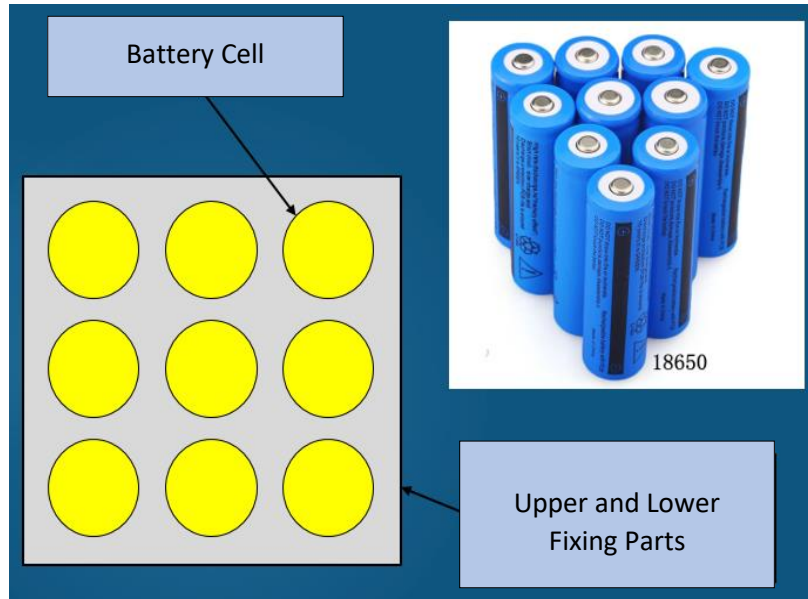


Figure 5. System Without Any Cooling System

b) System-2: Passive Battery Cooling System Using Only PCM

The performance of the system obtained by using battery cells and phase change materials will be examined. The PCM will be placed in the aluminum chamber to prevent leakage of the phase change material, the chamber cover will be designed to be flexible to absorb the volume changes during the melting and solidification of the phase change material. The cooling performance of the system will be compared with the performances of other systems.

c) System-3: Passive Hybrid Coil Cooling System Using Both PCM and Heat Pipe

This design will be created with battery cells, phase change materials and heat pipes, and its temperature performance will be examined. The cooling performance of the system will be compared with the performance of other systems.

d) System-4: Passive Hybrid Coil Cooling System Performance Using Composite PCM and Heat Pipe

The phase change material has low thermal conductivity. In order for the heat transfer to be more effective, the thermal conductivity of the phase change materials should be increased. One of the ways to increase thermal conductivity is to mix the phase change material homogeneously with metal particles with high thermal conductivity. The cooling performance of the hybrid system with composite phase change material to be prepared in this way will be compared with the performance of other systems.

e) System-5: Hybrid Coil Cooling System Performance Using Both a Composite PCM and a Heat pipe and an Active Cooling System

The cooling performance of an active system with a passive system consisting of composite phase change material and heat pipes will be examined. The cooling performance of the system will be compared with the performances of other systems.

3. Conclusion

After the 5 different designed systems are experimentally charged at 1C, they will be discharged at 1C, 2C, 3C and 5C discharge rates, and their performances will be compared with each other and the most suitable system in terms of cooling will be determined. While examining the cooling performance



of the systems, both the highest temperature in the battery module and the temperature distribution between the battery cells will be analyzed. As a result, the system with the best cooling performance will be determined according to the maximum temperature and maximum temperature difference graphs at different discharge rates of the systems.

In addition, it is planned to compare the numerical analysis results obtained by modeling System 1 in the Fluent module of the Ansys program with the experimental results obtained from other designs.

REFERENCES

- [1] Dincer, H.S. Hamut, J. Nader, Thermal Management of Electric Vehicle Battery Systems, Wiley, (2017).
- [2] International Energy Agency, Global EV Outlook 2019, IEA, Paris, 2019.
<https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2019>.
- [3] International Energy Agency, Global EV Outlook 2021, 2021.
<https://doi.org/10.1787/d394399e-en>.
- [4] URL1: <https://www.canalys.com/newsroom/canalys-global-electric-vehicle-sales-2020>, Erişim Tarihi: 20.12.2022
- [5] V. Etacheri, R. Marom, R. Elazari, G. Salitra, D. Aurbach, Challenges in the development of advanced Li-ion batteries: a review, Energy Environ. Sci. 4 (2011) 3243–3262.
- [6] K.E. Thomas, J. Newman, Thermal modeling of porous insertion electrodes, J. Electrochem. Soc. 150 (2003) A176.
- [7] P. Ramadass, B. Haran, R. White, B.N. Popov, Capacity fade of Sony 18650 cells cycled at elevated temperatures: Part I. Cycling performance, J. Power Sources 112 (2002) 606–613.
- [8] A. Pesaran, Battery thermal management in EVs and HEVs : issues and solutions, Adv. Automot. Batter. Conf. (2001).
- [9] H. Jouhara, N. Khordehgah, N. Serey, S. Almahmoud, S.P. Lester, D. Machen, L. Wrobel, Applications and thermal management of rechargeable batteries for industrial applications, Energy 170 (2019) 849–861.
- [10] URL2: <https://www.nrel.gov/docs/fy13osti/58145.pdf>, Erişim Tarihi: 20.12.2022

CURRICULUM VITAE

EMRE TORUN

He received his BS degree in Mechanical Engineering from Istanbul Technical University in 2003 and his MS degree from RWTH Aachen Technical University in 2006. He started his doctoral studies at Cumhuriyet University in 2019 and is currently at the thesis stage.

ERTAN BUYRUK

He completed his primary, secondary and high school education in Sivas. He graduated from Sivas Cumhuriyet University Mechanical Engineering Department in 1991. Between July 1992 and December 1996, he completed his doctorate at the University of Liverpool, England. He became Assistant Professor in 1997, Associate Professor in 2004, and Professor in 2009. Prof. Buyruk served as the Vice Dean of the Faculty of Engineering as well as the Head of Electrical and Electronics Engineering, Industrial Engineering and Mechanical Engineering Departments. Buyruk, who is married and has one child, speaks English. Buyruk, who has been serving as the Rector's Advisor on University - City and Industry Cooperation since 2012, also served as the Vice Rector between 2015-2016. His main areas of study are: Heat and Mass Transfer, Thermodynamics, Fluid Mechanics, Thermal Insulation, Heat Transfer in Plate Finned Heat Exchangers and Nano fluids.



SOLID HOUSEHOLD WASTE MANAGEMENT IN THE EUROPEAN UNION AND BULGARIA

AVRUPA BİRLİĞİ'NDE VE BULGARİSTAN'DA KATI EVSEL ATIK YÖNETİMİ

Stefan KARTUNOV,
ORCID: 0000-0001-7709-9369

ABSTRACT

The purpose of this article is to examine the development of solid household waste management in the European Union (EU) and Bulgaria, classification of waste, methods for determining and forecasting their quantity, priorities, principles and hierarchy.

Waste management methods and their application by program periods are analyzed.

The legal framework, politics and economics for the purpose are presented.

Keywords: municipal solid waste (MSW) management

Key Words: Municipal solid waste (MSW) management

ÖZET

Makalenin amacı, Avrupa Birliği (AB) ve Bulgaristan'da katı evsel atık yönetiminin gelişimini, atıkların sınıflandırılmasını, miktarlarını, önceliklerini, ilkelerini ve hiyerarşilerini belirleme ve tahmin etme yöntemlerini incelemektir.

Atık yönetimi yöntemleri ve program dönemlerine göre uygulamaları analiz edilir.

Amaca yönelik yasal çerçeve, politika ve ekonomi sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kentsel katı atık (MSW) yönetimi



1. Introduction

The change in the style and standard of living at the end of the 20th century and the beginning of the 21st century contributed to an increase in the consumption of products and equipment for personal use, and thanks to their constant updating and short life cycle, the amount of waste generated by each person is constantly increasing separately. The increase in the share of solid, liquid and gaseous waste per capita worldwide is also the result of the inefficient use of raw materials and the reprocessing of end products. For example, in 1994, each European citizen produced an average of 460 kg of solid household waste (MSW), 500kg in 2010, then in 2020 the amount of waste increased to 680 kg per capita. In 2010 252.1million tons of household waste were generated in the EU (2016 Eurostat application*). Bulgaria is in 9th place in the EU in terms of the amount of household waste generated per capita in 2010 - 410kg, and in 10 years (2008-18) production waste has increased by 35%. The general trend for 15-20 years is already doubling the amount of waste. That is why the issue of MSW treatment has become serious with the growth of cities and the industrialization of countries. This intense increase in the amount of accumulated waste led to the deterioration of the environment and the health of the population. Sustainable economic and social development, without affecting the environment, required adequate waste management, an integrated system for their recovery, based on a large number of technologies. The admission of Bulgaria to the EU in 2007 set a number of requirements regarding the waste collection and management policy. As part of the EU, the National Waste Management Program was renewed. The last known operational Program for Development in Ecology from 2007-2013 adopted in Bulgaria, the politics of Bulgaria in the field of waste management was formed in the National Program for the Management of Waste Activities 2009-2013 and National Waste Management Plans 2014-2020 and 2021-2028 of the Ministry of Environment and Water (Proekt_NPUO_2021-2028_11-02-2021%20(13).pdf), on which projects were implemented (NSI). Projects in the field of solid waste management are initiated and implemented at different levels: national, regional, municipal and projects at the level of companies and companies. As a result of the flow and great variety of waste in the last decade, an updated classification of waste has become necessary and arrived at for its more precise definition and management. In recent years, the integrated approach to waste management has been adopted in Bulgaria, as the activities are within the competence and programs of local authorities by municipality. However, as a result of the Covid-pandemic, the uncertain political situation and the war in Ukraine in the last 2-3 years, ecology has remained in the background.

2. Exposure

2.1. Waste Management

The classic definition of waste according to the European environmental legislation is known: "Substance, object or part of an object, from which the owner gets rid of or intends to get rid of or is obliged to get rid of" [1]. The classification of waste, as well as its variety and quantity, vary depending on the respective country, the region to which it refers, as well as depending on the components of the waste. In the EU great attention is paid to the classification of waste in order to enable the management and use of statistical data by the community and at the national level of each of the member countries, including Bulgaria. Depending on its origin, waste is classified into several categories [2], and a detailed classification is presented in [3]. In practice, waste is most often classified according to:

- the source of generation (domestic, construction, street, garden, industrial, agricultural, animal, from waste water, destruction, mass);

Good waste management starts in the first place with the prevention of waste generation, because after all, what is not produced should not be disposed of. A key tool used to prevent waste generation is eco-design, which focuses on environmental issues in the conceptualization and design phase of eco-friendly products.



- their composition (black and colored materials, paper, glass, plastic and others);

The morphological composition for individual countries is generated within wide limits and depends on geographical climatic conditions. The composition is also different for individual cities in the same country as it depends on the number of the population. According to statistics, about 200 million tons of household waste are generated annually in the EU and this amount is increasing every year. Here are some examples of countries that show their per capita waste generation and how they manage their waste. Annually, London (until recently in the EU) produces 4.4 million tons of household waste, over one ton per household and recycles only 9% of it! The Danish capital Copenhagen recycles 58% of its domestic, commercial and industrial waste, incinerates 24% and only 18% goes to landfills. As a consequence of the administrative and tax measures with which this was achieved, waste production in Denmark is increasingly decreasing [16]. Waste from industrial sectors is significantly more. Designated landfills are almost full and other environmentally friendly methods of waste landfilling are expensive. Morphological composition of MSW for Bulgaria the average composition by location in % is shown in Table 1. as MSW for 2005 are 2.9million tons and 12 million m³ [6]. Analysis of the data - The largest mass is occupied by paper and food waste 50-53%. According to data from the World Health Organization (WHO), the accumulation of MSW is 5m³/inhabitant per year, and the coefficient depending on local conditions is 5%.

Table 1. Average composition of MSW by location

| Morphological MSW composition, % | Population (thousands of inhabitants) | | | | | | |
|----------------------------------|---------------------------------------|--------|---------|---------|---------|-------|----|
| | До 50 | 50-100 | 100-150 | 150-250 | Над 250 | Sofia | N |
| Metals | 3,8 | 4,4 | 4,6 | 4,8 | 5,2 | 5,5 | 1 |
| Glass | 5,2 | 4,3 | 3,6 | 3,4 | 3,3 | 3,5 | 2 |
| Plastics | 5,7 | 6,3 | 6,8 | 7,4 | 7,6 | 7,8 | 3 |
| Paper | 13,4 | 14,3 | 14,6 | 14,8 | 15,1 | 15,4 | 4 |
| Food. waste | 38 | 38 | 37 | 36 | 35 | 35 | 5 |
| Building materials | 1,7 | 4,0 | 4,0 | 3,9 | 3,2 | 1,8 | 6 |
| Wood and pulp | 0,8 | 1,3 | 1,3 | 1,8 | 2,2 | 1,6 | 7 |
| Leather, rubber | 1,8 | 2,3 | 2,3 | 3,3 | 2,2 | 2,1 | 8 |
| Textile | 2,8 | 2,8 | 2,6 | 2,1 | 1,8 | 1,8 | 9 |
| Bones | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,1 | 0,8 | 0,6 | 10 |
| Unidentified waste | 28 | 20 | 21 | 23 | 23 | 24 | 11 |

- the method of processing and burning (flammable, fermenting, inert);

It is evaluated by calorific value or the ability of the waste to release heat in the burning process, kcal/kg or kJ/kg (Table 2.). The average caloric content is 700 – 2200 kcal/kg. For Sofia 1330 kcal/kg. 1 kcal = 4.1868 kJ.

Table 2. Calorie content for Bulgaria

| Settlements | kkal/kg |
|---|---------|
| up to 50 thousand/50-100 thousand inhabitants | 720/820 |
| 100-150 thousand/150-200 thousand inhabitants | 860/930 |
| 150-200 thousand/200-250 thousand inhabitants | 930/980 |

- the possibility of reuse (waste that can or is directly reused [10]);
- their degree of aggressiveness towards the environment (inert, dangerous).

Waste ceases to be considered waste if it meets the conditions in accordance with Art. 6 of [4]. Because in the EU, the most financial resources are allocated to the management of MSW (about 1/3) and their designation in the Annex to [3], it is precisely these that are considered here. Moreover, unlike other types of waste (sewage gases, smoke, sewage, etc.), municipal solid waste management is much more practical and can involve a large number of people. The composition of



MSW, from a physical point of view, is heterogeneous, varying depending on the standard of living, scientific and technical development and the development of civilization of each nation, as well as on the specifics of geographical regions. The amount of municipal solid waste generated varies depending on the level of urbanization of the country, the type and manner of consumption, the standard of living and the way of life, the sector from which it is generated. The amount of MSW is determined using the following methods [5], and the norms for Bulgaria by sites and settlements are indicated in [6]:

1. Method based on the ecological condition index;

$$B_d = \text{Round-the-clock accumulation} \quad \frac{B_r}{365} = \kappa g; m^3 \quad (1)$$

(where K is the coefficient of diurnal irregularity, which is the ratio of the maximum value of diurnal accumulation to the diurnal accumulation:

$$\kappa = \frac{B_{\text{max}}}{B_r} \quad (2)$$

The following limits are recommended for $K=1.25-1.40$. The coefficient K is used to determine:

$$B_d \text{ max} = K \cdot B_d = K \frac{B_r}{365} = K \frac{b \cdot N}{365} \quad (3)$$

For Bulgaria in 2005: In BG = 2.9 million tons MSW; In BG = 12 million m^3 of solid waste.

2. Direct gravimetric method (accumulation rate) - The rate of accumulation is the amount of solid waste generated on the basis of an established unit of determination (1 person in a city, one place in a hotel, one bed in a hospital, 1 m^2 in a shop) for a certain period of time (day and night, year).

Accumulation rates are of two types—general and differentiated – Table 3, 4.

3. Forecasting - The forecasting of the amount of MSW is done according to the formula:

$$B_d = b \cdot N \quad b \neq \text{const.} \quad N \neq \text{const.} \quad (4)$$

where b is the change over time – $b = b(N) = b_n$

$$b_n = \frac{b_0}{1 + l^{b_0 - a_n}}, m^3 / \text{жители, год.} \quad , m^3 / \text{inhabitant, year} \quad (5)$$

where b_n is the rate of accumulation per 1 inhabitant, b_0 - the rate of accumulation in the future ($b_0 = 5m^3/\text{inhabitant}$ per year according to WHO)

l - the base, b_0 - the base rate of accumulation, a - the coefficient depending on the local conditions, n - the forecasting time in years [6].



Table 3. Annual general norms of Bulgaria for the year 2000

| | Groups settlements | General norms for the year 2000 in Bulgaria | |
|---|--------------------|---|----------------------------------|
| | | kg/inhabitant, year | m ³ /inhabitant, year |
| 1 | Villages | 300 | 1,9 |
| 2 | Up to 50 | 330 | 1,30 |
| 3 | 50-100 | 340 | 1,40 |
| 4 | 100-150 | 360 | 1,60 |
| 5 | 150-250 | 380 | 1,70 |
| 6 | over 250 | 390 | 1,90 |
| 7 | Sofia | 410 | 2,10 |

Table 4. Differentiated norms by objects

| | Objects for 1 piece | Average annual norms | | Density |
|----|--------------------------------------|----------------------|--------------------|-------------------|
| | | kg | l, dm ³ | kg/m ³ |
| 1 | Hospitals - 1 bed | 230 | 700 | 330 |
| 2 | Hotels - 1 bed | 80 | 400 | 200 |
| 3 | Kindergartens - 1 place | 70 | 235 | 300 |
| 4 | Schools - 1 student | 26 | 120 | 220 |
| 5 | Theaters, cinemas | 20 | 90 | 220 |
| 6 | Institutions | 50 | 250 | 200 |
| 7 | Restaurants - 1 dish | 20 | 60 | 300 |
| 8 | Food stores. goods m ³ | 120 | 460 | 260 |
| 9 | Shops for prom. goods m ³ | 30 | 150 | 200 |
| 10 | Markets m ³ | 18 | 36 | 500 |

Note: For hospitals, specific hospital waste (surgical materials, etc.) is not included.

According to [1], the concept of "waste management" includes all activities of collection, transportation, processing, utilization, disposal, including the control of these operations, as well as the activities performed after the closure of the sites on which the treatment facilities are located of waste and which are related to the reduction of the potential negative effect on the health of the population, the environment or the local aesthetics. According to European legislation, effective waste management is based on the main priorities: Preventing the generation of waste, Recycling and reuse and Improving the conditions for disposal and monitoring of waste (Sixth EU Environmental Action Program (2002-2012 and [1]). The principles underlying waste management activities are: conservation of resources, preventive measures, prevention, polluter pays, substitution, proximity and autonomy, subsidiarity and integration. The hierarchy in waste management establishes the order of priority in waste management based on these principles and priorities. It provides for actions that should be taken within the life cycle/existence of the waste, from the moment of production to the moment of its final destruction: Prevention of waste generation; Minimizing the amount of generated waste, especially those with hazardous properties; Reuse; Recycling; Utilization - extracting benefit from the generated waste, through the application of various methods and technologies - composting, energy extraction and others; deposition (Landfilling) – this method should be applied only when the other treatment methods have been exhausted (Fig. 1 on

the right). Construction and household waste management is specifically presented in [7]. Waste management activities have been regulated since 2003 in [1] and related regulations.

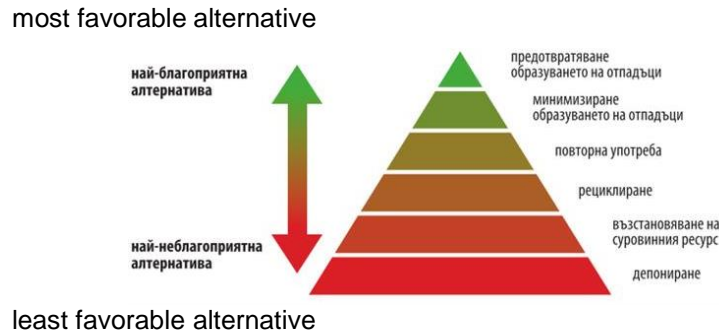


Figure 1. Hierarchy in waste management

2.1. Waste treatment

From an engineering point of view, the most important activity is the processing of waste, which I mainly focus on. The methods of waste treatment are diverse, as well as the waste itself and the source of its origin. It includes the classification [5]:

1. Mechanical processing

1.1. Preparation for treatment - facilities and installations for preliminary treatment of waste (cleaning, separation and sorting, packaging and pressing, baling, cutting, shredding) are auxiliary facilities to the main facilities and facilities for utilization and disposal of waste or are independent facilities for treatment of waste (Fig. 2). Sorting can be dimensional, densimetric, magnetic, optical, eddy current, infrared, air, manual and mechanical [6]. The first in Bulgaria waste processing plant of the company ECOBULPAK was opened near the capital's Sofia "Filipovtsi" district. The plant has two installations - Installation for sorting and recycling of glass and Installation for sorting and baling of paper and plastic (fig. 3). The total capacity of the plant is 140,000 tons of incoming waste per year.



Figure 2. Installation for separation of the company "Recycling" Bulgaria. The Ekobulpak plant has a total area of 11,000 m² (photo: Alyosha Dimitrov)



Figure 3. Mechanical processes and separation of NF (nephrites) [6]



The separation plant consists of five divisions: incoming materials/warehouse, pretreatment area, electron beam tube processing area, plastic grinding area, and mechanical processing area. The following values can be accepted as acceptable for the processes: Fe- 50%, NF-30% mixed plastic and filter dust-20% of the total mass (Directive 2002/96/EC on waste electrical and electronic equipment). Pressing is applied to a wide range of waste, such as: paper, cardboard, plastic, metals, some of the biodegradable waste, waste that is used to obtain alternative fuel, etc. Pressing can be done using hydraulic and mechanical presses (fig.4). Installations and equipment for mechanical treatment - mechanical treatment of waste in most cases has meaning as preliminary treatment, previous recovery or final disposal.



Figure 4. Cleaning and pressing machines [5]

1.2. Minimize, collect and recycle

Traditional waste removal is mainly used in Bulgaria. According to Ministry of Internal Affairs and Communications data based on the official landfills, the Bulgarian throws out an average of 455 kg of household waste per year. There are 525-600 organized landfills and many more unorganized small landfills in the country (according to the data of the Ministry of Environment and Water 5,135 count). Of these, about 27 meet the requirements for a "sanitary landfill", the most important of which are Plovdiv, Karlovo, Gabrovo, Sevlievo, Veliko Tarnovo together with Gorna Oryahovitsa and Lyaskovets, Vratsa with Mezdra, Shumen, Sofia-Sukhodol, Ruse, etc. These landfills have a total capacity of 12,735,425 tone and they can be used to deposit the household waste of 4,132,557 inhabitants (about 55% of the country's population) [11, 15].

The recycling process is a key step in the Waste Management Strategy, related to the process of reducing consumption and reusing resources. Recyclables can come from a wide range of sources, including individual households as well as industrial environments. They can be recycled Plastic (PET, packaging, bags), aluminum, textiles, paper (magazines, newspapers, books, packaging, etc.) glass (glass containers), asphalt, metal cans, motor oil, car batteries, printer cartridges, including biodegradable materials (food products or garden waste). In order to facilitate the processing of the materials, it is recommended that they be sorted and separated, depending on their type. Products such as ceramics, wax paper, stickers, toxic material and food packaging, rotors, etc. cannot be recycled. Compared to recycling, reuse does not require significant additional effort, but can only be applied to a limited group of wastes and physically interchangeable products.

Construction and demolition waste is highly recyclable and reusable. The main condition for achieving this is that they are not mixed and contaminated with other waste. This is a basic approach in sustainable waste management, imposed by the EU's active policy in this direction. The degree of recyclability of construction waste depends on many factors - share of different types of waste, degree of preliminary treatment (sorting), contamination with harmful or dangerous substances, which depends on the processes of waste generation, construction design and applied practice. The recycling process can be carried out at specialized recycling sites or directly at construction and demolition sites, as well as combined (Fig. 5). When starting construction waste recycling activities in Bulgaria, it is recommended to start with the use of simplified recycling technologies, combined with selective destruction and preliminary treatment at the place of waste generation. Recycled waste in 2010 in the EU averaged 121 kg per capita. In this regard, Germany is the leader with 260 kg per capita. Followed by Ireland (203 kg), Slovenia (183 kg), Luxembourg (179kg), Austria (178 kg), Belgium (173 kg), Sweden (166 kg), the Netherlands (164 kg), Denmark (154 kg), etc. .n. According

to NSI data, 26 thousand tons were recycled in Bulgaria in 2010. The total capacity for recycling paper and cardboard waste is about 200,000 tons and is mainly concentrated in the enterprises of the pulp and paper industry and in those producing building boards. The processing of plastic waste is concentrated in three main enterprises with a capacity of about 12 thousand tons/year. Processing of waste glass is carried out in 6 enterprises in the country. The annual amount of processed glass waste is about 15000 tons/year.



Figure 5. Complete recycling line composed of CDE Global machines

2. Biological treatment. Composting

Biological processing or composting of waste is carried out through the decomposition of organic substances by various microorganisms. Biological treatment is most often used for the elimination of biodegradable waste, especially those originating from agriculture, the food industry or the organic fraction of household waste, as well as for the treatment of industrial or mineral waste (oil sludge, mine tailings and others.). Typically, biological treatment is aerobic or anaerobic. The choice of the type of composting varies depending on what the end product is to be achieved - in the field, in bio-chambers and by bracketing, discussed in detail in [6],[9]. In 1995, more than 13 million tons of household waste were composted by the EU member states, and in 2008 - about 43.5 million tons, reaching 17% of household waste, the leading countries being Spain and France. In Bulgaria, it is planned to build installations for composting and mechanical-biological treatment of biodegradable waste on the territory of the municipalities, at whose regional landfills over 20,000 tons of waste are deposited annually. Such are half of all 56 regions, in seven of which regional landfills have already been built.



Figure 6. Principle of field composting, Beccari static chamber for composting and briquetting machine [6]

3. Heat treatment. Obtaining energy from waste

From an environmental as well as an economic point of view, it is reasonable and most cost-effective to utilize the energy of that portion of combustible MSW that cannot be recycled or reused.

The European Directive 2000/76/EU recommends incineration at a temperature of 1100 °C. The utilization of solid waste is the most profitable stage in the hierarchy of waste management and can be: material, biological, energy. Energy recovery is possible for the following types of waste: biodegradable household waste; general industrial waste; medical waste; waste from sorting centers and waste from treatment plants. According to data from the World Energy Council, household waste is responsible for about 6% of the national energy potential of each country. Bulgaria is in one of the last places in Europe in terms of using the energy potential of household waste.

4. Thermal methods. Combustion

4.1. General incineration of sorted or unsorted MSW. Stoves

4.2. High temperature heat treatment method.

4.3. Mass burning on a movable grate (grill).

4.4. Fluidized bed combustion. Thermochemical conversion

4.5. Integrated MSW incineration systems.

Plants and incinerators. Co-incineration. Energy utilization (Fig. 7).

Incineration is a thermal method of waste disposal by complete oxidation of MSW at high temperatures, usually using heat or electricity and the products obtained as a result of combustion. The incineration of household waste is carried out at temperatures of 1000- 1100 °C. In the case of incomplete combustion, however, they can emit acid gases and dioxins, which are dangerous for health and the environment. In order to ensure the complete decomposition of hazardous waste, it is necessary to carry out the incineration under controlled conditions at a sufficiently high temperature. For this reason, the EU has drawn up environmental standards for incinerators. The maximum permissible values defined in the EU waste incineration directive are indicated in,[6]. Products that can no longer be used, and their form and composition represent an environmental hazard, are subjected to the incineration process. It is recommended to presort the waste before its incineration, and the sorting is necessary to remove those wastes that generate toxic substances or for those of them that make burning difficult,[6]. Co-incineration is energy recovery of a certain type of industrial waste and is widely used in power and heat plants, cement plants and steel foundries. Incineration as a disposal method is most widely used in Denmark, Norway, Switzerland and Sweden. In Bulgaria, co-incineration is carried out in industrial combustion installations of 5 cement plants - the total amount of energy-utilized waste in them is about 2600 tons. The "Zlatna Panega Cement" and "Devnya Cement" cement plants make a serious contribution to the disposal of inorganic waste.

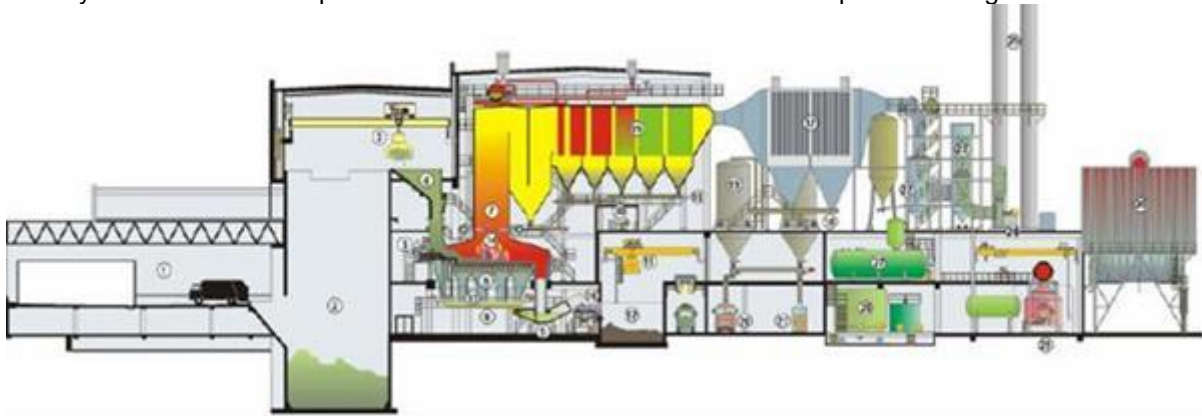


Figure 7. Complex for incineration of household waste - production of thermal and electrical energy - over 3000 kg/h

4.5. Pyrolysis and thermal destruction

Pyrolysis is a process of heat treatment of solid waste, through which thermal decomposition occurs at high temperature, in the absence of oxygen, of chemical products and especially of organic

products, discussed in detail in [6, 12]. The goal is to obtain secondary products and reduce the volume of solid waste. A high-temperature pyrolysis plant for processing 25 tons of waste per day, requiring an area of approximately 25m², is shown in fig. 8, and on the right a plant for pyrolysis of tires, plastics and others of the company "Pirotext", Bulgaria.



Figure 8. High temperature pyrolysis plant and closed pyrolysis plant. Installation for pyrolysis of tires "Pirotext"

4.6. Autoclave (hydrothermal) facilities.

Thermal drying and combustion of sludge Sludge is the result of the wastewater treatment process. There are several characteristics of sludge, of which the amount of wastewater has the greatest influence on the costs of its treatment, because it determines the volume of sludge, as well as the costs of its transportation and disposal (EU Directive 2000/76, Directive 86/278/EEC on sewage sludge). The combustion system consists of 2 processes which are shown in fig. 9): Sludge drying system and Sludge incineration system. Thermal drying is an expensive method, therefore it is rarely applied and only after a thorough technical and economic justification. In some EU countries such as the Netherlands and Belgium, the use of sludge in agriculture is prohibited. In Bulgaria, the conditions for the utilization of sludge are regulated in the Ordinance on the order and manner of utilization of sludge from wastewater treatment through its use in agriculture. Sludge from waste water treatment plants containing oils and petroleum products is disposed of in the incineration plants of "Lukoil Neftohim Burgas".

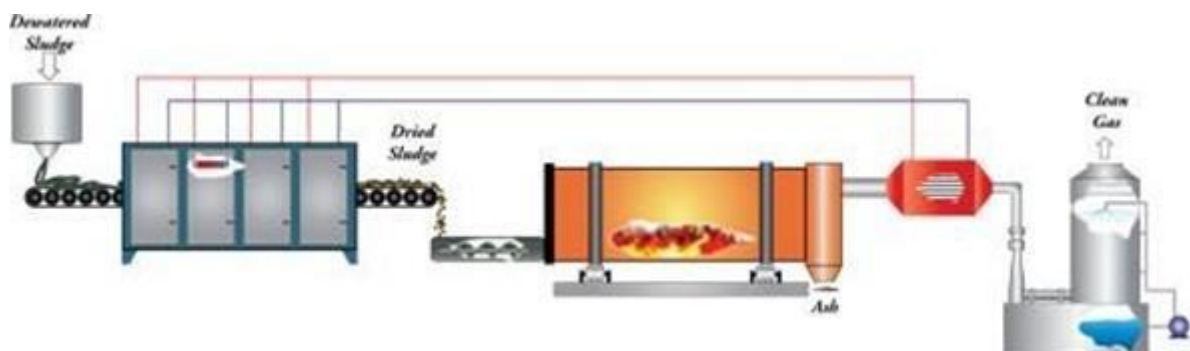
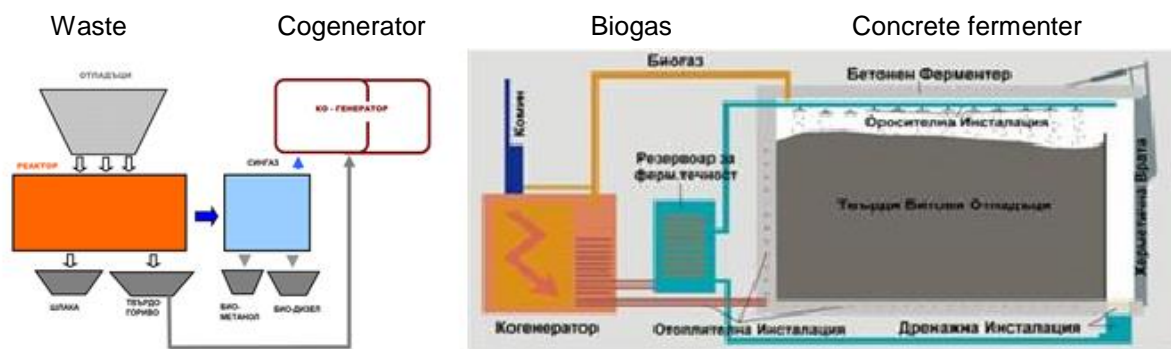


Figure 9. Sludge drying system

5. Gasification and fermentation

5.1. Dry methanation – BEKON. Continuous dry fermentation process

The principle of the method is fermentation of biowaste with up to 50% dry matter content. Fermentation takes place at a "mesophilic" (fermentation-friendly) temperature of 34- 37°C, which is regulated and maintained by the heating system built into the floor and walls. The biogas obtained during fermentation (consisting mainly of up to 65% methane CH₄ and up to 35% carbon dioxide CO₂) is fed to a co-generator (Fig. 10). Through the co-generator, which is a gas engine connected to an electric generator and equipped with heat exchangers for flue gases and oil cooling, biogas is converted into usable electricity and heat. The "Continuous" process means that during the so-called dry fermentation no material is added or removed and the biowaste remains in the fermenters until the end of the fermentation process (residence time).



Slag Solid fuel Biomethanol and diesel Cogenerator Heating and drainage installations

Figure 10. Schemes of methanation using a cogenerator [6]

5.2 Gasification of organic waste. Utilization of biogas from landfills

Biogas, which is obtained from solid waste during their decomposition, is called landfill gas. This gas, mainly consisting of methane (which contributes 32 times more to the greenhouse effect than carbon dioxide CO₂, if it is not used for energy needs and is released freely into the atmosphere), is obtained directly from landfills and which, after the necessary purification, is usually fed into cogeneration plants (Fig. 11). Unfortunately, through this technology - the drilling and laying of tubular perforated gas collector probes - not all the formed gas is extracted. In addition, the extraction of this gas can only begin on the territory of an already mothballed section of the landfill and for a limited period of years. Also, its receipt is uneven in individual years, on individual layers of the landfill and in different annual seasons, and covers no more than 20% of the MSW deposited in the landfill. In this way, 80% of the old, as well as all newly arriving amounts of solid waste, remain in the landfill, not reducing, but on the contrary, increasing its area and continuing to poison the environment with the generation of greenhouse gases and poisonous effluents. According to NSI data on household waste for 2010, the residual capacity of landfills for household waste has decreased by 31.15% compared to 2005. All this shows that this method is inefficient and, moreover, it is also capital consuming. There is also a controlled production of biogas from organic waste using appropriate installations. Such type of installations are found in animal farms, sewage treatment plants, food processing plants, etc., especially those that can provide a constant flow of raw materials. Although landfill gas extraction is gaining more and more popularity and distribution, it is appropriate to use it only where there are protected landfills, but it should not be planned in MSW energy utilization strategies.

There are two main ways of the gasification process - direct and reverse. The thermal gasification equipment market mainly offers gasifiers using the direct gasification process. They work at high pressure, of the order of 2MPa, where the organics undergoing thermochemical decomposition move against the air blowing supplied under the grate, which plays the role of a gasifying agent. As a result of this process, gas is produced, which, passing through the organic layer, is taken to the upper part of the gasifier. In the opposite way of thermal gasification, the biomass subjected to gasification and

the gasification agent (steam- air blowing) move in one direction. In plasma gasification, the synthesis gas leaves the plasma reactor at a very high temperature and for this reason its cooling is necessary [6].

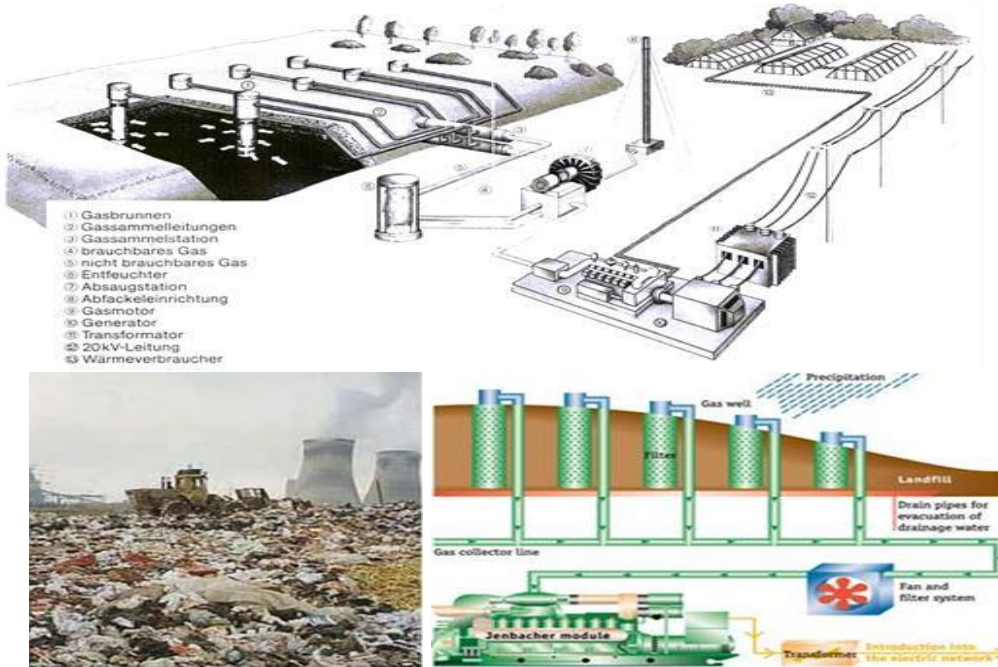


Figure 11. Depot, principle and installation for biogas extraction [6]

Legend: 1 – gas sources, 2 – gas pipelines, 3 – gas gathering station, 4 – used gas, 5 – unused gas, 6 – moisture removal, 7 – pumping station, 8 – flare device, 9 – gas engine, 10 – gas generator, 11 – transformer, 12 – 20kV power line, 13 – heat consumers

5.3 Plasma technologies

(plasma gasification, specially published in [13])

6. Microwave installations

7. Biotechnological methods

The most tangible and significant benefit of maximizing the biological treatment of biowaste is the prevention of greenhouse gas emissions, which in 2020 reach approximately 10 million tons of CO₂ equivalent from the "Waste" sector alone. The most important effect of better municipal waste management is to limit greenhouse gas emissions. Therefore, one of the main goals of the "Europe 2020" Strategy and the Kyoto conference is to reduce the emission of greenhouse gases by 20% by 2020 compared to the level of 1990 (CO₂ to 10 million tons). By 2026, Bulgaria must reduce emissions by 40%. Recycling (75%) and incineration (25%) will play a major role in avoided emissions. The price of carbon allowances is 6 euros/ton, but experts expect it to reach 25 euros/ton in the next few years.

7.1. Medical waste treatment and sorting centers.

Processing of nuclear power plant fuels [13, 14] The human health care waste treatment plant „CONVERTER” is designed to operate at a temperature of 155°C in the presence of saturated steam in a special mode of operation.

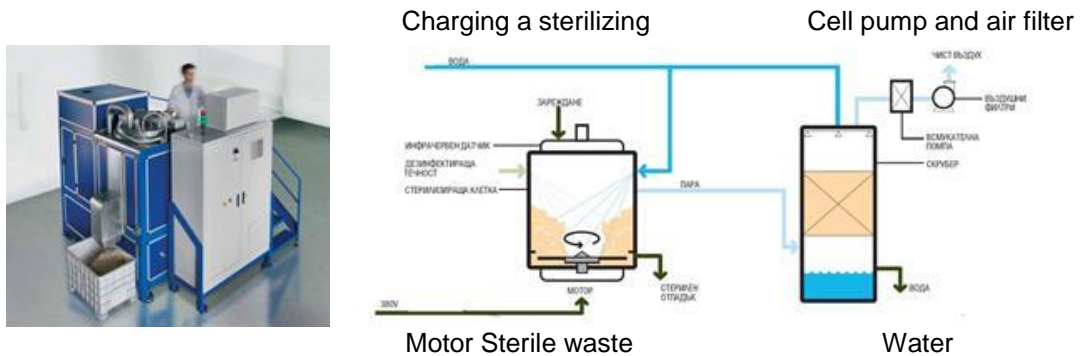


Figure 12. Scheme and appearance of medical waste treatment facility

7.2. Processing to fuels

(Directive 75/439/EEC on the disposal of used oils)

8. Landfilling. Landfills

The main way of managing waste, including hazardous waste in Bulgaria, is landfilling. Of the 3.1 million tons of household waste generated in Bulgaria in 2010, 3.04 million tons have been treated with Landfilling being the only applicable method. Bulgaria's membership in the EU imposed the obligation to close the currently existing illegal landfills and to build 54 new landfills for waste collection by 16.07.2009 (Directive 1999/31/EC). As of 2010, the number of landfills was 172. This method will play an important role during the next planning period in Bulgaria, and landfills will be an important element of the future waste treatment infrastructure. The main process that takes place is decomposition of organic matter in anaerobic conditions. Additional processes are aerobic. There are three main types of schemes: Landfilling of sections with pronounced terrain, Trench and High. The design and operation of landfills are discussed in detail in [6]. Waste treatment techniques and technologies are also presented in [17, 18, 21].

9. Politics and economics

The policies of individual EU member states regarding the waste disposal methods used are different. How waste is treated and the relative share of each of the main waste treatment methods in individual EU countries is shown in [19, 20]. In general, the trend in management is an increase in recycling and incineration, at the expense of a decrease in landfilling and composting. About 0.75% of the EU's GDP is allocated annually to waste management. According to NSI data, the costs of waste recovery and disposal for Bulgaria in 2010 amounted to 674,000 thousand BGN, which represents 0.95% of GDP. Almost 35% of them are for fixed assets acquisition; for 2016 - 1.6%. The main source of funds for financing waste activities in EU member states is the European Regional Development Fund (ERDF). In Bulgaria, the ERDF provides 366.7 million euros for financing activities related to waste management for the period 2007-2013, and in 2020-22 a Sustainable Development Program was proposed and started its operation. Waste management is a key component in a business's ability to maintain ISO14001 accreditation. Despite the efforts, there are still significant differences in the quality of the environment and human health in European countries. The complex relationships between environmental factors and human health, taking into account the multiple pathways of impact and interaction, must be considered in a broad spatial, socio-economic and cultural context. This is precisely what the author's participation in this conference is for.



10. Conclusion

EU Member States and Bulgaria are developing awareness campaigns to educate the public and encourage consumers to look for products that produce less waste and thus lead to a more efficient use of resources. The article proposes a classification of MSW processing methods and their application, sources and the legal basis for the purpose, the politics and economics of the subject are discussed.

REFERENCES

- [1] Закон за управление на отпадъците, Правилник, София, ДВ брой 86/30. 09. 2003
- [2] Директива 1975/442 на ЕИО, 15.07.1975; Рамкова директива за Отпадъците 91/156/ЕС; Директива 2006/12/ЕО относно отпадъците (Рамковата директива за отпадъци,РДО).
- [3] Директива 2000/532/ЕО, 03.05.2000
- [4] Директива 2008/98/ЕО, 19.11.2008 относно отпадъците и отмяна на опр. директиви
- [5] Наръчник Управление на ТБО, Регионален Екологичен център Молдова, Кишинев, 2012
- [6] Къртунов С., Техника и технологии за обработване на отпадъци, Габрово, УИ "В. Априлов", 2014, ISBN 978-954-683-512-3, COBISS.BG-ID – 1268363492 (in Bulgarian)
- [7] Управление на строителни и битови отпадъци, Ръководство за обучение, София, МОСВ, 2002
- [8] Костадинова Ц., Политика за управление на отпадъците: национална и общински програми. Материали от семинара "Методи за управление на битовите отпадъци", В. Търново, МОСВ - РИОСВ, юли 2003
- [9] Чиументи Р., Технология на компостирането, София, "Книжен тигър", 2003
- [10] Миковски В., Е. Врачова, Вторично използване на материалите в промишлеността, София, Техника, 1986
- [11] Наръчник по рециклиране и преработка на отпадъци, Благоевград, "Тера", 1998
- [12] Къртунов С., П. Тюфекчиев, Изследване на материали и изделия за рециклиране от пластмаси. Уредба за пиролиза, Габрово, Международна научна конференция "УНИТЕХ-01", 2001, том II/2001, стр. 132, ISBN 954-683-167-0 (in Bulgarian)
- [13] Stefan Kartunov, Treatment of solid household and hazardous waste by plasma gasification. Management of spent fuel from nuclear power plants, 1. RUMELİ SÜRDÜRÜLEBİLİR ÇEVRE İÇİN ENERJİ VE TASARIM SEMPOZYUMU, 4 - 5 ŞUBAT 2021, SİLİVRİ - İSTANBUL, ISBN 978-625-409-661-7, p. 11-23
- [14] Къртунов С., П. Рачев, Г. Христов, Система за плазмено изгаряне на радиоактивни отпадъци, Варна, Дни на механиката, сп. „Машиностроене и машинознание“, ISSN 1312-8612, p. 45-49 (in Bulgarian)
- [15] Къртунов С., С. Панайотова, Потребителски опаковки и технологични методи за рециклиране на някои видове, Габрово, НС "35 години катедра МУ", 2003 (in Bulgarian)
- [16] Стоянова, С, Н. Големанов, Магията "рециклиране", София, Вестник "Труд плюс", 21 септември 2003, стр. 9-10
- [17] Macuta S., S. Kartunov, Installations, Equipments and Technology for Waste Processing, Galati, Tipografia Zigotto, Romania, 2020, ISBN 978-606-669-331-8, p. 196
- [18] Къртунов С., П. Рачев, Технология на машиностроенето и уредостроенето, трето допълнено издание, Габрово, УИ „В. Априлов“, 2009, ISBN 978-954-683-425-6, www.booksinprint.bg, www.zamunda.net, www.mlattechnik.com/p=3163, 19.01.11 (in Bulgarian)
- [19] Дияна Металова, Управлението на отпадъците в ЕС и у нас – политика и финансови инструменти, УНСС, катедра „Финанси“, 2020
- [20] [Тодор Недков](#), Управление на отпадъците за ученици, София, Бет принт ООД, 2006, ISBN 954-91948-1-7
- [21] Официален сайт на Европейската Агенция по Околна Среда (www.eea.europa.eu)
- [22] Eurostat application



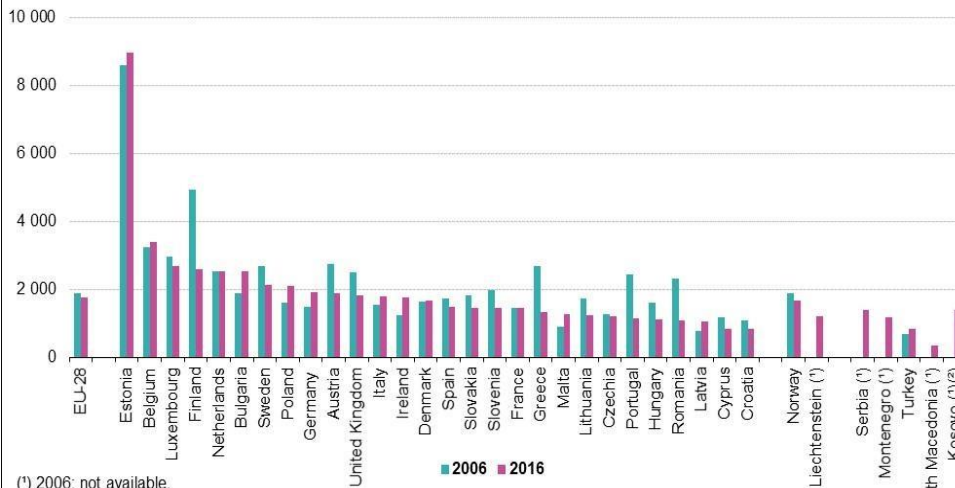
RESUME

Stefan KARTUNOV

Prof. Stefan Kartunov was born on May 13, 1956 in Gabrovo, Bulgaria. Graduated TMET “D-r N. Vasiliadi” and from 1977 to 1982 follows a course “Precision Engineering” at the Technical University of Gabrovo. From 1982 to 1988 he worked as a technologist and leading technologist at the Institute “Mechatronics” Gabrovo. It PhD successfully defended her thesis on “Aided design of technological processes” in 1992 at the Technical University of Sofia. In 2000 habilitation on spec. “Manufacturing Technologies”. Currently he is a professor in spec. “Computer Aided Design” TU-Gabrovo. He has published 20 books and published more than 150 articles and reports. His research interests are in the field of CAD/CAM-systems in micro- and nanotechnology and design processes for their elements. From 2021 he is an emeritus professor, Technical University of Gabrovo, Bulgaria, 5300 Gabrovo, Str. Hadji Dimitar 4, skartunov@abv.bg, <https://orcid.org/0000-0001-7709-9369>.

APPLICATION

Waste generation, excluding major mineral wastes, 2006 and 2016
(kg per inhabitant)



(*) 2006: not available.

(*) This designation is without prejudice to positions on status, and is in line with UNSCR 1244/1999 and the ICJ Opinion on the Kosovo declaration of independence.

Source: Eurostat (online data code: env_wasgen)

eurostat

| | | | | | | |
|----------------------------|----|----|----|----|----|----|
| Poland | 39 | 17 | 11 | 10 | 18 | 5 |
| Portugal | 3 | 17 | 1 | 12 | 35 | 33 |
| Romania | 87 | 4 | 4 | 0 | 3 | 2 |
| Slovenia | 0 | 26 | 14 | 10 | 38 | 12 |
| Slovakia | 3 | 32 | 9 | 9 | 29 | 18 |
| Finland | 76 | 8 | 1 | 11 | 3 | 1 |
| Sweden | 77 | 4 | 1 | 7 | 7 | 3 |
| United Kingdom | 0 | 4 | 0 | 49 | 30 | 10 |
| Iceland | 0 | 25 | 0 | 4 | 31 | 40 |
| Liechtenstein | 3 | 2 | 0 | 88 | 1 | 5 |
| Norway | 3 | 14 | 2 | 27 | 32 | 22 |
| Montenegro | 19 | 2 | 18 | 37 | 10 | 13 |
| North Macedonia | 49 | 51 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Serbia | 79 | 3 | 12 | 1 | 2 | 3 |
| Turkey | 11 | - | 26 | - | - | 37 |
| Bosnia and Herzegovina (*) | 2 | 27 | 71 | 0 | 0 | 0 |
| Kosovo (*) | 14 | 20 | 40 | 6 | 10 | 11 |

(*) 2012.

(*) This designation is without prejudice to positions on status, and is in line with UNSCR 1244/1999 and the ICJ Opinion on the Kosovo declaration of independence.

Source: Eurostat (online data code: env_wasgen)

eurostat



ZERO ENERGY BUILDINGS AND ENERGY SUSTAINABILITY IN BUILDINGS FOR TURKEY

SIFIR ENERJİLİ BİNALAR VE TÜRKİYE İÇİN BİNALARDA ENERJİ SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİ

Ahmet CAN

İstanbul Rumeli University Faculty of Engineering and Natural Sciences

ahmet.can@rumeli.edu.tr ORCID: 0000-0002-1460-6615

ÖZET

Küresel iklim değişikliğinin dünyanın birçok bölgesinde ve dünyadaki canlı yaşamı uzun süredir olumsuz etkilediği günümüzde yaşanmaktadır. Küresel anlamda iklim değişikliğinde çok belirgin şekilde etkili olan karbondioksit salınımıdır. İklim krizinin etkilerinin son derece hızlı arttığı 2020 yılı itibarıyla, maksimum değerini gören karbon salınımlarının azaltılması hükümetler, bireyler ve özel sektör için bir zorunluluk haline gelmiştir. Küresel sıcaklık artışını 2021 yılı sonunda 2 °C derece ile sınırlandırmayı ve mümkünse 1,5 °C derecenin altında tutmayı hedefleyen Paris Anlaşması 2015 yılında düzenlenen COP21 zirvesinde kabul edilmiştir. Türkiye'nin 11 Ekim 2021 tarihinde 193. ülke olarak imzaladığı Paris anlaşmasına göre; her ülke, atmosfere attığı karbon dioksit emisyonlarını 1990 yılı değerlerini esas alarak 2030 yılında %50 oranında ve 2050 yılında da %100 oranında azaltacağını kabul etmiştir.

Bu çalışmada konu kapsamında en önce sıfır enerjili binalar için nelerin yapılabileceği, mükemmel bir sıfır enerjili bina tasarımının unsurlarının neler olduğu değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Paris anlaşması, neredeyse sıfır enerjili bina, iklim değişikliği

ABSTRACT

It is experienced today that global climate change has adversely affected life in many parts of the world and the world for a long time. Globally, it is the emission of carbon dioxide that is very effective in climate change. As of 2020, when the effects of the climate crisis increase extremely rapidly, reducing carbon emissions, which see its maximum value, has become a necessity for governments, individuals and the private sector. The Paris Agreement, which aims to limit the global temperature increase to 2 °C degrees by the end of 2021 and to keep it below 1.5 °C degrees if possible, was adopted at the COP21 summit held in 2015. According to the Paris Agreement signed by Turkey as the 193rd country on October 11, 2021; Each country has accepted that it will reduce its carbon dioxide emissions into the atmosphere by 50% in 2030 and 100% in 2050, based on 1990 values. In this study, what can be done for zero-energy buildings and what the elements of a perfect zero-energy building design are are evaluated within the scope of the subject.

Keywords: Paris agreement, almost zero-energy building, climate change



1 INTRODUCTION

Global climate change affecting the world and our country with the latest amendment made in the energy efficiency legislation, the use of renewable energy in new buildings of certain sizes has become mandatory. The concept of Near Zero Energy Building (NSEB) has been added to the regulation related to the regulation published by the Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change in the Official Gazette dated February 19, 2022, and this concept has been defined as "a building with high energy performance and at the same time a certain amount of renewable energy use". With the regulation, as of January 1, 2023, all buildings with a total construction area of more than 2,000 m² must be constructed in accordance with the NSEB principles and at least 10% of the primary energy needs of these buildings must be met from renewable energy sources. In addition, it is another requirement that NSEB buildings have energy performance class B or better in the Energy Performance Certificate.

However, with the two temporary articles added to the regulation, it was stipulated that the building construction area required for NSEB projects would be 5,000 m² between January 1, 2023 and January 1, 2025, and the renewable energy usage rate would be 5%.

Today, climate change has reached a level that is difficult to compensate in the world and in Turkey. Scientific findings show that the most important cause of this crisis is greenhouse gas emissions.

While the whole world is developing various policies to reduce greenhouse gas emissions, Turkey has also demonstrated its sensitivity in this area by signing the Green Agreement and the Paris Agreement.

Countries that have signed the Paris Agreement have chosen the goal of achieving Net Zero emissions, mostly by 2050.

The European Union has set out to reduce its net emissions by at least 55 percent by 2030 compared to 1990 and to become the "first climate neutral continent" by 2050.

What happens if emissions do not decrease? The answer to this question* "It is necessary to develop policies and strategies to keep the global atmospheric temperature increase between 1.5-2 °C. If the global temperature increase exceeds 2°C, results such as desertification on a large scale, the destruction of corals, the extreme heat affecting nearly half a billion people, and hundreds of millions of people falling below the poverty line may occur. These can be added that food security, biodiversity and forests will be at great risk. In addition, these effects can cause large waves of migration. Economies deteriorate and life on planet earth becomes difficult.

2. THE PARIS AGREEMENT AND ITS IMPORTANCE FOR TURKEY

4 November 2016, pursuant to article 21(1); The Convention enters into force on: At least 55 Parties to the Convention have deposited their instruments of ratification, acceptance, approval or accession for a total of at least 55 percent of total global greenhouse gas emissions on the thirtieth day from the date of recognition [1]. *Note: The Paris Agreement was adopted on 12 December 2015 at the twenty-first session of the Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change, held in Paris between 30 November and 13 December 2015. Pursuant to Article 20; The Agreement will be open for signature by States Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change and regional economic integration organizations at the United Nations Headquarters in New York from 22 April 2016 until 21 April 2017 [1].*

3. EFFECT OF BUILDING HEATING AND CARBON DIOXIDE EMISSIONS IN THE ATMOSPHERE

25% of energy-related emissions originate from buildings. Energy consumption is the biggest factor in greenhouse gas emissions both in the world and in Turkey. Energy consumption in buildings has the largest share and a transformation that will take place in them has priority. It has been determined that approximately one fourth of energy-related emissions in Turkey originate from buildings. Even this ratio has clearly revealed the importance of Zero Energy Buildings in the fight against climate change. Energy consumption has negative effects not only on the environment but also on the economy. 70% of the current account deficit in Turkey is due to energy. This ratio has grown even more in 2021. According to the data of the Turkish Statistical Institute (TUIK), Turkey's total imports in 2021 were 271.4 billion dollars, while its total exports were 225.3 billion dollars. The difference is 46.1 billion



dollars. The difference between energy imports and only energy imports reached 42.1 billion dollars. 90 percent of the difference is due to energy. The goal is to contribute to the Turkish economy by reducing energy consumption with Zero Energy Buildings.

3.1 The Rate of Carbon Dioxide in the Atmosphere and Global Climate Change

The rate of carbon dioxide in the atmosphere is given in ppm and means the number of carbon dioxide particles in one million particles. This value, which was at the level of 280 ppm before industrialization, has not exceeded the level of 300 ppm for the last 800 thousand years. The fact that the carbon dioxide concentration value in the atmosphere exceeds 350 ppm means that the reliable limit in terms of climate change has been exceeded. The reliable limit monthly average value was exceeded by 350.39 ppm, which was first measured in January 1988. It was determined as 317.71 ppm in the measurements made in March 1958 by the Mauna Loa Station operating in Hawaii under the US National Oceanic and Atmospheric Administration. In the measurements made by the USA Mauna Loa Station in 2019, the average of carbon dioxide rate in the atmosphere in August 2019 was determined as 409.95 ppm, with an increase of 2.96 ppm compared to the same period of the previous year. The rate of carbon dioxide in the atmosphere exceeded 415 ppm for the first time on 12 May 2019 and was measured as 415.27 ppm. It is understood that the increasing trend continues with the value recorded as 415.64 ppm on May 15, 2019.

3.2 EU Council Consensus for Zero Emission Buildings

The EU Council agreed on the Zero Emission Buildings Target on 27 October 2022. The Council has set a goal of achieving zero emissions in buildings by 2050. The member states of the Council of the European Union have agreed on the amendment proposals containing important updates in the Energy Performance of Buildings Directive. According to the proposal of the Council, all new public buildings to be built in the European Union countries from 2028 and all other buildings from 2030 should be built according to zero-emission principles [2],[3].

4. ZERO ENERGY BUILDING

The building, which has a very low energy need for heating, cooling, lighting and other consumptions, and which supplies this need entirely from renewable energy sources, is a zero-energy building. These buildings combine the concepts of energy efficiency and renewable energy generation to be able to have very low energy needs and to produce the amount of energy they need by producing them on-site (or away) through renewable sources for a certain period of time. Net Zero Carbon Building, which is beyond this concept, is the buildings where the amount of carbon dioxide emissions released annually by the World Green Building Council (WorldGBC) is zero or negative.

The shortest way to reach the Zero Energy Building is the building built with Passive House standards. Passive House standards are the universal prototype and can be applied in any climate zone. When a building is designed and implemented with Passive House Standards, 95 per cent less energy is consumed than ordinary buildings. This means a very high reduction in harmful gases released into nature.

4.1 Generating Energy from the Sun

In this context, it is obligatory to invest in thermal or photovoltaic solar energy in new buildings. According to the principles agreed by the member states of the European Union, all new buildings must be designed in such a way that the solar energy-based energy production potential is used most efficiently [4]. First of all, all new public and non-residential buildings with a floor area of more than 250 square meters by 31 December 2026 must be designed according to this principle. The requirement will also apply to all existing public and non-residential buildings with a floor area of more than 400 square meters until 31 December 2027. Until 31 December 2029, all new residential buildings must be designed to utilize solar energy at the highest level, regardless of their surface area. Exceptions may be made for buildings to be constructed for historical, religious and defence purposes.



4.2 Entire Building Stock to be Zero Emissions by 2050

In line with the goal of achieving zero emissions for the entire building stock by 2050, the Council of Europe has proposed some principles for accelerating the renovation of existing buildings and phasing out buildings with poor performance. Accordingly, EU countries will establish minimum energy performance standards for buildings that will correspond to the maximum amount of primary energy that can be used per square meter. Country governments have deemed it necessary to identify the parts of the national building stocks with the lowest efficiency values, based on the energy use values determined as of January 1, 2020. It is necessary to identify the buildings in such a way that the first part of 15% includes the buildings with the lowest efficiency value. In the second part, there should be relatively less bad buildings with an efficiency value of 25%. In the first stage, all non-residential buildings in the most inefficient 15% section by 2030 will need to increase to the efficiency value of the existing 25% section by 2030. Until 2034, however, all of these buildings will need to be renewed in such a way that they fall below the energy efficiency threshold already determined for the 25% section.

4.3 Adding Energy Performance Criteria A⁰ and A⁺

States will also set their National Plans for building stocks to be completely zero emissions by 2050. In addition, A⁰ categories for zero emission buildings will be added, and A⁺ categories will be added for buildings with renewable energy sources.

At the same time, there will be requirements for transport infrastructure such as charging points for electric vehicles and parking spaces for bicycles in building designs. Member states will prepare roadmaps with national targets for 2030, 2040 and 2050 and publish national building renovation plans for the primary and final energy consumption of building stocks and reduction of greenhouse gases. States are required to prepare their initial plans by 30 June 2026 and update them every five years thereafter. It has been determined that 40% of the final energy consumption and 36% of the energy-related greenhouse gas emissions of the European Union countries occur in buildings. According to the council's data, 75% of existing buildings in EU countries are energy inefficient buildings and require large-scale renovations to reach the required efficiency requirements. In Turkey, it is necessary to carry out studies and reveal the results from one aspect, "personal buildings and public buildings, on the other hand, buildings constructed before laws and standards are determined, buildings constructed after international and national laws and standards are adopted, and buildings to be constructed" [5],[6]. Accordingly, it is necessary to prepare, announce and implement timed business plans.

4.4 Amount of Energy to be Consumed Annually Per Unit Area in Buildings

The amount of energy to be consumed per unit area in buildings annually is defined by the "Regulation on Energy Performance in Buildings" published in the Official Gazette dated 05 December 2008 and numbered 27075 and it is obligatory to comply [7]. Exterior climatic conditions, interior space requirements, local conditions and cost-effectiveness are determined by calculation rules that will enable the evaluation of all energy uses of the building [8].

It should be classified according to primary energy and carbon dioxide (CO₂) emission values [9]. The minimum energy performance criteria for new and existing buildings to be renovated [10] and the applicability of renewable energy sources are explained in the relevant standards and regulations [7],[8].

It was announced on September 27, 2022 by the Ministry of Energy and Natural Resources, General Directorate of Energy Affairs, Department of Energy Supply Security, Markets and Statistics that the preparation of the National Energy Plan has come to an end in the studies carried out for Turkey's goal of being carbon neutral in 2053.

4.5 Energy Efficient Building Evaluation Sizes

The dimensions taken as a basis in the preparation of energy identity cards of energy efficient buildings are given in Table 1 [10],[11].



Table 1. Building energy efficiency assessment magnitudes.

| Energy Efficient Building Evaluation Magnitudes (The values given are an example for an F Energy Identity Class Building) | | | |
|---|---|---|--|
| A/V _e | | 0,61 1/m | According to Building Energy Regulation |
| Building useful area | A _N | 670,2 m ² | According to Building Energy Regulation |
| Specific transmission heat loss | H _T | 1,3 W/(m ² K) | DIN V 4108-6, in accordance with DIN V 4701-10 and according to the calculation rules described in the norms |
| Heating Heat Requirement | Q _h | 150,0 kWh/(m ² yıl) | |
| Domestic hot water heat requirement | Q _{tw} | 12,5 kWh/(m ² yıl) | |
| Number of installation costs | e _P | 1,8 | |
| Primary energy requirement | Q _P = (Q _h + Q _{tw}) . e _P | 292,5 kWh/(m ² yıl) | |
| CO ₂ emissions* *A _N building utilization area associated | | 79,0 kg CO ₂ /(m ² yıl) | Compliant with GEMIS 4.13 |

4.6 Energy Efficient Building Rating Scales

The rating scales of energy efficient buildings are shown in Table 2. Values close to the actual values reached in a building that does not comply with the standards are given as an example in the last column of Table 2.

Table 2. Energy efficient building rating scales

| | Very little | Little | Medium | yüksek | very high | Really achieved | | | | |
|--|-------------|--------|--------|--------|-----------|-----------------|------|------|---------|--|
| Building envelope Heating heat requirement associated with the A _N surface | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 | 125 | 150 | 200 | 250>>> | 150,0 kWh/(m ² year) |
| Plumbing Technique | | | | | | | | | | 1,80 |
| Number of installation costs according to primary energy | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,4 | 1,6 | 1,8 | 2,0 | 2,25 | 2,5>>> | |
| CO ₂ -Emissions | 20,0 | 27,5 | 37,5 | 50,0 | 62,5 | 75,0 | 87,5 | 100 | 125 >>> | 79,0 kg CO ₂ /(m ² year) |

4.7 Building Energy Requirements Change with an Energy Efficient Building Approach

The decrease in the requirement of energy efficient building heating energy achieved with exemplary project applications in twenty years is shown in Figure 1 [11].

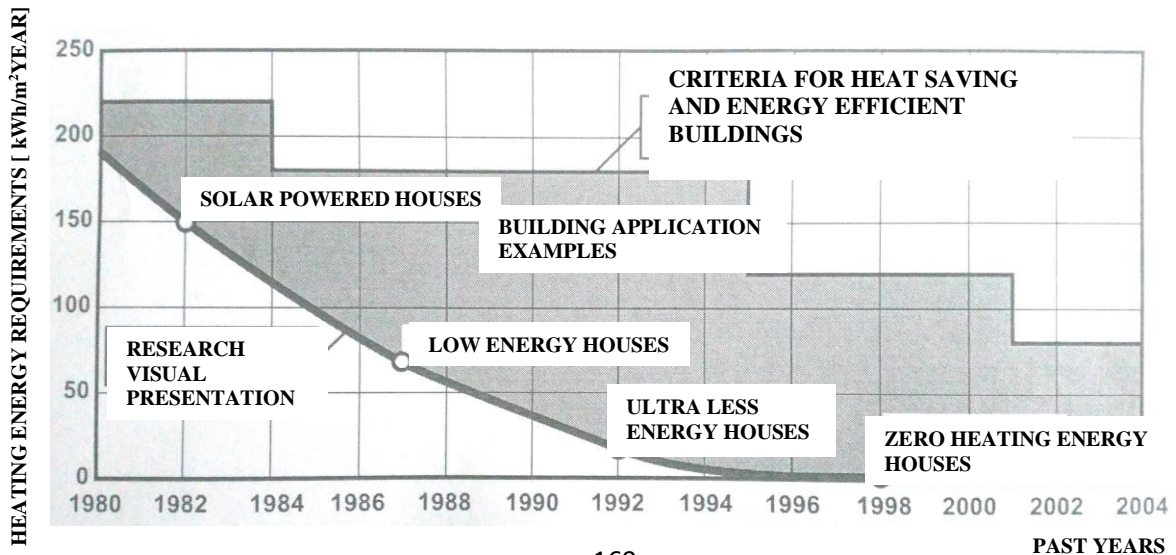


Figure 1 Building energy requirement



The variation of costs depends on the ratio of the heat losses of the external components of the ultra-low energy house in relation to the usage area is shown in Figure 2.

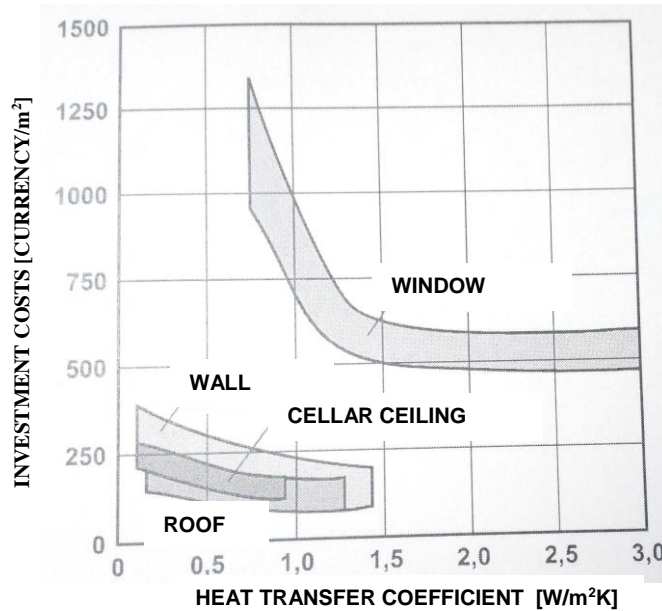


Figure 2. Building structural element energy requirement

5. CONCLUSION AND EVALUATION

Economic, political and environmental processes play a role in development. Individual fireplaces were replaced with hot water central heating systems. Due to the low heat requirement of today's homes, temperatures in the heating system can be reduced, thereby reducing distribution losses. Experience so far has made it possible to reach the optimum system temperature with water temperatures of 45 °C. In addition to the exponentially increasing size of the heating zone, smaller temperatures also require pumps significantly larger operating energies. Due to low heating circuit temperatures, alternative heat generators can be integrated with more efficient devices such as solar collectors.

It is predicted that the use of promising heat pumps for the heat supply of buildings will also come to the fore from now on and replace boilers. The debate on whether the additional heat gained from the soil, water and air during the heating process with heat pumps is renewable or not is subject to the EU's Directive on Encouragement and Support for the Use of Renewable Energy Resources (2009/28/EC, RES Directive, Article 2) and the Energy Performance of Buildings Directive. (2010/31/EU, Article 2). District heating, solar and wind energy, especially flexible, hybrid systems where energy sources are used together should be preferred. Performance should be prioritized in incentives to be given to new systems. The use and production of low-efficiency systems and devices should be prohibited within the framework of the law. In order to ensure that these applications are preferred, long-term, low-interest loans can be extended and advantageous energy tariffs can be arranged by the user. Recent climate changes have brought importance to the approaches to net or nearly zero energy (nZEB/NZEB) building standards. On the one hand, weather conditions that make life difficult have increased awareness of climate and energy efficiency and led to the setting of political/regulatory targets. On the other hand, the characteristics and expectations of modern office buildings where thermal comfort is in question are defined.



LITERATURE

- [1]. Paris Agreement. *Paris, 12 December 2015*. ENTRY INTO FORCE: 4 November 2016, in accordance with article 21(With territorial exclusion in respect of Greenland. See C.N.819.2016.TREATIES-XXVII.7.d of 1 November 2016)
- [2] General approach on the Energy Performance of Buildings Directive
- [3] General approach on the Energy Performance of Buildings Directive
- [4] Erhorn, A., v. d. "Fertighaeuser im Wandel – vom Niedrigenergiehaus zum Null-Heizenergiehaus" Fraunhofer Institut für Bauphysik, 2001.
- [5] "Enerji Verimliliği Kanunu", Resmi Gazete, 2 Mayıs 2007, Sayı 26510
- [6] TS 825, "Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği", 2008
- [7] "Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği" 05 Aralık 2008 tarihli, 27075 sayılı Resmi Gazete
- [8] "Binalarda Enerji Performansı Ulusal Hesaplama Yöntemine Dair Tebliğ (Tebliğ No: YİG/2010-02)" 07.12.2010 bina enerji performansı "hesaplama yöntemi"
- [9] Can, A. "Atmosferde Karbondioksit Sınırlaması ve Bir Model" 2. RUMELİ SUCET Sempozyumu E-Bildiriler Kitabı, ISBN 978-605-74264-1-3, s.1-9, Silivri/İSTANBUL, 2022
- [10] Can, A. "Enerji Etkin Binalar için Termodinamik Yaklaşım" 1. RUMELİ SUCET Sempozyumu E-Bildiriler Kitabı, ISBN 978-625-409-661-7, s.32-44, Silivri/İSTANBUL, 2021
- [11] Erhorn, A., v. d. "Fertighaeuser im Wandel – vom Niedrigenergiehaus zum Null-Heizenergiehaus" Fraunhofer Institut für Bauphysik, 2001.

CURRICULUM VITAE

Ahmet CAN, Prof. Dr.-Ing.

He was born in Tekirdağ in 1953. He graduated from Faculty of Mechanical Engineering, Yıldız Technical University in 1974 with the title of Mechanical Engineer. He received the Master Engineer (Dipl.-Ing.) and Doctor Engineer (Dr.-Ing.) titles from the Institute of Energy and Process Technology of the Berlin Technical University of (**Fachbereich Energie-und Verfahrenstechnik**) in 1982 and 1984, respectively.

He received the titles Assistant Professor, Associate Professor, and Professor with the Faculty of Engineering and Architecture, Trakya University in 1984, 1989, and 1997, respectively. He worked as Professor at Turkish-German University in 2012 and Istanbul Arel University in 2014. He works at Istanbul Rumeli University since 2018. More than 160 national and international articles and papers have been published. He was awarded by TÜBİTAK International Publication Incentive Award eight times thanks to eight of them.

He is the translation author of the book **HÜTTE – ENGINEERING SCIENCE**, which is an indicator of the development process of German technology and standards from the beginning to the present (Literatur Publishing House, ISBN 978-975-04-04658. www.literatur.com.tr, Istanbul, June 2010). He has translated the 1600 Pages of **HÜTTE Grundlagen der Ingenieurwissenschaften** from the 32nd Edition in German into Turkish, the 11th Language of HÜTTE International Translations. Professor Can was awarded by Germany Almanyana Internationales Bonn. The book **Grundlagen der Ingenieurwissenschaften**, which is famous in the world as HÜTTE, has been translated into 10 different languages so far.



DECARBONISATION OF HEATING SECTOR IN CROATIA USING HEAT PUMPS

Antun GALOVIC

ORCID: 0000-0001-8591-3172

Martina ODELJAN

ORCID: 0000-0002-2416-9295

Vladimir SOLDO

ORCID: 0000-0002-8568-3220

University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, Zagreb

Abstract

Climate change, environmental pollution and geopolitical situation that we all witness, firmly establishes dedication of our society to affordable, secure and sustainable energy. Ambitious goals of European Green Deal on climate neutrality require bold action to decarbonise different energy sectors. European existing buildings are responsible for 40 % of energy consumption and 36 % of greenhouse gases of the EU. The building stock in Croatia accounts for 44,23 % of final energy consumption. Heating sector, being among most relevant, must utilize low carbon technologies based on local renewable energy sources. One such resource, recognized and highlighted as significant in national energy legislative framework, are heat pumps.

This paper presents potential of different source heat pumps application. Examples of good practice will be presented for sea water, ground and air source heat pumps. The main issue for further uptake of this technology is investment to overall technical knowledge and capacity of different target groups, ranging from planners, designers, scientific and professional staff to state and local levels.

Key Words: Decarbonisation, CO₂ emission, heat pumps,

1. INTRODUCTION

The use of heat pumps is largely motivated by the fact that in the total exchanged heat, a smaller part is spent on invested energy, and a larger part on renewable energy from the environment. The best efficiency of heat pumps is demonstrated when used in low temperature and medium temperature heating systems with flow temperatures up to 55 °C, but their application is also possible for high temperature regimes, up to flow temperatures of 90 °C. When it comes to industrial applications, commercially available heat pumps allow flow temperatures up to 140 °C but require high temperature heat sources due to the limitations of the temperature difference of the heat reservoir (30 - 90 °C).

The heat pump market has seen a progressive increase in the number of installed units at the European Union level for several years. According to data from the European Heat Pump Association (EHPA), in 2021 an annual increase of 34% in the number of installed devices was recorded (Figure 1).

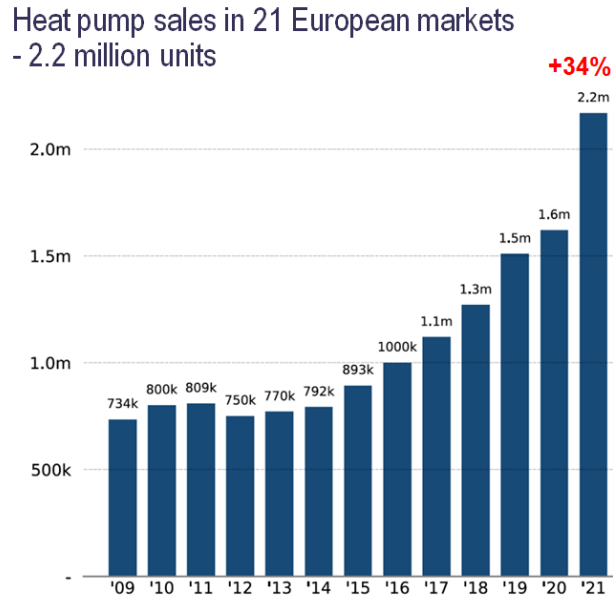


Figure 1: Annual number of newly installed heat pumps in the EU21 countries

High efficiency of energy conversion and use of shares of renewable energy from the environment in the case of heat pumps enables energy savings and a reduction in carbon dioxide emissions compared to fossil fuel systems. The possibility of reducing CO₂ emissions depends on the structure of the power system as an energy source for drive and the efficiency of the device itself. The wind at the back of heat pumps is a series of directives as part of the 'Clean Energy for All Europeans' package, which aims to provide regulatory preconditions for the energy transition. Of particular importance is the Directive 2010/31/EC on the energy performance of buildings, which introduced the concept of almost nearly zero energy buildings (nZEB) and which has been transposed into the national legislation of EU Member States in recent years. In particular, in Croatia, the decision is in force that all new buildings from January 1, 2021 must be nearly zero energy buildings. Depending on the category of building, the maximum amount of primary energy for heating, cooling, ventilation and lighting and a minimum amount of 30 % of the required energy from renewable sources is prescribed.

European Green Deal (COM 2020) is the main strategic development document for the EU and the basis of efforts to achieve climate neutrality by 2050. It requires a reduction of greenhouse gas emissions up to 60 % and a major contribution to ambitious targets is expected precisely in energy sector, given that only heating and cooling consume approximately 51% of final energy and generate 27% of total CO₂ emissions. It is expected that heat pumps will play a role in the future energy system within several elements of the European Green Deal, and above all in the elements of clean energy supply, clean industry and energy renovation with efficient use of energy and resources.

The properties of the heat reservoir greatly affect the heat pump operation, primarily capacity of the heat source, temperature variability during the year and investment and operating costs of using a particular form of heat reservoir. The most common division of heat sources is into environmental air, ground, water and waste heat (Figure 2).

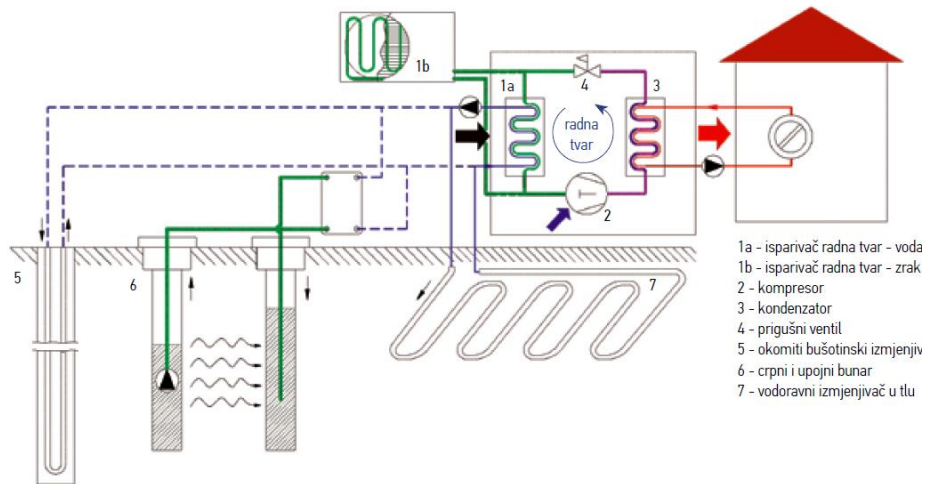


Figure 2: Various designs of heat pumps (1a – evaporator, working fluid water; 1b – evaporator, working fluid air; 2 – compressor; 3 – condenser; 4 – expansion valve; 5 - vertical ground source heat exchanger; 6 - pumping and submersible well; 7 – horizontal ground source heat exchanger)

2. HEAT PUMP TECHNOLOGIES

2.1 Ground source heat pumps

Ground is the most widespread heat reservoir after air, but soil exploitation requires higher investment costs related to the performance of the ground heat exchanger. The main advantage of the ground, as a heat reservoir, is its thermal inertia. There are significantly smaller temperature oscillations throughout the year compared to the air. At depths greater than 2 meters, the seasonal amplitude of temperature is less than 10 °C, and with the increase of depths below 10-20 meters, the time variability of the ground temperature disappears. Heat exchange with ground is conditioned by the thermal properties of the soil and the performance of the ground heat exchanger.

Depending on the type of ground heat exchanger, systems can be divided into horizontal and vertical (Figure 3). In both cases, these are intermediate systems in which an intermediate energy transmitter (a mixture of water with a water coolant) flows through the ground heat exchanger, exchanges heat with the ground and transfers it to the heat pump on the evaporator or condenser, depending on whether the system operates in heating or cooling mode.

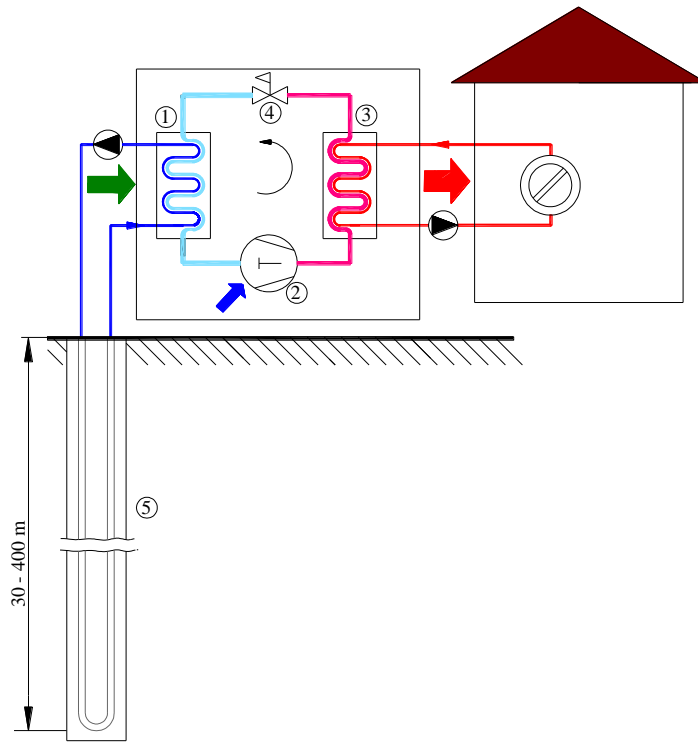


Figure 3. Vertical borehole heat exchanger coupled to the heat pump (1 – evaporator, 2 – compressor, 3 – condenser, 4 – expansion valve, 5 – borehole heat exchanger) [3]

Figure 4 shows a ground water heat pump with a heating capacity of 15-70 kW used for heating business entity in Velika Gorica. Eight borehole heat exchangers with a depth of 100 m in the design of double U-tubes are laid in the ground. The distribution of the heating system is combination of underfloor heating and fan convectors.



Figure 4: Ground source heat pump with eight borehole heat exchangers

2.2 Water source heat pumps

Water as a heat reservoir includes surface waters (lakes, rivers, seas) and groundwater. Ground and groundwater systems in the literature are grouped into the category of geothermal heat pumps with division into direct and indirect systems. The main advantage of water is its lower temperature variability throughout the year, which is more expressed for water abstraction at greater depth, and good heat transfer between the liquid and the wall of the heat exchanger. The biggest disadvantages of using water are its availability, either due to physical or legal restrictions, and the composition of water that can favor the occurrence of corrosion and microbiological contamination of pipe and heat exchanger surfaces (installation of intermediate heat exchangers).

2.2.1 Sea water heat pumps

Seawater heat pump systems in the heating mode use thermal energy of the sea as a renewable heat source (Figure 5b), while in the cooling mode the heat taken from the ambient is transferred to the sea (Figure 5a). Given the corrosive property of seawater, seawater does not exchange heat with the refrigerant in the heat pump evaporator but transfer heat to an intermediate working medium on a corrosion-resistant intermediate heat exchanger.



Figure 5: Sea water heat pumps– water in the mode of a) cooling; b) heating

The depth of the sea at which seawater is abstracted for the operation of heat pumps is 0 - 20 m. The deeper the sea, the smaller the seasonal temperature oscillations of the water. The considered depth of the sea is the surface layer of the sea and the temperature changes in this layer are called thermohaline properties of the sea, resulting from several physical factors such as heat exchange with the atmosphere, sea motion caused by natural phenomena such as wind or human factors (movement of ships, etc.) [2].

Interreg project SEADRION

The SEADRION project – "Encouraging the development of heating and cooling technologies using seawater heat pumps in the Adriatic-Ionian region " is a co-financed project from the European Regional Development Fund whose purpose is to improve innovation capabilities in the field of heat pumps and increase the number of seawater heat pumps in the Adriatic-Ionian region. The main objective of the project is to establish a transnational network of seawater heat pumps in order to support scientific and technological cooperation between research institutions and companies to improve the innovation capability of the heat pump sector and the use of heating and cooling based on seawater - water heat pumps in the Adriatic-Ionian region.

The project was attended by 6 institutions from 4 countries: Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Zagreb - UNIZAG FSB, as lead partner, and Dubrovnik Development Agency - DURA (Croatia), Goriška Local Energy Agency - GOLEA and Municipality of



Izola (Slovenia), Centre for Research and Technology - CERTH (Greece) and National Agency for Natural Resources - AKBN (Albania).

The project lasted from 2018 to 2021, during which three sea water - water heat pump pilot plants were installed, two in Croatia and one in Greece, with the aim of defining problems and obstacles encountered during the implementation of such systems (administration, execution, environmental impact) and monitoring their operation (consumption, efficiency, savings). Also, as part of the project, energy and economic analysis and environmental impact analysis of the application of the seawater - water heat pumps for representative facilities of each of the four partner countries was carried out, with the aim of creating a sample.



Figure 6: Pilot plant Rector's Palace, Dubrovnik

Pilot plant built at the Rector's Palace in Dubrovnik (Figure 6) has capacity of 432 kW. The heating temperature regime is 50/45 °C. The water abstraction is at a depth of 7 m.

2.2.2 Ground water heat pumps

Two wells are needed to pump groundwater, pumping and submersible, with as much distance between them as possible (Figure 6). The pumping well should ensure enough water at all times of operation, that is, the abundance of the pumping well is the most important condition for the design of this heat pump. The submerged pump is usually installed at a depth of 25 to 30 m (depending on the depth of the aquifer) in order to reduce the pump's operating costs and a free well height is left under the pump, which allows the accumulation of sand and impurities. When dimensioning the system, the flow of the groundwater pump is calculated on the temperature difference of the water on the evaporator from 3 to 5 °C. The literature cites the data on 0.25 m³/h water flow per 1 kW of evaporator capacity.

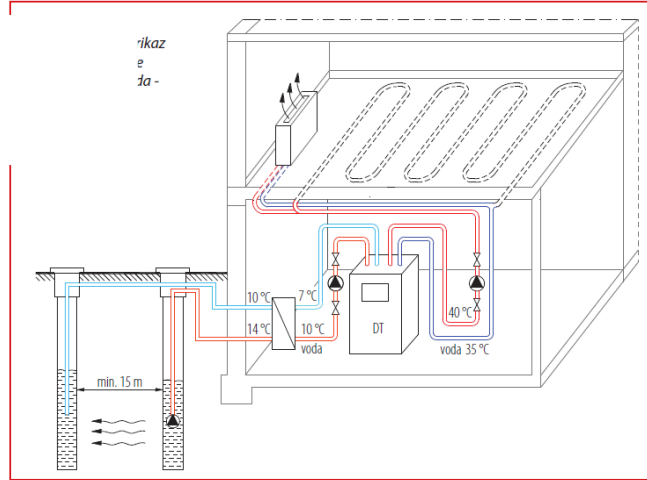


Figure 7: Qualitative display of groundwater water heat pump

Figure 8 shows the Palace hotel in the center of Zagreb, which uses a water/water heat pump with a capacity of 420 kW for heating and cooling. The system was renovated in 2016. Existing heating system of 60/50 °C was kept, while the cooling mode is 11/16 °C. At a depth of 20 m underground water is abstracted in a capacity of 18 l/s and covers the heat load in the heating mode of 350 kW.



Figure 8: Hotel Palace in the center of Zagreb uses a water/water heat pump

2.3 Air source heat pumps

Environmental air is the largest and most affordable heat reservoir. Its exploitation does not require high connection costs but only an accessible and safe space in which an outdoor unit can be installed (Figure 9). The outdoor unit can represent a source of noise due to built-in fans and compressors, which is necessary to consider when choosing the installation site.

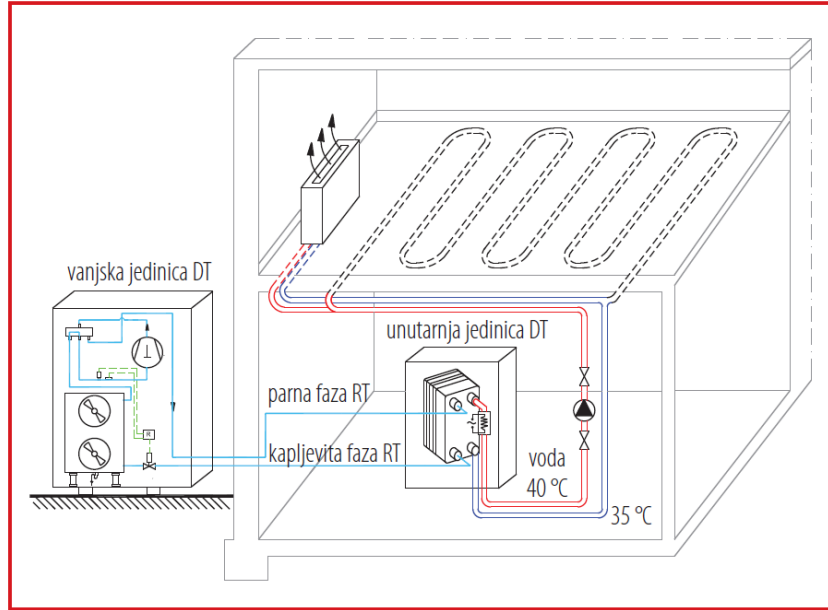


Figure 9: Qualitative display of air/water heat pump (split version) for space heating and cooling

The biggest disadvantage of air, as a heat reservoir, is the high variability of temperature throughout the year, which affects the capacity and efficiency of the heat pump. For this reason, heat pumps of this type are mostly not dimensioned for peak heat load, but the systems are performed in combination with an additional heat source (most often an electric heater). In addition, in the winter months, hoar frost and ice may appear on the evaporator pipes due to moisture in the air, which further impairs the efficiency of the device. However, regardless of all these shortcomings, performance of the device is being improved every day, efficiency is getting higher and air/water heat pumps have the highest growth in the number of installed units in practice.

Currently, the IRI 2 development research project is being implemented, financed from the program of the European Structural and Investment Funds: *Research and development of an air/water heat pump with natural refrigerant*. As part of the project, a Croatian air/water heat pump was developed and produced. At the Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, a sophisticated pilot plant has been put into operation in a relevant environment where developed heat pumps will be tested (Figure 10).



Figure 10: Laboratory setup with air/water heat pump on FSB



3. CONCLUSION

Heat pumps as a technology are an indispensable factor in the goals of achieving a competitive low carbon economy and climate neutrality of the European Union by 2050. For many years, the existing regulations have been aimed at encouraging the use of heat pumps, and the same is expected from future changes of regulations at the EU level. Uncertainty in the supply of conventional energy sources and rising prices of natural gas and electricity put new challenges in the application of sustainable and energy-efficient systems. The transition to alternative heating systems therefore requires a comprehensive approach to energy planning, implementation and operation. The paper gives an overview of heat pump technology with examples of implemented systems in practice with water, ground and air as heat sources. The fundamental challenges for the wider application of heat pump technologies in Croatia are contained in financial mechanisms for investing in technology that are more demanding compared to conventional heating systems. Also, an indispensable part is investing in professional capacities at different levels.

4. LITERATURE

- [1] EHPA market report: Heat pump sales in 21 European markets
- [2] Soldo, Vladimir; Boban, Luka; QUO VADIS dizalice topline. // EGE: energetika, gospodarstvo, ekologija, etika, 2/2021 (2021), 12-16
- [3] Boban, Luka; Miše, Dino; Herceg, Stjepan; Soldo, Vladimir: Application and Design Aspects of Ground Heat Exchangers. // Energies, 14 (2021), 8; 2134, 3 doi:10.3390/en14082134
- [4] Soldo, Vladimir; Boban, Luka; Borović, Staša: Vertical distribution of shallow ground thermal properties in different geological settings in Croatia. // Renewable energy, 99 (2016), 1202-1212 doi:10.1016/j.renene.2016.08.022
- [5] Bertović, Iva: Potencijal iskorištavanja morske vode u sustavima dizalica topline – projekt SEADRION, Tehnologije dizalica topline, 1/2021. str. 15-19

ANTUN GALOVIC

Antun Galovic was born on 27. 04. 1950 in the Republic of Croatia. After graduating from elementary and secondary school, he enrolled to study at the Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture in Zagreb in 1969, where he graduated in 1974. He received his master's degree in 1979 and his Doctorate in 1986. He spent his entire working life, lasting 44 years starting in 1975, at the Department of Technical Thermodynamics at the Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Zagreb, from assistant to full professor. He was head of the Department of Technical Thermodynamics for 21 years. He has published more than 100 scientific and professional papers, which can be seen on www.irb.hr. He is the author of the two university textbooks Thermodynamics I and Thermodynamics II.

He retired in 2019 and was elected as a professor emeritus in 2021.

He speaks and writes German and speaks English.

He is married and the father of two daughters.

MARTINA ODELJAN

Martina Odeljan was born in Zagreb, where she finished primary and secondary school. She enrolled in the Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture of the University of Zagreb in the academic year 2009-2010. During the bachelor degree study she received a Rector's Award for a paper from the field of technical thermodynamics. She finished her master study in Mechanical Engineering (Process and Energy Engineering) in 2014, for which she received the highest (SUMMA CUM LAUDE) praise. Employed in 2015 as an assistant at the Chair of Technical Thermodynamics, Department of Thermodynamics and Thermal and Process Engineering. In the academic year 2015-2016 starts her postgraduate doctoral study at the Faculty of Mechanical Engineering and Naval



Architecture. She received her doctoral degree in June 2021. Currently actively participates in lectures within the subjects: Thermodynamics I, Thermodynamics II, Introduction to Thermodynamics, Fundamentals of Thermodynamics, Thermodynamics of Materials and Testing of thermal properties. Between 2017 and 2018 she participated as an associate on a professional project „Report of a study on Krk island LNG terminal Omisalj thermodynamics environmental impact“; and since 2020 participates on two IRI projects: „Development of LNG system for ships powered by dual fuel engines (FF/LNG)“ and „Development of LNG tanks for vessels for storage and regasification of LNG“.

VLADIMIR SOLDO Curriculum Vitae – Full professor

Employed at the University of Zagreb, his research and scientific work focuses on refrigeration, heat pumps and energy efficiency.

At the faculty lab he has initiated and participated in the development, design and construction of several experimental systems used in research and education: refrigeration system for testing of natural refrigerants, air source heat pump, ground source heat pump with borehole heat exchanger, solar assisted heat pump and thermal response test unit.

As a project team leader or as a member he has been participating in several European funded projects and has established collaboration with universities and research institutes from Italy, Japan, China, Slovenia, Sweden, Switzerland and USA.

He is author of around seventy scientific and professional papers and forty studies covering topics from technology implementation to energy management and energy efficiency in buildings. He participated in the preparation of four algorithms related to the national certification of buildings energy performance and is the author of Handbook for energy certification of buildings, Chapter 9: *Refrigeration systems and heat pumps, equipment and components*.

He is the president of the Technical Committee Sector TO 86 *Refrigerating, air conditioning and heat pumps* of the Croatian Standards Institute; president of the *Croatian Heat Pump Association*; editor of the professional magazine *Heat Pump Technology*.



Experimental Investigation of Temperature Effect on Mono-Crystalline Solar PV Panel

M. Musab BAYAT

Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering ORCID:0000-0002-4631-6516

Ertan BUYRUK

Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering ORCID:0000-0002-6539-7614

Mustafa CANER

Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering ORCID:0000-0002-3674-7881

ABSTRACT

PV modules convert only 10-20% of incoming solar radiation into useful work, while 40-50% of the radiation is converted into heat. The accumulated thermal energy causes thermal stress on the PV cells, thereby significantly reducing the electrical conversion efficiency. The increase in temperature on the PV Panel adversely affects the maximum output power, which can be described as the performance of the panel, and the current and voltage values produced under load and unloaded operation. In this study, the behavior of a Mono-Crystal solar PV panel under different temperature values was experimentally investigated. It has been determined in the experimental results that different temperature values on the PV panel affect the electrical power output. It has been determined that increasing PV panel surface temperature has a negative effect on electrical parameters such as current, voltage and power generation and reduces PV panel efficiency. The maximum power produced by the loaded circuit is 15.01 W at 44.71 °C at the PV panel temperature. It has been observed that when the PV panel temperature rises up to 75 °C, the power drops to 12.92 W with a loss of about 14% from the maximum generated power. In addition, at the end of the study, suggestions are given to increase the PV panel efficiency by controlling the operating temperature of the PV module with a suitable experimental setup containing PCM to be placed on the back of the PV module in order to reduce the losses in power generation caused by heating in the PV panels and thus increase the PV panel efficiency.

Keywords: PV surface temperature, PV panel, PV power variation

1. Introduction

Energy is the foundation of any country's economic development and plays an important role in improving the quality of life of the people living there. The importance of energy in almost every aspect of development and historical data reveal a significant relationship between energy availability and economic activity. Although fossil fuel plays an important and reliable role in this regard, its non-stop use for a period of time has created serious problems with regard to global warming and climate change. Increasing awareness of environmental degradation and energy scarcity has prompted many researchers to seek clean and renewable energy sources [1]. The use of solar energy has started to attract attention because it is clean and sustainable. One of the most promising technologies for solar energy use is photovoltaic (PV) power generation technology. Solar photovoltaic capacity increased rapidly at a high of 100 MW per day in 2013 and total capacity increased by 177 GW in 2015 [2]. Although PV systems have been commercialized and widely used, most PV panels have a photoelectric conversion efficiency of only 15-20% under ideal operating conditions [3].

PV materials and devices convert sunlight into electrical energy. A single PV device is known as a cell. An individual PV cell is usually small and typically produces about 1 or 2 watts of power. These cells are made of different semiconductor materials. In order to withstand the open air for many years, the cells



are sandwiched between protective materials in a glass and/or plastic combination. The main layers of a solar PV panel are: outer glass, anti-reflective coating (ARC), PV cells, ethylene-vinyl acetate (EVA), metal back contact, and polyvinyl fluoride (PVF) film. The thermo-physical properties of these layers are presented in Table 1 [4]. Photovoltaic panels can have different layers, depending on the design technology and manufacturer. To increase the power output of PV cells, they are connected together in chains to form larger units known as modules or panels. One or more strings are then connected to the electrical grid as part of a complete PV system. Thanks to this modular structure, PV systems can be installed to meet almost any electrical energy requirement, large or small.

Table 1. Properties of photovoltaic panel layers

| Layer | Thickness (m) | Thermal Conductivity (W/m.K) | Density (kg/m ³) | Specific heat capacity (J/kg.K) |
|--------------|----------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| Glass | 0.003 | 1.8 | 3000 | 500 |
| ARC | 100×10^{-9} | 32 | 2400 | 691 |
| PV Cells | 225×10^{-6} | 148 | 2330 | 677 |
| EVA | 500×10^{-6} | 0.35 | 960 | 2090 |
| Back Contact | 10×10^{-6} | 237 | 2700 | 900 |
| Tedlar | 0.0001 | 0.2 | 1200 | 1250 |

The concept of Standard Test Conditions (STC) is needed to describe the performance of a PV cell [5]. The reference electrical power produced by a photovoltaic panel is defined for the average temperature of a cell at 25 °C and the solar radiation intensity of 1000 W/m². Under these conditions, the PV cell produces the maximum power measured in Watt-peak (Wp). This value is valid for manufacturers, but the power of a PV cell under real operating conditions depends on temperature changes and solar radiation level. Most solar radiation reaching a PV cell is converted to thermal energy, not electricity, which increases the cell temperature [6]. Temperature increases in photovoltaic (PV) modules cause immediate efficiency losses and can accelerate long-term degradation. Silicon PV modules operating at high temperatures show lower efficiency in converting solar energy into electrical energy. When the rate of solar heat obtained with PV is higher than the rate of heat lost to the environment, temperature rise is inevitable. An increase in silicon cell temperature by 1 Kelvin reduces the absolute conversion efficiency by 0.08%, reducing the power output by 0.45% [7]. A temperature increase of 15 K reduces the power output by about 7%. Silicon solar cells accounted for approximately 86% of the current global market PV in 2012 [8]. This is because silicone is widely used, non-toxic, easily doped [9]. Figure 1 (a) shows the variation of the output power, (P_L) and voltage (U_L) of a solar cell at four different temperatures at constant solar radiation [10]. The graph shows the initial power increase with voltage before regressing. The temperature dependence of the maximum output power $P_m(T)$ reflects the decrease in power as the temperature increases. In Figure 1(b), a plot of the output power and voltage of a PV panel highlights the effect of temperature rise on the power reduction of a silicon PV panel.

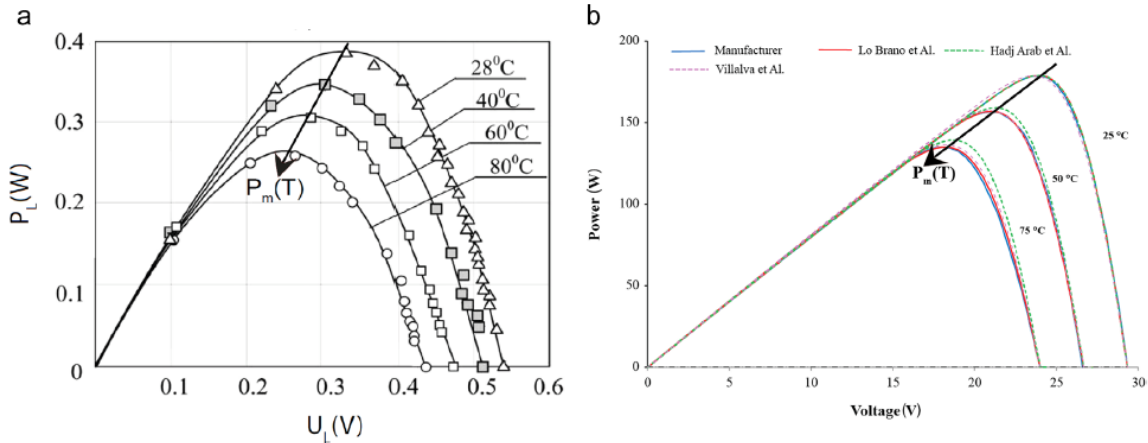


Figure 1. (a) Power variation with silicon solar cell voltage (b) Power variation with voltage of silicon panel temperature

A study was conducted by Siddiqui et al. [11] in which they developed a three-dimensional numerical model that can predict the thermal and electrical performance of the PV panel for changing environmental and operating conditions. The results range from 8.47% to 10.5% in efficiency with linearly increasing electrical energy. Pantic et al. [12] developed linear and nonlinear models to estimate the effect of solar temperature on output power and efficiency. The results were compared with five different models and showed that the nonlinear model fitted much better with changes in solar radiation intensity and temperature of the solar module. Xing Ju et al. [13] presented an improved method for estimating the temperature of solar cells operating under high concentration conditions when the solar cell temperature is in the range of 10–120 °C. The temperature variation of photovoltaic panels has also been numerically investigated in various studies throughout the literature. Hamrouni et al. [14] presented a study using MATLAB/Simulink software. Razhaghi and Mosavi [15] reported the study and simulation of photovoltaic systems using MATLAB Simulink, and the radiation or temperature input reflects significant changes in the maximum power point. One study showed that a 22°C drop in cell temperature resulted in a 10.3% energy gain in the PV module [16]. Another study reveals that for every 1K increase in surface temperature, the decrease in open circuit voltage is 0.45% and the increase in short circuit current is 0.09% [17]. Similarly, there is another study reporting that for every 1°C increase in surface temperature of a silicon solar cell, the decrease in open circuit voltage is 2mV [18]. From these studies, it can be concluded that the decrease in open circuit voltage is greater than the increase in short circuit current.

In this study, the effect of PV cell temperature on electrical energy generation and power variation was analyzed. All analyzes were carried out under laboratory conditions under halogen lamps with an irradiance of 1000 W/m².

2. Experimental setup

It has also been determined by this experimental study that the increase in temperature reduces the band gap of the solar cell, which affects the electrical parameters of the solar cell such as maximum power P_{max} , open circuit voltage V_{OC} and short circuit current I_{SC} . The presented study has been proven by performing experimental studies under 1000 W/m² constant irradiation. Ideally, to run the module at its maximum power point, we can calculate the load resistance from ohms law as:

$$R_{load} = \frac{V_{mp}}{I_{mp}}$$

In this study, a 25 W monocrystalline solar panel was used. The electrical parameters of the solar panel used are shown in Table 2.

Table 2. Electrical characteristics of 25W mono-crystalline solar panel

| | | |
|------------------------------|--------------|--------|
| Power | P_m (W) | 25W |
| Voltage (Max. Power) | V_{mp} (V) | 20.84V |
| Current (Max. Power) | I_{mp} (A) | 1.23A |
| Open Circuit Voltage | V_{oc} (V) | 24.62V |
| Short Circuit Current | I_{sc} (A) | 1.28A |
| Cell Numbers | | 36 |

Open circuit voltage (V_{oc}) and short circuit current (I_{sc}) are the two main electrical parameters often used to characterize solar cells. In this experimental study, an aluminum resistor of 50W 22R Ohm was used as the load resistor. The schematic representation of the connection of the solar panel under load in the study is given in Figure 2.

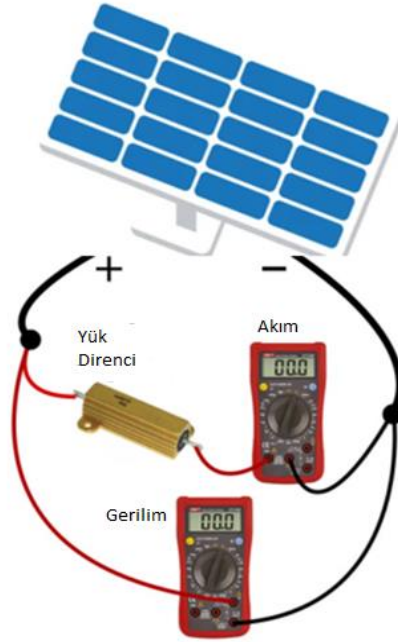


Figure 2. Schematic representation of the connection of the solar panel

As a result of the experimental study, a linear decrease occurred in the maximum output power (P_{max}), voltage at load (V_{mp}) and current at load (I_{mp}) with the increase of the temperature of the solar panel. The experiment was carried out from 20 °C to 75 °C under a constant power of 1000 W/m². This constant power was obtained with halogen lamps and the experimental setup is shown in Figure 3.

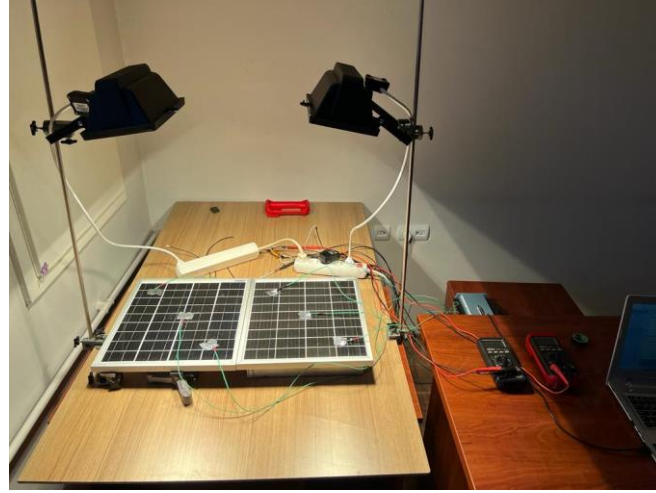


Figure 3. Experimental setup

During the experiment, surface temperature measurements were made from 3 different points of the PV panel and the surface temperature value of the panel was determined by taking the average of these temperature values. This method was used to get the average value of the panel surface temperature when the panel surface was heated with a halogen lamp. The comparison of the temperature values for each thermocouple measured is shown in Figure 4. By taking the average of these obtained temperature values, the average surface temperature of the PV panel was determined and it is shown in Figure 5. Figure 6 shows the temperature profile of the solar panel at 25.7 °C recorded using a thermal camera. K type thermocouple was used for temperature measurements, "Measurement Computing USB-2416" was used as data collector for data collection. In addition, a digital multimeter was used to measure voltage and current values.

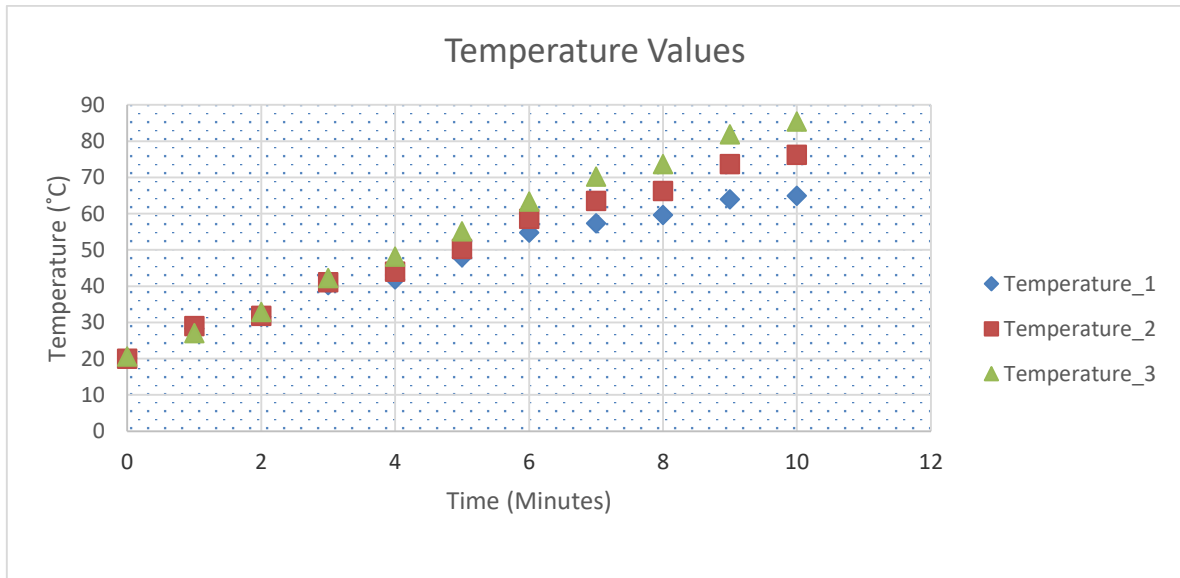


Figure 4. PV panel surface temperature values

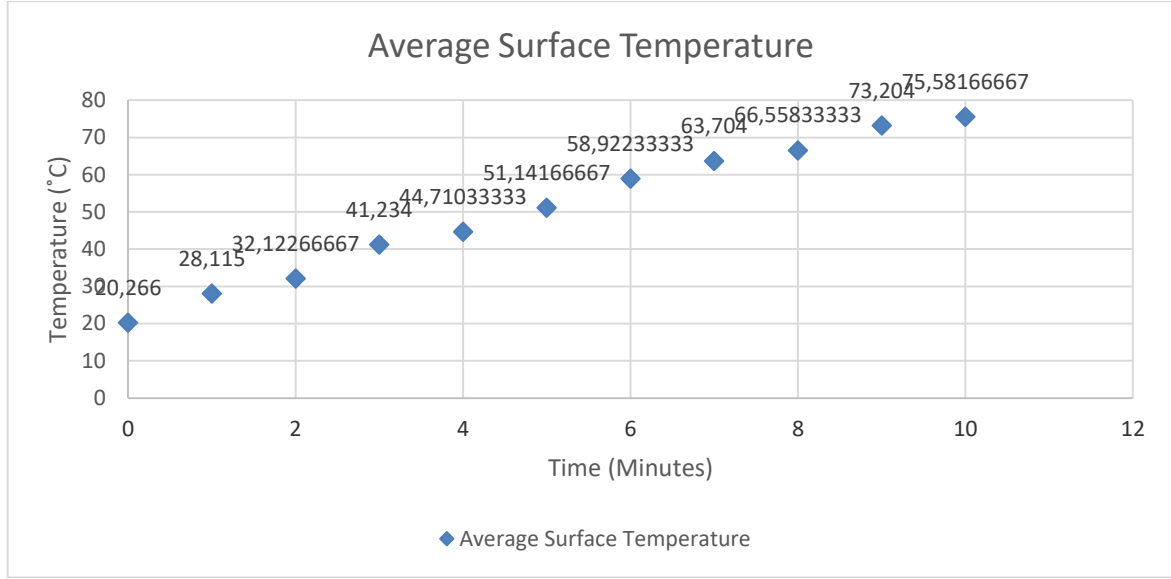


Figure 5. PV panel average surface temperature

The power variation produced against changing temperature values is shown in Figure 7. During the temperature change, the highest voltage value produced from the panel was measured as 18.31 V, the lowest 16.99 V, the highest current value was 0.82 A, the lowest 0.76 A, while the maximum power was 15.01 W, and the minimum power produced was 12.92 W.

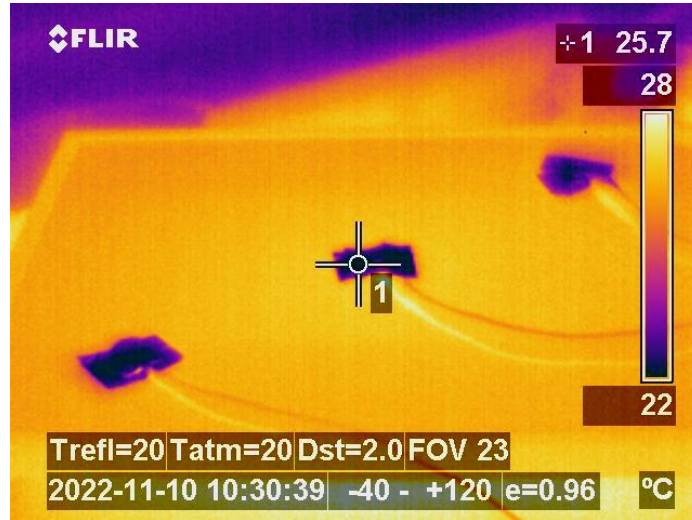


Figure 6. Temperature recorded at 25.7 °C using a thermal camera

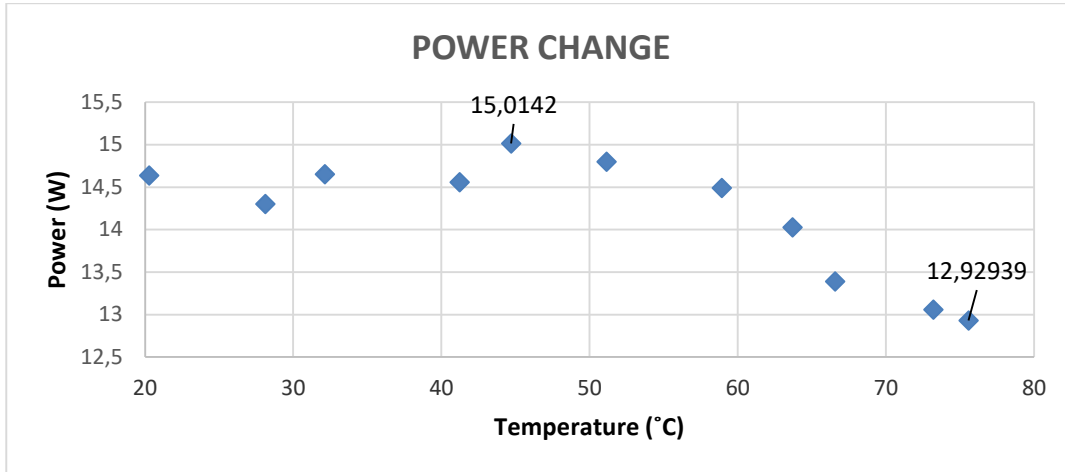


Figure 7. Temperature-Power graph

Table 3. Voltage, current and power values

| Voltage (V_{mp}) | Current (I_{mp}) | Power (P_m) |
|----------------------|----------------------|-----------------|
| 18,05 V | 0,811 A | 14,63855 W |
| 17,88 V | 0,8 A | 14,304 W |
| 18,09 V | 0,81 A | 14,6529 W |
| 18,02 V | 0,808 A | 14,56016 W |
| 18,31 V | 0,82 A | 15,0142 W |
| 18,18 V | 0,814 A | 14,79852 W |
| 17,98 V | 0,806 A | 14,49188 W |
| 17,69 V | 0,793 A | 14,02817 W |
| 17,28 V | 0,775 A | 13,392 W |
| 17,07 V | 0,765 A | 13,05855 W |
| 16,99 V | 0,761 A | 12,92939 W |

3. Results and Evaluation

Solar energy, one of the renewable energy sources, has become more attractive especially in remote areas where access to other power sources is difficult. The output power of the solar power system depends on the solar radiation and the surface temperature of the PV panel. Solar panel temperature has a great influence on the efficiency of a photovoltaic system, especially in a large system. It is also known that temperature has an effect on other output parameters such as P_{max} , V_{mp} and I_{mp} . Therefore, site selection is very important for installing a solar PV system. A low temperature location should be chosen to install solar panel systems because every watt lost in a higher temperature environment means a greater loss of efficiency. The importance of solar PV panel temperature should not be neglected as stated in this study. In the present study, the power variation with increasing PV panel temperature was determined experimentally. In the experimental analysis, the variation of the panel surface temperature was observed under constant radiation. The response of the solar panel to temperature changes under load was measured. As can be seen from the graphics, the surface temperature of the solar panel increased from 20 °C to 75 °C, and on the contrary, the voltage value decreased from 18.31 V to 16.99 V and the current value decreased from 0.82 A to 0.76 A, respectively. The results show that if the solar panel is used under direct sunlight with constant radiation, the temperature of the PV panel will increase gradually and the power obtained will decrease when a load is placed on the circuit. The maximum power produced by the loaded circuit is 15.01 W at 44.71 °C at



PV panel temperature. It has been observed that when the PV panel temperature rises up to 75 °C, the power drops to 12.93 W with a loss of about 14% from the maximum generated power. Each increase in silicon cell temperature reduces the conversion efficiency and reduces the power output. When the active and passive cooling methods applied to reduce temperature rises are compared, passive cooling methods can be preferred because they do not require an extra energy requirement and thus are more economically feasible. Among these techniques, the phase change material (PCM) absorbs thermal energy at a constant phase change temperature. On initial heating, the PCM heats up sensitively and absorbs latent heat when it reaches its melting temperature. For subsequent studies, the operating temperature of the PV module will be controlled with a suitable device containing PCM to be placed on the back of the PV module. Thus, it is aimed to minimize the solar panel power drop caused by the temperature increase.

Acknowledgment

This study was supported by Sivas Cumhuriyet University Scientific Research Projects (CUBAP) with project number M-2022-829.

REFERENCES

- [1] ALZAABİ AA, BADAWİYEH NK, HANTOUSH HO, HAMİD AK. Electrical/thermal performance of hybrid PV/T system in Sharjah, UAE. *Int J Smart Grid Clean Energy* 2014
- [2] LUPANGU C, BANSAL RC. A review of technical issues on the development of solar photovoltaic systems. *Renew Sustain Energy Rev* 2017; 73:950–65
- [3] MA T, YANG H, ZHANG Y, LU L, WANG X. Using phase change materials in photovoltaic systems for thermal regulation and electrical efficiency improvement: A review and outlook. *Renew Sustain Energy Rev* 2015; 43:1273–84
- [4] ARMSTRONG S, HURLEY WG, A thermal model for photovoltaic panels under varying atmospheric conditions, *Applied Thermal Engineering* 30; 2010, p. 1488-1495
- [5] FSEC Standard 202-10. Test Method for Photovoltaic Module Power Rating; 2010
- [6] INGERSOLL JG. Simplified calculation of solar cell temperatures in terrestrial photovoltaic arrays. *J Sol Energy Eng* 1986; 108:95–101.
- [7] MEMİŞ Samet, "A Study on Picture Fuzzy Sets" 7th IFS and Contemporary Mathematics Conference, ss. 125–132, 2021
- [8] SKOPLAKI E, PALYVOS JA. On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: a review of efficiency/power correlations. *Sol Energy* 2009; 83:614–24
- [9] Fraunhofer Institute. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE: Fraunhofer, Freiburg; November 7 2013
- [10] BRUTON TM. General trends about photovoltaics based on crystalline silicon. *Sol Energy Mater Sol Cells* 2002; 72:3–10
- [11] RADZIEMSKA E. The effect of temperature on the power drop in crystalline silicon solar cells. *Renew Energy* 2003; 28:1–12
- [12] M. U. SİDDİQUİ, A. F. M. ARİF, L. KELLEY, AND S. DUBOWSKY, "Three-dimensional thermal modeling of a photovoltaic module under varying conditions," *Sol. Energy*, vol. 86, no. 9, pp. 2620–2631, 2012
- [13] L. S. PANTIĆ, T. M. PAVLOVIĆ, AND D. D. MILOSAVLJEVIĆ, "The assessment of different models to predict solar module temperature, output power and efficiency for Nis, Serbia," vol. 109, pp. 38–48, 2016
- [14] X. JU, A. VOSSIER, Z. WANG, A. DOLLET, AND G. FLAMANT, "An improved temperature estimation method for solar cells operating at high concentrations," *Sol. Energy*, vol. 93, pp. 80–89, 2013
- [15] HAMROUNI N, JRAÏDI M, CHÉRIF A, Solar radiation and ambient temperature effects on the performances of a PV pumping system, *Revue des Energies Renouvelables*, Vol. 11, No. 1; 2008, p. 95–106
- [16] RAZZAGHI MAJID, SEYYED MAHDI MOOSAVI. Analysis of solar cells performance based on temperature and radiation changes *Renewable and Clean Energy Congress*, Hamedan. 2013



- [16] KRAUTER S. Increased electrical yield via water flow over the front of photovoltaic panels. Solar energy materials and solar cells. 2004 May 1;82(1):131-7
- [17] SCHWINGSHACKL C, PETITTA M, WAGNER JE, BELLUARDO G, MOSER D, CASTELLÌ M, ZEBİSCH M, TETZLAFF A. Wind effect on PV module temperature: Analysis of different techniques for an accurate estimation. Energy Procedia. 2013 Dec 31;40:77-86
- [18] MİGAN G.A. Study the operating temperature of a PV module. Project Report 2013 MVK160 Heat and Mass Transfer, Lund Sweden

CURRICULUM VITAE

M. Musab BAYAT

He was born in Ordu/Aybastı in 1991 and graduated from Gaziantep University Faculty of Engineering in 2014 with the title of Electrical-Electronics Engineer. He completed his master's degree from Sivas Cumhuriyet University, Institute of Science in 2017 and continues his doctorate education today. He works as a "Research Assistant" at Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering.

Ertan BUYRUK

He completed his primary, secondary and high school education in Sivas. He graduated from Sivas Cumhuriyet University Mechanical Engineering Department in 1991. Between July 1992 and December 1996, he completed his doctorate at the University of Liverpool, England. In 1997, Assist. Associate Professor in 2004 and Professor in 2009. prof. In addition to the Departments of Electrical and Electronics Engineering, Industrial Engineering, and Mechanical Engineering, Buyruk also served as the Vice Dean of the Faculty of Engineering. Buyruk, who is married and has one child, speaks English. Since 2012, he has also served as the Rector's Advisor on University - City and Industry Cooperation. prof. Buyruk also served as the Vice Rector between 2015-2016. His main areas of study are: Heat and Mass Transfer, Thermodynamics, Fluid Mechanics, Thermal Insulation, Cold Storage, Heat Transfer in Plate Fin Heat Exchangers and Nanofluids.

Mustafa CANER

He graduated from Bozok University Mechanical Engineering Department in 2013. In 2014, he started to work as a research assistant at Sivas Cumhuriyet University, Department of Mechanical Engineering. He completed his master's degree at the same University in 2018 and continues his PhD studies.



PRODUCIBLE FLUID OIL AND BIOGENIC GAS THE UPPER CRETACEOUS UNCONVENTIONAL CARBONATE PLAYS, NORTHERN ARABIAN PLATE OF TURKEY

Şamil ŞEN

Istanbul University-Cerrahpaşa and Shalesys Energy, ORCID: 0000-0002-3086-9626

Berat BARSLAN

Shalesys Energy

İ. Erdal KEREY

Rumeli University, İstanbul ORCID: 0000-0001-9000-8257

ABSTRACT

Type II organic matter rich carbonates of the Upper Cretaceous in the Middle East and North Africa, including southeastern Turkey, are recognized as major unconventional hydrocarbon source rocks. A workflow for derisking productivity of an unconventional play is examination of the S1 X 100/TOC ratios, which represent potentially producible fluid oil and gas volumes or oil saturation index (OSI). Analyses show that the Upper Cretaceous Karababa and Karabogaz formations of the southeastern Turkey have producible fluid oil and biogenic gas potential.

Keyword: Shale, Oil, Gas, Southeast Turkey

1. Introduction

Over the past decade or so, two technologies (i.e., horizontal drilling coupled with large-scale, multistage hydraulic fracturing) have made it possible to extract hydrocarbons trapped in self-sourced shale plays^{1,2}. The Upper Cretaceous Karababa and Karabogaz formations of the southeastern Turkey extend from Osmaniye in the west to Diyarbakir in the east, an area nearly 300 km long and 150 km wide (Fig. 1). The formations are similar to the unconventional fluid oil and biogenic gas producing the Niobrara Formation of North America. The aim of this study is to examine producible fluid oil and biogenic gas saturations of the Upper Cretaceous carbonates of the northern Arabian plate in southern Turkey

based on their organic matter content, fluid oil and biogenic gas saturations, maturity and sorption coefficient.

Recent studies show that sorption coefficient ranges from 100 to 40 mg oil/g TOC to fluid oil and less than 40 mg HC/g TOC for biogenic gas³⁻⁴. The correction of S1 for “evaporative loss” is an important step to restore the present-day values to original values. API gravity is a major control on evaporative loss from C15+ (lower boiling-range-point components) and can be represented by;

$$\%C15+loss = \%OilAPIgravity - 20:799/0.412 \cdot S1correction\ factor\ (S1cf) = 1/(1 - \%C15+loss)$$

Equivalent vitrinite reflectance (%Requ) formula of %Requ= 0.0165 X Tmax - 65,143 was applied to the samples.

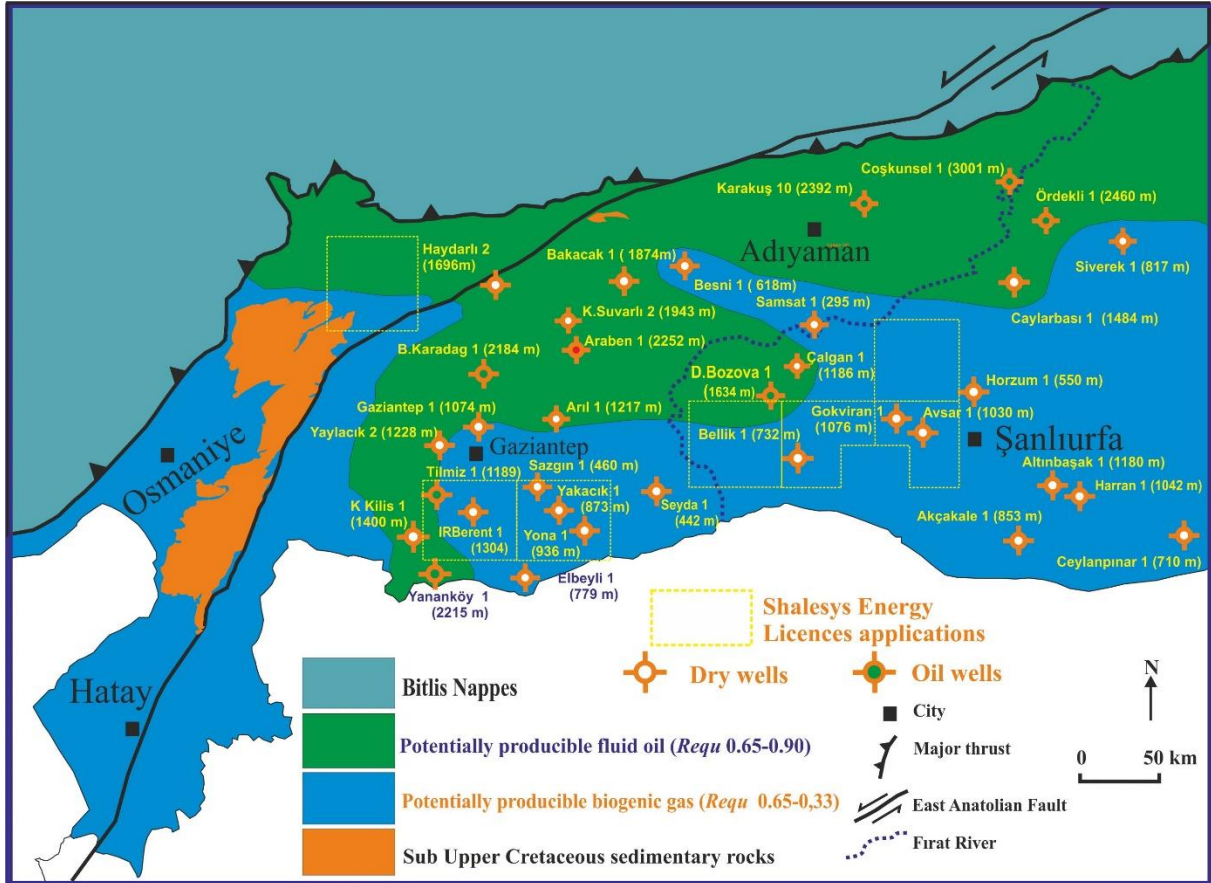


Fig.1 Resource map of the Karababa and Karaboğaz formations (modified by Sen, 2022⁵).



2. Findings

Analysis of 123 samples from the 13 wells of mature areas (oil potential areas with 0,6-0,91 %Requ) show that the TOC contents of the Cretaceous source rocks range from 1.03 to 7.82, with an average of 2.5% wt. Average OSI values and corrected OSI values are 82,94 and 116,51 mg oil/g TOC, indicating likely presence of producible fluid phase oil saturations at those well locations.

Analysis of 53 samples from the 11 wells of immature areas (biogenic gas potential areas with 0,35-0,58 %Requ) show that the TOC contents of the Cretaceous source rocks range from 1.11 to 16.29 with an average of 4,87% wt. Average OSI values and corrected OSI values are 65,42 and 72,61 mg oil/g TOC, indicating likely presence of producible biogenic gas saturations at those well locations.

3. Conclusions

Nearly half of the 48,904 BOPD of conventional oil produced from the Turkish sector of the northern Arabian plate is sourced from organic-rich levels and produced from naturally fractured tight reservoirs the Cretaceous carbonates. Analyses show that the Upper Cretaceous Karababa and Karabogaz formations of the southeastern Turkey have producible fluid oil and biogenic gas potential. Unfortunately, no wells have been drilled for unconventional fluid oil and biogenic gas, so far.

REFERENCES

1. Curtis, J. B. Fractured shale gas systems. AAPG Bull. 86(11), 1921–1938 (2002).
2. Steward, D. B. Te Barnett Shale Play: Phoenix of the Fort Worth Basin—A History (Te Fort Worth Geological Society and Te North Texas Geological Society, 2007).
3. Pepper, A., Perry, S. & Heister, L. Saturation isn't what it used to be: Towards more realistic petroleum fluid saturations and produced fluid compositions in organic-rich unconventional reservoirs. In Society of Petroleum Engineers/AAPG/Society of Exploration Geophysicists Unconventional Resources Technology Conference (2019).
4. Şen, Ş & Kozlu, H. Impact of maturity on producible shale oil volumes in the Silurian (Llandovery) hot shales of the northern Arabian plate, southeastern Turkey. AAPG Bull. 104(3), 507–524 (2020).
5. Şen, Ş. Producibile fluid oil saturations of the upper cretaceous unconventional carbonate plays, Northern Arabian Plate. AAPG Bull. 106(4), 739–758 (2022).



Samil SEN

Major scientific interest of Samil Sen is shale oil gas exploration and production based on machine learning. He worked for Vermilion Energy and Turkish Petroleum as a consultant and project manager. He has had postdoc studies with Professor Gilbert Kelling, Keele University (UK) and Professor W. Nemeç, Bergen University (Norway). Samil Sen worked for Turkcell-Ericsson (Sweden) as a consultant of structural health monitoring and 5G based smart technologies development to energy and mining sector. He has recently worked on fracture modeling based on peridynamic with Professor Erdogan Madenci (MIT-University of Arizona, US) and Professor Erkan Oterkus (Strathclyde University, UK). He has worked at the University of Arizona, Dep. of Aerospace and Mechanical Engineering as visiting professor. Samil Sen has also recently worked with Andrew Pepper (BP- This is Petroleum LLC, US) for fluid oil saturation modeling. He is working with Professor Ibrahim Cemen (Univ. Of Alabama, US) for natural fracture recognition based on deep learning.

Berat BARSLAN

Jeoloji Mühendisi Berat Barslan Shalesys Enerji A.Ş nin kurucularındadır.

İ. Erdal KEREY

Prof.Dr. İ. Erdal Kerey Rumeli Üniversitesi Rektör Yardımcısıdır



CABIR BIN HAYYAN'S CONTRIBUTIONS TO SCIENTIFIC THOUGHT AND CHEMICAL TECHNOLOGIES

Osman Çakmak

Istanbul Rumeli University, Faculty of Art, Design and Architecture, Silivri – Istanbul

ORCID: 0000-0001-9293-5572

ABSTRACT

Jabir bin Hayyan is a founding and pioneering scientist in the Medieval Islamic World. He is known as the father of chemistry. Jabir produced the classification of substances, precision measuring instruments used in chemistry, scales, instruments used in experiments, and revealed how to use them. He is the owner of hundreds of works in the fields of science in which he works.

Jabir described and applied the practices and techniques that are the basis of laboratory operations. Evaporation, sublimation, melting, condensation, crystallization, distillation, calcination (roasting), filtration, purification, oxidation are some of these techniques. He developed the retort, which facilitated distillation. He contributed to the development of casting techniques with his work on metal refining and steel preparation. Its substances were classified as gases, metals and minerals. He explained the gas-pressure relationship. He established the first chemistry laboratory. He used the precision scale. He implemented the units of weight and measure. He explained the use of the water bath and the chemical furnace. He prepared fabric and leather dyes and hair dyes. He made varnishes that made the fabric waterproof and protected the iron. He used manganese dioxide for the production of colored glass; and iron pyrite to write in gold. He made researches on glazing tiles and ceramics and developed products. He developed a type of paper that does not burn in fire and ink that can be read at night. The refining of metals and the preparation of steel contributed to the development of casting techniques.

Cabir Bin Hayyan made determinations showing the atomic structure of substances and said that certain amounts react with certain amounts in chemical reactions. He talked about the splitting of the atom and pointed to nuclear energy.

Cabir draws attention with his contributions to the science of chemistry and chemistry technologies as well as to the system of scientific thought. He argued that experimentation and the results of experiments would not be conclusive. He explained the features of scientific thought. He put experimental studies and observation at the center of science. He appears as a scholar who collects and applies skepticism, which is the basis of scientific studies.

In this study, Cabir's scientific and intellectual life and discoveries are discussed. In addition, the system of thought that Cābir put forward based on Chemistry is presented through the eyes of science historians.

Keywords: Cabir Bin Hayyan, Fuat Sezgin, history of chemistry science, scientific thought, chemical technologies

1. Introduction

History of science is a discipline that explores the relationship of science with economic, political, religious and social context. Since science is in constant interaction with social values, history of science courses have an important place in helping individuals acquire cultural, religious and moral values.[1]

The history of science also demonstrates when and under what circumstances a society can contribute to science with examples. While making these contributions, it also reveals what kind of



effort scientists have made, the methods, tools and equipment they use. It is better seen how the scientific results obtained are put into practice and what kind of changes they cause in human life. Therefore, science education presented together with the history of science and philosophy of science reveals the value and importance of science. This increases student motivation.

The philosophy adopted throughout the current curricula in our country requires reference to national values and cultural awareness.[2] When considering these references, it can be better understood that history of science becomes a very important tool for students to obtain culture and the human values. However, it is argued in the courses and curricula that the relationship between science and culture can not be established properly. The history of science and philosophy of science can not be presented adequately and accurately, especially when teaching subjects.[3]

It is a general opinion that scientists from our own history are not sufficiently included in the curriculum and textbooks. Science historian Fuat Sezgin, with his intense and comprehensive studies, revealed the contributions of Muslims to science and the scientific discoveries of Turkish-Islamic scientists with documents. Most inventions and developments in science did not start in the West/Europe with the Renaissance. Scientific studies were carried out by Muslims for in 8-16th centuries. Westerners also learned from Muslims. However, these facts have not been sufficiently reflected in the textbooks yet. In this study, the innovations brought by Cabir bin Hayyan, known as the founder of chemistry, to both scientific method and philosophy of science and chemistry science and technologies will be discussed. Scientific studies are carried out using scientific methods. For this purpose, careful observation and experiments are needed. We observe the same universe as everyone else. Each researcher/observer should be able to show what he sees to others. Since we all share and perceive the same universe and nature, we are in cooperation. We work with the collective method. With joint work, science becomes the common property of all humanity.

Jabir appears as a scientist who understood the importance of the experimental method in natural sciences and applied this method in all his studies. His statement, "We did not mention what we heard, what we were told or what we read, but only we discussed the characteristics of what we observed after experiencing it"[4] is famous. We see that medieval chemists were largely under the influence of Jabir. Many philosophers and scholars, especially Abu Bakr er-Razi (865 - 925), and Avicenna (980 - 1037), recognize him as a master. Roger Bacon (1219/1220 - 1292) with his work on systematizing experimental science referred to him as "the master of masters".[5] It is reported that Francis Bacon learned the scientific method from his works and Rene Descartes (1596-1650) imitated him.[6]

He became famous with the following statement that revealed the importance he gave to experimentation: "The first important thing in the science of chemistry is to make practical applications and conduct experiments, because a person who is not in practical application or experimental studies can not reach even the lowest levels of science. O son, do experiments so that you can acquire knowledge. The scholar delights not in the abundance of matter in his hands, but in the perfection of his experimental methods"

1.1 Purpose and Scope of the Study

In this study, we will discuss the scientific studies of Cabir bin Hayyan and the innovations he brought to scientific thought. Science historian Fuat Sezgin has done the most comprehensive study on Cabir bin Hayyan. Fuat Sezgin prepared a habilitation thesis on Câbir bin Hayyân at Frankfurt University, where he worked as an academician (1965, Institut für Geschichte der Naturwissenschaften) and was awarded the title of professor a year later.[7]

Cabir bin Hayyan, who has little information about his family, was born in 721 to a Turkish Pharmacist father. The exact date of his birth is not known and it is accepted that he died at the age of 96 in approximately 815 (H. 200). According to a rumor, his real name is Kayahan. He was born in Tus, Khorasan, and immigrated to Kufa with his family at a young age. His first teacher was Cafer-i Sadik, known as the 6th Imam. He specifically states in his own works that the source of inspiration in science is Cafer-i Sadik. Upon the Imam's death in 765, he entered the service of the Abbasids during the reign of Harun Rashid. In a short time, Cabir continued his studies at Harran University as reis-ül müderrisin, corresponding to the current rector's office.

Cabir bin Hayyan has more than 1000 books written in the fields of chemistry, medicine, physics, astronomy and philosophy. Most of his books belong to applied physics and chemistry, theoretical



chemistry. He also has books on physics, chemistry, mathematics, astronomy and the history of religions.[8]

Although Jabir's work spread to medicine, astronomy, mathematics, philosophy and other fields of science of the period, he is considered a first-degree chemist. We can say that the British historian of science Eric John Holmyard (1891-1959) was the first to determine his distinguished place in the history of chemistry and to see that he turned chemistry into a systematic experimental science. This researcher is of the opinion that in the history of sciences, Jabir has a special place not only as a chemist, but also as a physician, philosopher and astronomer. German chemist and historian of science Edmund Oscar von Lippmann (1857 - 1940) states about Jabir's place in chemistry that is equivalent to the founders of modern chemistry, such as Robert Boyle (1627-1691), Joseph Priestley (1733-1804) and Antoine Lavoisier (1743-1794). [9]

2. Jabir's Inventions and Theories

We mentioned that Fuat Sezgin did the most comprehensive studies on Cabir bin Hayyan. Sezgin summarizes Hayyan's contribution and level to the science of chemistry as follows:[10]

"Cabir learned the science of chemistry from some teachers and books from the cultural centers that joined the Islamic world. The high level reached by this science in Jabir can be easily followed from the books that have reached us. He brought the science of chemistry to a level that could only be surpassed in the 18th and 19th centuries which were based on numerical and experimental foundations, aside from the next minor contributions. Over time, he appears as a natural philosopher who expanded his field with all natural and philosophical sciences, apart from chemistry. He thought that the whole universe was based on mathematical measurements, and called it "the balance(mizan)". He believed that man could tear all the veils of secrecy of the universe, and that animals and humans could be created by chemical means."

We can summarize the scientific horizon and innovations that Jabir bin Hayyan brought to scientific thought as follows:

Cabir bin Hayyan is a scientist who established a laboratory for the first time in the history of all sciences, especially in the field of chemistry, and brought the way of observation and experimentation to scientific research for the first time. Cabir bin Hayyan surprises with the new explanation approaches he brought to the field of imagination (tahayyül), theory (nazariye) and experiment/experience. He brought up the issues that came to the fore only in the 20th century and whose reality was reached. For example, he said that scientific studies can make changes even in living things. He explained this thought with the following words: "God has given us physical laws. With these, we can make plants, animals and even humans similar to them. Allah has endowed human beings with such abilities that humans are capable of unraveling all the veils of mystery in the universe with it."

It is discussed how Cabir reached the explanations that drew the limits of genetics, which came to the fore only at the end of the 20th century. We can say that Jabir had the idea that all natural events and features could be solved by number laws and mathematics in reaching these ideas. He saw and stated that the properties of the goods are suitable for measurement and that these properties can be based on numerical ratios. The following statement is noteworthy in this regard:

"Chemical events occur in nature by the will of Allah Almighty. A chemist is a person who performs chemical reactions that occur in nature. A scientist is a person who can come up with other inventions starting from a discovered invention.

He is known as the scientist (scholar) who had the first word about the nuclear science as well as the genetics of Jabir bin Hayyan. The Greek philosophers said that the atom can not be split. On the contrary, Jabir said that the atom can also be split and that it is full of energy and mobile. We see that Hayyan uses the concept of "particle (zerre)" instead of atom[11]. He stated there will be a great energy coming out as a result of splitting the "particle". He became famous for his saying:

"Cüz-ü la yetecezza (indivisible), which the Greeks call atom, is also broken up and energy is produced from it. This is such an energy that it is not like an analogy but it is like the power of Allah. Such a smash of a bubble could, God forbid, destroy a city like Baghdad."

With his studies on the atom/element, Jabir refutes the thesis of Greek scholars that "atom is the smallest unit of matter that can not be broken apart". "There is movement in every particle, as in the



movement of stars and planets in the sky. One of the most important properties of every substance is motion. Even the smallest particles have movement, and this is their smallest feature. There is no such thing as stagnation and inactivity. Movement is the art of the unique Creator of the universe in creation.”

2.1 Cabir's Studies in Chemical Science and Industrial Chemistry

We can summarize the information about Cabir's discoveries, which are also included in Fuat Sezgin's book on Architecture, Geometry, Physics and Chemistry in Islamic Civilization, as follows: [12]

Câbir bin Hayyan used different methods such as distillation, crystallization, filtration and evaporation to separate the ores and determine which basic elements they consist of. For this purpose, he used various laboratory tools and equipment. He discovered substances such as hydrochloric acid, nitric acid, citric acid (found in lemons and oranges), and acetic acid (found in vinegar). He called substances that neutralize acids "alkaline". He discovered that a certain amount of alkali (base) is required for acids to neutralize. Along with the acids he discovered, he showed the ways of producing king's water (a mixture of nitric acid + hydrochloric acid), which dissolves gold. He introduced methods of purification of gold and mercury elements. He classified salts as water-soluble substances. The alum was purified by crystallization. He developed techniques and routes for the production and preparation of other chemicals, such as the production of mercury oxide, silver nitrate, arsenous acid, citric acid, tartaric acid, and potassium nitrate.

It is known that Câbir bin Hayyan used more than twenty laboratory instruments. He also states that chemical furnace models are included in the book named Liber florum Geberti, which is among the Latin sources about Câbir bin Hayyan and contains pictures of chemical furnaces.[13] Similar tools were made in the Museum of the History of Science and Technology in Islam and are exhibited there.[14]

To summarize, Jabir bin Hayyan is the founder of chemistry as a science based on quantitative and qualitative principles. He is the inventor of sulfuric acid, nitric acid, sodium carbonate and potassium. He studied poison and the structures of poisonous substances. He collected his experiences on this subject in his book called Kitâb-üs-Sûmum.

Dr. Sigrud Hunke (German doctor of philosophy, 1913-1999) says the following about Jabir: “Instead of the simple smelting methods of mines known up to that time, Jabir developed methods of smelting with the help of nitric acid, sulfuric acid and gold melting water that he produced himself. In this way, Jabir and those who came after him made innumerable syntheses. Of these, they obtained many other compounds, such as mercury oxide, cinnabar (former name for red lead oxide), arsenic, ammonia, silver nitrate, alum, bluestone, and caustic potash.

Jabir became a researcher who constantly pondered how his discoveries would be reflected on society. According to Cabir, nature contains all kinds of technological secrets for people. Chemistry, which is a basic science, will be useful to the extent that it is reflected in daily practices. Jabir was preparing hair dyes with his experimental works, inventing varnishes that made the fabric waterproof and protected the iron. He used manganese dioxide in glass production and iron pyrite to write in gold. He developed a type of paper that does not burn in fire and ink that can be read at night. He showed how to dye and tangle leathers with liquids from plants. The first to make and use the still is Jabir bin Hayyan. His great book on chemical properties covers topics such as weights and units of measure, chemical compounds, and dyes. These works describe the use of a water bath and a chemical oven. Cabir states that the knowledge and principles to be obtained through experimentation are certain and changeable; He knew that knowledge could be falsified or verified by research. He emphasized that knowledge is based on probabilities rather than certainties (zanni and ihtimali). He underlined that the basis of his method is 'consistent observation and solid experience'. This approach forms the basis of modern science today. Therefore Cabir is considered to be the first practitioner of the scientific method in experimental work.

2.2 Laws of Multiple Proportions and Definite Proportions (or law of constant composition)

According to Cabir, matter is in the form of particles called granules. The task of chemistry is to separate or combine these particles with each other. The particles he was talking about were the smallest elements of matter, which had long been considered indivisible, namely atoms. More generally, they are compounds or minerals.



According to Cabir bin Hayyan, the identity of each substance under investigation can be determined by the analysis method for the elements. According to him, every element or compound maintains its identity as a pure substance. The appearance of any sample as different indicates that it is mixed with a foreign substance, not the change of the substance it represents. Thus, with Cabir's work, the understanding of chemical transformation settled on a certain basis.

As it is known, the science of stoichiometry in the chemical industry is based on determining how much of each component is required for the production of a chemical in the desired amount. With the discovery of Jabir, this determination task was freed from the trial-and-error, that is intuitional or estimation

In summary, we can say that Jabir's atomic models are based on two laws. These; (I) the law of conservation of mass and (II) the laws of constant and multiple proportions. The law of constant proportions states that there is an unchanging ratio between the masses of the elements that make up a compound. Conservation of mass yields a product equal to the amount of products formed after the reaction. This is what was unknown until then.

The historian of science Leicester draws attention to the importance of these discoveries (conservation of mass and the law of constant proportions): It was so important that firstly, chemical bodies are composed of a set of basic properties in certain proportions, and contrary to the ideas of the ancient Greeks on this subject, these basic properties can be separated and be recombined in proportions and thus new objects can be formed.[15]

He expresses that the elements in the compounds are in the ratio expressed by numbers, and that the reactions are not random, but interact with each other in certain proportions and amounts:

"Properties of things (havâss) are measurable and based on numerically detectable proportions, especially in the field of chemistry. For example, if the vinegar loses its sour taste with the addition of murdeseng (lead oxide of Cabir), it means that the vinegar actually has a specific composition that can be expressed in numbers. In this example, the lead oxide's ability to alter vinegar is not accidental, on the contrary, it depends on the internal properties of the object, and this arbitrary alteration is the task of the chemical process .[16]

However, properties related to the interior of the atom, such as the number of bonds formed or broken and formed while forming a compound, began to develop in the early 20th century. Because until this century, the inside of the atom was an enigma.

2.3 Classification and Measurement-Based Chemistry

Cabir also did the first classification studies on substances. He divided the objects into three classes according to their properties. This classification guided later classifications. Jabir's classification of substances into three is very similar to today's classification:

(I) Substances that evaporate when heated, such as sulfur, arsenic, mercury and ammonium chloride (volatile ores); (II) metals such as gold, silver, lead, copper, iron; (III) substances (saltz, minerals, stones) that can not be hammered into form but can be pulverized. This view of Jabir was the beginning of today's classification of elements into metals and non-metals.

The discovery of precision measuring instruments used in the science of chemistry also belongs to Cabir. He manufactured the tools used in the experiments; also showed how to use them. A precision balance that can measure weights 6,480 times smaller than the unit of weight, which is approximately 1 kilogram, is also among the inventions of Cabir.

2.4 What Did Science Historians Say?

Science historian the book prepared and presented by Esin Kâhya [17], we have the opportunity to learn extensively about the scientific side of Câbir İbn Hayyan and his contributions to science. One of those who did extensive research on Jabir was the historian of science Eliezer Paul Kraus (1904 - 1944). He commented on his works and ideas in his book. There are also studies on Jabir by Pierre Lory, Paul Kraus, Lory, H. Corbin as well as other historians of science. Süleyman Hayri Bolay made a study that evaluated all these studies collectively.[18]

Fuat Sezgin, who made the most comprehensive studies on Jabir, says: "Muslims established the science of chemistry as an experiential science in the 2nd century A.H. The man who founded it was a great person, a great scientist, Jabir Ibn Hayyan. The books of Câbir İbni Hayyan were transferred to Europe in the 12th century, they called him Geber. This man made such progress in the science of



chemistry that we see some new movements that can only be added to it in the 18th and 19th centuries.”[19]

Chemistry historians agree that Jabir is the "Ancestor of Chemistry". Chemistry historian E. J. Holmyard (1891–1959) states that “Cabir contributed as much to chemistry as Boyle and Lavoisier.” Science historian and archaeologist M. Mayerhoff said, "The development of chemistry in Europe is based directly on Jabir."

Roger Bacon (1214-1291) says his discoveries in chemistry were more important than Joseph Priestley (1733-1804) and Antony Lavoisier (1743-1794).

Experimental studies that can be considered the basis of modern chemistry Along with Cabir bin Hayyan, Zunnûn-i Mısırî (d. 860), Raâzî (860-925), İbni Sînâ (980-1037) and Mecritî (?-1007) made important studies in the field of chemistry.

The science of chemistry began to reach Europe from the 12th century. Europeans released hundreds of books under the name of the Latin World "Geber", that is, Jabir. When we research them, we see that some of Câbir Hayyan's books have been changed or they have been made with minor additions. Science historian Henry M. Leicester's book *The Historical Background of Chemistry*, (Dover, New York 1971, p. 66.), states that Muslims' contribution to the development of chemistry is important in several respects. The author lists them as follows: First, as seen for the first time in the works of Jabir bin Hayyan, Muslims saw that chemical bodies were composed of a set of basic features in certain proportions. Contrary to the ideas of the ancient Greeks on this subject, it was discovered that these basic properties were separated and recombined in certain proportions and thus new substances were formed. These discoveries bring to chemistry both an analytical and a synthetic research method. Secondly, it is discussed that these properties exist in a certain balance/ratio (= mizan) in objects. Third, and perhaps most importantly, we can see all the elements of a modern chemistry experiment in the descriptions of the experiments. For example, there is an experiment by Mecritî on the oxidation of mercury. In this experiment, almost every element that should be in a classical chemical reaction is included: a) reactants, b) their quantities, c) reaction conditions, d) substances obtained at the end of the reaction, and e) their quantities.

When we look at Antoine Laurent Lavoisier's (1743-1794) *Introduction to the Science of Chemistry* (Troite Elementaire de Chimee) written in 1774, we see this: What a new chemical substance/compound name; nor is there information that expresses a new concept of chemistry. In this work of Lavoisier, he systematized only the chemistry knowledge that existed before him; re-explained. He gave new symbols to known chemicals and compounds.

3. Conclusion and Evaluation

As a result, Jabir used the measurement and weighing processes skillfully and brought a new perspective to the element concept and became the founder of experimental studies in chemistry. In addition, Jabir was the first to reject the thesis that the atom is indivisible. He is the inventor of waterproof paper and stainless steel. It is known to obtain aqua regia which dissolves platinum and gold. Many chemistry terms used by him for the first time are still used today. Presenting his research as a synthesis of mathematics and experiment, Jâbir introduced chemistry as the art of transforming matter. He invented many laboratory materials such as retorts, tubes, furnaces for the first time. He produced the tools that can be used in experiments. He explained how to use it.

We can say that the most important quality of Câbir bin Hayyân is empiricism. The foundations of chemistry were laid both in theory and in practice. He is known as the scholar who established the first chemistry laboratory in the world. He made precision measuring instruments used in experiments. He contributed to the definition of elements by saying that chemical substances combine in transformations (reactions) without losing their properties. He carried out studies on the way of obtaining pure elements.

Scientists who came after him accepted him as the founder and father of modern chemistry and tried to take Jabir's inventions and thought system further. Among them, we can count Abu Bakr Razi, İbn-i Sina, Maslama El-Macriti and Farabi. His works were taught in Islamic madrasahs(educational institutes) for centuries, and this science passed to the West through the Andalusian state. The issues that constituted the beginning of modern chemistry, such as the widespread use of scales and measuring instruments in experiments, the observation and consideration of numerical relations



between substances in experiments, testing and associating theories with experimental results, came to the fore again in the 18th century. In the 18th century, scientists such as Robert Boyle, Antoine Lavoisier and John Dalton reconsidered and defined the discoveries of Islamic scholars such as Jabir bin Hayyan. In fact, there is no innovation in the discoveries of these scientists. Most of these inventions are repetitions of Jabir's inventions.

4. Conclusion

As a result, with the works of Jabir, the atom and element teachings were freed from being philosophical, but began to gain a scientific, more specifically a chemical identity.

Alchemy was common at that time. Magic and Alchemy were intertwined. In a world dominated by alchemy, Jabir became the first modern chemist who tried to grasp and understand nature and natural forces with experiment-observation and reason. With these studies, magic was thrown out of positive science. In this way, the foundations of modern chemistry based on experiment and experience were laid.

Jabir draws attention with his contributions to the scientific thought system as well as his contributions to chemistry. It was his contemplation or thought life that made him great and completed his scientific life.

He did not claim that the knowledge and principles to be obtained through experimentation are certain and unchangeable. On the contrary, he specifically stated that these are presumptive and probable, as is the case with modern scientific studies. The basis of his method is "confirmed observation and solid experience".

Jabir bin Hayyan appears as a person who collects the features of scientific thought in his person. For example, he had a skeptical personality, constantly doubting the validity of experiments and analyzes in his own work. He was aware that something new would be discovered every day, and he expressed that experiments and analyzes were based on probabilities. Thus, he applied skepticism, which is the basis of scientific studies, most strongly in his life.

We see that Jabir bases his scientific experiences on skepticism and questioning, and explains his works down to the smallest detail. Of course, if he had written the same works using the technology of our age, he would have achieved modern results. Because he was using the inductive method; He was trying to find the smallest piece of matter, analyzing it and reaching the result. He also made use of the deductive method in his external observations. In other words, he came to a conclusion by examining matter from its natural state to the smallest part. Since he followed scientific methods, he did not linger with dreams and hypotheses, he produced scientific studies in the real sense and broke new ground in science.

REFERENCES AND FOOTNOTES

- [1] TARHAN, M., ALTUN, E. Sosyal bilgiler ders kitaplarında yer alan bilim tarihi konularına yönelik bir değerlendirme. Uluslararası Alan Eğitimi Dergisi, 4(2) , 111-127, 2018. <https://doi.10.32570/ijofe.485218>.
- [2] SARITAŞ, D. , Fen bilimleri dersi öğretim programında bilim- kültür-bilim tarihi ilişkisi ve uygun bir ilişki için bazı kuramsal öneriler, Eğitimde Yeni Yaklaşımlar Dergisi, Cilt 3/Sayı 1, s. 28-38, 2020.
- [3] SARITAŞ, D, Bilimin sosyo-kültürel doğası bağlamında fen bilimleri öğretmenlerinin yerli ve yabancı bilim insanları hakkındaki bilgilerinin karşılaştırılması. Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi SBE Dergisi , 9(2), 720-735, 2019. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/nevsosbilen/issue/51363/605565>
- [4] Cabir Bin Hayyan, Muhtârü Resâ'il s. 232 (İslam Ansiklopedisi, Cabir bin Hayyan maddesi)
- [5] Celal SARAÇ, C., "Câbir İbni Hayyan Üzerine", İstanbul Yüksek İslâm Enstitüsü Dergisi, I, İstanbul s. 4-15.). 1963.
- [6] Fuat Sezgin states that Roger Bacon did not establish the experimental method himself, but only presented it systematically (Science History Talks with Fuat Sezgin, p190). He says on this subject: "For Muslims, neither experience nor theory is sufficient on its own. Experience can not lead to any



scientific conclusion if it is not supported by a theory before it. It's just a stumbling block and a struggle. [...] Jabir b. For Muslim scholars such as Hayyan and Ibn al-Haytham (ibni Heysem), experience is a tool that is systematically utilized while studying. So you will use the experience systematically, not by chance, and it will be supported by a theory. "In Farabi, it is very important to imagine before theory. First you will develop it in your imagination, then the theory will emerge, then it will be supported by experience." (Science History Conversations with Fuat Sezgin, p117-118).

[7] As Fuat Sezgin works as an academician in the field of natural sciences at Frankfurt University, he carried out a habilitation study in this field.

[8] In his book al-Fihrist, Ibnu'n-Nedim states that there are two lists of Jabir's works, one big and the other small. En-Nedim tells that Câbir wrote 300 books on philosophy, 300 on mechanics and 500 on medicine, and 1300 treatises on the arts and means of war. The 112 books he wrote on alchemy frequently refer to the ancient Hellenistic alchemists. It is stated in this source that he left about 500 works in the field of chemistry. Most of these works written by Câbir were lost in time. Many European researchers published their books under the name of Câbir in order for his works to be respected. In Europe, 27 of Jabir's works were published in various Western languages. The 10 most important of these works are: Kitâbü's-Seb'în fi'l-Kimyâ, Musannefât fi İlmi'l-Kimyâ, Kitâbü'l-Havâss, Esrârü'l-Kimya, Kitâbu 1-Hâlis fi'l-Kimyâ, El - Havâssü'l-Kebir, Kitâbü'l-Kamer fi'l Kimyâ, El-Irshad fi't-Ta'bir, Risaletun fi'l Usturlab ve Amelühû, Kitâbü'l-Hudûd fi'l Kimyâ.

[9] SEZGİN, Fuat, GAS, IV, 231-269. ([CÂBİR b. HAYYÂN - TDV İslâm Ansiklopedisi \(islamansiklopedisi.org.tr\)](#)).

[10] SEZGİN, Fuat, GAS, IV, 231-269. ([CÂBİR b. HAYYÂN - TDV İslâm Ansiklopedisi \(islamansiklopedisi.org.tr\)](#)).

[11] In the Qur'an, the term "zerre", which means atom or element, is used. Islamic scholars also expressed the elements as particles. "In whatever business thou mayest be, and whatever portion thou mayest be reciting from the Qur'an,- and whatever deed ye (mankind) may be doing,- We are witnesses thereof when ye are deeply engrossed therein. Nor is hidden from thy Lord (so much as) the weight of an atom on the earth or in heaven. And not the least and not the greatest of these things but are recorded in a clear record." (Yunus, 10/61). Here, it can be thought that subatomic particles are referred to by the expression smaller than a granule, that is, smaller than an atom.

[12] SEZGİN, Fuat, "İslam Uygarlığında Mimari, Geometri, Fizik, Kimya (Saatler, Optik, Mineraller, Savaş Tekniği, Antik Objeler)", Boyut Yayıncılık, İstanbul, 2018.

[13] Pictures and explanations of some chemistry instruments developed by Jabir bin Hayyan can be found at the following link: From Alchemy to Chemistry: The Birth of Modern Chemistry | TUBITAK Science Young (tubitak.gov.tr.)

[14] The Islamic Science and Technology History Museum was opened on May 25, 2008. The museum, located in Gülhane Park in İstanbul, contains approximately 600 works. Established in the field of Islamic history of science, this museum presents the development of the history of science in different disciplines.

[15] LEICESTER, H. M., "The Historical Background of Chemistry", Dover, New York 1971, s. 66.

[16] KAHYA, Esin, "Cabir Bin Hayyan", Diyanet Yayınları, s101.

[17] KAHYA, Esin, "Modern Kimyanın Kurucusu Cabir b. Hayyan", TDV yayınevi.

[18] BOLAY, Süleyman Hayri, "[Düşünür Olarak Câbir Bin Havyan \(isamveri.org\)](#)", Felsefe Dünyası, 17, GÜZ 1995.

[19] ÖZDEN, Hacı Ömer, "Prof. Dr. Fuat Sezgin ve Geçmişten Geleceğe Türk- İslam Bilimine Katkıları", Bilimname XXXIX, 2019/3, 7-3.



AN APPLICATION OF FPFS-KNN TO ENERGY EFFICIENCY

Samet MEMİŞ

Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering and Natural Sciences, İstanbul Rumeli University, İstanbul, Türkiye
sametmemis@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0958-5872

ABSTRACT

Today, energy efficiency is an essential issue in all institutions. With the developing technology, artificial intelligence and machine learning have become widespread in every field. This study focuses on the application of machine learning to energy efficiency. FPFS-kNN, a state-of-the-art machine learning method, has been applied to the energy efficiency dataset obtained from the UCI database. A comparison with well-known machine learning methods is provided. The results manifest that FPFS-kNN outperforms the others. Finally, FPFS-kNN and the need for further research are discussed.

Keyword: Soft sets, *f*ps-matrices, Machine learning, FPFS-kNN, Energy efficiency

1. Introduction

Energy management in the business received very little attention prior to the 1970s [1]. The oil crisis of the 1970s, which raised worries about energy security and fiercely pushed for more energy-efficient technology and practices, was one of the turning points [2]. The energy utilization landscape now is very different from what it was in the early 1970s. Economic and environmental factors are driving a shift in the way we think about how we use energy, with an increased focus on reducing wasteful losses and inefficiencies [3-5].

For instance, creating appropriate key performance indicators for energy efficiency is crucial to collecting and tracking performance and advancements. To solve these concerns, the scientific community has been actively involved. The literature on the issue is extensive and covers various themes regarding industrial energy efficiency [6,7]. This is an inherently interdisciplinary field, which includes contributions from a merely technical perspective to contributions emphasizing social or economic dimensions [8].

Recently, machine learning methods have been applied in many fields and have achieved considerable success [9-15]. This study aims to apply one of the state-of-the-art machine learning methods, fuzzy parameterized fuzzy soft *k*-nearest neighbor (FPFS-kNN) [16], to energy efficiency.

Section 2 of the present paper provides the basic definitions and notations needed for the following sections. Section 3, firstly, provides the energy efficiency dataset and its properties. Then the performance metrics for the comparison are presented. Afterward, FPFS-kNN is applied to the energy efficiency dataset and compared with the well-known machine learning methods. Finally, FPFS-kNN and the need for further research are discussed.



2. Preliminaries

2.1. Fuzzy Parameterized Fuzzy Soft Matrices

This section provides the concepts of *fpfs*-sets [17] and *fpfs*-matrices [18]. Across the paper, let E be a parameter set, $F(E)$ be the set of all the fuzzy sets over E , and $\mu \in F(E)$. Here, a fuzzy set is denoted by $\{\mu^{(x)}x \mid x \in E\}$.

Definition 1. [17] Let U be a universal set, $\mu \in F(E)$, and α be a function from μ to $F(U)$. Then, the set $\{(\mu^{(x)}x, \alpha(\mu^{(x)}x)) \mid x \in E\}$, being the graphic of α , is called a fuzzy parameterized fuzzy soft set (*fpfs*-set) parameterized via E over U (or briefly over U).

From now on, the set of all the *fpfs*-sets over U is denoted by $FPPFS_E(U)$. In $FPPFS_E(U)$, since the graph(α) and α generate each other uniquely, the notations are interchangeable. Thus, as long as it leads to no confusion, α stands for an *fpfs*-set graph(α).

Example 1. Let $E = \{x_1, x_2, x_3\}$ and $U = \{u_1, u_2, u_3, u_4\}$. Then,

$$\alpha = \{(0.4x_1, \{0.4u_2, 0.7u_3, 0.4u_4\}), (0.2x_2, \{1u_1, 0.4u_2, 0.8u_3, 0.7u_4\}), (0.3x_3, \{0.4u_1, 0.8u_3, 0.5u_4\})\}$$

is an *fpfs*-set over U .

Definition 2. [18] Let $\alpha \in FPPFS_E(U)$. Then, $[a_{ij}]$ is called *fpfs*-matrix of α and is defined by

$$[a_{ij}] = \begin{bmatrix} a_{01} & a_{02} & a_{03} & \dots & a_{0n} & \dots \\ a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & a_{m3} & \dots & a_{mn} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots \end{bmatrix}$$

such that for $i \in \{0, 1, 2, \dots\}$ and $j \in \{1, 2, \dots\}$,

$$a_{ij} := \begin{cases} \mu(x_j), & i = 0 \\ \alpha(\mu^{(x_j)}x_j)(u_i), & i \neq 0 \end{cases}$$

Here, if $|U| = m - 1$ and $|E| = n$, then $[a_{ij}]$ has order $m \times n$.

Hereinafter, the set of all the *fpfs*-matrices parameterized via E over U is denoted by $FPPFS_E[U]$.

Example 2. The *fpfs*-matrix of α provided in Example 1 is as follows:

$$[a_{ij}] = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.2 & 0.3 \\ 0 & 1 & 0.4 \\ 0.4 & 0.4 & 0 \\ 0.7 & 0.8 & 0.8 \\ 0.4 & 0.7 & 0.5 \end{bmatrix}$$

2.2. Fuzzy Parameterized Fuzzy Soft k -Nearest Neighbor (FPFS- k NN) Classifier

This section firstly sums up the basic notations concerning FPFS- k NN (for more details see [16]) as follows: Across the present paper, let $D := [d_{ij}]_{m \times (n+1)}$ represents for a data matrix related to energy efficiency, and its last column contain classes of the data. Here, m and n represent the numbers of the attributes and samples in D , respectively. $(D_{test})_{m_2 \times n}$, $(D_{train})_{m_1 \times n}$, and $(C)_{m_1 \times 1}$ denote the testing

matrix, training matrix, classes of the training matrix, the derived from D , respectively, such that $m_1 + m_2 = m$. $D_{i-train}$ and D_{i-test} indicate i^{th} row of D_{train} and D_{test} , respectively. Similarly, $D_{train-j}$ and D_{test-j} describe j^{th} column of D_{train} and D_{test} , respectively. $T'_{m_2 \times 1}$ represents the predicted class matrix obtained from D_{train} and D_{test} . Let $I_m := \{1, 2, \dots, m\}$ and $I_m^* := \{0, 1, \dots, m\}$.

Definition 3. Let $[a_{ij}] \in M_{m \times n}(\mathbb{R})$. Then, feature fuzzification of $[a_{ij}]$ is defined by

$$\tilde{a}_{ij} := \begin{cases} \frac{a_{ij}}{\max_k a_{kj}}, & \max_k s_{k1} \neq 0 \\ 1, & \max_k s_{k1} = 0 \end{cases}$$

Definition 4. Let D_{train} with $m_1 \times n$ and $C_{m_1 \times 1}$ be a training matrix and the class vector of D_{train} . Then, f_w is called the PCC-based feature weight vector of D_{train} and is denoted by

$$f_{w_{1j}} := |P(D_{train-j}, C)|, \quad j \in I_n$$

Definition 5. Let $u \in \mathbb{R}^n$. Then, the vector $\hat{u} \in \mathbb{R}^n$ defined by

$$\hat{u}_i := \begin{cases} \frac{u_i - \min_{k \in I_n} \{u_k\}}{\max_{k \in I_n} \{u_k\} - \min_{k \in I_n} \{u_k\}}, & \max_{k \in I_n} \{u_k\} \neq \min_{k \in I_n} \{u_k\} \\ 1, & \max_{k \in I_n} \{u_k\} = \min_{k \in I_n} \{u_k\} \end{cases}, \quad i \in I_n$$

is called normalizing vector of u .

Definition 6. Let $D = [d_{ij}]_{m \times (n+1)}$ be a data matrix, $i \in I_m$, and $j \in I_n$. Then, the matrix $\tilde{D} = [\tilde{d}_{ij}]_{m \times n}$ defined by

$$\tilde{d}_{ij} := \begin{cases} \frac{d_{ij} - \min_{k \in I_m} \{d_{kj}\}}{\max_{k \in I_m} \{d_{kj}\} - \min_{k \in I_m} \{d_{kj}\}}, & \max_{k \in I_m} \{d_{kj}\} \neq \min_{k \in I_m} \{d_{kj}\} \\ 1, & \max_{k \in I_m} \{d_{kj}\} = \min_{k \in I_m} \{d_{kj}\} \end{cases}$$

is called column normalized matrix (feature-fuzzification matrix) of D .

Definition 7. Let $(D_{train})_{m_1 \times n}$ be a training matrix obtained from $D = [d_{ij}]_{m \times (n+1)}$. Then, the matrix $\tilde{D}_{train} = [\tilde{d}_{ij-train}]_{m_1 \times n}$ defined by

$$\tilde{d}_{ij-train} := \begin{cases} \frac{d_{ij-train} - \min_{k \in I_m} \{d_{kj}\}}{\max_{k \in I_m} \{d_{kj}\} - \min_{k \in I_m} \{d_{kj}\}}, & \max_{k \in I_m} \{d_{kj}\} \neq \min_{k \in I_m} \{d_{kj}\} \\ 1, & \max_{k \in I_m} \{d_{kj}\} = \min_{k \in I_m} \{d_{kj}\} \end{cases}, \quad i \in I_{m_1} \text{ and } j \in I_n$$

is called column normalized matrix (feature-fuzzification matrix) of D_{train} .

Definition 8. Let $(D_{test})_{m_2 \times n}$ be a training matrix obtained from $D := [d_{ij}]_{m \times (n+1)}$. Then, the matrix $\tilde{D}_{test} = [\tilde{d}_{ij-test}]_{m_2 \times n}$ defined by

$$\tilde{d}_{ij-test} := \begin{cases} \frac{d_{ij-test} - \min_{k \in I_m} \{d_{kj}\}}{\max_{k \in I_m} \{d_{kj}\} - \min_{k \in I_m} \{d_{kj}\}}, & \max_{k \in I_m} \{d_{kj}\} \neq \min_{k \in I_m} \{d_{kj}\} \\ 1, & \max_{k \in I_m} \{d_{kj}\} = \min_{k \in I_m} \{d_{kj}\} \end{cases}, \quad i \in I_{m_2} \text{ and } j \in I_n$$

is called column normalized matrix (feature-fuzzification matrix) of D_{test} .

Secondly, the flowchart of the FPFS- k NN is presented in Figure 1.

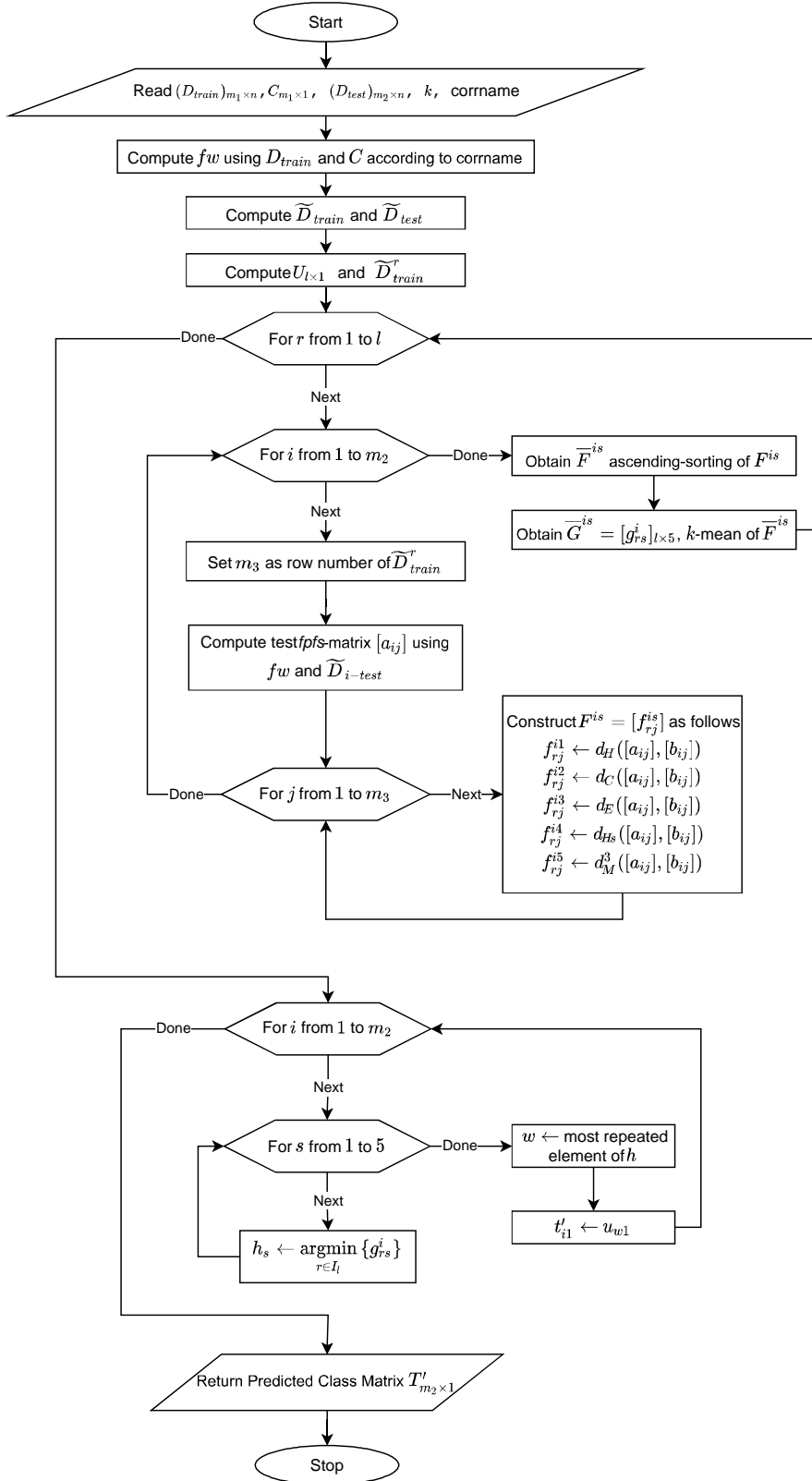


Figure 1. Flowchart of the FPFS-kNN [16]



3. An Application of FPFS-kNN to Energy Efficiency and Its Performance Comparison

3.1. Dataset

The Ecotect simulation of 12 various building shapes is used for energy analysis. The buildings' differences include, among other things, the glazing area, glazing area distribution, and orientation. The scenarios based on the aforementioned traits to produce 768 building forms have been simulated. Eight features and 768 samples comprise the dataset, which aims to predict two real-valued replies. If the answer is rounded to the closest integer, the problem can be used as a multi-class classification. The dataset parameters are Relative Compactness, Surface Area, Wall Area, Roof Area, Overall Height, Orientation, Glazing Area, and Glazing Area Distribution, and its labels are Heating Load and Cooling Load. The summary of the data is presented in Table 1.

Table 1. Details of the Energy Efficiency Dataset from UCI Machine Learning Repository [19,20]

| Number of Sample | Number of Attribute | Number of Class1 | Number of Class2 |
|------------------|---------------------|------------------|------------------|
| 768 | 8 | 37 | 38 |

In this paper, the Energy Efficiency dataset is reduced to a multi-class classification problem by choosing Heating Load label. Here, original data was designed for the regression task and multi-label classification. By choosing one class label and rounding the values of the selected label, the multi-label classification problem reduces to a multi-class classification problem.

3.2. Performance Metrics for Multi-Class Classification

In this subsection, the mathematical notations of the performance metrics, namely accuracy, sensitivity, and specificity [21], are provided to compare the machine learning approaches mentioned above. Let $D_{test} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, $T = \{T_1, T_2, \dots, T_n\}$, and $T' = \{T'_1, T'_2, \dots, T'_n\}$ be the set of n samples to be classified, the set of ground truth classes of the samples, and the set of prediction class of the samples, respectively. Then,

$$\text{Accuracy}(T, T') := \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l \frac{TP_i + TN_i}{TP_i + TN_i + FP_i + FN_i}$$

$$\text{Precision}(T, T') := \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l \frac{TP_i}{TP_i + FP_i}$$

$$\text{Recall}(T, T') := \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l \frac{TN_i}{TN_i + FN_i}$$

$$\text{F1 - Score}(T, T') := \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l \frac{TP_i}{TP_i + FP_i + FN_i}$$

such that

$$TP_i := |\{x_k : i \in T_k \wedge i \in T'_k, k \in I_n\}|$$

$$TN_i := |\{x_k : i \in T_k \wedge i \in T'_k, k \in I_n\}|$$

$$FP_i := |\{x_k : i \in T_k \wedge i \in T'_k, k \in I_n\}|$$

$$FN_i := |\{x_k : i \in T_k \wedge i \in T'_k, k \in I_n\}|$$

Here, TP , TN , FP , and FN stands for the numbers of true positive, true negative, false positive, and false negative, respectively. In addition, l is the number of the total labels, and $|\cdot|$ denotes the cardinality of a set.



3.3. Simulation Results

According to mean performance results, FPFS-kNN performs better than the others. In addition, FPFS-kNN produces 97.9503 accuracy rate, 56.5603 precision rate, 50.6345 recall rate, and 69.5325 F1-score rate, while the others' overall performance results are not over these scores rates. On the other hand, the precision, recall, and F1-score results manifest that although the dataset is not stable, FPFS-kNN achieves the best performance.

Table 2. Comparative results of FPFS-kNN with the well-known classifiers for energy efficiency

| Classifier | Settings | Accuracy | Precision | Recall | F1-Score | Running Time |
|---------------|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------|
| kNN | $k = 3$ | 96.0341 | 34.8721 | 29.3461 | 47.9597 | 0.2494 |
| SVM | kernel = RBF | 96.0430 | 40.6291 | 24.9679 | 49.6344 | 40.1944 |
| Fuzzy kNN | $k = 3$ | 95.3973 | 13.0188 | 13.2525 | 28.3360 | 0.0086 |
| Decision Tree | – | 97.9481 | 55.0903 | 49.4795 | 67.3957 | 0.0145 |
| Boosted Tree | – | 96.8805 | 53.0962 | 29.8355 | 57.5616 | 0.9077 |
| AdaBoost | – | 96.8805 | 53.0962 | 29.8355 | 57.5616 | 0.8741 |
| FPFS-kNN | $k = 3$, Pearson | 97.9503 | 56.5603 | 50.6345 | 69.5325 | 2.9401 |

Accuracy, precision, recall, and F1-score results are presented in percentage.

According to mean performance results, FPFS-kNN performs better than the others. In addition, FPFS-kNN produces 97.9503 accuracy rate, 56.5603 precision rate, 50.6345 recall rate, and 69.5325 F1-score rate, while the others' overall performance results are not over these scores rate. On the other hand, the precision, recall, and F1-score results manifest that although the dataset is not stable, FPFS-kNN achieves the best performance.

4. Conclusion and Further Research

Energy efficiency is a crucial topic in any business area. Utilizing the new technological development in energy efficiency is compulsory. Therefore, this paper applied the state-of-the-art machine learning technique, namely FPFS-kNN, to this topic. The energy efficiency dataset in the UCI machine learning repository was employed for application. Moreover, a comparative result of the FPFS-kNN with the well-known classifiers was provided. The results manifest that FPFS-kNN outperforms the others.

Furthermore, it can be observed that from the precision, recall, and F1-score results in Table 2, the considered dataset is unstable. To deal with this problem, new datasets can be collected on energy efficiency, or new mathematical tools can be utilized or developed for stabilizing the energy efficiency dataset employed in the present study. Finally, FPFS-kNN can be improved or specialized via different concepts [30-33].

REFERENCES

- [1] PETRECCA Giovanni, "Energy Conversion and Management – Principles and Application", Springer, 2014.
- [2] KAYA Azmi, KEYES, M. A., "Energy Management Technology in Pulp, Paper and Allied Industries", IFAC Proceedings Volumes, Volume 13, Number 4, pp. 609–622, 1980.
- [3] THOLLANDER Patrik, OTTOSSON Mikael, "Energy Management Practices in Swedish Energy-Intensive Industries", Journal of Cleaner Production, Volume 18, Number 12, pp. 1125–1133, 2010.
- [4] MARIMON Frederic, CASADESÚS Marti, "Reasons to Adopt ISO 50001 Energy Management System", Sustainability, Volume 9, Number 10, 1740, 2017.



- [5] JOHANSSON, Maria T., THOLLANDER Patrik, “A Review of Barriers to And Driving Forces for Improved Energy Efficiency in Swedish Industry–Recommendations for Successful in-House Energy Management”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 82, Number 1, pp. 618–628, 2018.
- [6] SCHULZE, Mike, NEHLER, Henrik, OTTOSSON, Mikael, THOLLANDER Patrik, “Energy Management in Industry – A Systematic Review of Previous Findings and an Integrative Conceptual Framework”, *J. Cleaner Prod.* 112, 3692–3708, 2016.
- [7] MAY Gökhan, STAHL Bojan, TAISCH Marco, KIRITSIS Dimitris, “Energy Management in Manufacturing: From Literature Review to a Conceptual Framework”, *Journal of Cleaner Production*, Volume 167, pp. 1464–1489, 2017.
- [8] SORRELL Steve, “Reducing Energy Demand: A Review of Issues, Challenges and Approaches”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 47, pp. 74–82, 2015.
- [9] MEMİŞ Samet, ENGİNOĞLU Serdar, “An Application of Fuzzy Parameterized Fuzzy Soft Matrices in Data Classification” *International Conferences on Science and Technology; Natural Science and Technology ICONST-NST 2019*, pp 68–77, 2019.
- [10] MEMİŞ Samet, ENGİNOĞLU Serdar, ERKAN Uğur, “A Data Classification Method in Machine Learning Based on Normalised Hamming Pseudo-Similarity of Fuzzy Parameterized Fuzzy Soft Matrices” *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, Volume 3, Special Issue, pp. 1-8, 2019.
- [11] MEMİŞ Samet, ENGİNOĞLU Serdar, ERKAN Uğur, “Numerical Data Classification via Distance-based Similarity Measures of Fuzzy Parameterized Fuzzy Soft Matrices” *IEEE Access*, Volume 9, pp. 88583-88601, 2021.
- [12] MEMİŞ Samet, ARSLAN Burak, AYDIN Tuğçe, ENGİNOĞLU Serdar, CAMCI Çetin, “Classification Method Based on Hamming Pseudo-Similarity of Intuitionistic Fuzzy Parameterized Intuitionistic Fuzzy Soft Matrices”, *Journal of New Results in Science*, Volume 10, Number 2, pp. 59–76, 2021.
- [13] MEMİŞ Samet, ENGİNOĞLU Serdar, ERKAN Uğur, “A Classification Method in Machine Learning Based on Soft Decision-Making via Fuzzy Parameterized Fuzzy Soft Matrices” *Soft Computing*, Volume 26, Number 3, pp. 1165-1180, 2022.
- [14] MEMİŞ Samet, ENGİNOĞLU Serdar, ERKAN Uğur, “A New Classification Method Using Soft Decision-Making Based on an Aggregation Operator of Fuzzy Parameterized Fuzzy Soft Matrices” *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, Volume 30, Number 3, pp. 871-890, 2022.
- [15] PARMAKSIZ Zeynep P., ARSLAN Burak, MEMİŞ Samet, ENGİNOĞLU Serdar, “Diagnosing COVID-19, Prioritizing Treatment, and Planning Vaccination Priority via Fuzzy Parameterized Fuzzy Soft Matrices”, *Journal of New Theory*,
- [16] MEMİŞ Samet, ENGİNOĞLU Serdar, ERKAN Uğur, “Fuzzy Parameterized Fuzzy Soft k -Nearest Neighbor Classifier” *Neurocomputing*, Volume 500, pp. 351-378, 2022.
- [17] ÇAĞMAN Naim, ÇITAK Filiz, ENGİNOĞLU Serdar, “Fuzzy Parameterized Fuzzy Soft Set Theory and Its Applications” *Turkish Journal of Fuzzy System*, Volume 1, Number 1, pp.21-35, 2010.
- [18] ENGİNOĞLU Serdar, ÇAĞMAN Naim, “Fuzzy Parameterized Fuzzy Soft Matrices and Their Application in Decision-Making” *TWMS Journal of Applied and Engineering Mathematics*, Volume 10, Number 4, pp. 1105-1115, 2020.
- [19] TSANASA Athanasios, XIFARAB Angeliki, “Accurate quantitative estimation of energy performance of residential buildings using statistical machine learning tools”, *Energy and Buildings*, Volume 49, pp. 560–567, 2012.
- [20] DUA Dheeru, GRAFF Casey, UCI Machine Learning Repository, University of California, Irvine, School of Information and Computer Sciences, 2019. URL: <https://archive.ics.uci.edu/ml>.
- [21] FAWCETT Tom, “An Introduction to ROC Analysis”, *Pattern Recognition Letters*, Volume 27, Number 8, pp. 861–874, 2006.
- [22] FIX Evelyn, HODGES J. L., “Discriminatory Analysis, Nonparametric Discrimination: Consistency Properties”, USAF School of Aviation Medicine Randolph Field, Texas, 1951.
- [23] COVER Thomas M., HART Peter E., “Nearest Neighbor Pattern Classification”, *IEEE Transactions on Information Theory*, Volume 13, Number 1, pp. 21–27, 1967.
- [24] CORTES Corinna, VAPNIK Vladimir, “Support-Vector Networks”, *Machine Learning*, Volume 20, pp. 273–297, 1995.



- [25] KELLER James M., GRAY Michael R., GIVENS James A., "A Fuzzy k-Nearest Neighbor Algorithm", IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Volume 15, Number 4, pp. 580–585, 1985.
- [26] BREIMAN, Leo, FRIEDMAN Jerome, OLSHEN Richard, STONE Charles, "Classification and Regression Trees", CRC Press, Wadsworth, 1998.
- [27] FRIEDMAN Jerome, "Greedy Function Approximation: A Gradient Boosting Machine", The Annals of Statistics, Volume 29, Number 5, pp. 1189–1232, 2001.
- [28] FREUND Yoav, SCHAPIRE Robert, "A Decision-Theoretic Generalization of On-Line Learning and an Application to Boosting", Journal of Computer and System Sciences, Volume 55, Number 1, pp. 119–139, 1997.
- [29] STONE M., "Cross-Validatory Choice and Assessment of Statistical Predictions", Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological), Volume 36, Number 2, pp. 111–147, 1974.
- [30] ENGİNOĞLU Serdar, ARSLAN Burak, "Intuitionistic Fuzzy Parameterized Intuitionistic Fuzzy Soft Matrices and Their Application in Decision-Making", Computational and Applied Mathematics, Volume 39, Number 4, pp. 1-20, 2020.
- [31] MEMİŞ Samet, "A Study on Picture Fuzzy Sets" 7th IFS and Contemporary Mathematics Conference, pp. 125–132, 2021.
- [32] AYDIN Tuğçe, ENGİNOĞLU Serdar, "Interval-Valued Intuitionistic Fuzzy Parameterized Interval-Valued Intuitionistic Fuzzy Soft Sets and Their Application in Decision-Making" Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, Volume 12, Number 1, pp. 1541-1558, 2021.
- [33] NAEEM Khalid, MEMİŞ Samet, "Picture Fuzzy Soft σ -Algebra and Picture Fuzzy Soft Measure and Their Applications to Multi-Criteria Decision-Making", Granular Computing, Volume 8, pp. 397–410, 2023.

CURRICULUM VITAE

Samet MEMİŞ

He was born in Aydın in 1991. He received the BSc, MSc, and PhD degrees from the Department of Mathematics, Çanakkale Onsekiz Mart University in 2014, 2016, and 2021, respectively. His doctoral dissertation was supported by TÜBİTAK within the priority area of "Artificial Intelligence and Machine Learning". He graduated from the School of Graduate Studies, Çanakkale Onsekiz Mart University (2020-2021) with the first ranked degree.

He is currently Head of Department of Computer Engineering and Vice Dean of Faculty of Engineering and Natural Sciences, İstanbul Rumeli University, İstanbul, Turkey. His research interests are Fuzzy Sets, Soft Sets, Soft Matrices, *fps*-matrices, Similarity Measure, Distance Measure, Decision-Making, Image Denoising, and Machine Learning. His more than 30 national and international articles and papers have been published. He took part in eight national scientific research projects. He serves as the area editor of Journal of New Theory.



EXPERIMENT SYSTEM SETUP FOR HEAT TRANSFER ANALYSIS OF IMMERSSED HELICAL COILED HEAT EXCHANGERS

Mustafa CANER

ORCID:0000-0002-3674-7881

Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering
Ertan BUYRUK

ORCID:0000-0002-6539-7614

Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering

ABSTRACT

As long as mankind exists, the needs of people will continue to rise. People continue to develop industrial technologies and systems to respond to those needs. Energy consumption is rising as technology develops. Therefore, the generation and transfer of energy needs to be efficient. In technical applications, heat transfer between at least two fluids at different temperatures is among the most common applications. The fluids are generally separated by a solid wall. These structures are called heat exchangers. The hot water in domestic hot water tanks is heated by hot water from a boiler or by solar energy or by using electrical heaters directly. If hot water is used as a heating source, helical tubes placed in the vessel are usually used as heat exchangers. The objective of this study is to compare coiled helical heat exchangers of various sizes and geometrical properties immersed in water. For this purpose, an experimental setup was carried out to perform the heat transfer analysis of heat exchangers with the same pitch value at different coil diameters and different pitches with the same coil diameters and heat exchangers with different geometrical properties to be manufactured from straight copper tubes.

Keyword: Heat exchanger, heat transfer, effect of design parameters, experimental setup

1. Introduction

Increased energy consumption and limited reserves of fossil fuels have led people to look for new energy sources and new energy systems. Moreover, existing energy sources should be used effectively. To this end, studies are ongoing to develop existing energy conversion technologies and new systems (Tuncer et al., 2021).

The process of heat exchange between two fluids at different temperatures and separated by a solid limit is performed in many engineering applications. The device used to perform this exchange is called a heat exchanger. Heat exchangers; It is widely used in various fields such as cooling, heating and other energy conversion systems (Than et al., 2008).

Many types of heat exchangers have been developed for use in steam power plants, chemical processing plants, building heating and air conditioning systems, and cooling units. Helical heat exchangers, one of them, due to their remarkable heat transfer performance, simple configuration and low production costs, they are used in engineering areas such as power plants, nuclear reactors, refrigeration and air conditioning systems, heat recovery systems, chemical processing and food industries (Xin vd., 1996; Bai vd., 1999; Lin ve Ebadian, 1999).

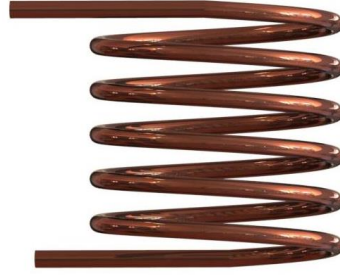


Figure 1. Three-dimensional model of the helical heat exchanger

Since the fluid flows through a coiled helical tube, the curvature of the propeller creates a centrifugal force, resulting in the development of secondary flow (Izadpanah et al., 2018). The secondary flow increases the mixing of fluids and hence the transfer of heat. There is an additional convective heat transfer mechanism perpendicular to the axial flow that is absent in straight tube heat exchangers (except those generated by buoyancy forces) (Rennie and Raghavan, 2006).

Studies were conducted by many researchers to investigate heat transfer in helical coiled heat exchangers.

Prabhanjan et al. (2004) conducted an experimental investigation of natural convection heat transfer from helical coiled tubes placed in water. The developed models are used to develop a prediction model to predict the outlet temperature of a fluid flowing through a helical coiled heat exchanger, given the inlet temperature, the water temperature in the tank, the heat exchanger dimensions and the flow rate of the fluid. Ali (2004) experimentally investigated natural convection heat transfer from vertical helical coiled tubes placed in a glycerol-water solution under steady state conditions. Mean heat transfer coefficients were obtained for the transition to laminar and turbulent natural convection. Correlations are presented to calculate the average Nusselt number in terms of the Rayleigh number, the ratio of coil diameter to tube diameter, and the number of turns. Pawar and Sunnapwar (2013) have conducted experimental research on convection heat transfer in steady state conditions in helical heat exchangers immersed in water. Three heat exchangers with different geometrical properties were used in their experiments.

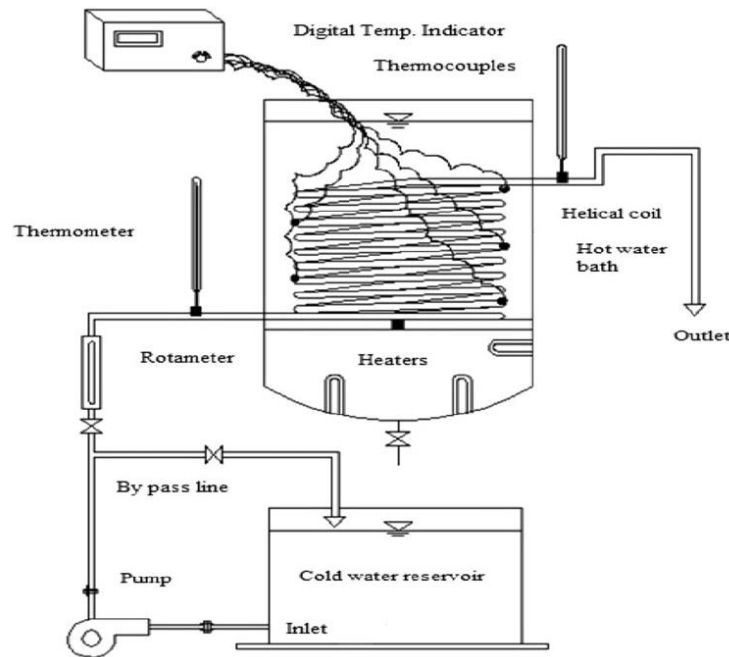


Figure 2. Experiment arrangement designed by Pawar and Sunnapwar (2013)

Amori (2014) conducted experimental studies on the thermal and hydraulic properties of heat exchangers consisting of helical tubes immersed in cold water. Two types of heat exchanger, consisting of a single vertical helical tube and a parallel-connected vertical helical tube, were tested. A significant increase in heat transfer was achieved in the triple heat exchanger in comparison with the single-tube heat exchanger. Consequently, it was concluded that it was possible to use smaller heat exchangers.

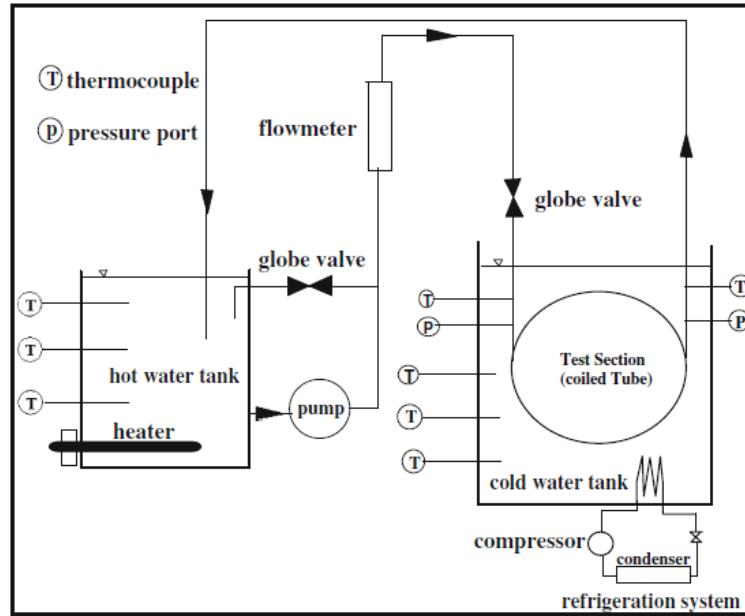


Figure 3. Experimental setup used by Amori (2014)

Izadpanah et al. (2014), experimentally investigated heat transfer by natural convection from the outer surface of a helical tube heat exchanger located inside a water storage tank. The refrigerant 134-a is circulated inside the heat exchanger. The effect of coil diameter, pitch, number of turns and flow rate on the outer Nu number was investigated. A new experimental correlation is presented for the Nu number based on the characteristic length of the Ra number and the geometric parameters of the heat exchanger.

This study aims to compare helical heat exchangers with different geometrical dimensions immersed in water. Heat exchangers with the same pitch values for different coil diameters and different pitch values for the same coil diameters are designed. Copper tube is preferred as heat exchanger material. The coil diameters and pitch values of the designed heat exchangers were determined to keep the total tube length almost same.

2. Experimental Setup

It is intended to study the thermal performance of immersed helical coil heat exchangers with different geometrical dimensions. To achieve this goal, the experimental configuration, the schematic view of which is given in Figure 4, was carried out.

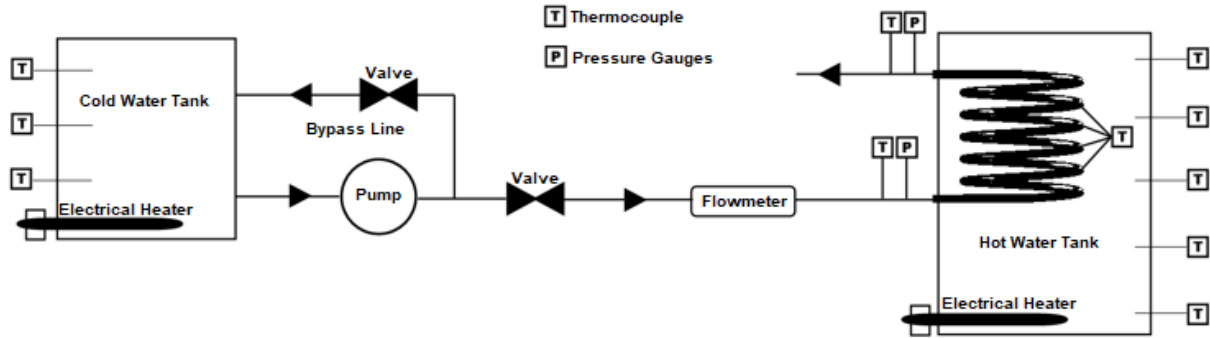


Figure 4. Schematic view of the experimental set-up to be used

In the experimental setup, a cold water tank, a heat exchanger placed in the tank, hot water tank, electrical heater, PID temperature controller, circulation pump, flowmeter, thermometers and pressure gauges were used. Below is a brief explanation of the functions of these elements.

Hot water tank: This is the tank where the hot water is stored. The heat exchanger is inserted into this tank.

Electrical heater: Integrated into the hot water tank and controlled using the PID temperature controller.

PID Temperature Controller: Used to keep the temperature of hot water constant.

Circulation Pump: It provides circulation of cold water in the system. Flow Meter: The flow rate of the water circulating in the system is measured.

Heat exchanger: Transfer of heat from hot water to cold water.

Thermometer: In addition to measuring the temperature of hot water at the inlet and outlet of the heat exchanger, they are used for temperature measurements in cold water and hot water tanks and at locations determined on the heat exchanger surface.

Pressure gauges: These are used to measure water pressure before it enters the heat exchanger and after it leaves the heat exchanger.

2.1. Heat Exchanger Models to be Used

The heat exchangers to be used in the experimental setup will be made of copper tubes of the same diameter and wall thickness, with the total tube length being almost equal. In order to examine the effect of coil diameter on heat transfer, helical heat exchangers made of straight copper tubes with the same pitch value and different coil diameters will be used. In order to investigate the effect of pitch on heat transfer, helical heat exchangers made of straight copper tubes with the same coil diameter and different pitches will be used. Figure 5 shows heat exchanger models in different geometric dimensions.

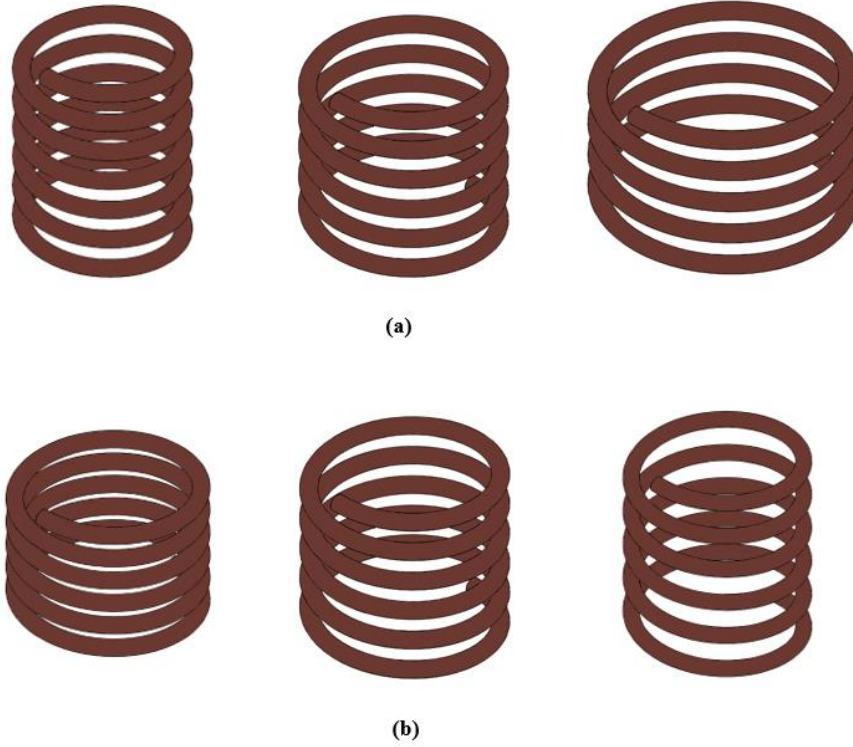


Figure 5. Heat exchangers of different sizes (a) Same pitch and different coil diameters (b) Same coil diameters and different pitch

A model of heat exchanger in straight tube will be chosen in order to compare the tubes with various geometries with straight tube. Tests of helical heat exchangers, which will be fabricated from grooved, corrugated and finned tubes in the same dimensions as this model, will be conducted.

3. Performing Tests

The tests are expected to be carried out in steady state conditions. In order to ensure steady state conditions, the temperatures of the water in the hot and cold water tanks should not change over time. The water filled into the hot water tank is heated to the test temperature using an electrical heater controlled by the PID temperature controller and kept at this temperature. Before the experiments start, the water in the cold water tank will also be brought to the temperature determined by using the PID temperature controller and its temperature is kept constant throughout the experiment. The cold water is sent to the heat exchanger by means of the circulation pump. The effect of dimensions on heat transfer and pressure drop will be revealed by using the measured and recorded data with the data logger

4. Conclusion

The objective of this study is to compare coiled helical heat exchangers of various sizes and geometrical properties immersed in water. For this purpose, an experimental setup was carried out to perform the heat transfer analysis of heat exchangers of different sizes and different geometric properties. First, the effect of dimensions on heat transfer and pressure drop will be revealed with regard to heat exchangers of different sizes in straight tubes. Thereafter, grooved, corrugated and finned tubes with the same dimensions as the straight tube will be used. Thus, the effects of the mentioned geometric properties on heat transfer and pressure drop will be obtained.



Acknowledgment

This study was supported by Sivas Cumhuriyet University Scientific Research Projects (CUBAP) with project number M-2022-828.

REFERENCES

- Ali, M. E. 2004. "Free convection heat transfer from the outer surface of vertically oriented helical coils in glycerol-water solution", *Heat and Mass Transfer/Waerme- Und Stoffuebertragung*, 40(8), 615–620.
- Amori, K.E. 2014. "Thermal and Hydraulic Characteristics of a Novel Helical Coiled Tube Used as a Heat Exchanger" *Arab J Sci Eng* 39, 4179–4186.
- Bai, B., Guo, L., Feng, Z., Chen, X. 1999. "Turbulent Heat Transfer in a Horizontal Helically Coiled Tube. Heat Transfer", *Asian Research*, 28(5), 395–403.
- Izadpanah, E., Zarei, A., Akhavan, S., Babaie Rabiee, M. 2018. "An experimental investigation of natural convection heat transfer from a helically coiled heat exchanger", *International Journal of Refrigeration*, 93, 38–46.
- Lin, C. X., Ebdian, M. A. 1999. "The effects of inlet turbulence on the development of fluid flow and heat transfer in a helically coiled pipe", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 42(4), 739–751.
- Pawar, S. S., Sunnapwar, V. K. 2013. Studies on convective heat transfer through helical coils. *Heat and Mass Transfer/Waerme- Und Stoffuebertragung*, 49(12), 1741–1754.
- Rennie, T. J., Raghavan, V. G. S. 2006. "Numerical studies of a double-pipe helical heat exchanger", *Applied Thermal Engineering*, 26(11–12), 1266–1273.
- Than, S. , Lin, K. , Mon, M. 2008. "Heat Exchanger Design". *World Academy of Science, Engineering and Technology, Open Science Index 22, International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering*, 2(10), 1151 - 1158.
- Tuncer, A. D., Sözen, A., Khanlari, A., Gürbüz, E. Y., Variyenli, H. İ. 2021. "Analysis of thermal performance of an improved shell and helically coiled heat exchanger", *Applied Thermal Engineering*, 184
- Xin, R. C., Awwad, A., Dong, Z. F., Ebdian, M. A., Soliman, H. M. 1996. "An investigation and comparative study of the pressure drop in air-water two-phase flow in vertical helicoidal pipes", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 39(4), 735–743.

CURRICULUM VITAE

Mustafa CANER

He graduated from Bozok University Mechanical Engineering Department in 2013. In 2014, he started to work as a research assistant at Sivas Cumhuriyet University, Department of Mechanical Engineering. He completed his master's degree at the same University in 2018 and continues his PhD studies.

Ertan BUYRUK

He completed his primary, secondary and high school education in Sivas. He graduated from Sivas Cumhuriyet University Mechanical Engineering Department in 1991. Between July 1992 and December 1996, he completed his PhD at the University of Liverpool, England. He got a title of Assistant Professor in 1997, Associate Professor in 2004 and Professor in 2009. Prof. Buyruk officiated as the Head of Electrical and Electronics Engineering, Industrial Engineering and Mechanical Engineering Departments. He also officiated as the Vice Dean of the Faculty of Engineering. Buyruk, who is married and has one child, speaks English. He has also served as Assistant to Rector on University - City and Industry Cooperation. Buyruk also served as the Vice Rector between 2015-2016. His main areas of study are: Heat and Mass Transfer, Thermodynamics, Fluid Mechanics, Thermal Insulation, Cold Storage, Heat Transfer in Plate Fin Heat Exchangers and Nanofluids.



DESIGN AND EXPERIMENTAL INSTALLATION OF A STANDING WAVE THERMOACOUSTIC COOLING SYSTEM

Netice DUMAN

ORCID:0000-0002-9926-8511

SCU. Sivas Technical Sciences Vocational School Machinery and Metal Technologies, Machine Program

Halil Ibrahim ACAR

ORCID:0000-0003-3951-6138

SCU. Faculty of Engineering Department of Mechanical Engineering

Ozlem KUZHEY

0000-0001-8779-7865

Dikçal Makina İmalat San.Tic.Ltd.Şti (KOCAELİ)

Şakir KUZHEY

ORCID:0000-0003-3680-0862

Kocaeli University, Karamürsel Vocational School, Department of Electronic Technologies, Mechatronics Program

SUMMARY

Due to the negative effects of the refrigerants used in conventional cooling systems on the environment, the search for alternative cooling technologies continues increasingly. Thermoacoustic cooling system (TAS) is one of these new technologies. TAS is an emerging 'green' technology based on the use of sound waves for cooling. Inert gases used as the working fluid in this system do not have any negative effects on the environment. In this study, information about TAS design was given and an experimental setup was established depending on the design parameters. Most of the work in the TAS system has focused on they stack material and geometry. Because the stack is considered to be the heart of the TAS system. Therefore, in this study, an experimental setup was set up to test different stack materials.

Keywords: Thermoacoustic cooling, Stack, Resonance tube, Acoustic Power

1. Introduction

Research on sustainable development covers two main topics: environmental protection and energy conservation. Global environmental concerns have brought with it the necessity to develop renewable energy technologies to meet the world's energy needs. TAS has the potential to be a viable alternative to replace traditional cooling and power systems due to its minimal carbon footprints. TAS devices have attracted great attention as an alternative energy technology in recent years, due to their ability to work with air or inert gases, the absence of moving components, their simplicity in their design, and their ability to work with solar energy and waste heat[1].

basic principle of thermoacoustic cooling was established by Swift [2]. The thermoacoustic effect is based on the principle that sound waves are pressure waves. Sound waves are propagated by airborne molecular collisions. TAS uses high amplitude sound waves to pump heat to relevant areas within the device via pressure oscillations. The wave in a thermoacoustic system has large pressure and velocity fluctuations across the stack where heat is given to the released gas at high pressure and removed at low pressure. Depending on the changes in temperature, as the pressure of the gas increases, the temperature of the gas also increases.

The thermoacoustic principle has been the focus of attention of researchers for over two hundred years. Heat-induced acoustic oscillations were first observed by Byron Higgins in 1777 , but the main



theoretical work was established by a series of papers submitted by Rott and co-researchers from 1969 to 1980 [3].

In 1986, Hofler [4] introduced the first successful TAS with a cooling power of 6 W.

Minner et al. [5], Reid and Swift [6], Tijani et al. [7]. Names such as Hariharan [8] have done studies showing that the working fluid causes a significant cooling effect as a result of oscillation at the resonance frequency.

Terdi [9] experimentally investigated the TAS system using photographic film wrapped with nylon fishing line as the stack material.

Girgin [10] used air and helium as the working fluid in his experimental study and compared the cooling effects on the stack material of different sizes.

Somasekhar et al. [11] experimentally investigated the TAS performance of different sizes of resonance tubes in their system.

Teja et al. [12] conducted experiments using helium as the working fluid, leather as stack material.

Most of the research has been done in the United States, others at universities in Europe and China.

2. Design of Thermoacoustic Cooler

TAS design parameters can be divided into three groups. As seen in Table 1, the first group includes the geometric parameters, the second group includes the thermophysical properties of the working fluid and stack material, and the third group includes the operating parameters.

Table 1 . Parameters that form the basis of thermoacoustics

| Geometric Parameters | Material Specific Parameters | Operating Parameters |
|-------------------------|---|---|
| λ - wavelength | Working Fluid | \dot{Q}_c -Cooling power |
| L_s - stack length | K- Thermal Conductivity | ΔT_m -Desired temperature range |
| x_c - center of stack | α - speed of sound | T_m - Average operating temperature |
| $2y_0$ - stack space | μ -Dynamic viscosity | P_m -Average pressure |
| $2l$ - Plate thickness | γ - Ratio of isobaric and isochoric specific heats | P_r - Pressure amplitude |
| A-Cross-sectional area | β - Coefficient of thermal expansion | f - Frequency |
| | Stack Material | |
| | ρ_s -intensity | |
| | c_s - specific heat | |
| | K_s -Thermal conductivity | |

The schematic view of the standing wave TAS system is shown in figure 1. The TAS system consists of four basic components : acoustic source, stack, resonance tube and heat exchanger [4].

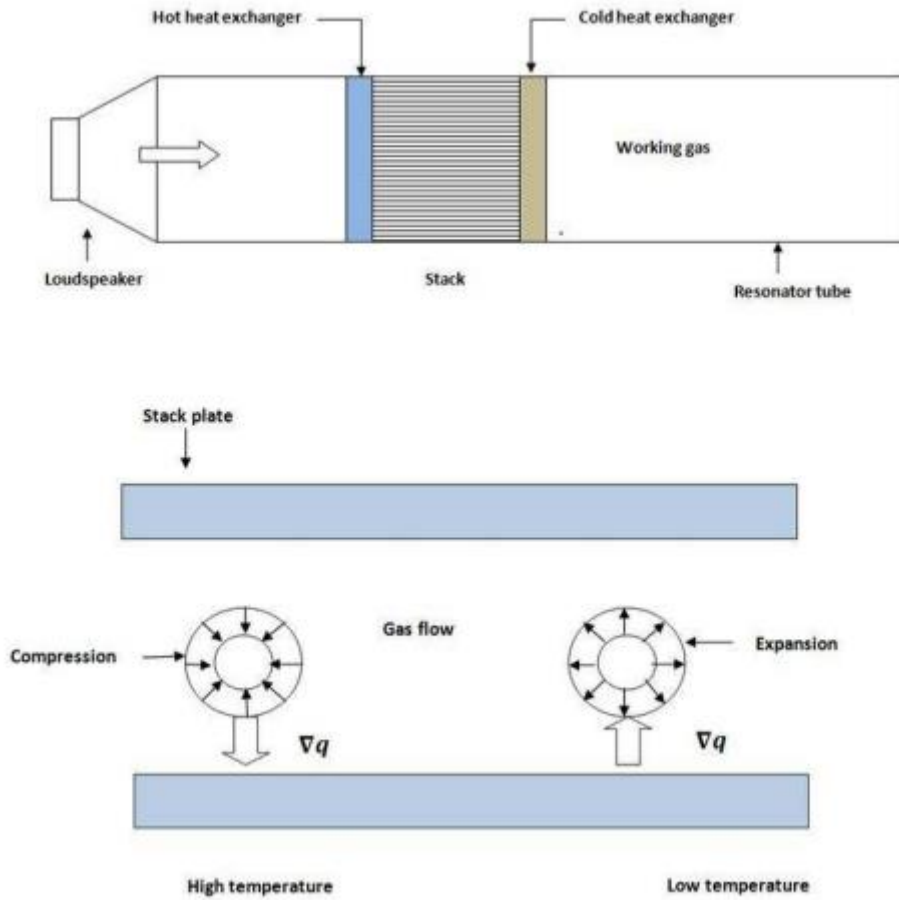


Figure 2. Schematic view of the TAS system and Thermoacoustic processes [13].

2.1. Acoustic Source

In a TAS system, the loudspeaker shown in figure 2 is placed at the end of the resonance tube as an acoustic power source to generate a standing sound wave at the resonant frequency.



Figure 2. Acoustic source: speaker

2.2. Resonance Tube

Resonance tube in the experimental setup [15,16]. PVC pipe has been preferred because of the smoothness of its inner surface and its insulating properties. The resonance tube length is chosen as $\lambda / 4$ [2,16]. Accordingly, the operating frequency was calculated as seen in equation 4.1. While calculating the length of the resonance tube, the frequency of the sound wave to be used in the system is also determined.

$$\lambda = \alpha / f \quad (4.1)$$

$$\alpha \cong 340 \text{ m/s} \quad (4.2)$$



Figure 3. PVC pipe used as resonance tube.

Loudspeaker with the resonance tube is made using a conical piece as shown in Figure 4.



Figure 4. The combination of the resonance tube and the speaker with the conical part.

Sound insulation of the speaker is made using a wooden box as seen in Figure 5.



Figure 5. Packing the speaker in the box

2.3. Stack

The most important element in a TAS system is the stack, which is considered the heart of the system. Therefore, stack properties have a significant impact on the performance of TAS. Mylar and celcor are generally used as stack materials [17]. In addition, other materials such as fiberglass [5,18], glass [19] aluminum [19,20], copper [19], stainless steel [21] and RVC [19,20] have been investigated.

Stack material should have good heat storage capacity and low thermal conductivity. Thus, the heat transfer in the heap will be reduced and more heat energy will be stored.

Figure 6 shows the stack materials used in the TAS system.

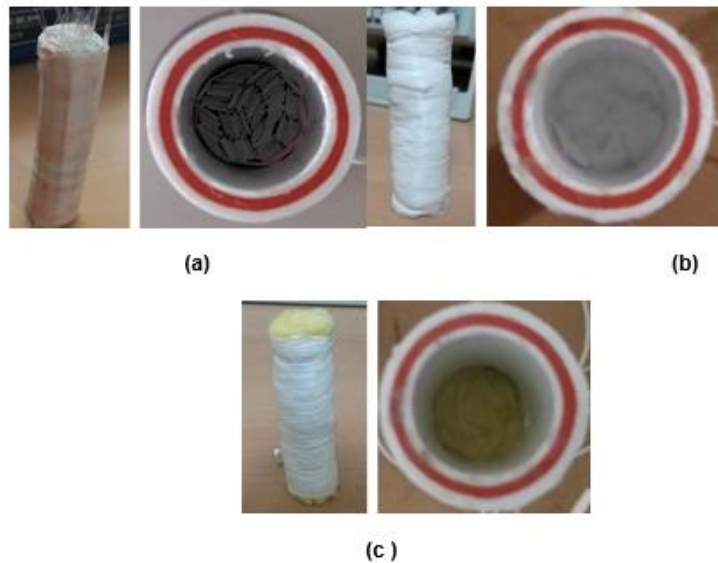


Figure 6. Stack material used in the system (a) Mylar (b) Cotton (c) Glass Wool

Three different stack materials are used in the system. As can be seen in Figure 6 (a), mylar with a thermal conductivity coefficient of 0.16 W/mK and a thickness of 75 microns was cut into parallel plates of approximately 0.3 cm in width and 8 cm in length, and 0.3 mm diameter fishing line is used to create a space. Thus, the working fluid is provided to move freely in the stack.

As seen in Figure 6 (b), the heat conduction coefficient is 0.07 W/ mK , the thickness is wrapped in a 50 micron cotton resonance tube diameter, cut into 8 cm length and wrapped with a tape that functions as a stack holder, and made ready for experimental study.

As seen in Figure 6 (c), the heat conduction coefficient of 0.04W/ mK is wrapped around the diameter of a 180-micron thick glass wool resonance tube and cut in 8 cm length and wrapped with a tape that functions as a stack holder, and made ready for the experimental study.

Literature that the distance of the stack center location from the acoustic power supply end should be $\lambda/8 \leq \text{stack center} (x_c) \leq \lambda/20$. In this study, the distance of the center of the stack from the acoustic power source is chosen as 12 cm. The longer the stack length increases the acoustic power. [22,23]. However, increasing the length increases the acoustic impedance and pressure drop, especially for a dense stack. Therefore, it is expected that an increase in heap length will cause a decrease in COP. Many studies seem to prove this finding.

[5,24,25,26]. Considering the system performance, the length of the stack was chosen as 8 cm [27].

2. 4 Working Fluids

Inert gases have been identified as the best working fluid for TAS [20,28]. Therefore, air was chosen as the working fluid in the system.

2. 5 Temperature Meter

As seen in Figure 7, temperature measurements are made using two temperature meters connected to the cold and hot ends of the stack.



Figure 7. Connection of temperature meters to the resonance tube

2.6. Signal Generator and Operational Amplifier

The signal source and operational amplifier, oscilloscope and voltmeter used to generate sine wave in the system are shown in Figure 8.

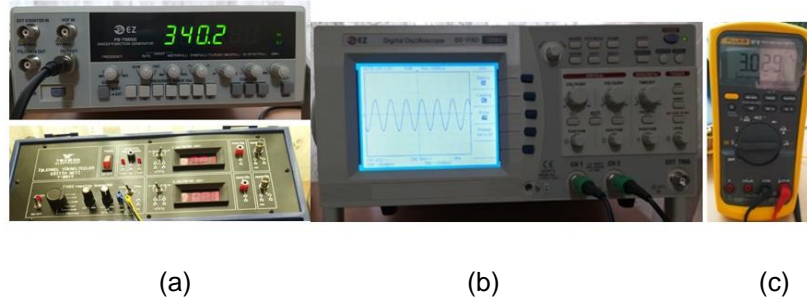
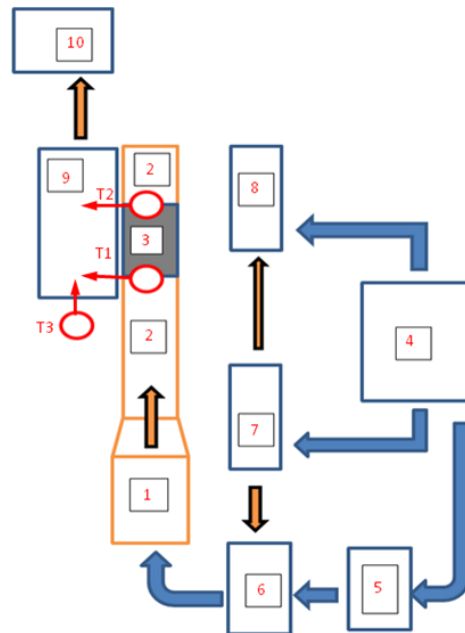


Figure 8. (a) signal generator and operational amplifier (b) Oscilloscope (c) Voltmeter used in the experimental study

2.7 Assembly of Experimental Equipment

The experimental setup and schematic prepared by assembling the elements used in the experiment are shown in Figure 9.



| No. | System Elements |
|-----|-----------------------|
| one | Speaker |
| 2 | resonance tube |
| 3 | Stack |
| 4 | Power source |
| 5 | DC 12V |
| 6 | operational amplifier |
| 7 | Signal Generator |
| 8 | Oscilloscope |
| 9 | datalogger |
| 10 | Computer |
| T1 | T _{SIC} |
| T2 | T _{COOL} |
| T3 | T _{OR} |

Figure 9. Experiment setup and schematic representation



Table 2. Parameters used in the experimental study

| Parameter | studied value |
|-------------------------|------------------------------|
| Wave Structure | Sinus |
| Resonance tube material | PVC |
| Resonance tube length | 0.25m |
| Resonance tube diameter | 23mm |
| Resonant frequency | 340Hz |
| Stack material | Mylar, glass wool and cotton |
| Stack length | 8 cm |
| Working fluid | Weather |

3. Results and Discussion

In this study, TAS design has been built and experimental setup was prepared in accordance with the design parameters. While designing the experimental setup, the necessary parameters are investigated and the studies are given in the literature section. Experiments are carried out using different stack materials in the prepared setup. Three stack materials with different heat transmission coefficients, namely mylar, cotton and glass wool, are used in the setup. As a result of the measurements made every ten minutes with a temperature meter from the hot and cold ends of the stack material, it is seen that there was an increase in temperature at one end of the stack and a decrease in temperature at the other end. When these temperature differences are compared, it is observed that the highest temperature difference occurs when mylar stack material is used. It has been observed that the results obtained for the Mylar stack material are in agreement with the literature. In this study, glass wool and cotton, which have not been studied before in the literature, are also tested as stack materials. Since the results of the experiments with these materials could not be found in the relevant literature, a compatibility review with the literature could not be made.

Prototype development costs are quite high because performance is relatively low in acoustic cooling systems. For now, it is very difficult to predict whether thermoacoustic coolers will be used commercially. However, as efforts to improve performance in this area progress, the possibility of thermoacoustic coolers to compete with conventional coolers will increase.

RESOURCES

- [1] Bhatti , U.N. , Bashmal , S., Khan , S., & Ben - Mansour , R. (2023, February). numerical modeling of standing wave thermoacoustic devices –a review . International Journal of Refrigeration . 146, 47-62 <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2022.09.024>
- [2] Alcock , A. C. , Tartibu , LK, & Jen , TC (2017, August). design and construction of a thermoacoustic driven thermoacoustic refrigerator . International Conference on the industrial and Commercial Use of Energy (ICUE) (pp . 1-7). IEEE. DOI: 10.23919/ICUE.2017.8103430
- [3] Zolpakar , N.A. , Mohd-Ghazali , N., & Al- Fawal , MH (2016). Performance analysis of the standing wave thermoacoustic refrigerator : A review . renewable and sustainability energy reviews , 54, 626-634. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.018>
- [4] Hofler , T. J. (1986). Thermoacoustic Refrigerator Design and Performance (Heat Engine, Resonator , Microphone). University of California, San Diego.
- [5] Minner , B.L. , Braun , JE, & Mongeau , L. (1996). Optimizing the design of a thermoacoustic refrigerator .: Proceedings of the international refrigeration and air conditioning conference . 343
- [6] Reid , R. S. , & Swift, GW (2000). Experiments with a flow-through thermoacoustic refrigerator . the Journal of the Acoustical Society of America , 108(6), 2835-2842.



- [7] Tijani , MEH ., Zeegers , JCH, & De Waele , ATAM (2002). construction and performance of a thermoacoustic refrigerator . *Cryogenics* , 42(1), 59-66.
- [8] Hariharan , N.M. , Sivashanmugam , P., & Kasthuriangan , S. (2013). experimental investigation of a thermoacoustic refrigerator driven by a standing wave twin thermoacoustic prime mover . *International journal of refrigeration* , 36(8), 2420-2425.
- [9] Terdi, M. (2006). Cooling with sound energy, Mimar Sinan Fine Arts University. Graduate School of Natural and Applied Sciences, (Master's Thesis). 13s, Istanbul.
- [10] Girgin, İ ., Türker, M. (2012). Thermoacoustic systems as an alternative to conventional coolers , *Journal of Naval Science and Engineering* , 8(1), 14-32.
- [11] Somasekhar , T. , & Kishore , N. (2017). Thermo Acoustic refrigeration . *IOSR J Mech Civil Eng* , 5, 58-63.
- [12] Teja , T. and Kumar, V. (2017) Design and fabrication of thermo acoustics refrigerator , *International Journal of Advances in Engineering & Technology (IJAET)* , 10(3), 309-317.
- [13] Bansod , P. C. , & Raut , AS (2017). Review on Thermoacoustic refrigeration . *International Journal of Innovations in Engineering and Science* , 2(3), 18-24.
- [14] Wetzel M, Herman C (1997) Design optimization of the moacoustic refrigerators . *Int J Refrig* 20.3–21. [https://doi.org/10.1016/S0140-7007\(96\)00064-3](https://doi.org/10.1016/S0140-7007(96)00064-3)
- [15] Wheatley JC, Swift GW, Migliori A, Hofler TJ, (1989) The United States Of America As Represented By the United States Department of Energy ,. heat-driven acoustic having a cooling engine no moving parts . US Patent 4858441
- [16] Gokay, I. & Karabacak, R. (2021). experimental investigation of the effect of different waveforms on heat transfer in a thermoacoustic cooler _ *International Journal of Refrigeration* , 129, 259-266. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2021.04.015>
- [17] Ibrahim , A. , Omar , H., & Abdel -Rahman, E. (2011, June). constraints and challenges in the development of loudspeaker-driven thermoacoustic refrigerator . In 18th International Congress on Sound & Vibration , ICSV18, Rio de Janeiro, Brazil (pp . 10-14).
- [18] Hiller , R. A. , & Swift, GW (2000). Condensation in a steady-flow thermoacoustic refrigerator . *the Journal of the Acoustical Society of America* , 108(4), 1521-1527. <https://doi.org/10.1121/1.1289664>
- [19] Tasnim, S. H. , Mahmud , S., & Fraser , RA (2011, October). Second law analysis of porous thermoacoustic stack systems . *Applied thermal engineering* , 31(14-15), 2301-2311. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2011.03.028>
- [20] Tasnim, S. H. , Mahmud , S., & Fraser , RA (2012, July). Effects of variation in working fluids and operating conditions on the performance of a thermoacoustic refrigerator . *International communications in heat and mass transfer* , 39(6), 762-768. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2012.04.013>
- [21] Piccolo , A. (2013, march). Optimization of thermoacoustic refrigerators using second law analysis . *Applied energy* , 103, 358-367. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.09.044>
- [22] Swift, GW (2003). Thermoacoustics : A unifying perspective for some engines and refrigerators . *the Journal of the Acoustical Society of America* 113, 2379. doi : 10.1121/1.1561492 [75] Swift GW.
- [23] Tijani , MEH (2001). Loudspeaker-driven thermo-acoustic refrigeration _ [Phd Thesis 1 (Research TU/e / Graduation TU/e), Applied Physics]. Technische University of Eindhoven. <https://doi.org/10.6100/IR547542>
- [24] Tasnim, S. , Mahmud , S., & Fraser , R. (2011). Measurements of thermal field at the stack extremities of a standing wave thermoacoustic heat pump . *Frontiers in Heat and Mass Transfer (FHMT)* , 2 (1). DOI: <http://dx.doi.org/10.5098/hmt.v2.1.3006>
- [25] CHEN, B. , Abakr , YA, & Al- Atabi , M. (2013, June). Investigation of an atmospheric pressure thermoacoustic cooling system by varying its operating frequency _ *Journal of Engineering Science and Technology* , 8 (3), 364-371.
- [26] Rao , B. A. , Kumar, MP, & Rao , DS (2013). design and experimental study of small scale fabricated thermo-acoustic Refrigerator . *International Journal of Engineering trends and Technology (IJETT)* , 4(9), 3830-3836.
- [27] Tijani , M. (2001). Loudspeaker-driven thermo-acoustic refrigeration _ Eindhoven University of Technology , 98p, Eindhoven. (10.6100/IR547542)
- [28] Bammann , T.C. , Howard , CQ, & Cazzolato , BS (2005, November). Review of flow-through design in thermoacoustic refrigeration Of Proceedings . of ACOUSTICS (pp . 9-11).



CURRICULUM VITAE

Netice DUMAN

She graduated from Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering in 1991. She received the title of Master of Engineering in 2010 and Doctor in 2018 from the same University. She worked as an assembly engineer in a private company between 1991-1993 and as a lecturer between 1993-2018. Since 2018, she has been working in SCU SİVAS TECHNICAL SCIENCES Vocational School Machinery and Metal Technologies Department Machinery Program. She works as a faculty member and is also the head of the department. She works on Energy, Thermodynamics, Renewable Energy Resources and Energy management.

Halil İbrahim ACAR

He was born in Sivas in 1958. He graduated from Sakarya DMMO in 1981. He started to work at Cumhuriyet University Sivas Vocational School . Associate Professor in 1997 and Prof. in 2003. got the title. He is still the head of the Department of Mechanical Engineering at Cumhuriyet University. He is married and has two children. He speaks English and German. Study Subjects: Thermodynamics and Heat Technique, New and Renewable Energy Technologies, Heating, Cooling, Air Conditioning applications.

Özlem KUZHEY

She was born in Samsun in 1982. She completed his primary and secondary education in the same city. She completed his high school education at Samsun National Lottery Anatolian High School. She completed her undergraduate degree at Süleyman Demirel University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering. She completed his master's degree at Sivas Cumhuriyet University. Between 2007-2010, Maksan Makina San.ve Tic.Ltd.Şti . (ANKARA), Between 2010-2012 Demirer Hydraulic Industry Tic.Ltd.Şti . (ANKARA), between 2013-2014, she had private sector experience in Gir-San Mak. and Light Weapons Industry and Trade Inc. (GİRESUN). She is still working as a Purchasing and Quality Control Engineer in Dikçal Makina İmalat San.Tic.Ltd (KOCAELİ).

Şakir KUZHEY

He was born in Bursa in 1985; He completed his primary and secondary education in the same city. He graduated from Bursa Mimar Sinan Technical High School, Electrical Department in 2002. He started his education at Gazi University, Faculty of Technical Education, Department of Electrical Education in 2003 and graduated with honors in 2008. Between 2008 and 2012, he had private sector experience in the field of Hydraulics and Pneumatics . In 2012, he started to work as a Lecturer in the Department of Electricity and Energy, Electricity Program at Giresun University, Şebinkarahisar Technical Sciences Vocational School . In 2017, he completed his Master's Degree at Gazi University, Institute of Science and Technology, Department of Electrical Education. He graduated from Atatürk University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering in 2018. In 2019, he started his PhD education at Karabuk University, Graduate Education Institute, Department of Electrical and Electronics Engineering. He started to work in Kocaeli University, Karamürsel Vocational School, Department of Electronic Technologies, Mechatronics Program in 2021 and still continues to work in the same place.



ENERGY SAVING OPPORTUNITIES AND BUMPER ALLOCATION IN PRODUCTION LINES

Hatice GUNER
Istanbul Rumeli University
ORCID: [0000-0002-4221-9495](https://orcid.org/0000-0002-4221-9495)

SUMMARY

Unexpected breakdowns of machines in production lines and different processing speeds cause delays and blockages in the production flow. In such cases, buffer stocks between the machines allow production to flow smoothly. For this reason, it is very important to adjust the capacity of the buffers of the production line for production efficiency. On the other hand, adequate buffer levels allow for energy savings by shutting down some of the machines during starvation and blocking periods. Online production data such as machine breakdowns, buffer levels, machine idle states can be used to calculate energy saving opportunity windows. In this study, it is explained with a mathematical model that the desired production efficiency can be obtained while preventing unnecessary energy consumption by adjusting the intermediate buffer capacities in the production lines.

Keywords: Sustainable production systems, production line, buffer stock, buffer stock allocation problem, energy consumption, production rate

1. Introduction

Developments in technology and environmental problems arising with industrialization have made it necessary to design environmentally friendly systems and to apply environmental approaches in production. One of the biggest expenses in production systems is energy expenditures. Manufacturers have now put energy efficiency on their agenda for reasons such as legal regulations, stakeholder pressures, ecological awareness and to provide competitive advantage. Accordingly, it is necessary to search for ways to save energy without affecting product quality and production efficiency.

Production lines consume about 75% of the energy used in production facilities [1]. Production lines are frequently encountered in facilities where mass production is carried out such as automobile production, food industry, electronic goods production. A production line consists of an array of machines that perform the necessary processes to produce the product, with buffer stocks between the machines for a smooth product flow. However, due to different machine speeds and unexpected machine breakdowns, blockages in the production line or waiting for the part may occur from time to time. In other words, when there are no parts to be processed in the front buffer stock, the machine goes into a waiting (empty) state, and when the next buffer stock is completely full, the machine goes into a blocked (empty) state, and these waiting and clogging situations in the line make it difficult to reach the desired production quantities. These resulting production losses can be mitigated by increasing buffer stock capacities. In such a case, factors such as investment costs in buffer stocks and limited stock space appear as obstacles. The problem with determining the optimal stock capacities between stations is known in the literature as the Buffer Stock Allocation Problem (BAP). In the BAP problem, the aim is to determine the buffer capacities that maximize the production efficiency while keeping the total buffer stock capacity constant. The BAP problem is an NP-hard combinatorial optimization problem. Due to the importance and difficulty of the subject, it is a subject that has attracted the attention of researchers for the last 50 years. In order to examine the studies on the subject, the literature review of Weiss et al. [2] can be consulted.

Recently, due to increasing fuel prices and global competition, manufacturing companies have sought a method to reduce costs. With the increase in sustainable awareness, the issue of energy saving in production has come to the fore. When buffer stock levels rise above a certain level during production, it is possible to shut down some machines to save energy. These times, called window of opportunity/time for energy saving, are calculated from online production data. This strategy, developed by Brundage et al . [3] to maximize energy savings in mass production lines, allows certain machines to be shut down for energy savings without adversely affecting production efficiency. The authors presented a set of performance indicators to measure energy efficiency and identify the least energy efficient machine in the line.

In this study, it is explained with a mathematical model that the desired production efficiency can be obtained while preventing unnecessary energy consumption by adjusting the intermediate stock capacities placed between the machines in the production lines. Information is given about the methods that can be used in the calculation and optimization of performance values.

In the second part of the study, the mathematical model of the buffer stock allocation problem updated with energy saving is shown and the concept of the energy saving window of opportunity is explained. In the fourth chapter, the Simultaneous Perturbation Stochastic Approach (SPSA) is proposed to determine the optimal buffer capacities that provide energy savings while achieving high production quantities, and the contributions of the study are summarized in the conclusion part.

2. Problem Description

The buffer stock allocation problem (BAP) is one of the most important problems encountered in the design of mass production lines. The purpose of the problem is to determine the buffer stock capacities placed between the machines. The buffers minimize the waiting and blockages of the machines and ensure that the desired production quantities are reached. However, designing optimum capacities is an important consideration due to the initial investment costs in buffer stocks and the costs associated with buffer storage [4].

Figure 1 illustrates a serial production line with k -machine, $k-1$ intermediate stock.

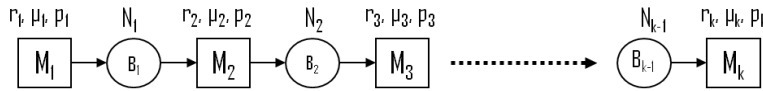


Figure 1 Production Line

The notations used on the figure are as follows:

M_i , machine i , $i = 1, \dots, k$

B_j , buffer j , $j = 1, \dots, k - 1$

μ_i , the processing rate of the machine M_i

p_i , the failure rate of the machine M_i

r_i , repair rate of the machine M_i

N_j , the capacity of the buffer B_j

In this study, the objective function of the traditional BAP problem has been expanded and made multi-purpose. Accordingly, the production rate of the line, PR , is maximized and the energy consumption, E , is minimized.

$$\max_{N=(N_1, N_2, \dots, N_{k-1})} z(N) = \frac{PR(N)}{PR_{max}} - \frac{E(N)}{E_{max}} \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^{K-1} N_j \leq N_{toplam} \quad j = 1, \dots, k - 1 \quad (2)$$



$$N_j \geq 0 \quad j = 1, \dots, k - 1$$

In objective function (1), both values are normalized by dividing by the maximum values in order to achieve both objectives at the same time. In formula (2), the total storage area $N_{toplama}$ is given as a constraint. The following section describes how adequate buffer levels and machine breakdowns are turned into opportunities.

2. 1. Opportunity Windows for Energy Savings

In production lines, the slowest machine on the line, that is, the bottleneck, determines the amount of production per unit time. Because the bottleneck causes the upline to become clogged when the buffers above the machine are full, and the downline to wait empty when the buffers below are empty. The main thing here is to prevent the bottleneck machine from waiting and clogging in order to avoid loss of production.

It even causes loss of production when machine breakdowns occur, but this can be turned into an advantage in terms of energy savings. Increasing buffer levels above a certain threshold makes it possible for some machines to be turned off to save energy. Opportunity to save energy is the window. At these times, the energy consumption performance values of the machines developed by Brundage et al . [3] can be calculated and the machines that cause the most energy consumption can be temporarily turned off. In the following section, the production amount per unit time and energy consumption measurement methods will be discussed.

3. Performance Evaluation

Machine breakdown frequencies, repair speeds, processing speeds and buffer stock capacities are factors that make it difficult to estimate production volume. Decomposition and Aggregation analytical approach methods or simulation techniques have been used in the literature to estimate the production rate, thus the amount of product produced per unit time. The use of simulation technique is proposed for this study. Sensor data from the production line can be used to estimate energy consumption.

4. Finding Optimal Buffer Capacities: Simultaneous Perturbation Stochastic Approximation

The simulation model is run with the available parameters (operation time, repair time, deterioration rate and intermediate stock capacity) and the product amount per unit time, PR , is calculated. Product estimation is performed repeatedly by changing buffer capacities with the Simultaneous Perturbation Stochastic Approach (SPSA) developed by Spall [2]. The buffer capacity values that provide the most production and the lowest energy consumption are determined as optimal values.

The SPSA method, which will be used to find the optimal values of buffer stock capacities, gives results as accurate as the traditional Finite Difference Stochastic Approach (FDSA) and reaches optimal faster than FDSA because it changes more than one parameter at once. We can list the reasons for choosing SPSA as follows:

- Noisy aim functions can be used.
- Locally and globally converge.
- Fewer coefficients need to be determined compared to methods such as genetic algorithm and simulated annealing.
- Requires less measurement than traditional stochastic approaches.

$$\frac{\text{Number of measurements of } z(N) \text{ in SPSA}}{\text{Number of measurements of } z(N) \text{ in FDSA}} = \frac{2 \text{ observations per iteration}}{2p \text{ observations per iteration}} \rightarrow \frac{1}{p} \quad (3)$$

Here p shows the number of parameters. Optimal buffer capacities are obtained with the values that make the derivative of the problem's objective function $z(N)$ zero.



$$g(N^*) = \left. \frac{dz(N)}{dN} \right|_{N=N^*} = 0 \quad (4)$$

However, since the value of the z function cannot be calculated directly, the gradient values are estimated with SPSA. When estimating gradients, we will need two measurements of the amount of product we will obtain from the simulation in each iteration and the energy consumption amounts obtained from the sensor data. If we show it with the observation of the objective function, $y(N, \omega)$ the expected value of this observation will also be equal to the real objective function, $z(N) = E[y(N, \omega)]$. It represents the noise, ω . We can estimate the gradients using the following equation.

$$\hat{g}_t(\hat{N}_t) = -\frac{y(N^+) - y(N^-)}{2c_t\Delta_t} \quad (5)$$
$$N^+ = \hat{N}_t + c_t\Delta_t$$
$$N^- = \hat{N}_t - c_t\Delta_t$$

Here, it denotes t the iteration number, c_t percent perturbation coefficient, and Δ_t represents the perturbation vector. The elements of Δ_t are Bernoulli variables, take the value 1 and -1 with equal probability, c_t are greater than zero, and t the value approaches zero as it approaches infinity, $c_t > 0$, $c_t \rightarrow 0$ as $t \rightarrow \infty$. Gradient estimates are used as the parameters are updated at each iteration. The design parameters are updated with (6) if they have no constraints, and with (7) if they have constraints.

$$\hat{N}_{t+1} = \hat{N}_t - a_t \hat{g}_t(\hat{N}_t) \quad (6)$$

$$\hat{N}_{t+1} = P_N(\hat{N}_t - a_t \hat{g}_t(\hat{N}_t)) \quad (7)$$

P_N is the projection function that reflects the null values to the nearest limit value. a_t is a sequence of increments and converges to zero as t increases, $a_t > 0$, $a_t \rightarrow 0$ as $t \rightarrow \infty$.

5. Conclusion

The design of buffer capacities in production lines is very important in terms of production throughput. The recent increase in environmental awareness and energy costs necessitates the development of new energy-saving strategies in production. Adequate buffer levels allow energy savings by shutting down some machines during starvations and blockages. In this study, it is explained with a mathematical model that the desired production efficiency can be obtained while preventing unnecessary energy consumption by adjusting the intermediate stock capacities placed between the machines in the production lines. Information is given about the methods that can be used in the calculation and optimization of performance values.

RESOURCES

- [1] Brundage, MP, Chang, Q., Li, Y., Arinez, J., & Xiao, G. (2014). Sustainable manufacturing performance indicators for a serial production line. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 13(2), 676-687.
- [2] Weiss, S., Schwarz, JA, & Stolletz, R. (2019). The buffer allocation problem in production lines: Formulations, solution methods, and instances. *IIE Transactions*, 51(5), 456-485.
- [3] Brundage, M., Chang, Q., Wang, S., Feng, S., Xiao, G., & Arinez, J. (2013, September). Energy savings opportunities and energy efficiency performance indicators for a serial production line. In *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems* (pp. 302-309). Springer, Berlin, Heidelberg.



- [4] Alaouchiche, Y., Ouazene, Y., & Yalaoui, F. (2021). Energy-efficient buffer allocation problem in unreliable production lines. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* , 114 , 2871-2885.
- [5] Spall, J.C. (1992). Multivariate stochastic approximation using a simultaneous perturbation gradient approximation. *IEEE transactions on automatic control* , 37(3), pp.332-341.

RESUME

Hatice GÜNER

Hatice Güner received her undergraduate and graduate degrees in Industrial Engineering. He completed his doctorate at Wayne State University, Michigan, USA, with his thesis named "Efficiency analysis and bottleneck management in production lines".

He worked as a researcher at Qatar University between 2012-2013 and as an Assistant Professor at a private university between 2013-2016. Currently, he continues his educational and scientific studies as a doctoral faculty member at Istanbul Rumeli University. The author's research interests are optimization and simulation techniques, manufacturing system design, and operations management.



BİODİVERSİTY OF TÜRKİYE; CAUSES OF IMPACT AND CONSERVATION MEASURES

İLHAMİ KIZIROĞLU

Hacettepe Üniversitesi E.Öğr.Üyesi. OSTİM Teknik Üniversitesi Müh., Fak. Öğr. Üyesi; Türkiye Tabiatını Koruma Derneği YK Bşk Yard.
ikiziroglu@gmail.com ORCID: 0000-0002-8421-2435

ABSTRACT

In this study, Türkiye's biodiversity and the threats and dangers it faces are briefly presented. In Türkiye, which has continental characteristics from a bioecological point of view, there are 11 707 plant taxa, and one third of them consist of endemic plant species that form natural populations only in Türkiye. The Oriental Amber Tree (*Liquidambar orientalis*) in Köyceğiz is one of the rare examples in the world where an endemic plant species forms a forest structure as a forest tree. It also shows continental characteristics in terms of animal groups. In Türkiye, where not all invertebrate groups have been identified yet, we can give the number of invertebrate species as 70-80 thousand. In the vertebrate group, the number of fish species is the highest with 928. In Türkiye, 39 species of amphibians, 124 species of reptiles and 170 species of mammals have been described. In addition, the number of 525 bird species described in Anatolia is higher than in any other European country except Russia. It was found that 70 of these bird species were encountered only by chance, at most twice. Subtracting this number gives a total of 455 bird species commonly encountered in Türkiye. In Türkiye, which has such a rich biodiversity, a large part of these biological elements is threatened by environmental degradation. Wetlands, forest areas, land degradation, the threat of desertification, especially the negative effects of erosion and climate change caused by the release of various gases are threatened. To prevent these negative impacts, efforts are also being made to emphasise environmental education, the role of city museums and the importance of raising awareness about the environment.
Keywords: Biodiversity, threats, wetlands, forests, bird species, air pollution, climate change.

Türkiye Biyoçeşitliliği; Etkilenme Neden Ve Koruma Önlemleri

ÖZET

Bu çalışmada, Türkiye'nin biyolojik çeşitliliği ve karşı karşıya bulunduğu tehdit ve tehlikelere kısaca değinilmiştir. Biyoekolojik açıdan kıtasal özelliklere sahip olan Türkiye'de 11 707 bitki taksonu bulunmakta ve bu sayının da üçte biri sadece Türkiye'de doğal popülasyon oluşturan bitki türlerinden oluşmaktadır. Köyceğiz'deki sığla ormanı (*Liquidambar orientalis*), bir orman ağacı olarak endemik bir bitki türünün orman olarak bir yapılanma oluşturması örneği, dünyada çok nadir örneklerdendir. Hayvan grupları açısından da kıtasal özellikler gösterir. Omurgasız hayvan gruplarının tamamının henüz belirlenmediği Türkiye'de, yaklaşık omurgasız hayvan türü sayısını 70-80 bin olarak verebiliriz. Omurgalı hayvan grubunda ise en fazla türle temsil edilen balıkları tür sayısı 928'dir. Türkiye'de 39 çift yaşamlı; 124 sürüngen ve 170 memeli türü betimlenmiştir. Ayrıca Anadolu'da betimlenen 525 kuş türü sayısı Rusya hariç diğer Avrupa ülkelerinden daha fazladır. Bu kuş türlerinin 70 'ine sadece rastlantı ile en fazla iki kez rastlandığı görülmüştür. Bu sayı çıkarılırsa Türkiye'de sık rastlanabilecek kuş türü sayısı 455 olarak ortaya çıkmaktadır. Bu denli zengin biyoçeşitliliğe sahip olan Türkiye'de bu biyolojik elemanların önemli bir bölümü çevresel bozulmalarla tehdit altına girmiştir. Sulak alan, ormanlık bölge, terestrik alanların bozulması, çölleşme tehdidi, özellikle erozyonun olumsuz etkileri ve çeşitli gazların salımı ile ortaya çıkan iklim değişimine neden olan bozucu etmenlerle tehdit altına girmekle karşı karşıyadır. Bu olumsuzluklara engel olunması amacıyla çevre eğitimi, kent müzelerinin rolü ile çevre bilinci oluşturma önemi de ortaya konmaya çalışılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Biyolojik çeşitlilik, tehditler, sulak alanlar, ormanlar, kuş türleri, hava kirliliği, iklim değişimi.



INTRODUCTION

Ecology and the incomplete ecological approach; behaviour related to the inability to protect nature; in a way that limits economic functions. For example, what actions will humanity take due to the depletion of raw materials and non-renewable resources? Finding an answer to this question has become a global task. Once again, how is the problem of malnutrition and hunger due to uncontrolled population growth in the world to be solved? And how is the environmental destruction and pollution caused by industrial pollution, is directly related to population growth, to be prevented? How does the intensive and uncontrolled use of pesticides affect people and the environment? How is the pollution of air and water by various exhaust gases to be prevented? Isn't the increase in mortality rates due to insufficient water resources an important ecological problem? Contrasting issues such as biodiversity, climate change mitigation and desertification are explained and discussed (see Kazancı et al., 1995; Korn et al. 2008, Kızıroğlu, 2019; Kızıroğlu et al., 2009 and 2013).

These and many other similar environmentalist problems will lead to global environmental wars because of the failure to spread ecological thinking and behaviour worldwide. Why do some countries and their leaders, who believe that they will be the winners of these wars, forget that we are on the same globe? Among the environmental problems and solutions that attract most attention today, the most fundamental problems that should be given priority are climate change and all kinds of waste production that cause it, dying of biological resources, water problem, soil erosion, global warming, climate change, deforestation and population density (Profft et al. 2008; Kızıroğlu, 2019). This study first addresses some of the phenomena of biodiversity, highlights the reasons for its degradation and the measures to protect it. Biodiversity and environmental education are also explained.

DEFINITION OF BIODIVERSITY

The definition in the text of the "Convention on Biological Diversity", signed at the "World Summit on the Environment" in Rio de Janeiro in 1992, is as follows: "It refers to the diversity observed in all living organisms in all resources and in the ecological network of which they are a part, including terrestrial, marine and other aquatic ecosystems".

The Convention on Biological Diversity is the most widely recognised international environmental protection convention. Turkey acceded to this convention in 1996. Each member country is required to prepare its own national biodiversity strategy/action plan and implement the measures contained in the action plan.

Numerous conventions have been concluded at local and global levels to protect biodiversity. Turkey signed the Convention on Biological Diversity on 14.02.1997 and developed the National Biodiversity Action Plan within this framework (Ministry of Environment and Forestry of the Republic of Turkey, 2008). Biodiversity and existing natural resources are important vital elements that must not be damaged but must be available for use by the next generations and the present strata of society. The Convention on Biological Diversity, which guarantees these elements for conservation and use within the framework of integrated management planning, focuses on achieving three main objectives: These are

- Conserve biodiversity;
- Ensuring the sustainability of biological resources; and



■ Ensuring the sustainability of biological resources; and
Conscious, fair and equitable use of genetic resources at the global level. Biodiversity is a broad term that refers to a wide range of ecosystems, habitats and species: For example, forests, freshwater, marine and other terrestrial ecosystems, soils, crops, domesticated and wild species, microorganisms and other components of nature. Accordingly, biodiversity is analysed in four groups:

1) Genetic diversity;

The totality of genes of a species or population is called the "gene pool". The gene pool contains one or more forms of genes. Different forms of the same genes are called "alleles". Allelic diversity means "genetic diversity" of populations.

2) Species diversity;

A species is a taxonomic unit that includes individuals that can mate with each other under natural conditions and have the ability to reproduce and produce offspring. The number of species in an ecosystem expresses the biological richness on a species basis.

3) Ecosystem; diversity of ecological events and functions:

It is an important factor that enables first habitat diversity and then species diversity. The diversity of ecosystems in a region and, on a smaller scale, of habitats is considered an inevitable component of biodiversity.

Overhunting, the hunting of land animals for meat, ivory and other medicines, and the hunting of living creatures to extinction. Uncontrolled and intensive use of pesticides, soil erosion, climate change, global warming, destruction of natural areas and overpopulation have a negative impact on biodiversity. Every year, the number of endangered species is in the hundreds: according to a United Nations report, 130 animal and plant species become extinct every day. In this context, we recommend that hunters use photo hunting/photosafari instead of hunting with guns (Kiziroğlu et al. 2010). Clear and effective measures must be taken to prevent the extinction of biodiversity.

BIOECOLOGICAL IMPORTANCE OF TÜRKİYE

► Turkey attracts attention with its significant biological potential, having living elements of European, Caucasian, Iranian and Arabian origin on the one hand and Caucasian, Iranian and Arabian origin on the other. It is among the most important countries of the temperate climate zone with its extraordinarily rich biological diversity.

► Türkiye's biological richness stems from its various climate types (continental climate, oceanic climate and Mediterranean climate); geological and geomorphological structure; rich water resources (sea, lake and rivers); large altitude differences (sea level-5000 m); a wide variety of habitat types and geographical location.

► On the one hand, these elements form lowland and mountain forest ecosystems with different structures in the Mediterranean, Black Sea and Aegean Sea belt (cypress and cedar forests in the Mediterranean belt);

► On the other hand, they harbour the rich steppe and steppe ecosystems of Central and Eastern Anatolia.

► In addition, Türkiye is home to many species threatened with extinction, such as



- a) White and crested pelican (breeding areas Manyas, Gediz and Büyük Menderes Delta) (Picture 16b)
- b) Flamingo (breeding areas Sultansazlığı, Picture 2a, Seyfe Lake, Tuz Lake) and
- c) It has very important wetlands, which provide habitat for the duck (Burdur Lake wintering ground; Figure 14b);

As can be seen, Türkiye is the most important natural resource region of the Palearctic in terms of biodiversity and resources within this continental characterised ecosystem integrity.

BIODIVERSITY OF TÜRKİYE

- Türkiye harbours different biotopes, both plant (flora) and animal (fauna) diversified:
 - Especially endemism in seed plant species is in a position to compete with continental Europe:
 - 75 per cent of the plant species in continental Europe are found in Turkey. Over ten thousand
 - Approximately 1/3 of the total number of seeded plant species form natural populations only in Turkey; in other words, they are endemic.
 - The biological potential of the vast Anatolian steppes gains importance here.
 - It is also continental in terms of fauna.
 - Vertebrate animals have been identified on species basis and their nomenclature is partially even though it's been completed,
 - Intensive studies on invertebrates, whose species number is assumed to be 70-80 thousand There is a need to be done.
 - According to the latest assessments, 525 bird species have been identified in our country. Of these Since 70% of them were observed at most twice, they can be considered as incidental species. When these species are excluded, the number of bird species frequently observed in Turkey is determined as 455 (Kiziroğlu, 2008;2021,2022)

It is possible to come across migratory bird species over the Bosphorus during both spring and autumn migration periods. The migration waltzes of both birds of prey and stork species over the Bosphorus, which has the most beautiful sky in the world, are simply unforgettable. While the migration waltz is followed in March-May and September-October, the number of individuals forming migratory bird caravans reaches its peak (Kiziroğlu 2015).

The geography of Turkey and Anatolia shows a very rich structure in terms of both faunal and floral elements (Kiziroğlu et al.2006). In most parts of the world, it is not possible to find such a biological richness in such a small area. A total of 11707 plant taxa including alien and cultivated plants have been identified in Anatolia (Güner et al.2012; Kiziroğlu et al.2013; Muminjanov (Ed.) et al.2019). What makes our country especially attractive for birds (525 bird species have been identified) and other species (see Table 1) is its rich elevations; wetlands; forests; pastures and steppes.



Table 1. Groups of animal and plant species in Türkiye and number of species^{*)}

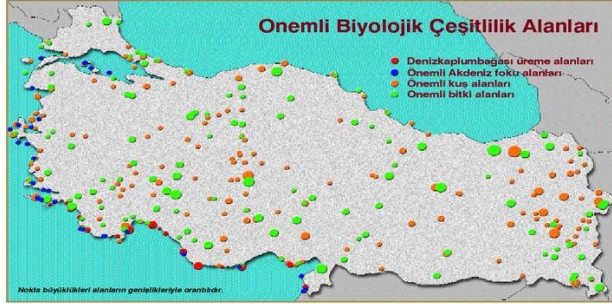
| Plant and Animal Groups | Number of Described Species | Endemic Species Number and (%) |
|--|--|--------------------------------|
| Number of Plant Taxa ⁶⁾ | 11 707 | |
| Animals: | 70 000-80 000 | |
| Invertebrates | 68 758-78 758 | |
| Orthoptera/Tettigoniidae ¹⁾ | 160 | 109 68,1 |
| Vertebrates | 1 786/(42340)** | |
| Fishes | 928/(25 000) | 3 0,6 |
| Amphibians | 39/(3 025) | 1 5,0 |
| Reptiles | 124/(5 115) | 2 2,2 |
| Birds ²⁾ | 525 ³⁾ ;454 ⁴⁾ /(11 400) ⁵⁾ | - - |
| Mammals | 170/ (4 200) | 1 0,6 |

*)= Kızıroğlu et al.(2006): ¹⁾ Çıplak, B.(2003); ²⁾Kızıroğlu(1989;1993;2008;2009;2021;2022);
³⁾=Kızıroğlu(2015)= Number of extinct species=2 (%0,5). ⁴⁾= Kızıroğlu (2022)= Number of bird species monitored continuously in Turkey, except for 70 bird species monitored at most twice; ⁵⁾= The number in brackets is the number of bird species in the world (According to HBW, 2019 and Gill et al.,2021); ****=** Numbers in brackets are the number of species in the world;⁶⁾ According to Güner et al., 2012 and Muminjanov (Ed.) et al.2019.

IMPORTANT BIODIVERSITY AREAS

There are 266 Important Nature Areas in Turkey. Antalya and Konya are the richest provinces in terms of these areas. Only 19 per cent of the Important Natural Areas are under protection. Important natural areas in our country are protected by 18 different protection statuses (Kızıroğlu et al., 2006). Sometimes even several protection statuses are given to a single area. While some of these protection statuses are declared according to national legislation, some of them are based on international conventions. However, there are limited opportunities to implement all these statuses and therefore the areas cannot be managed effectively. Under ideal conditions, the Republic of Turkey should review its network of protected areas and grant an appropriate protection status to all biodiversity areas of proven international importance (bird, plant, sea turtle and Mediterranean monk seal areas, as well as areas known to be important for other species) and seek ways to utilise the resources in these areas without harming the natural structure. In Turkey, 165 important bird areas, 122 important plant areas, 17 sea turtle breeding areas and 35 important Mediterranean monk seal areas have been identified. These important biodiversity areas are distributed almost everywhere in Turkey and are significantly intertwined with each other (Map 1). The National Wetland Commission

has declared 41 areas as protected wetland areas (Meriç et al. 2013, p. 92).



Map 1. Important conservation and biodiversity areas

ECOSYSTEMS WITH THE HIGHEST BIODIVERSITY

Those living in and using protected areas should, as a priority, carry out awareness-raising activities for target groups. Education programmes on biological diversity should be established in primary and higher education. Within the scope of non-formal education, close co-operation with competent institutions, especially the relevant ministries, will make a lasting contribution. In this way, all layers of society will be made aware of biodiversity and environmental protection. Biodiversity is most intensely found in the following ecosystems:

1-Step and Steppe Area Ecosystem

When the general biological picture of Anatolia is drawn, it is seen that steppe areas take the most important place. The lack of studies in these areas is a very sad situation. However, perhaps the most important biological potential of Turkey is hidden in steppe areas. These are pasture areas where an intensive separation is very difficult due to the intertwining of agricultural and forest areas; however, this separation must be made. Pasture areas have been converted into agricultural land due to population growth. Human activities in these areas may lead to the destruction of this genetic potential. The most important threat in these areas is the removal of plants that hold the soil, such as the geven, so that the soil flows and the threat of erosion becomes active and the soil quality deteriorates and becomes inefficient due to uncontrolled grazing.

2-Forest Ecosystem

The oak, black and red pine ecosystems spread in maquis forest areas, which reflect the characteristics of the Mediterranean Region, allow biological diversity to emerge. The destruction of forest ecosystems for unwarranted and frivolous reasons concerns the whole humanity as an important environmental problem. Tropical forests and Amazon forests, especially our forests in our continental climate zone, which are the lungs of nature, are being destroyed for fossil fuel and gold exploration, mining and other purposes, as in our country (Kızıroğlu 2019; Ensari et al.2021). In addition, forested lands are being reduced and cut down for animal grazing in tropical forests; soybean cultivation and palm oil plantations and other agricultural monoculture agriculture. Today, about 30 per cent of the globe is forested. In the last fifty years, 7.3 million hectares of forest have been lost every year. At one time, tropical forests accounted for 15 per cent of the world's forest cover. Today, this ratio is only 6-7 per cent and more than half of it has been destroyed, either by cutting or burning.

Our forests, especially the coastal areas, are under constant threat of fire from June onwards. 56 per cent of Turkey's forests (12.5 million hectares) are in areas susceptible to fire. Forests are not only the source of biological diversity; they are also the users of CO₂ in the air, preventing it from accumulating in the atmosphere or oceans and reducing the negative effects of this gas.



The most important problem of the world is the expansion of economic systems based on concrete. Concrete means energy use. This leads to CO₂ production. The project of energy supply from nuclear energy, which was presented as an option to obtain energy without producing CO₂, has also collapsed all over the world. While the nuclear accidents in Chernobyl and Fukijama in Japan should have taught people to move away from this sector, these investments are still being continued, especially in Turkey. Whatever is left of forests and forested areas must be protected in the universal and local sense. In particular, areas that have lost their forested qualities due to fire, clearing and other reasons should be afforested immediately within a national plan and project. This can be realised by a strong state. Especially in tropical regions, it is known that the power to do this work by the state is limited. Because the establishment of new forests to replace the forests destroyed in these regions will both take time and cause quite high costs (Zimmermann, 2016). A state structure to undertake this task does not seem to exist there at the moment.

Half of Turkey's forests (22.3 million ha) are degraded, i.e. degraded forests. Per capita forest cover is only 0.3 hectares, the lowest in Europe. The maintenance and protection of forested areas offer vital recreational opportunities to our people as well as other living creatures. So much so that we should know that each hectare of forest area provides recreational services to 168 people. For this reason, it is absolutely necessary to prevent the transfer of destroyed forest areas to other sectors and to give importance to conscious reforestation as a matter of urgency. Some characteristics of Turkey's forests that host biodiversity:

- 22.3 million hectares of Turkey's surface area is under forest regime (26.2%) enters.
- 44 per cent of this area is fertile (8.9 million ha) (11.4 per cent of the total area) and 56 per cent is productive (11.3 million ha). million ha) is unproductive.
- The share of forestry sector in national income is only 17.5 per thousand.
- 55 per cent of our country's forests are leafy and 45 per cent are coniferous forests (Kiziroğlu, 2010).
- Türkiye is very rich in terms of virgin forests.
- Especially the coastal part of the Mediterranean Region in the south, Kastamonu and Bolu in the north Forests constitute the most important habitats of biological diversity.
- Mainly pine, cedar, fir, beech, hornbeam or oak/beech mixed forest ecosystems and rich plant communities make Turkey one of the richest forest ecosystems in Europe.
- Again, the frankincense (Fethiye, Koycegiz, partly Marmaris) forests in mainland Anatolia. It is perhaps the only forest ecosystem richness formed by an endemic plant species in the European continent.
- It is spread in maquis forest areas reflecting the characteristic of the Mediterranean Region. oak, black and red pine ecosystems allow biodiversity to emerge gives.
- However, forest ecosystems in most European countries are monotonous and uniform. monocultures consisting of tree species (usually fast-growing coniferous species).
- For this reason, especially when determining Turkey's Biodiversity Strategies, forest ecosystems should be given great importance.
- Among the many functions of the forest, one of the most important is the porous nature of the forest soil accumulates rainfall with its structure and root system.
- In this way, 1 m³ of forest soil stores 200 litres of water.
- Reducing the destruction of trees in our forests means that mud and soil deposits are not transported to the seas by rivers, erosion is prevented and as a result, floods are prevented to a great extent. Forests also gain importance as Water Protection Zones, especially in areas close to

settlements. In these areas, filtered water is used as drinking water. The forest attracts harmful substances with its large surface. With this filtering, the storage of harmful substances in the forest is 20 times higher than in open land. Apart from these, forests also have social functions. In this context, it has been determined that each ha of forest area provides recreational services to 168 people (Figure 1a and b).

■ With the sustainable management of forests, forest utilisation, protection and recreation It is widely believed that their functions are guaranteed to a great extent. Carrying out forestry in Turkey in accordance with the above criteria is of great importance in the process of harmonisation with Europe. Education of young people is especially important in this regard.

■ Within this framework, "Bilmobil", i.e. mobile "Forest Schools" or in-school and out-of-school "City Museums" aim to raise environmental awareness by providing information and enlightening documents about the forest ecosystem.



Figure 1a-b- Rich biodiversity elements are encountered in the coastal and inland forests.

3-Wetlands and Streams

Wetlands cover 6-10 per cent of the earth's surface. The distribution of these areas is as follows: Lakes; % 30% peat bogs due to rainfall, 26% peat bogs due to aquifer (groundwater source), 20% various bogs and 15% flood plains (Meriç et al. 2013 b, p.111).

There are more than 400 large and small wetlands in Turkey. These areas cover 4.5 per cent of the country's surface area (3.2 million ha). Of these wetlands, 68 are class A and 200 are of international importance. Even 14 of them are included in the scope of Ramsar Convention (Meriç et al.2013a;b). There are 7 drainage regions covering 26 river basins. The Anatolian mainland, which is surrounded by the sea on three sides and has an inland sea, together with the rivers and other wetlands it harbours, offers living opportunities to various living groups. Teaching this fact to the layers of society in the education process is important for an "ENVIRONMENTALLY CONSCIOUS SOCIETY". The Ministry of Forestry and Water Affairs has carried out projects on the biodiversity of various wetland basins. Gediz Delta can be given as an example (GEDİZ DELTASI, 2012).

Despite all these features, Turkey's water resources are decreasing day by day and for this reason, the importance of switching to irrigation in agricultural areas by using new methods, especially the drip method, is valid for our country as in all countries. Anatolian water budget should be used in the most efficient and optimal way. Because when we compare Turkey with Sweden, where the annual amount of water consumed per capita is only 1500-1700 litres, with Sweden, where it is 11 000 litres, it will be seen how poor a country Turkey is. The scarcity of water resources and the



problems arising therefrom is an extremely important environmental problem for water-poor countries as well as for other countries (Kiziroğlu, 2001:2007a and 2007 b).

- The surface runoff in river basins and drainage areas is very low, only 186 billion m³.
- The water reserve in aquifers is assumed to be 94 billion km³.
- The irrigable area is 3.9 million ha, of which 3.4 million ha is surface irrigated and 0.4 million ha is irrigated. million hectares of land is irrigated by utilising aquifers
- Irrigation with drip irrigation should be switched to drip irrigation as soon as possible and made widespread and aquifers should be utilised. The termination of irrigation is a prerequisite for the optimal and efficient use of water resources.

□ Two important bird migration routes of the Palearctic pass through Anatolia. This migration of birds It is a scientific fact that many large and small wetlands are utilised during their journeys. Both the North East Anatolian Çoruh Valley raptor migration route and the Bosphorus Stork migration route and the Anatolian water systems on the migration route of migratory bird species making frontal migration are of vital importance for them.

■ Türkiye's two important transboundary river systems, the Tigris and Euphrates basins, are rich in plant and animal species

■ However, most of these rivers, especially those flowing into the Black Sea, are highly polluted and has reached to a level that does not allow for living life.

■ The pollution rate in 54 rivers emptying into the Black Sea is very high. Wetlands It is possible to give the factors that cause environmental problems and species loss under the following headings.

■ Industrial, domestic and agricultural pollution caused by the mixing of industrial, domestic and agricultural pollution elements into wetlands Pollution

- Failure of irrigation technology according to the latest methods and large water loss;
- Overgrazing and uncontrolled fish farming in wetlands;
- As a result of the intensification of second housing and tourism activities, wetland ecosystems degradation that opens up.

- Excessive pollution in aquatic ecosystems,
- Excessive and inappropriate fishing
- Illegal hunting,
- Habitat destruction,
- Extreme tourism and tourist activities,
- Artificial interventions to change the water regime. The most typical example is in the Sultanate. As a result of the changes in the water regime due to the installation of discharge canals, the flamingo population, which numbered hundreds of thousands, has decreased significantly (Figure 2; 3 a and b).



).
Picture 2. a- Sultansazlığı is a very important aquatic ecosystem that was included in the scope of the Ramsar Convention after it was declared a Nature Reserve; the flamingo population in the region could reach 1/7 of the world population. b- Dalyan Stream



Figure 3. a- Examples of important wetland ecosystems in Turkey (left picture: Iztuzu; right picture: b-Finike Cennet Bay).

FUNCTION OF CITY MUSEUMS

Biodiversity and environmental protection in ecosystems described for all layers of society awareness should be raised about the city museums:

- Thus, one of the most important functions of city museology within the framework of non-formal education will be realised.
- CITY MUSEUMS, COMMUNITY AWARENESS FOR ENVIRONMENT AND NATURE PROTECTION It undertakes an important mission in the formation of the society.
- In this context, it should include all kinds of programmes on its agenda, and should be layers should be brought together.

For this purpose, the environmental awareness of the society can be increased, for example, by dealing with the following main topics:

- a-Waste Problem;** Unconsciously produced in our country and all over the world (65 thousand tonnes per day in Turkey) mountains of rubbish
- The problem will one day suffocate mankind; the solubility of the wastes left in the nature will increase in many years. For example, a cigarette filter takes 2 years, a beer can 10-100 years, a plastic bottle 1000 years and a glass bottle 4000 years to break down, and why these materials should not be thrown into nature.



□ Again, it should be emphasised that 60% of the wastes thrown into nature are paint and paint products and that this What are the parties should be analysed.

b-Water Problem: The consequences of irresponsible consumption of water resources should be emphasised.

□ In this context, in 80 countries where 40 per cent of the world's population lives, it should be examined why water shortage is caused by the irresponsible use of water resources. is at the stage where;

- a) 3.7 litres of petrol pollutes 3 million litres of drinking water;
- b) 400 litres of water is needed to produce one packet of butter;
- c) Only 1 per cent of the world's available water is usable;
- d) Water resources are rapidly depleting; therefore;
- d) 25 000 people die every day in the world as a result of drinking unhealthy water.

c-Paper as raw material: The fact that paper consumption is very high, for example, one hundred thousand families giving up unnecessary correspondence between people means 150 000 trees, and that an office worker throws away 81 kg of quality paper per year, thus leading to rapid consumption of forest raw materials.

ç-Desertification: It should be emphasised that 24-25 million ha of natural area has been desertified in the last 3-4 years and currently 6% of the world's surface area is desertified and 29-30% is on the way to desertification.

d-Destruction of forested areas: It should be emphasised that 14 ha of rainforest is destroyed every minute; forests should not be destroyed; therefore fires should not be caused.

e-Population growth and the environment: It should be taught that the world population increases by 250 thousand individuals every day and 93 million individuals every year; that if the environment is not treated consciously, those who are subject to this increase will also be potential candidates for environmental destruction and that all these are caused by unconscious human beings. In this context, human beings should be taught not to accelerate the process of preparing their own end by destroying the environment.

f-Biodiversity: Programmes should be carried out to demonstrate the importance of biological diversity.

g-Environmental pollution: It should be known that CITY MUSEUMS should be structured appropriately in order to convey simple and understandable programmes, especially to young generations, about the fact that pollution, like a boomerang, will one day bring about the end of mankind. This, in turn, can be realised by first purifying the human being from the gene of polluting the nature in which he/she lives. In other words, we must first recognise our inner environment and learn to restrain our ambitions, wishes and desires. Competence and harmony in our internal environment will be reflected on our external environment, our children and grandchildren, and a healthy society will be formed. City museums and non-formal education centres have important duties in ensuring this (Kiziroğlu 2011; Kiziroğlu et al., 2021).

THREATS TO TÜRKİYE'S BIOLOGICAL RESOURCES

Biodiversity Under Great Threat (Kelaynak Extinct) (Picture 6a): 20% of the species that exist today will disappear this century.

- Expansion of the road network - unplanned and unprogrammed construction of new roads;
- Smuggling of natural wealth abroad;

- Intensive and unconscious use of insecticides and weed killers;
The last population was in Birecik/Urfa; as a result of wrong agricultural policies, drained wetlands and intensive use of pesticides (especially DTT), the natural population became extinct in 1988 (Figure 6 a and b).
- Intensive and regional industrialisation and urbanisation;(Picture 4.a and b)
- Tourism and touristic activities lead to intensive use of natural areas;
Air pollution, annual world CO₂ emissions are 38 billion tonnes (Figure 5.a and b).
- Intensive and unconscious hunting;
- Forest fires: Is there any other species that stabs its own lung?(Figure 5b)



Figure 4. a- We reap what we sow; while some regions suffer from drought, others face floods. b-Aquatic Ecosystems are being degraded by pollutionSulak alanların kurutulması;



Figure 5. a- CO₂ and greenhouse gas emissions affect the natural structure very negatively. b- Forest fires increase especially in June-September periods. In Turkey, 175 thousand hectares of forest area was burnt down in 2021.



Figure 6.a- Bald Ibis, *Geronticus eremita* (<http://tr.wikipedia.org/wiki/Kelaynak>).b-Small river



SOIL EROSION

Every year, twelve million hectares of agricultural land are degraded and degraded and forest areas, especially rainforests, are destroyed. In one second, an area of rainforest the size of a football pitch is degraded. These are the agricultural lands from which humanity gains its basic nutrients. According to the European Soil Bureau, 1000 km² of agricultural land is destroyed every day. Road construction, concretisation in cities and the expansion of industrial areas play a major role in this. In addition, the intensive chemicals used completely destroy the soil microorganism fauna, in other words microcosm, and render the soil inefficient (Figure 7).

Worldwide, 25 billion tonnes of fertile soil is lost every year as a result of erosion. 2.7 billion people in the world are under the threat of desertification. This number is expected to reach four billion by 2050. There are no deserts in Turkey; however, especially Konya, Iğdir and Southeastern Anatolia are under the threat of desertification. Soil loss in Turkey amounts to 168 million tonnes per year. The soil loss recorded on a continental scale among European countries is 300 million tonnes. This means that Turkey alone loses almost two-thirds of the soil lost in the whole of Europe each year.

Of Turkey's 77.9 million ha of land, 26.3 million ha is agricultural land and 20.2 million ha is forested land. Again, 24.5 per cent of the total land is composed of I.+II.+III. class soils; the share of agricultural soils in these three classes of quality soils is 90 per cent, 60 per cent of the land is above 1000 m in height and 62.5 per cent has a slope of more than 15 per cent. Anatolian soil with these values, overgrazing; monoculture establishment; erosion, excessive fertilisation and excessive use of chemicals; changing agricultural and green areas are some of the factors that trigger soil erosion directly or indirectly. Due to the mountain ranges in the north and south, there is a close connection between climate and geogeography of the land. Turkey has microclimatic areas due to climate characteristics in different geographical regions. Erosion is experienced in a total of 83.20% of the soils in our country, of which 7.22% is mild, 20.04% is moderate, 36.42% is severe, 22.32% is very severe (Balabanlı et al.2005) (<http://www.millidegerlerikorumavakfi.net>).

The share of the agricultural sector in total employment is 35.4 per cent. In countries where rational agriculture is practised, 60 % of agricultural products and 25-30 % in our country are utilised in the food industry. Desertification and drought also lead to consequences such as erosion, destruction of soil cover, decline in agricultural product varieties and destruction of biological diversity (Koehler, 2008).

The cost of erosion in agricultural lands in Turkey reaches 6.7 billion dollars.

Turkey uses 74 per cent of its water potential in agriculture. While the area of Salt Lake has shrunk by 50 per cent due to decreasing rainfall and overuse, Ereğli Marsh, Lake Bafa and Lake Akşehir are in danger of extinction. In Lake Beyşehir, the largest freshwater reserve area, the depth has dropped from 24 metres to 9 metres.

A range of soil conservation and restoration technologies have now been developed. Measures such as sustainable agricultural practices, organisation of crops according to type and sequence and giving importance to terrace works are short-term solutions. However, it seems inevitable that these short-term solutions should be extended to a wider scale. In addition to the conversion of forest areas into tea and hazelnut plantations, unplanned settlement causes soil loss

In order for biodiversity to survive in terrestrial areas, soil must be protected and interventions that will lead to erosion must be avoided. Because soil not only provides biodiversity with the opportunity to live, but also fulfils the following functions;



Habitat function: It enables biodiversity and genetic diversity in human, plant and animal world.

Regulating Function: Microbial degradation of biotic and abiotic matter exchange, especially organic and harmful substances, physical and chemical filtration of groundwater.

Carrier Function: Soil fulfils many functions for economy, navigation, recreation, settlement, food supply and processing, emission and waste minimisation.

Cultural Functions: It is a habitat that forms the basis of human history and culture.

It also has a protective function that hides history (Göbekli tepe).

Production Functions: Soil, agriculture, forestry for the continuous renewal of biological mass In horticulture, it is an environment where vital raw materials are produced for human beings.

In addition to these functions of soil in the ecosystem, all organisms live is the upper surface of the earth; it is the water cover of the earth, the mountainous cover of the earth, the soil cover of the earth.

Globally, 20 million square kilometres of land is currently degraded; that is, degraded. Erosion in Turkey is 12 times more than in Europe and 17 times more than in Africa; Desertification affects 110 countries, 18 of which are developed countries.

While more than 250 million people in the world are directly affected by desertification, one third of the world level, or in other words, more than 4 billion acres of land is under the threat of desertification. Today, approximately 135 million people in the world are in danger of migration due to desertification. Drought and desertification, together with human-induced climate change, is one of the most important global and regional environmental issues that mankind faces today and must be taken seriously. In our country, active erosion is observed in 59 per cent of agricultural areas, 54 per cent of forest areas and 64 per cent of pasture areas. Every year, 182 million tonnes of fertile topsoil is carried away by rivers. Wind erosion occurs in our country, especially in Central Anatolia, around Karapınar in Konya province. Erosion caused by water occurs all over Turkey, especially in mountainous regions. According to the studies carried out by the State Hydraulic Works, the total amount of humus soil washed into the seas by the rivers Tigris, Euphrates, Seyhan, Ceyhan, Yesilirmak, Kızılırmak and Sakarya every year is 441 million tonnes. As a result of the destruction of this soil, lands that 45-50 years ago were vineyards, gardens and had very high agricultural yields have now become completely barren lands. We are facing desertification and drought as a result of excessive water use, wrong irrigation methods, destruction of forest areas, misuse of pastures, destroyed wetlands, rapid drying up of water resources and wrong agricultural policies.

In 2030, 3 billion more people will live on Earth. Food production will have to be increased even further. Although the area allocated for agriculture is limited, human beings will need more food. Therefore, agricultural areas will decrease from 0.85 hectares to 0.4 hectares per person. The productivity of the degrading soil will decrease day by day. About one billion people live in arid regions and sensitive ecosystems. Continued soil degradation will lead to a loss of 45-50 billion dollars every year in these regions. Deforestation is the most important cause of degradation. In areas without vegetation, erosion of topsoil by rain and wind will be inevitable. Valuable soil will be carried to the seas by water erosion. Water erosion and salinisation have already affected one billion hectares of land. This is equivalent to half of the arid zone. The area subject to wind erosion is 550 million hectares. If one centimetre of soil per hectare is eroded every year, this is equivalent to 100-150 tonnes of valuable soil. Considering our total land area, 62 per cent of it has a slope steepness of more than 12 per cent and 48 per cent has a slope steepness of more than 20 per cent. On the other hand, the amount of land with 2-20 per cent slope is only 29.7 million ha. Therefore, when the effective soil depths are analysed, it is seen that 37.2 % of our lands are suitable for cultivated agriculture. The predictions that

all 112 billion cubic metres of water will be used this year (2023) and that there will be a high level of water stress, unfortunately seem to be coming true as of the end of January 2023. This means that we may face a water crisis in other periods of the year. In other words, we will need every drop of rainwater.



Figure 7. Soil erosion

The negative impact of erosion on biodiversity in Anatolia is very great. It is inevitable to realise some measures for the protection of biodiversity from all these factors. Because the protection of biodiversity is a task of universal dimension and importance as well as national. Below are pictures of many plant and animal species under protection (see Figure 8-18).



Picture 8. Love flower (*Centaurea tchihatcheffii*) (<http://www.akdeniz.edu.tr/muhfak/cevre/coastlearn-r/bio/boxes/losshabi.htm>) and Inverted tulip (*Fritillaria imperialis*)



Picture 9. Snowdrop (*Galanthus nivalis*) (<http://tr.wikipedia.org/wiki/Kardelen>)



Resim 10. Turuncu kelebek, *Lycaena dispar* (<http://www.schmetterling-raupe.de/art/dispar.htm>)



Figure 11. Green turtle (*Chelonia mydas*) (<http://www.ntvmsnbc.com/news/239709.jpg>)



Picture 12. Sea turtle, *Caretta caretta* (<http://www.yenisafak.com.tr/aktuel/?t=11.11.2007&c=5&i=51901>)

The Mediterranean monk seal is one of the 12 globally endangered species (IUCN, 2006). The "Foça and Yalikhavak Pilot Project" for the conservation of the Mediterranean monk seal in Turkey , was carried out under the coordination of the Ministry of Environment and Forestry.



Picture 13.a-Anatolian leopard (*Panthera pardus tulliana*) (<http://www.tabut.net/index.php?showtopic=48401>)

b-Mediterranean monk seal: *Monachus monachus* (http://tr.wikipedia.org/wiki/Akdeniz_foku)

The wild gazelle living in Urfa has been taken under protection and its current number has reached 200 individuals.



Figure 14a-Deer; *Gazella gazelle*

b-Rumptail; *Oxyura leucocephalus*

(<http://www.dogadernegi.org/dogabulten/index.php?sayfa=ceylan>)



Figure 15 a-Buzard, *Buteo buteo*

b- Alexander parrot, *Psittacula eupatria*



Resim 16 a-Black stork, *Ciconia nigra*

b- Whitepelican; *Pelecanus onocrotalus*



Resim 17 a-Kara çaylak, *Milvus migrans*



b- Snake eagle, *Circaetus gallicus*



Figure 18. a-Great forest eagle, *Aquila aquila*



b- Angit, *Tadorna ferruginea*

AIR POLLUTION AND CLIMATE CHANGE

The transition to the industrial revolution started towards the middle of the eighteenth century. Afterwards, various development periods, such as industry; energy; nanotechnology; software; computing and robotics revolution, followed one another. In the aforementioned and similar periods, revolutions and development stages, mankind has continuously released carbon dioxide (CO₂) and greenhouse gases (carbon monoxide, methane nitrogen monoxide, nitrous oxide, hydrofluoride and perfluoro carbons, sulphurhexa fluoride, ozone) into the air. CO₂ emission and industrialisation process are stages that go hand in hand and trigger each other. If CO₂ produced by various industries is emitted in a controlled and measured manner and the natural circulation is not disturbed, this gas can be consumed without causing any harm as it is used by plants in assimilation. Due to fossil fuel sources such as coal, thermal power plants, agriculture and industrial activities, the CO₂ concentration in the air has almost doubled from 280 ppm to 400 ppm today. This increase has had various adverse effects and especially led to the unfavourable emergence of climate change in a very rapid manner. The Kyoto Protocol and Treaty was signed on 11 December 1997, when the fact that industrial development is parallel to unlimited CO₂ emissions was finally understood on a global scale (Kiziroğlu et al. 2021). This protocol, which aims to protect the world climate, entered into force in 2005 and 191 countries became parties in December 2011. The United States, which produces the most greenhouse gases and CO₂, protested the Kyoto Protocol in 2001 and ultimately rejected it. Canada, on the other hand, first signed the Protocol, but withdrew its signature a week later. The



signatory countries agreed to reduce the amount of the aforementioned gases, which are the most important factors of climate change, by 5.2 per cent in the mandatory reduction period of 2008-2012 and to reduce them to 1990 levels. The parties to the convention have recorded that they will also reduce in the 2013-2020 period, which they accepted as a second mandatory period. In this period, only 144 countries remained loyal to the convention. By 20 April 2020, the number of countries complying with the second Kyoto Protocol decreased to 136. These countries have also signed the Paris agreement on how the process will operate after 2020, thus committing to control greenhouse gases and CO₂ emissions. By not signing the United Nations climate convention, the USA, Canada and Australia have also accepted that they will continue to disrupt the world climate. Turkey signed the Kyoto Treaty in 2009. Unfortunately, the countries that are parties to the conventions are still under the influence of the USA, which continues to be egoistic, and are not active enough to stop the increase in global air temperature.

Therefore, the global temperature is increasing as it rises. Not only the temperature of the earth, but also the temperature of the oceans is increasing day by day. The Paris Agreement aims to limit the increase in global temperature to 2 or even 1.5°C. However, in the 5-year period after the Paris Protocol in 2015, no country party to the agreement has been able to fulfil its promise to reduce national climate and CO₂ emissions. This is because Saudi Arabia, the USA, Russia and Australia, which hold the fossil resource reserves, blatantly continue to block any measures to be taken. The World Health Organisation (WHO), for example, announced that one out of every nine deaths in 2012 was caused by these cancer-causing gases and other poisons in the air. Some measures should be taken to prevent all these problems: For example, public transport should be made widespread; old technologies with high energy consumption should be deactivated; wastewater should be treated and put into use; electro-filters should be made compulsory in existing power plants and short-term inspections should be implemented; existing obstacles in the dissemination of solar energy should be removed; instead of wild landfill, separated garbage practices should be developed, recycling should be given importance and electrical energy should be provided from existing facilities; insulated ecological houses should be emphasised. Furthermore, it is inevitable that renewable energy technologies should be rapidly developed and put into use instead of fossil fuels. In particular, clean energy resources in nature should be put into use rapidly and investments should be made in new developments for this purpose. These should be realised through short, medium and long term planning. There is enough clean energy in nature to meet the needs of all humanity. It is enough to ensure that the cartels, which prevent investment in new technologies, take their hands off this business and act with an integrated world view.

The latest advanced technology in renewable energy and the sustainability of these resources must be ensured. Methods of storing the energy produced in favourable periods should be developed. Although the investments to be made for this may seem high in the first plan, in the long run, the use of energy to be obtained from these sources, whose raw materials are free of charge, will be very low cost. Our areas with high wind density are limited. Without sacrificing them to old technologies, investments should be made urgently by universities and technology institutes to ensure the use of advanced technology with various limitations (Kiziroğlu 2019). For example, RES technologies should be developed and the capacity of a single windmill should be at least 7 Megawatts, and then RES-Farms should be established accordingly. While these are being established, the EIA process must be followed (Kiziroğlu, 2014 and Kiziroğlu et al.2015).



In our country, which is surrounded by seas on three sides, off shore areas should be identified and offshore wind energy potential should be utilised. Solar energy technology should be developed and popularised.

INTENSIVE POPULATION GROWTH

The world population is increasing at an exponential rate. The world population, which was 1.5 billion at the beginning of the twentieth century, has now exceeded the 7.5 billion mark. By 2050, if population growth continues on this scale, the world population should exceed ten billion. Approximately four billion of the current population live in cities. These people need to be provided with jobs and occupations in the easiest way possible. For this purpose, developed and developing societies concretise cities and offer them the opportunity to work in the construction sector, thus destroying the productive functions of these people. Because it is the cheapest and easiest way to provide people with jobs and professions in this way. However, this process has also come to an end and cities are saturated with existing concrete structures. Then, what will these people who are resettled in the cities live on? The most important social problem lies here. While searching for a solution to this problem, it will be seen that everything is decreasing and shrinking. The increasing global population will have to pay for this increase with a decrease in natural assets and reserves. Every society wants to be well fed, to benefit from the best health services and to have a roof over its head. Families and all those responsible should pay attention to birth control. They should take this important problem seriously. Family planning and education on this issue are important.

PROTECTING BIODIVERSITY

For the conservation of biological diversity outside protected areas, legal arrangements should be made. For example

- a) A Law on Soil, Nature Protection and Biosafety should be enacted and a National Biosafety Board should be established.
- b) The Law on Drying Swamps should be abolished and practices should be stopped immediately; it should be ensured that no money is allocated to the budget of any official institution in this regard. If necessary, wetland and marsh draining should be constitutionally banned.
- c) Conservation and sustainable use of biological diversity should be integrated into all sectoral plans and programmes at national level.
- d) National policies on genetically modified organisms (GMOs) and alien species, which are among the factors threatening biological diversity, should be determined.
- e) Ecotourism should be supported.
- f) Clean technology should be supported in industry and industry should be encouraged for environmental protection measures.
- g) Cooperation areas with Non-Governmental Organisations (NGOs) should be developed and the functions of CITY MUSEUMS in this regard should be expanded.
- h) Priority should be given to the principle of preventing the loss of biodiversity in the EIA (Environmental Impact Assessment) process; Strategic EIA process should be legalised and put into practice.
- i) Organic farming practices should be protected and supported by making them widespread.
- k) Steppe ecosystems should be protected.



1) Resource provision, planning and implementation studies should be carried out for the restoration and recovery of damaged/disturbed ecosystems.

In addition to all of these, the following vital issues for Turkey's biodiversity should be addressed It may be suggested that City Museums, if any, should take on a role within the framework of non-formal education on some selected topics (Kiziroğlu, 2011; Kiziroğlu et al. 2021).

- National Afforestation and Erosion Control Law should be implemented.
- 2b-application in forest areas should be terminated.
- The Law on Tourism Incentives does not take into account the sustainability of ecosystems, The articles on the use of coastal-forest areas should be amended by taking into consideration the principles of sustainable development and protection of biodiversity.
- The first step in protecting biodiversity is to identify the areas to be protected...

In this framework, Turkey's

- ▶ important bird areas,
- ▶ important plant areas,
- ▶ sea turtle breeding grounds and

Important Mediterranean monk seal areas were identified.

The maps produced as a result of these studies show that there are many Mediterranean monk seals scattered almost everywhere in Turkey. proves that there are many important biodiversity sites.

Natural protected areas are the most effective way to recognise important biodiversity sites in Turkey. is a protection status. Other area protection statuses in Turkey

- ▶ nature reserve,
- ▶ national park,
- ▶ natural park,
- ▶ special environmental protection area and

Arrangements such as the Ramsar site unfortunately cover a very limited area.

NATURE CONSERVATION AWARENESS AND ENVIRONMENTAL EDUCATION IN EDUCATION PROCESS

- "Environmental Education" is an effective and permanent way of teaching human relations with the environment. approach.
- How man affects his environment and how his environment affects him is the main subject of education.

In order for our country, which is in the category of developing countries, to continue its development without losing its biological richness, it is of great importance to educate the society and students in a way to develop nature conservation awareness, especially for future generations.

Environmental Education exhibits an interdisciplinary approach to all social, scientific, cultural, economic, etc. issues in the world. It processes and realises a rational approach that will increase the quality of life, protect and improve it (De Haan et al. 1997; 2000; Kiziroğlu, 2000).

- Objectives of the conventions on biological diversity access to the environment and nature specific active protectionism is only possible with social acceptance. The way to achieve this is through environmental education. Environmental Education is realised in the following scopes:

- a) Formal Education;
- b) Non-formal Education;



- c) Mass Education;
- d) Education with mass media sources
- e) University education.

It should be ensured that the course or courses in this education process do not affect the passing grade and these lessons should be without grades. Thus, the stress of taking notes should be prevented from pushing the importance of the subject to the second plan. There are three approaches to environmental education. These are

- a) Education for environmental management and control;
- b) Education for environmental awareness and interpretation;
- c) Education for sustainability.

The greatest contribution to all three approaches will be provided by non-formal education in addition to formal education, and therefore by the structuring and organisation of City Museums in this field.

- In out-of-school places, e.g. In out-of-school spaces, e.g. in City Museums, environmental educational studies should be carried out.
- Various professional groups should be trained in nature protection and environmental education and In-service training or further training should be provided. The public should be informed about the problems related to environment and nature protection; they should be given the opportunity to consult and make explanations. Universities, secondary education institutions, local administrations, city museums and relevant ministries should cooperate in this regard, and the involvement of non-governmental organisations should also be ensured. "Environmental Education", in other words "Forest Pedagogy", especially for the forest ecosystem, should be popularised through the joint efforts of the Ministries of National Education (MEB) and Agriculture and Forestry (TOB).

Contribution to "learning by doing-living" (Audio-visual) based education in City Museums can be provided in the following ways: For this

- a-Writing on the subject: writing songs, films, stories, etc...
- b-Poster preparation;
- c-Model making;
- d- Dramatisation;
- e-Games;
- f-Research assignments should be carried out.

In addition, one of the important functions of city museums is to promote diversity in life. and for this reason biological forms should be protected. One of the most important goals of CITY MUSEUMS should be to visually and comprehensibly address the fact that human actions and behaviours, production, consumption and activities change according to its culture and values, but ultimately environmental problems occur due to these actions (Kiziroğlu, 2011; Kiziroğlu et al. 2021).

CONCLUSION

A balanced and balanced life for all mankind by curbing population growth before the end of natural resources.

While it should be the most basic human duty to ensure that people can use it in a proper way, the Corona-virus event, which has shaken and shaken the whole world in the last two years, has revealed the fact that people do not help each other even in the minimum commons. For this reason, the maxim "the captain who saves his ship" should be changed as soon as possible and the fact that



there is room for all of us on that ship should be well perceived by those who think that they rule the world and they should develop strategies accordingly. The main problem lies in the problematic of how the human species (homo s. sapiens) can be protected from humans: Can this problem be eliminated? If it can be solved,

- A) Human/natural environment relations can be regulated;
- B) Environmental pollution can be prevented.
- C) Social,
- D) Political,
- E) Cultural,
- F) Intellectual,
- G) Economic and
- H) Consciously preventing pollution of nature can be ensured

This means, first of all, that human beings must be cleansed of the gene of polluting the nature in which they live can be realised as a result. In other words, we must first get to know our inner environment and learn to restrain our ambitions, wishes and desires. Competence and harmony in our inner environment will be reflected in our outer environment, our children and grandchildren, and a healthy society will be formed.

REFERENCES

- Balabanlı, C., Türk, M. & Yüksel, O.(2005). Erozyon ve Çayır- Mera İlişkileri. *Süleyman Demirel Ün., Orman Fak., Dergisi, Seri: A, Sayı 2: 23-34.*
- Çıplak, B.(2003). Distribution of Tettigoniinae (Orthoptera, Tettigoniidae) bush-crickets in Turkey. *Biodiversity and Conservation 12: 47-64.*
- De Haan, G., Mann, J.& Reid A.M. (Eds.)(2000). Educating for Sustainability. Umweltbildung und Agenda 21. Peter Lang Europaeische Verlag der Wissenschaften. Frankfurt am Main, Berlin, Bern, Basel, Brussels, New York, Oxford, Wien.
- De Haan G. Et al.(1997). Umweltbildung als Innovation: Springer Verlag, Heidelberg.
- Ensari, Y. & Kızıroğlu, İ. (2021). Türkiye ve Dünyanın Çevre Sorunları ve Çözümleri. *Elazığ Kültür ve Tanıtma Vakfı Dergisi 31(Sayı 54: Ocak 2021): 59-79.*
- GEDİZ DELTASI (2012). Gediz deltası Sulak Alan Havzası Biyolojik Çeşitlilik Araştırması. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, DKMP Gn.Md., Hassas Alanlar Dairesi Bşk., Ankara, 369 pp.
- Gill, F., Donsker D.& Rasmussen, P.(ed)(2021). IOC World Bird List(v.11.1).Doi 10.14344/IOC.ML.11.1.
- Güner A, Aslan S, Ekim T, Vural M & Babaç MT (2012) *Türkiye Bitkileri Listesi (Damarlı Bitkiler)*. Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi, Flora Araştırmaları Derneği, 2012.
- HBW and Bird International(2019). Handbook of the birds of the World and BirdLife International digital checklist of the birds of the World. Version 4. Available at: http://datazone.birdlife.org/usefiles/file/Species/Taxonomy/HBW-BirdLife_Checklist_v4_Dec19.zip.
- Kazancı, N., Kızıroğlu, İ & Kıdeys A.E.(1995). Biological diversity action plan. Report of the World BankWetland, river, marine, lake, island and cave ecosystems. Ministry of Forestry, Ankara, Turkey, 117 pp.
- Kızıroğlu, İ. (2022). Analysis and Comparison of World Bird Lists. *Tabiat ve İnsan(Nature and Men) 192 (Cilt 1): 3-15.*
- Kızıroğlu, İ. (2021). *Kuşlar*. Yurdumuzda Karşılaşabileceğiniz Kuş Türleri. Türkiye Ormancılar



- Derneği Yay., Kuban Mat., Ankara, 321 pp.
- Kızıroğlu, İ. (2019). *Ekolojik Potpuri 2*. Sarıyıldız Mat., Ankara, 425 s.
- Kızıroğlu, İ. (2015). *Pocketbook for Birds of Türkiye. Türkiye Kuşları Cep Kitabı*. English /Turkish, (second edition), 577 pp. (renkli resimli/with colour photos). Sarıyıldız Ofset ve Matbaacılık, 2015, Ankara.
- Kızıroğlu, İ. (2014). Türkiye'nin Enerji Sorunsalı, Alternatif Enerji ve Çözümler: Ekolojik Açından Bir Değerlendirme. *Tabiat ve İnsan 187(48)*: 13-28.
- Kızıroğlu, İ. (2011). Biyolojik Çeşitlilik; Çevre Eğitimi ve Buna Kent Müzelerinin Katkısı. *Tabiat ve İnsan 45 (Aralık 2011)*: 3-14.
- Kızıroğlu, İ. (2010). *Genel Biyoloji. Canlılar Bilimi*; Renkli.VII Baskı: Okutman Yayıncılık. Ankara; 610 pp. (ISBN: 978-605-5884-21-5).
- Kızıroğlu, İ.(2009). The Pocket Book for Birds of Türkiye. Türkiye Kuşları Cep Kitabı. Türkçe/İngilizce, Ankamat, Ankara, 564 pp.
- Kızıroğlu, İ.(2008). Species List and Red Data Book for Birds in Türkiye. Ankamat, Ankara, 168 pp.
- Kızıroğlu, İ. (2007a). Suyun Önemi, Sürekliliği, Korunması, Sosyokültürel ve Ekolojik Açından Bir Değerlendirme I. *Çevre ve İnsan 70*: 26-31.
- Kızıroğlu, İ. (2007b). Petrol Savaşı Yerine; Su Savaşı II. *Popüler Bilim 164 (14) (Ekim 2007)*: 36-39.
- Kızıroğlu, İ. (2001). *Ekolojik Potpuri 1*. TAKAV Mat., Ankara.
- Kızıroğlu, İ. (2000). Türkiye'de Çevre Eğitimi; Halkın Bilinçlendirilmesi ve Katılımı. Türkiye Cumhuriyeti Çevre Bakanlığı Çevre Şurası Genel Sekreterliği Tebliğleri. *IV. Çevre Şurası*, 6-8 Kasım 2000, İzmir: pp.131-160.
- Kızıroğlu, İ.(1993). The Birds of Türkiye (Species List in Red Data Book). Desen Ofset Inc. Ankara. TTKD Publication Nr.20: 48 pp.
- Kızıroğlu, İ.(1989). Türkiye Kuşları. OGM Yayını, Gazi/Ankara, 314 pp.
- Kızıroğlu, I. & Ensari, Y. (2021). Küresel Çevre Sorunları ve Çözümler. *Orman ve Av 99 (Ocak-Şubat 1)*: 17-27.
- Kızıroğlu, İ. & Sözen, M. (2021). Biyolojik Çeşitlilik ve Çevre Eğitimine Kent Müzelerinin Katkısı; Elazığ Kent Müzesinin Kurulması. *Elazığ Kültür ve Tanıtma Vakfı Dergisi 31(Sayı 55: Temmuz 2021)*: 24-4.
- Kızıroğlu, İ. & Erdoğan, A. (2015). Relations Between Ecosystem and Wind Energy. *Fresenius Environmental Bulletin Vol. 23; No. 1*: 163-171. (F-2014-256).
- Kızıroğlu, İ., Turan, L. & Erdoğan, A. (2013). Biological Diversity and its threats in Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin Vol. 21; No. 3*:770-778.
- Kızıroğlu, İ., Sertoğlu, M., Turan, L., Erdoğan, A., Adızel, Ö. & Sert, H. (2010). *Ekolojik Avcılık (FOTOSAFARİ) Eğitimi*. Çevre-Orman Bakanlığı- Yay., Gökçe Ofset, Ankara, 268pp.(Renkli Resimli). ISBN: 975-7460-04-6.
- Kızıroğlu, İ., Turan, L. & Parlar, H. (2009). Biyolojik Zenginliklerimiz Yok Oluyor. *Popüler Bilim 16/187(Eylül 2009)*: 44-49.
- Kızıroğlu, İ., Adızel, Ö. & Bahadır, M. (2006). Nature Reserves and Biodiversity in Turkey and Related Policy Measures along with Joining the EU. *Fresenius Environmental Bulletin Vol.15-No.9b-2006*:1156-1160.
- Koehler, H.H.(2008). Der ReviTec-Ansatz zur Bekämpfung von Bodendegradation und Desertifikation: Konzept und Projekte. In:Korn et al.2008; 85-87.
- Korn, H., Schliep, R & Stadler ,J.(Red.)(2008). Biodiversität und Klima – Vernetzung der Akteure in



Deutschland III – Ergebnisse und Dokumentation des 3. Workshops. Bundesmat für Naturschutz-Skripten 241, 95 pp.

Meriç, T & Çağırankaya, S.S.(Ed.)(2013a). Türkiye'nin Önemli Sulak Alanları: Ramsar Alanlarımız. Orman ve Su İşleri Bakanlığı. DKMP Gn.Md., Hassas Alanlar DBşk., Ankara, 168 pp.

Meriç, T & Çağırankaya, S.S.(Ed.)(2013b). Sulak Alanlar. Orman ve Su İşleri Bakanlığı. DKMP Gn.Md., Hassas Alanlar DBşk., Ankara, 160 pp.

Muminjanov, H. & Karagöz, A. (Editörler) (2019). *Türkiye'nin Biyoçeşitliliği: Genetik Kaynakların Sürdürülebilir Tarım ve Gıda Sistemlerine Katkısı*. Birleşmiş Milletler Gıda ve tarım Örgütü(FAO), Ankara, 2019, 203s:s.16.

Profft, I. & Seiler, M. (2008). Beispiel für eine Kommunikations- und Informationsstrategie und deren Umsetzung aus dem Bereich Wald und Forstwirtschaft. In:Korn et al.2008; 80-82.

TC Çevre ve Orman Bakanlığı (2008). *Ulusal Biyolojik Çeşitlilik Stratejisi ve Eylem Planı*. TC. Ç-Orman Bk., DKMP Gn.Md., Doğa Koruma D.Bşk.,Ankara, 176 pp.

Zimmermann, N. (2016). So bekommen wir die 5 größten Umweltprobleme in den Griff. DW, Themen Wissen&Umwelt.

Prof. Dr. Ing. İlhami Kiziroğlu CV

OSTIM Technical University, Department of Industrial Engineering, OSTIM/ANKARA

Dr. Kiziroğlu holds a Bachelor's degree from Istanbul University and a PhD in Ecology and Conservation/Ecosystem Management from Ludwigs-Maximilians University, Munich, Germany. He is the founder of Hacettepe University, Department of Natural Sciences. Head of the department; H.Ü. Faculty of Education. Dean's Office; Acting Dean of the Faculty of Engineering, Işık University. He is currently a faculty member at OSTIM University of Technology, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering. He was a recipient of the Alexander von Humboldt Science Fellowship and conducted research at the Technical Universities of Munich and Berlin and at the University of Heidelberg in the field of environmental and nature conservation and management.

Prof. Dr. Kiziroğlu was awarded the "Outstanding Achievement in Science Award" by the Senate of Hacettepe University to two scientists. He was awarded the "Service Award for Environmental Science" of Akdeniz University and the "Science Award" of the Ministry of Forestry and Water Resources for his work on wetland protection, and the "Sultansazlığı Managing Planning Project" carried out with his colleagues received the "Henry Ford Environmental Award". He prepared ecological assessment reports on wind farms, hydroelectric power plants and solar power plants and undertook the implementation and coordination of these studies. He has authored 400 scientific studies on ecology, conservation, ornithology, renewable energy systems and ecosystem management, and environmental education, almost half of which are in foreign languages. He has 27 books. His last three books are "Ecological Potpourri 2", "Birds" and "Introduction to University Life 1st and 2nd Edition".

Most of his academic studies are on ecology, conservation and ecosystem management, and environmental education. He is married and has two children and three grandchildren.



AN APPLICATION OF SOFT DECISION-MAKING METHODS TO HEAVY COMMERCIAL VEHICLES SELECTION IN LOGISTIC SECTOR

Ömer KARAKOÇ

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Marmara University, İstanbul, Türkiye
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Natural Sciences, İstanbul Rumeli University, İstanbul, Türkiye, omer.karakoc@rumeli.edu.tr, ORCID: 0000-0002-7283-1538

Samet MEMİŞ

Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering and Natural Sciences, İstanbul Rumeli University, İstanbul, Türkiye, sametmemis@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0958-5872

Bahar SENNAROĞLU

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Marmara University, İstanbul, Türkiye, bsennar@marmara.edu.tr, ORCID: 0000-0002-6809-634X

ABSTRACT

One of the most basic needs of logistics companies in the transportation sector is to reduce the costs of their freight transport vehicles. Especially when it comes to purchasing a new vehicle or the complete renewal of the vehicle fleet, the concerned company decision-makers need to make an excellent decision to choose the most suitable vehicle. Different decision algorithms should be tried, and related studies should be compared. This study aims to determine the selection criteria required for evaluating the new freight vehicle purchase process that a company intends to add to its vehicle fleet and the importance weights of these criteria. Soft decision-making algorithms have determined the weights of the 20 criteria for selecting heavy commercial vehicles. The ranking of the vehicles has been made using the soft decision-making method. The best vehicle selection in line with the model has been modeled.

Keyword: Soft sets, Soft decision-making, *fzfs*-matrices, Supplier selection, Vehicle selection

1. Introduction

Transportation of products constitutes a large part of cost expenses. While fulfilling customers' needs, logistics consists of transporting, storing, controlling, and planning all kinds of products and services from the producer to the final consumer effectively and efficiently. For the company to maximize its profits, gain new customers, not lose its existing customers and maintain its prestige, the fact that the products are prepared at the desired place and time in a cost and quality-oriented manner depends mainly on the creation of its vehicle fleet with suitable heavy commercial vehicles.

The general motivation of these problems is that in vehicle purchases, only one factor, such as price, is generally considered, and the processes are not fully addressed, so the wrong vehicle is selected. Therefore, competitiveness decreases, and it creates a cost for the employer. While making these decisions, decision makers need accurate and healthy evaluation processes. Thus, multiple decision-making methods that can evaluate qualitative and quantitative factors are applied. Many decision methods exist in the literature, and in this study, soft decision-making (SDM) methods are utilized.



The rest of the paper is organized as follows: Section 2 presents a brief literature review on vehicle selection for multi-criteria decision-making approaches. Section 3 provides the concept of *fpfs*-matrices and five SDM methods based on *fpfs*-matrices. Section 4 applies the five SDM methods to the commercial vehicle selection problem. Finally, the conclusive remarks and discussion related to vehicle selection and SDM methods are provided.

2. Related Works

Many logistics companies have used multi-criteria decision-making methods in their commercial car selection. However, transportation selection problems are also handled with this concept. State-of-the-arts studies in this direction are as follows:

In [1], it has been presented an exemplary decision support model by using Analytic Hierarchy Process (AHP) and goal programming methods in the automobile selection problem. In [2], it has been used the multi-criteria fuzzy PROMETHEE method for best car selection problem. In addition, it has been evaluated seven car models according to the criteria. In [3], it has been developed a multi-criteria vehicle selection model to reduce the problems consumers face when buying a vehicle. This study determined the criteria used when purchasing a vehicle: price, engine power, comfort, fuel consumption, safety and speed to reach. In [4], it has been employed a combination of AHP and TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) methods to select the best among different car options. It has been revealed that the most important criteria in car selection are safety, price, and spare parts availability, respectively. In [5], it has been evaluated four transportation alternatives of public transportation, using the ELECTRE method. In [6], it has been used the AHP in order to be able to choose the mode of transport for a logistics company. In [7], automobiles have been ranked based on cost, safety, and automobile class criteria using Fuzzy AHP and PROMETHEE II methods. In [8], a ranking has been made for sedan cars in India using AHP and TOPSIS methods. In [9] ranks 22 automobile brands that the middle-income group can buy using the AHP and VIKOR methods. In [10], 11 different models of electric cars offered for sale in Turkey are ranked based on battery capacities, horsepower, aerodynamic coefficients, ranges, and sales prices utilizing TOPSIS and Entropy methods. In [11], it has been presented an interval-valued spherical fuzzy AHP-ELECTRE method for the electric car selection problem. In [12], it has utilized ANP-ELECTRE III methods to select the most viable car for eco-friendly car selection.

Table 1. Details of the studies concerning vehicle selection problem

| Year | Ref | Concept(s) and Method(s) | Type of Decision-Making Problem |
|------|------|--------------------------------|---------------------------------|
| 2006 | [1] | AHP Goal Programming | Automobile Selection Problem |
| 2007 | [2] | PROMETHEE | Car Selection |
| 2009 | [3] | Rule based car selection model | Vehicle Selection |
| 2010 | [4] | AHP and TOPSIS | Car Selection |
| 2011 | [5] | ELECTRE | Transportation Selection |
| 2014 | [6] | AHP | Transport Mode Selection |
| 2018 | [7] | Fuzzy AHP and PROMETHEE II | Automobile selection |
| 2019 | [8] | AHP and TOPSIS | Sedan Car Selection in India |
| 2020 | [9] | AHP and VIKOR | Automobile Brand Selection |
| 2020 | [10] | TOPSIS and Entropy | Electric Car Selection |
| 2021 | [11] | AHP-ELECTRE | Electric Car Selection |
| 2022 | [12] | ANP-ELECTRE III | Eco-Friendly Car Selection |

3. Preliminaries

In this section, firstly, we present the concepts of *fpfs*-sets [13] and *fpfs*-matrices [14]. From now on, let E be a parameter set, $F(E)$ be the set of all the fuzzy sets over E , and $\mu \in F(E)$. Here, a fuzzy set is denoted by $\{\mu^{(x)} | x \in E\}$.



Definition 1. [13] Let U be a universal set, $\mu \in F(E)$, and α be a function from μ to $F(U)$. Then, the set $\left\{ \left(\mu^{(x)}x, \alpha(\mu^{(x)}x) \right) \mid x \in E \right\}$, being the graphic of α , is called a fuzzy parameterized fuzzy soft set (*fpfs*-set) parameterized via E over U (or briefly over U).

Across the present paper, the set of all the *fpfs*-sets over U is denoted by $FPFS_E(U)$. In $FPFS_E(U)$, since the $\text{graph}(\alpha)$ and α generate each other uniquely, the notations are interchangeable. Thus, as long as it leads to no confusion, α stands for an *fpfs*-set $\text{graph}(\alpha)$.

Example 1. Let $E = \{x_1, x_2, x_3\}$ and $U = \{u_1, u_2, u_3, u_4\}$. Then,

$$\alpha = \left\{ \left({}^{0.3}x_1, \{ {}^{0.4}u_2, {}^{0.3}u_3, {}^{0.6}u_4 \} \right), \left({}^{0.2}x_2, \{ {}^1u_1, {}^{0.4}u_2, {}^{0.2}u_3, {}^{0.3}u_4 \} \right), \left({}^{0.4}x_3, \{ {}^{0.4}u_1, {}^{0.2}u_3, {}^{0.5}u_4 \} \right) \right\}$$

is an *fpfs*-set over U .

Definition 2. [14] Let $\alpha \in FPFS_E(U)$. Then, $[a_{ij}]$ is called *fpfs*-matrix of α and is defined by

$$[a_{ij}] = \begin{bmatrix} a_{01} & a_{02} & a_{03} & \dots & a_{0n} & \dots \\ a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & a_{m3} & \dots & a_{mn} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots \end{bmatrix}$$

such that for $i \in \{0, 1, 2, \dots\}$ and $j \in \{1, 2, \dots\}$,

$$a_{ij} := \begin{cases} \mu(x_j), & i = 0 \\ \alpha(\mu^{(x_j)}x_j)(u_i), & i \neq 0 \end{cases}$$

Here, if $|U| = m - 1$ and $|E| = n$, then $[a_{ij}]$ has order $m \times n$.

Hereinafter, the set of all the *fpfs*-matrices parameterized via E over U is denoted by $FPFS_E[U]$.

Example 2. The *fpfs*-matrix of α provided in Example 1 is as follows:

$$[a_{ij}] = \begin{bmatrix} 0.3 & 0.2 & 0.4 \\ 0 & 1 & 0.4 \\ 0.4 & 0.4 & 0 \\ 0.3 & 0.2 & 0.2 \\ 0.6 & 0.3 & 0.5 \end{bmatrix}$$

Definition 3. Let $[a_{ij}] \in M_{m \times n}(\mathbb{R})$. Then, feature fuzzification of $[a_{ij}]$ is defined by

$$\tilde{a}_{ij} := \begin{cases} \frac{a_{ij}}{\max_k a_{kj}}, & \max_k s_{k1} \neq 0 \\ 1, & \max_k s_{k1} = 0 \end{cases}$$

Definition 4. Let $[s_{i1}] \in M_{(m-1) \times 1}(\mathbb{R})$ such that $m \geq 2$. Then, normalization $[\hat{s}_{i1}]$ of $[s_{i1}]$ is defined by

$$\hat{s}_{i1} := \begin{cases} \frac{s_{i1} - \min_k s_{k1}}{\max_k s_{k1} - \min_k s_{k1}}, & \max_k s_{k1} \neq \min_k s_{k1} \\ 1, & \max_k s_{k1} = \min_k s_{k1} \end{cases}$$

Secondly, we provide five SDM method in [15-17], to be required in the next section. Throughout this paper, $I_n = \{1, 2, \dots, n\}$ and $I_n^* = \{0, 1, 2, \dots, n\}$. The SDM methods are detailed in Table 2.



Table 2. Details of the SDM Methods employed herein

| Year | Ref | Notation / Name | Structure | Decision-Making Concept |
|------|------|-----------------|-----------------------|---|
| 2018 | [15] | MBR01 | <i>fdfs</i> -matrices | Comparison Matrix |
| 2018 | [15] | CCE10 | <i>fdfs</i> -matrices | Aggregation Operator |
| 2019 | [16] | EMK19 | <i>fdfs</i> -matrices | TOPSIS |
| 2020 | [14] | PEM | <i>fdfs</i> -matrices | Prevalence Effect |
| 2021 | [17] | G17(R) | <i>fdfs</i> -matrices | Aggregation Operator based on the indices set R |

Algorithm 1. MBR01 [15]

Step 1. Construct an *fdfs*-matrix $[a_{ij}]_{m \times n}$

Step 2. Obtain $[b_{ik}]_{(m-1) \times (m-1)}$ defined by $b_{ik} := \sum_{j=1}^n a_{0j} \chi(a_{ij}, a_{kj})$, $i, k \in I_{m-1}$ such that

$$\chi(a_{ij}, a_{kj}) := \begin{cases} 1, & a_{ij} \geq a_{kj} \\ 0, & a_{ij} < a_{kj} \end{cases}$$

Step 3. Obtain $[c_{i1}]_{(m-1) \times 1}$ defined by $c_{i1} := \sum_{k=1}^{m-1} b_{ik}$, $i \in I_{m-1}$

Step 4. Obtain $[d_{i1}]_{(m-1) \times 1}$ defined by $d_{i1} := \sum_{k=1}^{m-1} b_{ki}$, $i \in I_{m-1}$

Step 5. Obtain the score matrix $[s_{i1}]_{(m-1) \times 1}$ defined by $s_{i1} := c_{i1} - d_{i1}$, $i \in I_{m-1}$

Step 6. Obtain the decision set $\{s_{k1} u_k | u_k \in U\}$

Algorithm 2. CCE10 [15]

Step 1. Construct an *fdfs*-matrix $[a_{ij}]_{m \times n}$

Step 2. Obtain the score matrix $[s_{i1}]_{(m-1) \times 1}$ defined by $s_{i1} := \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{0j} a_{ij}$, $i \in I_{m-1}$

Step 3. Obtain the decision set $\{\mu^{(u_k)} u_k | u_k \in U\}$ such that $\mu(u_k) = \frac{s_{k1}}{\max_i s_{i1}}$

Algorithm 3. EMK19 [16]

Step 1. Construct *fdfs*-matrices $[a_{ij}^1], [a_{ij}^2], \dots, [a_{ij}^t]$

Step 2. Obtain $[b_{ij}]$ defined by

$$b_{ij} := \frac{1}{t} \sum_{k=1}^t a_{ij}^k, \quad i \in I_{m-1}^* \text{ and } j \in I_n$$

Step 3. Obtain $[c_{ij}]$ defined by $c_{ij} := b_{01} b_{ij}$ such that $i \in I_{m-1}$ and $j \in I_n$

Step 4. Obtain the Positive Ideal Solution matrix $[c_{1j}^+]$ and Negative Ideal Solution matrix $[c_{1j}^-]$ defined by

$$c_{1j}^+ := \max_i \{c_{ij}\} \quad \text{and} \quad c_{1j}^- := \min_i \{c_{ij}\}, \quad i \in I_{m-1} \text{ and } j \in I_n$$

Step 5. Obtain $[s_{i1}^+]$ and $[s_{i1}^-]$ defined by

$$s_{i1}^+ := \sqrt{\sum_{j=1}^n (c_{ij} - c_{1j}^+)^2} \quad \text{and} \quad s_{i1}^- := \sqrt{\sum_{j=1}^n (c_{ij} - c_{1j}^-)^2}, \quad i \in I_{m-1} \text{ and } j \in I_n$$

Step 6. Obtain $[s_{i1}]$ defined by

$$s_{i1} := \frac{s_{i1}^-}{s_{i1}^+ + s_{i1}^-}, \quad i \in I_{m-1}$$

Step 7. Obtain the set $\{u_k \in U | s_{k1} = \max_i s_{i1}\}$

Algorithm 4. PEM [14]

Step 1. Construct an *fdfs*-matrix $[a_{ij}]_{m \times n}$ such that $m \geq 2$ and $n \geq 1$



Step 2. Obtain the score matrix $[s_{i1}]_{(m-1) \times 1}$ defined by

$$s_{i1} := \sum_{j=1}^n \left[\left(\frac{1}{m-1} \sum_{k=1}^{m-1} a_{kj} \right) \left(\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n a_{it} \right) a_{0j} a_{ij} \right], \quad i \in I_{m-1}$$

Step 3. Obtain the decision set $\{\mu^{(u_k)} u_k | u_k \in U\}$ such that $\mu(u_k) = \frac{s_{k1}}{\max_i s_{i1}}$

Algorithm 5. G17(R) [17]

Step 1. Construct an *fdfs*-matrix $[a_{ij}]_{m \times n}$

Step 2. Determine a set R of indices such that $R \subseteq I_n$

Step 3. Obtain $[b_{i1}]_{(m-1) \times 1}$ defined by

$$b_{i1} := \sum_{j \in R} a_{0j} a_{ij}, \quad i \in I_{m-1}$$

Step 4. Obtain $[c_{i1}]_{(m-1) \times 1}$ defined by

$$c_{i1} := \sum_{j=1}^n a_{0j} a_{ij}, \quad i \in I_{m-1}$$

Step 5. Obtain the set $V = \left\{ u_i : b_{i1} = \max_{k \in I_{m-1}} b_{k1} \right\}$

Step 6. Obtain the score matrix $[s_{i1}]_{(m-1) \times 1}$ defined by

$$s_{i1} := \begin{cases} c_{i1}, & u_i \in V \\ b_{i1}, & u_i \in U - V \end{cases}$$

such that $i \in I_{m-1}$

Step 7. Obtain the decision set $\{\hat{s}_{k1} u_k | u_k \in U\}$

4. An Application of the SDM Methods to Heavy Commercial Vehicles Selection

This section considers the problem of choosing the best heavy commercial vehicle for a logistics company in Ankara provided in [18]. The company currently has 18 heavy commercial vehicles. The company plans to buy five new cars instead of three of those with the old production year and to increase the vehicle fleet to 20 vehicles. For the vehicle selection problem in practice, a team of 6 experts working in the logistics company, including one manager, one vehicle maintenance worker, two drivers, and the authors of this article, was formed. The vehicle was determined by eight different brands (BMC, DAF, FORD, MAN, MERCEDES, RENAULT, SCANIA, VOLVO). Then, the criteria for the vehicle selection problem were determined. Literature studies [1,4] and the information obtained from different freight transport companies reached were used to determine the vehicle selection criteria. The related data present in Table 3.

In the case study, the alternatives stand for the heavy commercial car. The alternatives are denoted by $u_1 :=$ "BMC", $u_2 :=$ "DAF", $u_3 :=$ "FORD", $u_4 :=$ "MAN", $u_5 :=$ "MERCEDES", $u_6 :=$ "RENAULT", $u_7 :=$ "SCANIA", and $u_8 :=$ "VOLVO", and such that $U = \{u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6, u_7, u_8\}$. Besides, the parameters are denoted by $x_1 :=$ "Engine specifications", $x_2 :=$ "Fuel tank capacity", $x_3 :=$ "Movement capacity", $x_4 :=$ "Payload", $x_5 :=$ "Transmission type", $x_6 :=$ "Safe driving", $x_7 :=$ "Ease of use", $x_8 :=$ "Technological factors", $x_9 :=$ "Price", $x_{10} :=$ "Fuel consumption", $x_{11} :=$ "2nd hand price", $x_{12} :=$ "Ease of payment", $x_{13} :=$ "Maintenance cost", $x_{14} :=$ "Warranty period/km", $x_{15} :=$ "Similarity to Fleet", $x_{16} :=$ "Brand", $x_{17} :=$ "Design", $x_{18} :=$ "Number of service stations", $x_{19} :=$ "Availability of spare parts", and $x_{20} :=$ "Average repair time" such that $E = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{15}, x_{16}, x_{17}, x_{18}, x_{19}, x_{20}\}$. Table 4 shows the fuzzy weights for the aforesaid parameters.



Table 3. The heavy commercial vehicle selection data in [18]

| Parameters Vehicles | Engine specifications | Fuel tank capacity | Movement capacity | Payload | Transmission type | Safe driving | Ease of use | Technological factors | Price | Fuel consumption | 2nd hand price | Ease of payment | Maintenance cost | Warranty period/km | Similarity to Fleet | Brand | Design | Number of service stations | Availability of spare parts | Average repair time |
|------------------------|-----------------------|--------------------|-------------------|---------|-------------------|--------------|-------------|-----------------------|--------|------------------|----------------|-----------------|------------------|--------------------|---------------------|-------|--------|----------------------------|-----------------------------|---------------------|
| BMC | 7 | 600 | 2142 | 10550 | 2 | 7.5 | 7 | 7.5 | 198000 | 28 | 125000 | 18 | 1400 | 180000 | 1 | 2 | 5.5 | 78 | 9.5 | 75 |
| DAF | 10 | 750 | 2500 | 12532 | 3 | 9 | 9.5 | 9 | 238000 | 30 | 185000 | 24 | 1800 | 230000 | 3 | 5 | 9 | 25 | 8.5 | 50 |
| FORD | 6 | 650 | 2500 | 10566 | 1 | 8 | 7 | 7.5 | 172000 | 26 | 115000 | 30 | 1600 | 180000 | 1 | 4.5 | 6.5 | 55 | 10 | 65 |
| MAN | 8.5 | 760 | 2814 | 10700 | 2 | 9 | 8 | 8 | 232000 | 27 | 182000 | 22 | 2000 | 200000 | 2 | 6 | 8 | 20 | 8 | 50 |
| MERCEDES | 7.5 | 580 | 2416 | 11178 | 2 | 10 | 9 | 9 | 247000 | 24 | 195000 | 28 | 2200 | 250000 | 2 | 9 | 10 | 18 | 9 | 45 |
| RENAULT | 9.5 | 780 | 2785 | 13100 | 3 | 10 | 10 | 10 | 252000 | 26 | 193 | 28 | 1900 | 200000 | 2 | 7 | 9.5 | 19 | 8 | 55 |
| SCANIA | 9 | 580 | 2148 | 12550 | 3 | 9.5 | 10 | 8.5 | 235000 | 27 | 181000 | 24 | 1950 | 225000 | 3 | 6.5 | 10 | 22 | 8.5 | 55 |
| VOLVO | 10 | 690 | 2379 | 12400 | 3 | 9 | 9.5 | 9.5 | 255000 | 25 | 198000 | 18 | 2100 | 220000 | 3 | 8 | 9.5 | 25 | 8.5 | 45 |



Tablo 4. Parameters effects and weights of the alternatives for the car selection problem in [18]

| Parameters | Parameter Effect | Parameter Weights |
|--------------------------------------|------------------|-------------------|
| x_1 Engine specifications | Positive | 0.050 |
| x_2 Fuel tank capacity | Positive | 0.006 |
| x_3 Movement capacity | Positive | 0.031 |
| x_4 Payload | Positive | 0.042 |
| x_5 Transmission type | Positive | 0.011 |
| x_6 Safe driving | Positive | 0.094 |
| x_7 Ease of use | Positive | 0.043 |
| x_8 Technological factors | Positive | 0.053 |
| x_9 Price | Negative | 0.081 |
| x_{10} Fuel consumption | Negative | 0.120 |
| x_{11} 2nd hand price | Positive | 0.032 |
| x_{12} Ease of payment | Positive | 0.029 |
| x_{13} Maintenance cost | Negative | 0.059 |
| x_{14} Warranty period/km | Positive | 0.050 |
| x_{15} Similarity to Fleet | Positive | 0.078 |
| x_{16} Brand | Positive | 0.080 |
| x_{17} Design | Positive | 0.027 |
| x_{18} Number of service stations | Positive | 0.047 |
| x_{19} Availability of spare parts | Positive | 0.056 |
| x_{20} Average repair time | Negative | 0.010 |

Let us consider the importance degrees of the parameters in Table 4. Thereafter, the values in Table 3 are normalized by feature fuzzification (see Definition 3) because the values are not in the interval $[0,1]$. Therefore, the *fpfs*-matrix $[a_{ij}]$ is constructed via the normalized values attained from Table 3 and the fuzzy weights in Table 4 as follows:

$$[a_{ij}] = \begin{bmatrix} 0.050 & 0.006 & 0.031 & 0.042 & 0.011 & 0.094 & 0.043 & 0.053 & 0.081 & 0.120 & 0.032 & 0.029 & 0.059 & 0.050 & 0.078 & 0.080 & 0.027 & 0.047 & 0.056 & 0.010 \\ 0.700 & 0.769 & 0.761 & 0.805 & 0.667 & 0.750 & 0.700 & 0.750 & 0.224 & 0.067 & 0.631 & 0.600 & 0.364 & 0.720 & 0.333 & 0.222 & 0.550 & 1.000 & 0.950 & 0.000 \\ 1.000 & 0.962 & 0.888 & 0.957 & 1.00 & 0.900 & 0.950 & 0.900 & 0.067 & 0.000 & 0.934 & 0.800 & 0.182 & 0.920 & 1.000 & 0.556 & 0.900 & 0.321 & 0.850 & 0.333 \\ 0.600 & 0.833 & 0.888 & 0.807 & 0.333 & 0.800 & 0.700 & 0.750 & 0.325 & 0.133 & 0.581 & 1.00 & 0.273 & 0.720 & 0.333 & 0.500 & 0.650 & 0.705 & 1.000 & 0.133 \\ 0.850 & 0.974 & 1.000 & 0.817 & 0.667 & 0.900 & 0.800 & 0.800 & 0.090 & 0.100 & 0.919 & 0.733 & 0.091 & 0.800 & 0.667 & 0.667 & 0.800 & 0.256 & 0.800 & 0.333 \\ 0.750 & 0.744 & 0.859 & 0.853 & 0.667 & 1.000 & 0.900 & 0.900 & 0.031 & 0.200 & 0.985 & 0.933 & 0.000 & 1.000 & 0.667 & 1.000 & 1.000 & 0.231 & 0.900 & 0.400 \\ 0.950 & 1.000 & 0.990 & 1.000 & 1.000 & 1.000 & 1.000 & 1.000 & 0.012 & 0.133 & 0.001 & 0.933 & 0.136 & 0.800 & 0.667 & 0.778 & 0.950 & 0.244 & 0.800 & 0.267 \\ 0.900 & 0.744 & 0.763 & 0.958 & 1.000 & 0.950 & 1.000 & 0.850 & 0.078 & 0.100 & 0.914 & 0.800 & 0.114 & 0.900 & 1.000 & 0.722 & 1.000 & 0.282 & 0.850 & 0.267 \\ 1.000 & 0.885 & 0.845 & 0.947 & 1.000 & 0.900 & 0.950 & 0.950 & 0.000 & 0.167 & 1.000 & 0.600 & 0.045 & 0.880 & 1.000 & 0.889 & 0.950 & 0.321 & 0.850 & 0.400 \end{bmatrix}$$

Here, the parameters $\{x_9, x_{10}, x_{13}, x_{20}\}$ have negative effect on decision-making process. The values belonging to the negative parameters are subtracted from 1 to construct the *fpfs*-matrix $[a_{ij}]$ because an *fpfs*-matrix is constructed based on positive effects.

Secondly, we apply the SDM methods, i.e., MBR01, CCE10, EMK19, PEM, and G17(R), to the above-mentioned *fpfs*-matrix $[a_{ij}]_{6 \times 17}$. The decision sets and ranking orders generated by the SDM methods are indicated in Table 4 and 5, respectively.



Table 4. The decision sets generated by the SDM methods for $[a_{ij}]$

| SDM Method | Decision Sets |
|----------------------|---|
| MBR01 [15] | { ⁰ BMC, ^{0.7361} DAF, ^{0.3921} FORD, ^{0.3583} MAN, ¹ MERCEDES, ^{0.8953} RENAULT, ^{0.8575} SCANIA, ^{0.9261} VOLVO} |
| CCE10 [15] | { ^{0.7884} BMC, ^{0.9550} DAF, ^{0.8432} FORD, ^{0.8787} MAN, ^{0.9789} MERCEDES, ^{0.9286} RENAULT, ^{0.9774} SCANIA, ¹ VOLVO} |
| EMK19 [16] | { ⁰ BMC, ^{0.6874} DAF, ^{0.1642} FORD, ^{0.4447} MAN, ^{0.8490} MERCEDES, ^{0.5220} RENAULT, ^{0.8848} SCANIA, ¹ VOLVO} |
| PEM [14] | { ^{0.5927} BMC, ^{0.9602} DAF, ^{0.6567} FORD, ^{0.7902} MAN, ^{0.9414} MERCEDES, ^{0.8818} RENAULT, ^{0.9543} SCANIA, ¹ VOLVO} |
| G17(I_{17}) [17] | { ⁰ BMC, ^{0.7872} DAF, ^{0.2590} FORD, ^{0.4269} MAN, ^{0.9002} MERCEDES, ^{0.6627} RENAULT, ^{0.8931} SCANIA, ¹ VOLVO} |

Table 5. The ranking orders produced by the SDM methods for $[a_{ij}]$ and provided in [18]

| Decision-Making Method | Ranking Orders |
|------------------------|--|
| PROMETHEE [18] | MAN < BMC < FORD < DAF < MERCEDES < SCANIA < RENAULT < VOLVO |
| MBR01 [15] | BMC < MAN < FORD < DAF < SCANIA < RENAULT < VOLVO < MERCEDES |
| CCE10 [15] | BMC < FORD < MAN < RENAULT < DAF < SCANIA < MERCEDES < VOLVO |
| EMK19 [16] | BMC < FORD < MAN < RENAULT < DAF < MERCEDES < SCANIA < VOLVO |
| PEM [14] | BMC < FORD < MAN < RENAULT < MERCEDES < SCANIA < DAF < VOLVO |
| G17(I_{17}) [17] | BMC < FORD < MAN < RENAULT < DAF < SCANIA < MERCEDES < VOLVO |

The ranking orders in Table 5 show that CCE10 and G17(R) produces the same ranking orders. All the five SDM methods except MBR01 agree that the optimal heavy commercial vehicle of the company based on the values in Table 3 and 4 is VOLVO while the nonoptimal is BMC.

According to PROMETHEE results [18] in Table 5, the optimal heavy commercial vehicle of the company based on the same data is VOLVO while the nonoptimal is MAN. The comparison manifest that all methods in Table 5 except MBR01 agree that the optimal heavy commercial vehicle is VOLVO.

5. Conclusion

In this study, five state-of-the-arts SDM methods [14-17] constructed by *fpfs*-matrices were implemented to the heavy commercial vehicle selection problem employing the data in [18]. As a result, the investigated SDM approaches have effective ranking abilities. They produce the same optimum alternative as the multi-criteria decision-making method PROMETHEE in [18].

Many multi-criteria decision-making methods have been applied to the heavy commercial vehicle selection problem. In contrast to the literature, *fpfs*-matrices, modeling problems containing fuzzy parameters, and alternatives, were applied to the heavy commercial vehicle selection problem in the considered company for the first time. The results provide a different aspect via *fpfs*-matrices of supplier selection concerning the heavy commercial vehicle selection problem. Although, the results were obtained from the data of a company in Ankara, the SDM methods can be utilized for any car selection problem across the country and around the world due to their modeling abilities. For example, the studies related to energy planning [19] and academic performance evaluation [20] manifest their capability in different problems.

It is possible to use several SDM techniques to enhance the findings for the heavy commercial vehicle selection problem herein. The accuracy of the ranking of the heavy commercial vehicle selection problem sources can also be improved by gathering extensive data pertaining to the heavy commercial



vehicle selection problem and proposing new SDM techniques using *fpfs*-matrices, intuitionistic fuzzy parameterized intuitionistic fuzzy soft matrices (*ifpifs*-matrices) [21], and interval-valued intuitionistic fuzzy parameterized interval-valued intuitionistic fuzzy soft matrices (d-matrices) [22]. In addition, picture fuzzy sets (pf-sets) [23-25] and their hybrid structures with soft sets can be used in the heavy commercial vehicle selection problem to model uncertainties beyond fuzzy and intuitionistic uncertainty.

REFERENCES

- [1] TERZİ Ümit, HACALOĞLU Sinan Emre, ALADAĞ Zerrin, "A Decision Support Model for the Automobile Purchasing Problem", İstanbul Commerce University Journal of Science, Volume 5, Number 10, pp. 43-49, 2006.
- [2] BALLI Serkan, KARASULU Bahadır, KORUKOĞLU Serdar, "En Uygun Otomobil Seçimi Problemi İçin Bir Bulanık Promethee Yöntemi Uygulaması", Dokuz Eylül University Faculty of Economics and Administrative Sciences Journal, Volume 22, Number 1, pp.139–147, 2007.
- [3] Bozdemir, Y. İLKER TURGUT Yılmaz, "Developing Systematical Vehicle Selection Model which Has Rule Based Decision Making Mechanism", Electronic Journal of Machine Technologies, Volume 6, Number 2, 19-27, 2009.
- [4] Yousefi, Ali, HADI-VENCHEH Abdollah, "An Integrated Group Decision Making Model and its Evaluation by DEA for Automobile Industry", Expert Systems with Applications, Volume 37, Number 12, pp. 8543–8556, 2010.
- [5] JACEK Zak, "The Methodology of Multiple Criteria Decision Making/Aiding in Public Transportation". Journal of Advanced Transportation, Volume 45, Number 1, pp 1-20, 2011.
- [6] KUMRU Mesut, KUMRU Pınar Yıldız, "Analytic Hierarchy Process Application in Selecting the Mode of Transport for a Logistics Company". Journal of Advanced Transportation, Volume 48, Number 8, pp. 974-999, 2014.
- [7] SHARMISTHA Roy, MOHANTY Suneeta, MOHANTY Satarupa. "An Efficient Hybrid MCDM Based Approach for Car Selection in Automobile Industry" In 2018 International Conference on Research in Intelligent and Computing in Engineering (RICE), pp. 1-5, 2018.
- [8] ROHIT Singh, AVIKAL Shwetank "A MCDM-Based Approach for Selection of a Sedan Car from Indian Car Market" Harmony Search and Nature Inspired Optimization Algorithms. Advances in Intelligent Systems and Computing, Volume 741. Springer, Singapore., pp. 569-578, 2019.
- [9] BABACAN, Adem. "Car Selection for The Middle-Income Group in Turkey. VIKOR Method as a Multi-Criteria Decision-Making" University Journal of Economics and Administrative Sciences, Volume 21, Number 1, pp. 293-307, 2020.
- [10] GAVCAR, Erdoğan, KARA, Nusret, "Application of Entropy and TOPSIS Methods in Electric Car Selection". Business and People Magazine, Volume 7, Number 2, pp.351-359, 2020.
- [11] TEPE Serap, "The Interval-Valued Spherical Fuzzy Based Methodology and its Application to Electric Car Selection". Düzce University Journal of Science & Technology, Volume 9, Number 5, pp.1970-1983, 2021.
- [12] MUMANİ, Ahmad, MAGHABLEH, Ghazi, "An Integrated ANP-ELECTRE III Decision Model Applied to Eco-Friendly Car Selection" Journal of Engineering Research, Volume 10, Number 3A, pp. 1-33, 2022
- [13] ÇAĞMAN Naim, ÇITAK Filiz, ENGİNOĞLU Serdar, "Fuzzy Parameterized Fuzzy Soft Set Theory and Its Applications" Turkish Journal of Fuzzy System, Volume 1, Number 1, pp.21-35, 2010.
- [14] ENGİNOĞLU Serdar, ÇAĞMAN Naim, "Fuzzy Parameterized Fuzzy Soft Matrices and Their Application in Decision-Making" TWMS Journal of Applied and Engineering Mathematics, Volume 10, Number 4, pp. 1105-1115, 2020.
- [15] ENGİNOĞLU Serdar, MEMİŞ Samet, "A Configuration of Some Soft Decision-Making Algorithms via *fpfs*-Matrices" Cumhuriyet Science Journal, Volume 39, Number 4, pp. 871-881, 2018.
- [16] ENGİNOĞLU Serdar, MEMİŞ Samet, KARAASLAN Faruk, "A New Approach to Group Decision-Making Method Based on TOPSIS under Fuzzy Soft Environment" Journal of New Results in Science, Volume 8, Number 2, pp. 42-52, 2019.
- [17] ENGİNOĞLU Serdar, AYDIN Tuğçe, MEMİŞ Samet, ARSLAN Burak, "SDM Methods' Configurations (2017-2019) and Their Application to a Performance-Based Value Assignment



- Problem: A Follow up Study”, Annals of Optimization Theory and Practice, Volume 4, Number 1, pp. 41-85, 2021.
- [18] KABAĞ Mehmet, UYAR Ömer, “A Multi Criteria Approach for Heavy Commercial Vehicle Selection Problem in Logistics Sector”, Gazi University Faculty of Engineering and Architecture Journal, Volume 28, No 1, pp. 115-125, 2013.
- [19] MEMİŞ Samet, KARAKOÇ Ömer, “An Application of Soft Decision-Making Methods to Energy Planning of Turkey”, 2nd Rumeli Energy and Design Symposium for Sustainable Environment, İstanbul, Türkiye, pp. 146-157, 2022.
- [20] MEMİŞ Samet, KARAKOÇ Ömer, “Academic Performance Evaluation at Istanbul Rumeli University via Soft Decision-Making”, 2nd Rumeli Engineering Education Symposium, İstanbul, Türkiye, pp. 79–87, 2022.
- [21] ENGİNOĞLU Serdar, ARSLAN Burak, “Intuitionistic Fuzzy Parameterized Intuitionistic Fuzzy Soft Matrices and Their Application in Decision-Making”, Computational and Applied Mathematics, Volume 39, Article No. 325, 2020.
- [22] AYDIN Tuğçe, ENGİNOĞLU Serdar, “Interval-Valued Intuitionistic Fuzzy Parameterized Interval-Valued Intuitionistic Fuzzy Soft Sets and Their Application in Decision-Making”, Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, Volume 12, Number 1, pp. 1541-1558, 2021.
- [23] MEMİŞ Samet, “A Study on Picture Fuzzy Sets”, 7th IFS and Contemporary Mathematics Conference, pp. 125–132, 2021.
- [24] MEMİŞ Samet, “Another View on Picture Fuzzy Soft Sets and Their Product Operations with Decision-Making”, Journal of New Theory, Volume 2022, Number, 38, 1–13, 2022.
- [25] NAEEM Khalid, MEMİŞ Samet, “Picture Fuzzy Soft σ -Algebra and Picture Fuzzy Soft Measure and Their Applications to Multi-Criteria Decision-Making, Granular Computing, Volume 8, pp. 397–410, 2023.

CURRICULUM VITAE

Ömer KARAKOÇ

He was born in Yozgat in 1992. He graduated from Sabancı University as an industrial engineer in 2016. He completed his master's degree in 2019 from Marmara University by completing the Evaluation of the development level of provinces by gray cluster analysis. Later, he enrolled in the PhD program at the same university. He started as a lecturer in 2021 in Rumeli university. He still continues his academic studies there.

Samet MEMİŞ

He was born in Aydın in 1991. He received the BSc, MSc, and PhD degrees from the Department of Mathematics, Çanakkale Onsekiz Mart University in 2014, 2016, and 2021, respectively. His doctoral dissertation was supported by TÜBİTAK within the priority area of “Artificial Intelligence and Machine Learning”. He graduated from the School of Graduate Studies, Çanakkale Onsekiz Mart University (2020-2021) with the first ranked degree.

He is currently Head of Department of Computer Engineering and Vice Dean of Faculty of Engineering and Natural Sciences, İstanbul Rumeli University, İstanbul, Turkey. His research interests are Fuzzy Sets, Soft Sets, Soft Matrices, *f*ps-matrices, Similarity Measure, Distance Measure, Decision-Making, Image Denoising, and Machine Learning. His more than 30 national and international articles and papers have been published. He took part in eight national scientific research projects. He serves as the area editor of Journal of New Theory.

Bahar SENNAROĞLU

She is a full-time Professor in the Department of Industrial Engineering at Marmara University. Prof. Dr. Bahar Sennaroğlu has been Head of the Department of Industrial Engineering since Oct. 26, 2020. She received her MSc and PhD degrees in Industrial Engineering from Marmara University. Her research interests include multi-criteria decision-making, experimental design, and forecasting techniques. She has published several international peer-reviewed journal articles and conference papers.



THE IMPORTANCE OF SILIVRI REGION FOR RENEWABLE ENERGY IN FACILITY LOCATION SELECTION AND AN APPLICATION

TESİS YERİ SEÇİMİNDE YENİLENEBİLİR ENERJİ KULLANIMI AÇISINDAN SİLİVRİ BÖLGESİNİN ÖNEMİ VE BİR UYGULAMA

Abdullah Zübeyr ŞEKERCİ
İstanbul Rumeli Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi
ORCID Nr: 0000-0003-4181-0387

ABSTRACT

This study aims to select RES-Intensive regions for factories engaged in production activities based on three different kinds of literature. In the facility location selection (FLS) literature for RES, the most suitable site selection is usually made according to the regional density of a particular renewable energy source, such as wind and solar. In addition, In the RES selection literature, one of the most suitable sources, such as solar, wind, and hydro is selected. In addition, the Normal FLS literature considers key criteria for a facility, such as location, supplier and market proximity. In this context, this study focused on selecting the regions where RES is concentrated and where factories can be established based on three kinds of literature. Locations have been determined based on possible locations where factories can be established in Istanbul. The most commonly used criteria in the literature were selected for the selection process. Thus, the fuzzy analytical hierarchy process (FAHP) structure was established with 5 main criteria and 13 sub-criteria related to them. Silivri Region has been selected as the region where the RES will be utilized best from the three alternative locations previously determined. The accuracy of the result obtained has been confirmed by testing with real data.

Key Words: FAHP, renewable energy source, facility location selection, region selection.

ÖZET

Bu çalışma üç farklı literatürden beslenerek üretim faaliyetinde bulunan fabrikalar için RES-Yoğun bölgeleri seçmeyi hedeflemektedir. RES için tesis yeri seçimi (FLS) literatüründe, en uygun yer seçimi genellikle rüzgar ve güneş gibi belirli bir yenilenebilir enerji kaynağının bölgesel yoğunluğuna göre yapılır. RES seçim (S) literatüründe ise güneş, rüzgar, hidro gibi en uygun kaynaklardan biri seçilir. Buna ek olarak Normal FLS literatüründe bir tesis için konum, tedarikçi ve pazar yakınlığı gibi temel kriterler ele alınır. Bu bağlamda bu çalışma üç literatürden yola çıkarak RES'in yoğunlaştığı ve fabrika kurulabilecek bölgelerin seçimine odaklanmıştır. İstanbul'da fabrika kurulabilecek olası lokasyonlar baz alınarak lokasyonlar belirlenmiştir. Seçim sürecinde literatürde en sık kullanılan kriterler seçilmiştir. Böylece 5 ana kriter ve bunlara bağlı 13 alt kriterden oluşan bulanık analitik hiyerarşi süreci (FAHP) yapısı oluşturulmuştur. Silivri Bölgesi, daha önce belirlenen üç alternatif lokasyondan RES'in en iyi kullanılacağı bölge olarak seçilmiştir. Elde edilen sonucun doğruluğu gerçek verilerle test edilerek onaylanmıştır.

Anahtar Kelimeler: FAHP, yenilenebilir enerji kaynakları, tesis yeri seçimi, bölge seçimi.



1. Introduction

In the 21st century, the main reason for the increase in CO₂ emissions is the fossil fuels such as coal, oil and natural gas, which are used in energy at a high rate. This situation leads to extraordinary annual temperature increases in the world. With policies promoting renewable energy on a global and national scale, the increase rate of fossil fuel use has been reduced. Figure 1 shows the primary energy sources used in electricity generation between 1985-2021.

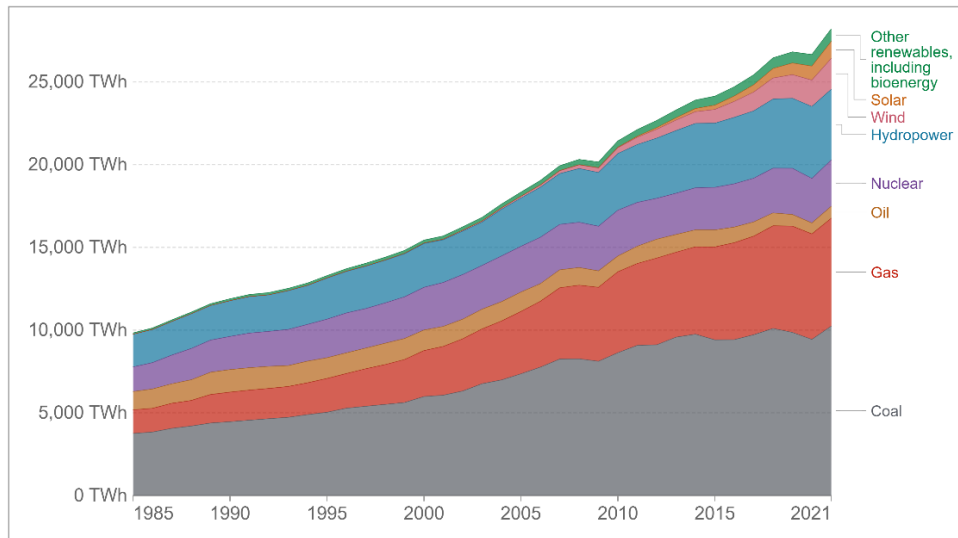


Figure 1. Electricity from Primary Energy Sources Between 1985-2021 [1].

Fossil fuels and other energy sources are used in electricity generation at a rate of approximately 60% worldwide. Apart from this, it is also used for needs such as fuel and heating in buildings, transportation, and industry. Their rates are published annually by the International Energy Agency (IEA) [2]. As shown in Figure 1, although fossil fuels have been reduced in energy use, they still have the main share in the increase in CO₂ emissions. Therefore, agreements such as the Kyoto Protocol, which Türkiye joined in 2009, and the Paris Climate Agreement, signed in 2016, strive to minimize this unsustainable increase [3]. In this context, participants, viewers and many other countries are turning to RES for their net-zero emission policies. As can be seen, the rate of electricity produced from RES has reached almost 50% in recent years. The International Energy Agency expects the world's current installed renewable energy capacity to increase by 2400 GW, or 75%, between 2022 and 2027. The largest share of this increase belongs to China. In Figure 2, the countries' installed RES capacity increase rates are shown on the left side as percentages and on the right side as GW values.

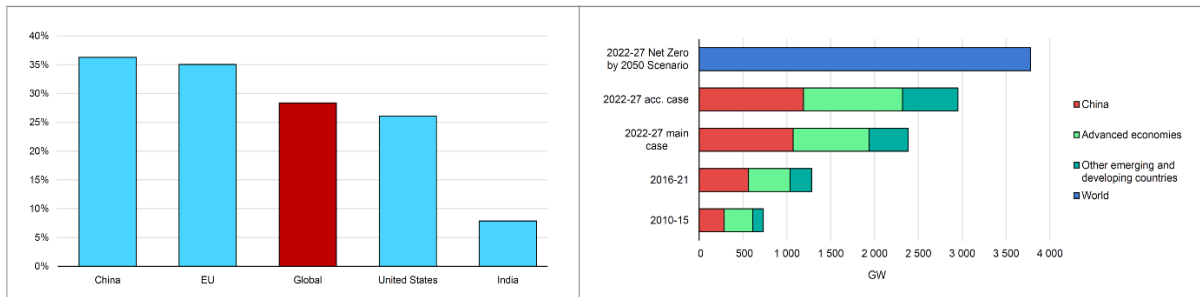


Figure 2. Region-Based RES Installed Capacity Increase Rate-In percent and GW Value [4].



As seen in Figure 2, states are rapidly turning to sustainable energy sources. The biggest revolution in this field belongs to China, which was also the leader in the field of fossil fuels before. In addition, Türkiye is one of the seven driving forces in the area of renewable energy in the European Union Region, where it is located [4]. Table 1 shows the state of Türkiye in thermal and renewable energy.

Table 1. Domestic/Imported and Fossil/RES Ratio in Electricity Production from Primary Energy Sources in Türkiye [5]

| 2010 - TÜRKİYE Electricity Generation-Primary Energy Sources Distribution | | | | | 2021 | | 2022 | |
|---|-----------------------|---------------|---------------------------|----------------|---------------------------|----------------|---------------------------|----------------|
| Domestic (D) Imported (I) | FOSSIL (F) RES (R) | Source | Product (1.000 GWh) | Rate (%) | Product (1.000 GWh) | Rate (%) | Product (1.000 GWh) | Rate (%) |
| D+I | F+R | TOTAL | 211.208 | 100,00% | 331.241 | 100,00% | 334.252 | 100,00% |
| D | F+R | Total | 96.352 | 45,62% | 167.576 | 50,59% | 183.028 | 54,76% |
| I | F+R | Total | 114.856 | 54,38% | 163.665 | 49,41% | 151.224 | 45,24% |
| D+I | R | Total | 55.837 | 26,44% | 118.263 | 35,70% | 132.457 | 39,63% |
| D | R | Total | 55.837 | 26,44% | 118.263 | 35,70% | 132.457 | 39,63% |
| I | R | Total | 0 | 0,00% | 0 | 0,00% | 0 | 0,00% |
| D | R | Hydroelectric | 51.795 | 24,52% | 55.695 | 16,81% | 66.867 | 20,00% |
| D | R | Wind | 2.916 | 1,38% | 31.137 | 9,40% | 30.643 | 9,17% |
| D | R | Solar | 0 | 0,00% | 13.294 | 4,01% | 15.680 | 4,69% |
| D | R | Other | 1.126 | 0,53% | 18.137 | 5,48% | 19.267 | 5,76% |
| D+I | F | Total | 155.371 | 73,56% | 212.978 | 64,30% | 201.795 | 60,37% |
| D | F | Total | 40.515 | 19,18% | 49.313 | 14,89% | 50.571 | 15,13% |
| I | F | Total | 114.856 | 54,38% | 163.665 | 49,41% | 151.224 | 45,24% |
| D | F | D. Coal | 40.515 | 19,18% | 49.313 | 14,89% | 50.571 | 15,13% |
| I | F | I. Coal | 14.532 | 6,88% | 54.889 | 16,57% | 70.410 | 21,06% |
| I | F | Gas | 98.144 | 46,47% | 108.439 | 32,74% | 80.451 | 24,07% |
| I | F | Other | 2.180 | 1,03% | 337 | 0,10% | 363 | 0,11% |

According to Table 1 above, the locality rate has increased considerably over the years. The RES ratio is the main contributor, which constantly increases electricity production. It should be stated that RES is entirely domestic in our country, and more than half of the fossil fuels are imported. In addition, in 2013, the Ministry of Energy stated that one of the 2023 targets was to increase the RES rate to 30% and reduce the natural gas rate to 30%, which has been achieved [6].

In this context, the increase in RES rate in Turkey and the world have enriched the literature in this field. Again, the literature alternately increases the orientation towards RES. This study aims to select the region where a factory can be established in Istanbul, among three alternative regions within the organized industrial zone (OIZ) or close to the OIZ, where the RES will be utilized the most for the production facilities. The FAHP structure consisting of 5 main criteria and 13 sub-criteria was used for the selection process. In the literature, the use of multi-criteria decision-making methods (MCDM) has increased in recent years for the RES S process. Therefore, the criteria were selected from the literature. As a result of the selection process, Silivri Region is the most convenient region to establish a factory to benefit from RES. The result of the selection process is also confirmed by real energy maps.



2. Literatur Review

In recent years, since the orientation to RES and the policies in this direction have increased considerably, studies in this field have increased in parallel in the literature. Studies with MCDM in this literature are in the research area of this study. In addition, RES S, RES FLS and Normal FLS literature were used. Since the literature review is extensive, this is shown in two separate tables. Table 2 shows the applications in the literature, and Table 3 shows their methods.

Table 2. Literature Search for RES S, RES FLS and Normal FLS Applications with MCDM

| Writer(s) | Year | Implementation | | | |
|-----------------------|------|----------------|----------|-----------|------------|
| | | RES S | Wind FLS | Solar FLS | Normal FLS |
| Theodorou vd. [7] | 2010 | √ | | | |
| Önüt [8] | 2010 | | | | √ |
| Sadeghi vd. [9] | 2012 | √ | | | |
| Aydın [10] | 2013 | | √ | | |
| Kengpol vd. [11] | 2013 | | | √ | |
| Kabir ve Sumi [12] | 2014 | | | | √ |
| Noorallahi vd. [13] | 2016 | | | | √ |
| Damgacı vd. [14] | 2017 | √ | | | |
| Wang vd. [15] | 2018 | | √ | | |
| Duman [16] | 2018 | | | √ | |
| Ishfaq vd. [17] | 2018 | √ | | | |
| Darani vd. [18] | 2018 | | | | √ |
| Doğan ve Uludağ [19] | 2018 | | | √ | |
| Gücer [20] | 2018 | | | | √ |
| Solangi vd. [21] | 2019 | √ | | | |
| Can ve Yücel [22] | 2019 | | √ | | |
| Ammar vd. [23] | 2019 | | | | √ |
| Karakul [24] | 2020 | √ | | | |
| Derse ve Yontar [25] | 2020 | √ | | | |
| Anderluh [26] | 2020 | | | | √ |
| Vagiona [27] | 2021 | | | √ | |
| Urfalı ve Eymen [28] | 2021 | | √ | | |
| Komchorrit [29] | 2021 | | | | √ |
| Güner vd. [30] | 2021 | | | √ | |
| Abdel-Basset vd. [31] | 2021 | √ | | | |
| Nong [32] | 2021 | | | | √ |
| Bilgiç vd. [33] | 2021 | √ | | | |
| Xuan vd. [34] | 2022 | | | √ | √ |
| Öztaş [35] | 2022 | | | √ | |
| Sarkodie vd. [36] | 2022 | √ | | | |
| TOTAL | | 10 | 4 | 6 | 9 |

Table 3. Literature Search for RES S, RES FLS, and Normal FLS Implementation Methods with MCDM

| Writer(s) | Year | Method* | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|------|---------|-----|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|----|
| | | F | AHP | F | TP | VK | GR | PR | II | EL | MR | CP | BW | ANP | SW | WS |
| Theodorou vd. [7] | 2010 | | √ | | | | | √ | | √ | | | | | | |
| Önüt [8] | 2010 | √ | √ | √ | √ | | | | | | | | | | | |
| Sadeghi vd. [9] | 2012 | √ | √ | √ | √ | | | | | | | | | | | |
| Aydın [10] | 2013 | | | √ | √ | √ | | | | | | | | | | |
| Kengpol vd. [11] | 2013 | √ | √ | | √ | | | | | | | | | | | |
| Kabir ve Sumi [12] | 2014 | √ | √ | | | | | √ | | | | | | | | |
| Noorallahi vd. [13] | 2016 | √ | √ | | | | | | | | | | | | | |
| Damgacı vd. [14] | 2017 | | | √ | √ | | | | | | | | | | | |
| Wang vd. [15] | 2018 | √ | √ | | √ | | | | | | | | | | | |
| Duman [16] | 2018 | | √ | | √ | | | | | | √ | | | | | |
| Ishfaq vd. [17] | 2018 | | √ | | √ | √ | | | | | | | | | | |
| Darani vd. [18] | 2018 | √ | √ | | √ | | | | | | | | | | | |
| Doğan ve Uludağ [19] | 2018 | | √ | | | | √ | | | | | | | | | |
| Gücer [20] | 2018 | | √ | | | | | | | | | | | | | |



| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|------|----------|-----------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Solangi vd. [21] | 2019 | √ | √ | √ | | | | | | | | | | | | | | | |
| Can ve Yücel [22] | 2019 | | √ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ammar vd. [23] | 2019 | √ | √ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Karakul [24] | 2020 | | √ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Derse ve Yontar [25] | 2020 | | | | √ | | | | | | | | | | | | | | |
| Anderluh [26] | 2020 | | √ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Vagiona [27] | 2021 | | √ | | √ | √ | | √ | √ | | | | | | | | | | |
| Urfalı ve Eymen [28] | 2021 | | √ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Komchornrit [29] | 2021 | | √ | | √ | | | | | | | | | | | | | | |
| Güner vd. [30] | 2021 | | √ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Abdel-Basset vd. [31] | 2021 | | √ | | √ | √ | | | | | | | | | | | | | |
| Nong [32] | 2021 | | | | | | | | | | | | √ | | | | | | |
| Bilgiç vd. [33] | 2021 | | | | | | | | | | | | | √ | | | | | |
| Xuan vd. [34] | 2022 | | | | | | | | | | | | | | | | | √ | √ |
| Öztaş [35] | 2022 | | | | | | | | | | | | √ | | | | | | |
| Sarkodie vd. [36] | 2022 | | | | √ | | | | | | | | | | | | | | |
| TOTAL | | 8 | 21 | 5 | 15 | 4 | 1 | 3 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

*F: Fuzzy, TP: TOPSIS, VK: VIKOR, GR: GRA, PR: PROMETHEE, EL: ELECTRE, MR: MOORA, CP: COPRAS, BW: BWM, AN: ANP, SW: SWARA, WS: WASPAS.

As seen in the literature review, the use of MCDM methods has increased in the process of determining the most appropriate RES in recent years. Among these methods, FAHP and FTOPSIS are used more than others. In our study, the selection process was done with FAHP. In the next methodology section, the FAHP structure and criterion selection were examined and then the selection process was made.

3. Methodology

This study has been prepared according to a specific methodology. As stated in the literature review, MCDM methods were researched in the first step. Afterwards, the structure of these methods was examined, and the most frequently used criteria in the literature were applied to these structures. As a result, the region weights were found. Real energy maps were used to confirm these results. Figure 3 describes this methodology.

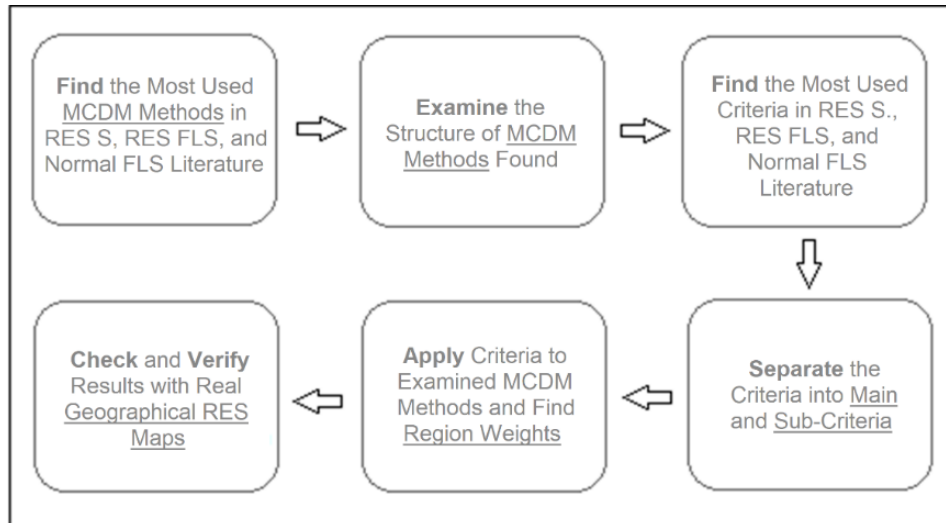


Figure 3. Methodological Progress of the Study



According to the methodological progress in Figure 3, the structure of FAHP, which is the method obtained from the literature, is examined in the next section.

3.1. The Structure of FAHP

AHP is an analytical decision-making method proposed by Saaty [37] in 1990. This structure translates human views into mathematical expressions with the Saaty linguistic scale and selects the most appropriate alternative among the main-sub-criteria. This study, on the other hand, preferred to use the fuzzy format of AHP to obtain results even closer to reality. The FAHP model used is Buckley's model, which developed Saaty's AHP structure [38]. The linguistic scale of the FAHP is shown in Table 4.

Table 4. Linguistic Scale of Fuzzy Numbers [12]

| Saaty Scale | Description | Triangular Fuzzy Numbers | Triangular Fuzzy Numbers-Reverse |
|-------------|------------------------------|--------------------------|----------------------------------|
| 1 | Equal Importance Level | (1,1,1) | (1,1,1) |
| 2 | Intermediate value | (1,2,3) | (1/3, 1/2, 1) |
| 3 | Weak Importance Level | (2,3,4) | (1/4, 1/3, 1/2) |
| 4 | Intermediate value | (3,4,5) | (1/5, 1/4, 1/3) |
| 5 | Medium Importance Level | (4,5,6) | (1/6, 1/5, 1/4) |
| 6 | Intermediate value | (5,6,7) | (1/7, 1/6, 1/5) |
| 7 | Strong Importance Level | (6,7,8) | (1/8, 1/7, 1/6) |
| 8 | Intermediate value | (7,8,9) | (1/9, 1/8, 1/7) |
| 9 | Very Strong Importance Level | (8,9,9) | (1/9, 1/9, 1/8) |

The FAHP's weighting process steps for the main and sub-criteria are shown below. [39]:

Step 1. The pairwise comparison matrix \tilde{C}^k , determined based on expert opinions. This matrix consists of fuzzy numbers \tilde{d}_{mn}^k :

$$\tilde{C}^k = \begin{bmatrix} \tilde{d}_{11}^k & \tilde{d}_{12}^k & \dots & \tilde{d}_{1j}^k \\ \vdots & \dots & \ddots & \vdots \\ \tilde{d}_{n1}^k & \tilde{d}_{n2}^k & \dots & \tilde{d}_{nn}^k \end{bmatrix} \quad (1)$$

If multiple decision-makers:

$$\tilde{d}_{ij} = \frac{\sum_m^M 1 \tilde{d}_{ij}^k}{K} \quad (2)$$

With equation 2, \tilde{d}_{ij} decision criteria are averaged, and the following matrix is obtained:

$$\tilde{C} = \begin{bmatrix} \tilde{d}_{11} & \dots & \tilde{d}_{ij} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{d}_{n1} & \dots & \tilde{d}_{nn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Step 2. The value of each row of triangular fuzzy numbers \tilde{d}_{ij} is obtained by the geometric mean, as \tilde{r}_i [40]:

$$\tilde{r}_i = (\prod_{j=1}^n \tilde{d}_{ij})^{1/n} \quad i=1,2,\dots,n \quad (4)$$

Step 3. Then, the weighting process is done as follows, and the values of \tilde{w}_i are obtained [41]:



$$\tilde{w}_i = \tilde{r}_l \otimes (\tilde{r}_1 \oplus \tilde{r}_2 \oplus \dots \oplus \tilde{r}_n)^{-1} = l_i, m_i, u_i \quad (5)$$

Step 4. The l_i, m_i, u_i values obtained in step 3 represent a small, medium and large fuzzy triangular number. Therefore, this fuzzy number is defuzzified by the Center of Means (COA) method:

$$D_i = \frac{l_i + m_i + u_i}{3} \quad (6)$$

Step 5. The value obtained as a result of the defuzzification process is normalized, and this value reveals the weight of the desired criterion or alternative:

$$N_i = \frac{D_i}{\sum_{n=1}^N D_i} \quad (7)$$

The stages described above are applied separately at each stage of the FAHP structure when evaluating the main and sub-criteria and alternatives. Finally, the weight of the desired alternative is determined.

3. 2. Obtaining Criteria from the Literature

According to Figure 3, Table 5 was created to obtain criteria from the literature in methodological progress, and the most frequently used criteria in the studies are shown.

Table 5. Most Commonly Used Criteria in RES S and RES FLS Literature

| Writer | Year | Criteria | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|------|----------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------|-----------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|----------|
| | | Main Criteria* | | | | | | Sub Criteria** | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | RR | RF | EP | TP | SF | LF | RR | | | RF | | EP | | | TP | | SF | | LF | | | | |
| | | | | | | Sr | Wr | Or | Ss | Ws | lo | lt | Sp | Ed | Lf | Ti | Re | Sa | Ps | Pm | T | Pw | | |
| [7] | 2010 | | | ✓ | ✓ | ✓ | | | | | ✓ | | | | | ✓ | | ✓ | | | | | | |
| [8] | 2010 | | | ✓ | | ✓ | | | | | ✓ | | | | | | | ✓ | | | | | | |
| [9] | 2012 | | | ✓ | ✓ | ✓ | | | | | ✓ | | | | ✓ | ✓ | | ✓ | | | | | | |
| [10] | 2013 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | | | | ✓ | | | | | ✓ | ✓ | | ✓ | |
| [11] | 2013 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | | | ✓ | ✓ | | | | ✓ | | | | | ✓ | ✓ | | | |
| [12] | 2014 | ✓ | | ✓ | | | ✓ | ✓ | | | ✓ | | ✓ | | | | | | | ✓ | ✓ | | | |
| [13] | 2016 | ✓ | ✓ | | ✓ | | ✓ | | | ✓ | | | | | ✓ | | | | | ✓ | ✓ | | | |
| [14] | 2017 | | | ✓ | ✓ | ✓ | | | | | ✓ | | | | ✓ | | ✓ | | | | | | | |
| [15] | 2018 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | | | ✓ | ✓ | | | | ✓ | | | | | ✓ | ✓ | | | |
| [16] | 2018 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | | | ✓ | | | | ✓ | ✓ | | | | | ✓ | ✓ | | ✓ | |
| [17] | 2018 | ✓ | | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | | | ✓ | | | | | | | ✓ | ✓ | | |
| [18] | 2018 | | | ✓ | | ✓ | ✓ | | | | ✓ | | | | ✓ | | ✓ | | | | ✓ | ✓ | | |
| [19] | 2018 | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | | | ✓ | | ✓ | | | | ✓ | ✓ | | |
| [20] | 2018 | | | ✓ | | ✓ | ✓ | | | | ✓ | | | | ✓ | | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | |
| [21] | 2019 | | | ✓ | | ✓ | ✓ | | | | ✓ | | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | | ✓ | ✓ | | |
| [22] | 2019 | | ✓ | | | ✓ | ✓ | | | | ✓ | | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | | | ✓ | ✓ | |
| [23] | 2019 | ✓ | | | ✓ | ✓ | | ✓ | | ✓ | | | | | ✓ | | ✓ | | | | | ✓ | ✓ | |
| [24] | 2020 | ✓ | | | | | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | | | | ✓ | |
| [25] | 2020 | ✓ | | | | | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | | ✓ | | | | | ✓ | |
| [26] | 2020 | | | ✓ | | | ✓ | | | | ✓ | | | | ✓ | | | | | | | ✓ | ✓ | |
| [27] | 2021 | ✓ | | | ✓ | | ✓ | | | | ✓ | | | | ✓ | | | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | |
| [28] | 2021 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | | ✓ | | | | ✓ | ✓ | | | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | |
| [29] | 2021 | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | | | ✓ | | | | ✓ | | ✓ | | | | ✓ | ✓ | ✓ | |
| [30] | 2021 | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | | | ✓ | | | | ✓ | | | | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | |
| [31] | 2021 | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ | |
| [32] | 2021 | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | | | ✓ | | | | ✓ | | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | |
| [33] | 2021 | ✓ | | | | | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | | | | | | ✓ | ✓ | ✓ | |
| [34] | 2022 | ✓ | | | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | | | | ✓ | | | | | | ✓ | ✓ | ✓ | |
| [35] | 2022 | ✓ | | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | | | ✓ | | | | | | | ✓ | ✓ | ✓ | |
| [36] | 2022 | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ | |
| TOPLAM | | 19 | 8 | 20 | 19 | 14 | 20 | 15 | 12 | 8 | 5 | 3 | 19 | 6 | 5 | 4 | 20 | 8 | 11 | 7 | 9 | 15 | 12 | 6 |



*Main Criteria: RR: RES Ratio, RF: RES Features, EP: Economic Possibilities, TP: Teknikal Possibilities, SF: Socioeconomic Factors, LF: Location Factors,
**Sub Criteria: Sr: Solar RES Ratio, Wr: Wind RES Ratio, Or: Other RES Ratio, Ss: Sunshade Slope, Ws: Wind Speed, Io: Investment and Operating Costs, It: Incentives and Taxes, Sp: Service Period, Ed: Distance to Energy Lines, Lf: Land Features, Ti: Technology and Industry Development Level, Re: Regional employment, Sa: Social Acceptance, Ps: Proximity to Suppliers, Pm: Proximity to Market, T: Transportation, Pw: Proximity to Water Source.

As seen in Table 5, some main and sub-criteria were obtained at high values and some at low values. Saaty's [37] FAHP hierarchical table prepared according to this table is shown in Figure 4.

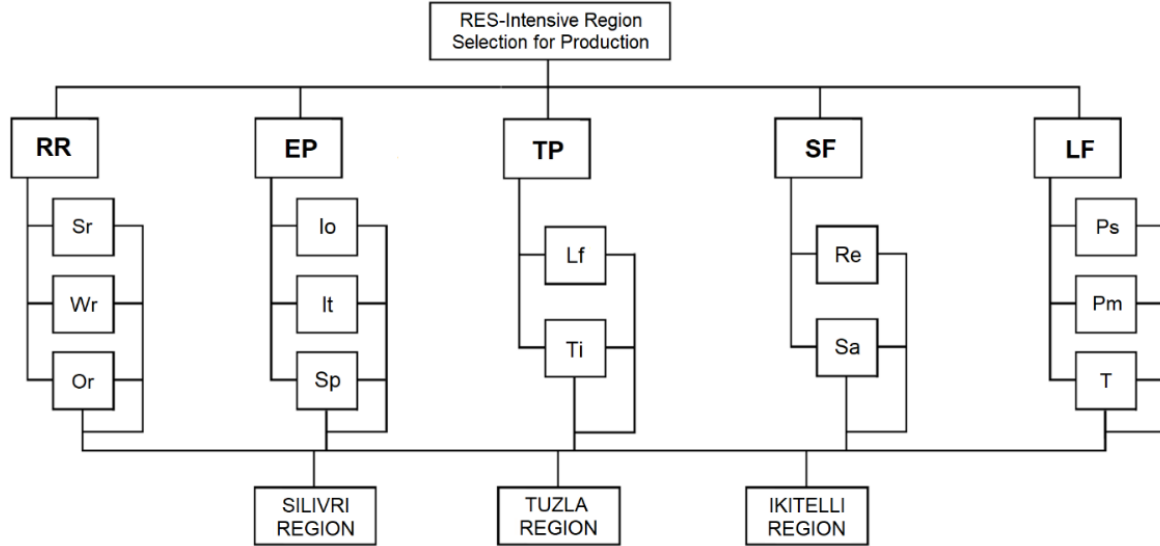


Figure 4. RES-Intensive Region Selection for Production-FAHP Hierarchical Structure

The explanation of criteria shown in Figure 4 and the reasons for selection are explained with the items:

- 1. RE (RES Ratio):** It is the main criterion that indicates RES-intensive regions. It has also been highly preferred in the literature.
 - a. Sr (Solar RES Ratio):** It is the sub-criterion that indicates the number of sunny days, solar plant density or potential of the region where the facility will be established.
 - b. Wr (Wind RES Ratio):** It is the sub-criterion that indicates the number of windy days, wind speed, wind farm density or potential of the region where the facility will be established.
 - c. Or (Other RES Ratio):** It is the sub-criterion that indicates the RES resource density or potential of the region where the facility will be established, other than solar and wind, such as geothermal or biogas.
- 2. EP (Economic Possibilities):** It is the main criterion that indicates the economic advantages or disadvantages in the region where the facility will be established.
 - d. Io (Investment and Operation Cost):** It is the sub-criterion that indicates the investment and operating costs for the region where the facility will be established.
 - e. It (Incentives and Taxes):** It is the sub-criterion that indicates the incentive and tax status of the region where the facility will be established.
 - f. Sp (Service Period):** It is the sub-criterion that indicates the service period of the facility in the region where the facility will be established.
- 3. TP (Technical Possibilities):** It is the main criterion that indicates the technical and technological possibilities of the region where the facility will be established.
 - g. Lf (Land Features):** It is the main criterion that indicates the flatness of the land, the possibilities of expansion, and the robustness of the region where the facility will be established.
 - h. Ti (Technical and Industrial Development Level):** It is the sub-criterion that indicates the technological and industrial infrastructure of the region where the facility will be established.
- 4. SF (Socioeconomic Factors):** It is the main criterion that indicates the labour potential and social acceptance of the population of the region where the facility will be established.
 - i. Re (Regional Employment):** It is the sub-criterion that indicates the workforce that can be employed in the region where the facility will be established.



- j. **Sa (Social Acceptance):** It is the sub-criterion that indicates the acceptability of the facility by the population of the region where the facility will be established, within the scope of environmental factors, job opportunities or different advantages and disadvantages.
- 5. **LF (Location Factors):** It is the main criterion that indicates the location of the region where the facility will be established to roads, raw material suppliers or customers.
 - k. **Ps (Proximity to Suppliers):** It is a sub-criterion that indicates the proximity of the region where the facility will be established to the raw material producers.
 - l. **Pm (Proximity to Market):** It is a sub-criterion that indicates the proximity of the region where the facility will be established to the customers.
 - m. **T (Transportation):** It is the sub-criterion that indicates the road infrastructure of the region where the facility will be established.

Some main and sub-criteria in Table 4 were not included in the FAHP structure, and their expansions were not needed to be explained. The reason is that they are used less in the literature and do not comply with our study. After this section, FAHP pairwise comparison matrices are examined under the title of implementation.

4. Implementation

FAHP pairwise comparison matrices were prepared by taking the opinions of three experts separately. In addition, the average of the expert scores was taken as in Equation 2 to make the pairwise comparison values singular. In this way, a total of 19 pairwise comparison tables were formed. Two of these are shared in the study. Table 6 shows the comparison matrix between the main criteria themselves, and Table 7 shows the comparison matrix between the main criteria RO and its sub-criteria.

Table 6. Pairwise Comparison Matrix for Selection of the Most Appropriate RES-Intensive Region of Main Criteria

| ANA | RR | EP | TP | SF | KF | r_{ij} | w_j | DEZ. (AVR.) | NORMAL |
|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------|----------------|-------------|----------|
| RR | 1,0 1,0 1,0 | 4,0 5,0 6,0 | 3,0 4,0 5,0 | 5,0 6,0 7,0 | 3,0 4,0 5,0 | 2,83 3,44 4,02 | 0,36 0,51 0,69 | 0,52 | 0,52 |
| EP | 0,2 0,2 0,3 | 1,0 1,0 1,0 | 2,0 3,0 4,0 | 3,0 4,0 5,0 | 1,0 1,0 1,0 | 1,00 1,19 1,38 | 0,13 0,18 0,24 | 0,18 | 0,18 |
| TP | 0,2 0,3 0,3 | 0,3 0,3 0,5 | 1,0 1,0 1,0 | 3,0 4,0 5,0 | 1,0 1,0 1,0 | 0,68 0,80 0,96 | 0,09 0,12 0,17 | 0,12 | 0,12 |
| SF | 0,1 0,2 0,2 | 0,2 0,3 0,3 | 0,2 0,3 0,3 | 1,0 1,0 1,0 | 0,3 0,2 0,2 | 0,27 0,29 0,33 | 0,03 0,04 0,06 | 0,04 | 0,04 |
| KF | 0,2 0,3 0,3 | 1,0 1,0 1,0 | 1,0 1,0 1,0 | 6,0 5,0 4,0 | 1,0 1,0 1,0 | 1,04 1,05 1,06 | 0,13 0,15 0,18 | 0,16 | 0,14 |
| TOTAL 5,82 6,77 7,75 | | | | | | | | | 1 |

As seen in Table 6, RO main criteria have come to the fore in selecting RES-intensive region for production. Table 7 shows the pairwise comparison matrix between the sub-criteria of this main criterion.

Table 7. Pairwise Comparison Matrix for Sub-Criteria of RO Main Criteria

| RR | Sr | Wr | Or | r_{ij} | w_j | DEZ. (AVR.) | NORMAL |
|-----------------------------|----------------|----------------|-------------|----------------|----------------|-------------|----------|
| Sr | 1,0 1,0 1,0 | 1,0 1,0 1,0 | 4,0 5,0 6,0 | 1,59 1,71 1,82 | 0,40 0,47 0,54 | 0,47 | 0,47 |
| Wr | 1,0 1,0 1,0 | 1,0 1,0 1,0 | 3,0 4,0 5,0 | 1,44 1,59 1,71 | 0,36 0,43 0,51 | 0,44 | 0,43 |
| Or | 0,17 0,20 0,25 | 0,20 0,25 0,33 | 1,0 1,0 1,0 | 0,32 0,37 0,44 | 0,08 0,10 0,13 | 0,10 | 0,10 |
| TOTAL 3,35 3,66 3,96 | | | | | | | 1 |



As seen in Table 7, among the sub-criteria of the RO main criteria, solar and wind energy ratios are more prominent in the region selection. Among them, the rate of solar energy is more prominent. As a result of 19 tables prepared in this way, Table 8 shows the general weighting and ranking values.

Table 8. Overall Weighting and Ranking

| MAIN | w.* MAIN | SUB | w. SUB | SILV. | TUZL. | IKT. | w. SILV. | w. TUZL. | w. IKT. |
|----------------|----------|--------------|--------|-----------|-------------|-------------|-------------|----------|---------|
| RR | 0,52 | Sr | 0,47 | 0,35 | 0,39 | 0,26 | 0,09 | 1,00 | 0,06 |
| | | Wr | 0,43 | 0,50 | 0,21 | 0,29 | 0,11 | 0,05 | 0,06 |
| | | Or | 0,10 | 0,37 | 0,38 | 0,25 | 0,02 | 0,02 | 0,01 |
| | | Io | 0,68 | 0,25 | 0,34 | 0,41 | 0,03 | 0,04 | 0,05 |
| EP | 0,18 | It | 0,24 | 0,40 | 0,34 | 0,26 | 0,02 | 0,01 | 0,01 |
| | | Sp | 0,08 | 0,32 | 0,32 | 0,36 | 0,005 | 0,005 | 0,005 |
| | | Lf | 0,65 | 0,45 | 0,35 | 0,20 | 0,04 | 0,03 | 0,02 |
| TP | 0,12 | Ti | 0,35 | 0,26 | 0,34 | 0,40 | 0,01 | 0,01 | 0,02 |
| | | Re | 0,85 | 0,22 | 0,33 | 0,45 | 0,01 | 0,01 | 0,02 |
| SF | 0,04 | Sa | 0,15 | 0,36 | 0,34 | 0,30 | 0,002 | 0,002 | 0,002 |
| | | Ps | 0,48 | 0,28 | 0,33 | 0,39 | 0,02 | 0,02 | 0,03 |
| | | Pm | 0,32 | 0,28 | 0,28 | 0,44 | 0,01 | 0,01 | 0,02 |
| KF | 0,14 | T | 0,20 | 0,30 | 0,30 | 0,40 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| | | TOTAL | | | 0,37 | 0,32 | 0,31 | | |
| RANKING | | | | 1. | 2. | 3. | | | |

*w: indicates the weight

As seen in Table 8, Silivri Region was determined as the most suitable region for selecting the RES-Intensive region for production using the main and sub-criteria determined. Some findings and their accuracy are discussed in the next section.

5. Findings and Discussion

In this section, not only the final ranking result but also some intermediate values are discussed. For example, in the main criteria scoring, our experts scored the RR as the highest. Because in the pairwise comparison of the main criteria, the goal is selecting the densest RES region. Therefore, this high ratio was multiplied by other weights and affected the ranking. For example, when viewed from a different perspective, İkitelli Region scored first under the KF main criterion. However, since it was aimed to increase the RES ratio in general, it could not be the first in total. Table 9 analyzes such cases and shows the different rankings in sub-criteria weights.

Table 9. Region Ranking Analysis in Sub-Criteria

| MAIN | w.* MAIN | SUB | w. SUB | SILV. | TUZL. | IKT. | w. SILV. | w. TUZL. | w. IKT. |
|------|----------|------|--------|------------------|------------------|------------------|----------|----------|---------|
| RR | 0,52 | Sr | 0,47 | 0,35 | 0,39 | 0,26 | 0,09 | 1,00 | 0,06 |
| | | Wr | 0,43 | 0,50 | 0,21 | 0,29 | 0,11 | 0,05 | 0,06 |
| | | Or | 0,10 | 0,37 | 0,38 | 0,25 | 0,02 | 0,02 | 0,01 |
| | | TOT. | | 1,22 (1.) | 0,98 (2.) | 0,80 (3.) | | | |
| EP | 0,18 | Io | 0,68 | 0,25 | 0,34 | 0,41 | 0,03 | 0,04 | 0,05 |
| | | It | 0,24 | 0,40 | 0,34 | 0,26 | 0,02 | 0,01 | 0,01 |
| | | Sp | 0,08 | 0,32 | 0,32 | 0,36 | 0,005 | 0,005 | 0,005 |
| TP | 0,12 | TOT. | | 0,97 (3.) | 1,00 (2.) | 1,03 (1.) | | | |
| | | Lf | 0,65 | 0,45 | 0,35 | 0,20 | 0,04 | 0,03 | 0,02 |
| | | Ti | 0,35 | 0,26 | 0,34 | 0,40 | 0,01 | 0,01 | 0,02 |
| SF | 0,04 | TOT. | | 0,70 (1.) | 0,69 (2.) | 0,60 (3.) | | | |
| | | Re | 0,85 | 0,22 | 0,33 | 0,45 | 0,01 | 0,01 | 0,02 |
| | | Sa | 0,15 | 0,36 | 0,34 | 0,30 | 0,002 | 0,002 | 0,002 |
| KF | 0,14 | TOT. | | 0,58 (3.) | 0,67 (2.) | 0,75 (1.) | | | |
| | | Ps | 0,48 | 0,28 | 0,33 | 0,39 | 0,02 | 0,02 | 0,03 |
| | | Pm | 0,32 | 0,28 | 0,28 | 0,44 | 0,01 | 0,01 | 0,02 |
| KF | 0,14 | T | 0,20 | 0,30 | 0,30 | 0,40 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| | | TOT. | | 0,86 (3.) | 0,91 (2.) | 1,23 (1.) | | | |



The purpose of Table 9 is to consider only the region-based evaluations separately, without the weight effect of the main and sub-criteria. As can be seen, İkitelli Region, which is in the last place in the general ranking, ranks first in some areas, such as economic opportunities or location factors. The known reason is that it is much closer to the city centre than the other two regions and has access to different opportunities and locations. Similarly, it has come to the forefront also with the high weight of regional employment in socioeconomic opportunities. Again, it's about being close to the centre. On the other hand, Silivri Region is known to be the most suitable place in terms of land, although it is not ahead of İkitelli in terms of technical possibilities. This criterion also brought this region forward. Such inferences can also be made.

In addition, the study aims to select the region with a dense RES ratio and potential. Therefore, to analyse the selected region's relationship with the real situation, these districts' sun and wind intensity were obtained from specific sources. In this context, Table 9 shows wind and Table 10 shows solar RES rates and potential based on real data.

Table 9. Istanbul Districts Wind RES Installed Powers [42]

| REGION | DISTRICT | WPP Name** | Firm Name | Installed Power (MW) | Ranking | FAHP Ranking | |
|-------------------------------------|----------|---|------------------------------|----------------------|---------------|--------------|--|
| SILIVRI or Nearby Region | CATALCA | Istanbul WPP | Universal Wind Enerji | 200 MW | | | |
| | ŞİLE | Omerli WPP | Erciyes Anadolu Holding | 100 MW | | | |
| | CATALCA | Catalca WPP | Sanko Enerji | 93 MW | | | |
| | SILIVRI | Silivri WPP | Eksim Enerji | 63 MW | | | |
| | CATALCA | Hacıbey WPP | Kıvanc Enerji | 51 MW | | | |
| | SILIVRI | Canta WPP | Erciyes Anadolu Holding | 50 MW | | | |
| | CATALCA | Yamactepe 2 WPP | Sancak Enerji | 30 MW | | | |
| | CATALCA | Aydos WPP | Serbest Enerji | 14 MW | | | |
| | CATALCA | Cataltepe WPP | Super Elektrik Üretim | 10 MW | 1. | 1. | |
| | CATALCA | Kuptepe WPP | Nokta Yatırım Holding | 10 MW | | | |
| | SILIVRI | Mahmut Sevket Pasa WPP | Pasa Enerji | 8,00 MW | | | |
| | SILIVRI | Tepe WPP | Teperes Elektrik | 5,85 MW | | | |
| | SILIVRI | Gazi WPP | Ari En Elektrik Üretim | 5,00 MW | | | |
| | SILIVRI | Sakarbayır WPP | Ari En Elektrik Üretim | 3,00 MW | | | |
| | SILIVRI | Ertan WPP | Ertan Enerji Elektrik Üretim | 3,00 MW | | | |
| | U.C.* | B.CEKMECE | Ayyıldız Enerji WPP | Ayyıldız Enerji | 0,50 MW | | |
| | U.C. | CATALCA | Salteks Tekstil Catalc WPP | Salteks Tekstil | 2,35 MW | | |
| | U.C. | SILIVRI | Kavak Tekstil İstanbul WPP | Kavak Tekstil | 1,00 MW | | |
| U.C. | SILIVRI | Goksular Un WPP | Goksular Un | 1,00 MW | | | |
| U.C. | CATALCA | ADC Sağlık WPP | ADC Sağlık | 0,75 MW | | | |
| U.C. | CATALCA | Terkos Barajı WPP | İBB | 0,50 MW | | | |
| SILIVRI WIND RES TOTAL | | | | 651,95 MW | 651,95 | 0,50 | |
| TUZLA or Nearby Region | ÜSKÜDAR | Silivri WPP | Eksim Enerji | 63 MW | 3. | 3. | |
| | ŞİLE | Sile WPP | Turkerler Holding | 50 MW | | | |
| TUZLA WIND RES TOTAL | | | | 113 MW | 113 | 0,21 | |
| İKİTELLİ or Nearby Region | G.PAŞA | Gaziosmanpaşa WPP | Oz-Yel Elektrik Üretim | 50 MW | | | |
| | G.PAŞA | Tayakadın WPP | Fina Enerji | 50 MW | | | |
| | G.PAŞA | Kemerburgaz WPP | Alto Holding | 33 MW | 2. | 2. | |
| | SARIYER | Bogazici University Saritepe Campus WPP | Bogazici University | 0,90 MW | | | |
| İKİTELLİ WIND RES TOTAL | | | | 133,90 MW | 133,90 | 0,29 | |
| FAHP – REAL DATA CORRELATION | | | | | %97,23 | | |

*U.C.: Under Construction
**WPP: Wind Power Plant

As seen in Table 9, the highest wind RES rate in Istanbul OIZs is in the Silivri Region, with a five-fold difference. The other two OIZs are very close to each other, and the FAHP ranking has also captured



the real data. The high correlation value below Table 9 indicates this. According to Pearson [43], values between 0,90-1,00 are defined as a "very high correlation".

Table 10. Istanbul Districts Solar RES Installed Powers [44]

| REGION* | DISTRICT | SPP Name** | Firm Name | Installed Power (MW) | Ranking | FAHP Ranking |
|-------------------------------------|------------|-----------------------------|-------------------------|----------------------|---------------|--------------|
| TUZLA or Nearby Region | ATASEHIR | Yeditepe Üniversitesi GPP | Yeditepe Üniversitesi | 1,00 MW | | |
| | PENDIK | Teknopark İstanbul GPP | Teknopark İstanbul | 0,46 MW | | |
| | CEKMEKOY | Özyeğin Üniversitesi GPP | Fina Enerji | 0,35 MW | | |
| | USKUDAR | Özel ASFA GPP | Ozel ASFA Okulları | 0,041 MW | 1. | 1. |
| | UMRANIYE | Anel İş Merkezi GPP | Anel Enerji | 0,027 MW | | |
| | TUZLA | Fronius İnverter İstanbul | F. Inverter İstanbul | 0,008 mw | | |
| U.C. | TUZLA | Tuzla Şelale Park GPP | IBB | 0,55 MW | | |
| TUZLA GÜNEŞ RES TOPLAM | | | | 2,436 MW | 2,436 | 0,39 |
| SILIVRI or Nearby Region | B.CEKMECE | B.cekmece Golu Yuzer GPP | IBB | 0,24 MW | | |
| | ARNAVUTKOY | Samson Olcu GPP | Samson Olcu | 0,17 MW | | |
| | ARNAVUTKOY | Aktas Akıncı Tekstil GPP | Aktaş Akıncı Tekstil | 0,10 MW | 2. | 2. |
| | CATALCA | Osman Muzaffer T. GPP | Osman Muzaffer T. | 0,005 MW | | |
| SİLİVRİ GÜNEŞ RES TOPLAM | | | | 0,515 MW | 0,515 | 0,35 |
| İKİTELLİ or Nearby Region | İKİTELLİ | İkitelli Termal GPP | | 0,50 MW | | |
| | EYUPSULTAN | Eyup Belediyesi GPP | Eyup Belediyesi | 0,037 MW | 3. | 3. |
| | K.CEKMECE | IETT İkitelli Fabrikası GPP | IETT İkitelli Fabrikası | 0,009 MW | | |
| İKİTELLİ GÜNEŞ RES TOPLAM | | | | 0,46 MW | 0,46 | 0,26 |
| FAHP - REAL DATA CORRELATION | | | | | %75,33 | |

*Other unlicensed SPPs in Istanbul (various companies): 21 MW
**SPP: Solar Power Plant

As seen in Table 10, the most intense solar WPP rate in Istanbul OIZs is in Tuzla Region, with a five-fold difference, as in the Silivri wind rate. The other two OSBs are very close to each other, and the FAHP ranking has also captured the real data. The above-average and high correlation values below Table 10 indicate this. According to Pearson [43], values between 0.70-0.89 are defined as "high correlation".

6. Result

This study pursues a different purpose than the literature's most appropriate RES S. or RES FLS studies. It presents a new proposal for manufacturing companies by considering the studies in the normal FLS literature together with the studies in the RES S. and RES FLS literature. This recommendation is to encourage companies to produce in RES-Intensive regions. In this context, the study aims to select the RES-Intensive region among three alternative Istanbul OIZs with FAHP. However, when choosing RES-Intensive regions, it also took advantage of the normal FLS literature to consider situations such as location and economic factors. For this, 6 main criteria and 17 sub-criteria were determined among the studies conducted with MCDM methods from the three kinds of literature mentioned. Among these criteria, 5 main criteria and 13 sub-criteria were used in the structure of FAHP. As a result, Silivri Region was chosen as an alternative OIZ region. Details of this selection process are discussed in the findings and discussion section. Although İkitelli Region has come to the fore in areas such as regional employment or economic opportunities, and Tuzla Region has come to the fore in areas such as technical opportunities, Silivri Region has remained at the forefront in WPP selection. Finally, it has been observed that the FAHP structure captures real RES ratios or potential data with highly correlated correlations. Thus, the study provides many contributions to the literature for Turkey, which was able to exceed the 30% WPP rate targeted for 2023.



REFERENCES

- [1] World Economic Forum, “Energy Transition: These Regions Produce A Lot of Carbon Emissions - Here’s What They Plan to Do About It” Ağustos 2022.
<https://www.weforum.org/agenda/2022/08/electricity-capacity-power-renewable-energy/>
- [2] International Energy Agency, “World Energy Outlook 2022: Chapter 1. Overview and Key Findings” Ekim 2022.
<https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>
- [3] ŞEKERCİ A. Zübeyr, “Investigation of The Effect of Increased CO₂ Gas Emissions on Temperature Levels in Turkey: An Application with ANFIS and Linear Regression” 2st Rumeli Energy and Design for A Sustainable Environment Symposium, Haliç, February 17 – 18, 2022: 169-181.
- [4] International Energy Agency, “Renewables 2022: Chapter 1. Renewable electricity” Aralık 2022.
<https://www.iea.org/reports/renewables-2022>
- [5] Enerji Atlası, “Türkiye Elektrik Üretimi” 2022.
<https://www.enerjiatlası.com/elektrik-uretimi/>
- [6] TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, “2023’TE HEDEF YÜZDE 30 YENİLENEBİLİR ENERJİ (MİLLİYET)” Mayıs 2013.
https://www.emo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=98075
- [7] THEODOROU Savvas, FLORİDES Georgios, TASSOU Savvas, “The Use of Multiple Criteria Decision Making Methodologies for the Promotion of RES Through Funding Schemes in Cyprus, Are View” Energies, Volume 38, Number 12, Pp. 7783-7792, 2010.
- [8] ÖNÜT Semih, EFENDİGİL Tuğba, KARA S. Soner, “A Combined Fuzzy MCDM Approach for Selecting Shopping Center Site: An Example from Istanbul, Turkey” Expert Systems with Applications, Volume 37, Number 3, Pp. 1973-1980.
- [9] SADEGHI Arash, LARIMIAN Taimaz, MOLABASHI Ali, “Evaluation of Renewable Energy Sources for Generating Electricity in Province of Yazd: A Fuzzy MCDM Approach” Procedia - Social and Behavioral Sciences, Volume 62, Number 3, Pp. 1095-1099, 2012.
- [10] AYDIN Yaşar, “Bulanık Topsis Ve Vikor Yöntemi Kullanılarak Rüzgâr Enerjisi Santral Yer Seçimi” T.C. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 66, 2013.
- [11] KENGPOL Athakorn, RONTLAONG Piya, TUOMINEN Markku, “A Decision Support System for Selection of Solar Power Plant Locations by Applying Fuzzy AHP and TOPSIS: An Empirical Study” Journal of Software Engineering and Applications, Volume 06, Number 09, Pp. 470-481, 2013.
- [12] KABIR Golam, SUMI R. Sultana, “Power Substation Location Selection Using Fuzzy Analytic Hierarchy Process and PROMETHEE: A Case Study from Bangladesh” Energy, Volume 72, Pp. 717-730, 2014.
- [13] NOOROLLAHİ Ehsan, FADAİ Dawud, SHİRAZİ M. A, kbaarpour, GHODSİPOUR S. Hassan, “Land Suitability Analysis for Solar Farms Exploitation Using GIS and Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP)—A Case Study of Iran” Energies, Volume 9, Number 8, Pp. 643-667, 2016.
- [14] DAMGACI Elif, BORAN Kurtuluş, BORAN Fatih Emre, “Sezgisel Bulanık TOPSIS Yöntemi Kullanarak Türkiye’nin Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Değerlendirilmesi” Politeknik Dergisi, Volume 20, Number 3, Pp. 629-637, 2017.
- [15] WANG Chai-Nan, HUANG Ying-Fang, CHAI Yu-Chien, NGUYEN V. Thanh, “A Multi-Criteria Decision Making (MCDM) for Renewable Energy Plants Location Selection in Vietnam under a Fuzzy Environment” Applied Sciences, Volume 8, Number 11, Article Number: 2069, 2018.
- [16] DUMAN M. Hilmi, “Batı Akdeniz Bölgesinde Güneş Enerjisi Santrali İçin Kuruluş Yeri Seçimi” Akdeniz Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 81, 2018.
- [17] ISHFAQ Sarmad, ALI Saad, ALI Yousaf, “Selection of Optimum Renewable Energy Source for Energy Sector in Pakistan by Using MCDM Approach” Process Integration and Optimization for Sustainability, Volume 2, Number 8, Pp. 61-71, 2018.
- [18] DARANİ S. Kazani, ESLAMİ A. Akbari, JABBARI Mona, ASEFİ Hossein, “Parking Lot Site Selection Using A Fuzzy AHP-TOPSIS Framework in Tuyserkan, Iran” Journal of Urban Planning and Development, Volume 144, Number 3, Article Number: 04018022, 2018.



- [19] DOĞAN Hatice, ULUDAĞ A. Serhat, “Yenilenebilir Enerji Alternatiflerinin Değerlendirilmesi ve Uygun Tesis Yeri Seçimi: Türkiye’de Bir Uygulama” Volume 14, Number 2, Pp. 157-180, 2018.
- [20] GÜCER Berkcan, “Tesis Yeri Seçiminde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi ve Cam Sanayi Kuruluşu İçin Bir Örnek” Toros Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 81, 2018.
- [21] SOLANGI Y. Ahmed, TAN Qingmei, MIRJAT N. Hussain, ALI Sharafat, “Evaluating the Strategies for Sustainable Energy Planning in Pakistan: An Integrated SWOT-AHP and Fuzzy-TOPSIS Approach” Journal of Cleaner Production, Volume 236, Number 2, Article Number: 117655, 2019.
- [22] CAN Gökhan, YÜCEL M. Ali, “Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Analitik Hiyerarşi Prosesi Kullanarak Rüzgar Enerji Santralleri İçin Yer Tespiti” TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 17. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, Türkiye, 25 - 27 Nisan 2019, Pp.1-7, 2019.
- [23] AMMAR Hachemi, BENBAHA Nouredine, BOUKEBBOUS S. Eddine, “Siting Analysis of PV Water Pumping System Using GIS-Based Fuzzy Analytic Hierarchy Process” 4th International Conference on Power Electronics and Their Applications (ICPEA), Pp. 1–5, 2019.
- [24] KARAKUL A. Kayahan, “Bulanık AHP Yöntemi İle Yenilenebilir Enerji Kaynağı Seçimi” Bingöl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, Volume 10, Number 19, Pp. 127-150, 2020.
- [25] DERSE Onur, YONTAR Emel, “SWARA-TOPSIS Yöntemi ile En Uygun Yenilenebilir Enerji Kaynağının Belirlenmesi” Endüstri Mühendisliği Dergisi, Volume 31, Number 3, Pp. 389-410, 2020.
- [26] ANDERLUH Alexandra, HEMMELMAYR Vera, RUDIGER Dag, “Analytic Hierarchy Process for City Hub Location Selection – The Viennese Case” Transportation Research Procedia, Volume 46, Pp. 77–84, 2020.
- [27] VAGIONA Dimitra, “Comparative Multicriteria Analysis Methods for Ranking Sites for Solar Farm Deployment: A Case Study in Greece” Energies, Volume 14, Number 24, Article Number: 8371, 2021.
- [28] URFALI Tuğrul, EYMEN Abdurrahman, “CBS Ve AHP Yöntemi Yardımıyla Kayseri İli Örneğinde Rüzgâr Enerji Santrallerinin Yer Seçimi” Geomatik Dergisi, Volume 6, Number 3, Pp. 227-237, 2021.
- [29] KOMCHORNRIË Kraisee, “Location Selection of Logistics Center: A Case Study of Greater Mekong Subregion Economic Corridors In Northeastern” ABAC Journal Assump University, Volume 41, Number 2, Pp.137–155, 2021.
- [30] GÜNER E. Deniz, TEKİN Senem, ÇİLEK Ahmet, ÇİLEK M. ÜNAL, “Güneş Enerjisi Santrali için Uygun Alanların CBS Tabanlı AHP Yöntemi ile Belirlenmesi: Mersin İli Örneği” Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Volume 36, Number 1, Pp. 11-24, 2021.
- [31] ABDEL-BASSET Mohamed, GAMAL Abdulllah, CHARKRABORTTY R. Kumar, RYAN MICHAEL, “Evaluation Approach for Sustainable Renewable Energy Systems Under Uncertain Environment: A Case Study” Renewable Energy, Volume 168, Number 12, Pp. 1073-1095, 2021.
- [32] NONG T. Nhu-Mai, “A Hybrid Model for Distribution Center Location Selection” The Asian Journal of Shipping and Logistics, Volume 38, Pp. 40-49, 2021.
- [33] BİLGİÇ Sezi, TORGUL Belkız, PAKSOY Turan, “Sürdürülebilir Enerji Yönetimi İçin BWM Yöntemi ile Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Değerlendirilmesi” Verimlilik Dergisi, Number 2, Pp. 95-110, 2021.
- [34] XUAN H. Ao, TRINH V. Vu, TECHATO Kuaanan, PHOUNGTHONG Khampe, “Use of Hybrid MCDM Methods for Site Location of Solar-Powered Hydrogen Production Plants in Uzbekistan” Sustainable Energy Technologies and Assessments, Volume 52, Number 2, Article Number: 101979, 2022.
- [35] ÖZTAŞ Ömer, “Güneş Pv Enerji Santrali Yer Seçimi İçin CBS’ye Dayalı Hibrit Bir Yaklaşım” T.C. Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 55, 2022.
- [36] SARKODIE W. Ofori, OFOSU E. Antwi, AMPIMAH B. Chris, “Decision Optimization Techniques for Evaluating Renewable Energy Resources for Power Generation in Ghana: MCDM Approach” Energy Reports, Volume 8, Pp. 13504-13513, 2022.
- [37] SAATY L. Thomas, “The Analytic Hierarchy Process in Conflict Management” The International Journal of Conflict Management, Volume 1, Number 1, Pp. 47-68, 1990.
- [38] Buckley J. J., “Fuzzy Hierarchical Analysis” Fuzzy Set Systems, Volume 17, Pp. 243–247, 1985.



- [39] ŞEKERCİ A. Zübeyr, AYDIN Nezir, "A Stochastic Model for Facility Locations Using the Priority of Fuzzy AHP" Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences, Volume 40, Number 3, Pp. 649-662, 2022.
- [40] YAZIR Devran, TEKEL Yusuf, "Türkiye, İngiltere Ve Çin Halk Cumhuriyeti (ÇHC) Üçgeninde Denizcilik Kümelenmelerinin Bulanık AHP Yöntemi ile Analizi" Denizcilik ve Lojistik Araştırmaları Dergisi, Volume 4, Number 2, Pp. 181-208, 2022.
- [41] AYDIN Elif, ÇAĞIL Gültekin, "Bulanık AHP ve Bulanık Hedef Yaklaşımı ile Hammadde Tedarikçisi Seçimi" İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi, Volume 9, Number 5, Pp. 3568-3597, 2020.
- [42] Enerji Atlası, "İstanbul Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Haritası" 2022
<https://www.enerjiatlası.com/ruzgar-enerjisi-haritasi/istanbul>
- [43] ŞEKERCİ A. Zübeyr, YAZICIOĞLU O. "AHP Yöntemi ile Tedarikçi Seçimi: Gıda Sektöründe Bir Uygulama" Al Farabi Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi, Volume 3, Number 2, Pp. 23-41, 2019.
- [44] Enerji Atlası, "İstanbul Güneş Enerjisi Potansiyeli Haritası" 2022
<https://www.enerjiatlası.com/gunes-enerjisi-haritasi/istanbul>

CURRICULUM VITAE

Abdullah Zübeyr ŞEKERCİ

He was born in 1992 in Istanbul. He graduated from Istanbul Commerce University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, in 2016 with the title of engineer. In 2019, he received the title of "Master Engineer" from Istanbul Commerce University, Institute of Science and Technology.

Still, he is continuing his doctorate studies at Yıldız Technical University, Institute of Science and Technology, Department of Industrial Engineering. He works as a Research Assistant at Istanbul Rumeli University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Industrial Engineering. He works in supply chain network design, energy generation-distribution optimization, stochastic modelling and fuzzy decision-making methods and optimization.



SUSTAINABILITY AND ENERGY SAVINGS IN RESTAURANT BUSINESSES

Doğukan BAYESEN
Orcid ID: 0000-0001-7697-7051
Mustafa Oguzhan Ercan
Orcid ID: 0000-0001-5498-0591
Istanbul Rumeli University

SUMMARY

In this study, sustainability practices in restaurant businesses are explained by considering. The aim of the study is to draw attention to the sustainability and energy saving issues in restaurant businesses and to inform the stakeholders of the sector. Sustainability practices in restaurant businesses are divided into four categories: food and beverage, structure and design, furniture and materials, and corporate social responsibility. The practices mentioned in the study are explained in detail and attention is drawn to sustainable restaurant businesses and the areas of realization of these practices in restaurant businesses are also mentioned. As a result of the literature review, it has been concluded that the sustainability practices of restaurant businesses are quite wide and that these practices will provide a positive return to the environment if these practices are carried out correctly.

Keywords: Restaurant businesses, Sustainability, Energy, Energy saving.

1. Introduction

With the industrialization movements that took place after the Industrial Revolution, developed and developing countries faced environmental problems. [1]. The fact that our future is under threat due to global warming, climate changes, sea pollution, noise pollution and air pollution has pushed human beings to take various precautions. In this context, many activities have been organized and efforts have been made to draw attention to the subject. [2]. In order to draw attention to these problems, the Brundtland report, published in 1987, talked about the importance of sustainability and revealed the basic principles of sustainability such as the protection of resources and the determination of environmental limits. [2, 3]. It is possible to define the concept of sustainability as meeting the needs of the present under conditions that will not affect the future generations or deprive them of their needs [4].

Environmental pollution, which has become a growing problem, is the main cause of problems that may adversely affect the future of human beings such as global warming and climate changes. One of the reasons for the increase in these problems is the consumption of resources such as fossil fuels such as oil and coal as energy [5]. It is possible to define the concept of energy as the ability to do any work. The materials necessary to use this ability are defined as energy sources. Energy resources are divided into two according to their recyclability and use [6]. It is the main characteristic of energy sources that they cause environmental problems [7].

However, all energy sources do not cause environmental problems. Wind, solar, biomass, hydraulic, hydrogen, tidal and geothermal energy known as renewable energy sources do not cause any environmental problems. At this point, the mentioned resources are seen as an important tool in order to ensure sustainability. [6].

Restaurant businesses, which have changed with the increase in human needs, are one of the places where energy consumption is high. When cost calculations are made, it is seen that energy expenditures are in the 3rd place after personnel and food and beverage costs, and this shows that energy consumption is at a significant level. [5, 8].

In this study, the current situation has been evaluated by making a detailed literature review on which activities are carried out for sustainability and energy saving in restaurant businesses. At the same time, detailed information about sustainable energy and energy saving is included in the study.

2. Restaurant Businesses

Restaurants are defined as places where soup is served first for healing and then transformed into food service and turned into food and beverage businesses. The word restaurant means improvement and repair. Today, a business must meet certain conditions in order to be defined as a restaurant. These conditions are:

- Availability of special tables and chairs for each customer,
- Having a menu from soup to dessert,
- Pricing of each product separately and
- Orders are received and delivered in order [9].

In our country, restaurants are generally called restaurants and are defined as places where food and beverages are prepared and sold for a certain fee. In addition, the food and beverage industry is a constantly evolving industry. Naturally, different and special food and beverage businesses are also increasing. At the same time, these enterprises can be divided into different classes according to their structures, features, services and business documents as shown in Figure 1 [9, 10]. Today, restaurant businesses can be classified according to some criteria. Internationally rated businesses are subject to criteria such as "The best restaurant in the world" or "Michelin Star" [11].

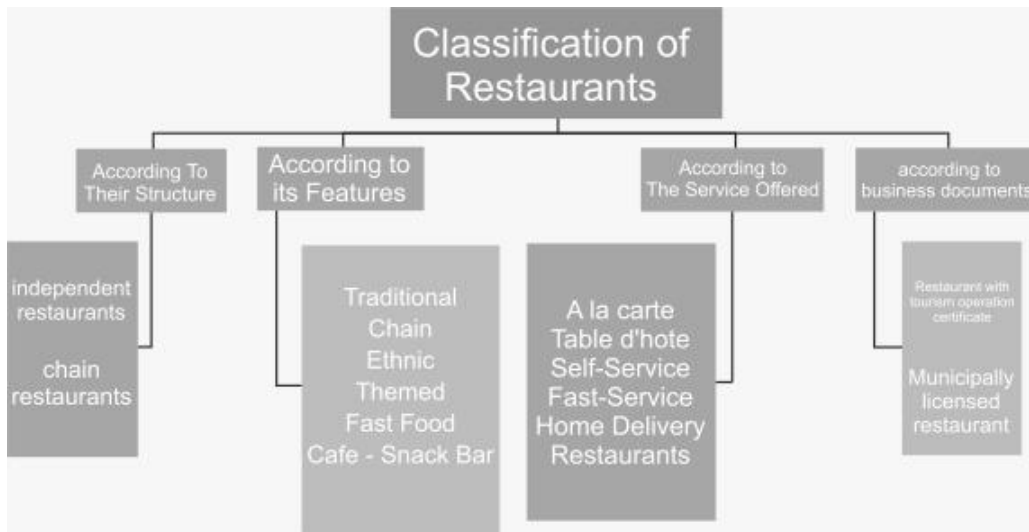


Figure 1. Classification of restaurants [12].

It would not be wrong to say that restaurant businesses are different from other businesses in the service sector. This is because it brings together art, tradition, and service experiences [13]. Restaurant businesses are accessible to everyone and reflect the social and cultural values of the society. For this reason, it leads the society in energy saving and sustainability issues [14].

3. Sustainability in Restaurant Businesses

Sustainable resources in restaurants businesses are quite diverse. As can be seen in Figure 2 in a study, sustainability practices in restaurant businesses have been comprehensively classified [15].

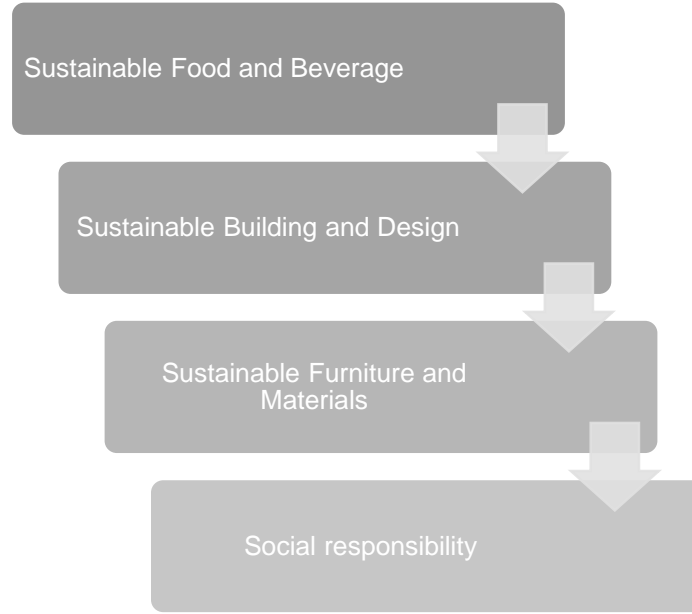


Figure 2. Sustainability practices in restaurants [15].

If we evaluate the concept of sustainability in terms of the menus of restaurant businesses, it is seen that especially local food trends support sustainability. Given that there are billions of restaurant businesses in the world and the carbon footprint of each restaurant is considered, the supply of local food is important for sustainability. Considering the environmental problems caused by the transportation area, the choice of local products forms the basis of an environmentally friendly restaurant business [16]. It is known that a food product travels 2,414,016 kilometers until it reaches the plate. This explains why local products are preferred for green restaurants. Therefore, it is seen that the use of local products can prevent situations that can increase the carbon footprint such as packaging, transportation and freezing [17]. On the other hand, the fact that it is a current trend in organic foods supports sustainability [18].

When restaurant businesses are evaluated in terms of structural and design, it is seen that the materials used, transportation, being sensitive to the environment and land use are important in terms of sustainability. In terms of structure, it is necessary to use sustainable materials in the buildings where the restaurant business is located [15].

Another important application in terms of sustainability is furniture and equipment. As it is known, basically, tables and chairs, fabric materials, porcelain and glass materials are used in the interior environments of restaurants. At this stage, it is of great importance in terms of sustainability to choose products that can deteriorate quickly in nature and do not harm the environment in the supply of products [19, 20].

Finally, the social responsibilities of institutions are defined as environmentalist and nature-friendly actions taken to increase the welfare level of societies [21].

4. Energy Saving in Restaurant Businesses

It is known that the food and beverage industry has great demands on energy consumption and this demand causes serious environmental problems if not used correctly. In addition, 60% to 70% of the demand for energy use in restaurant businesses comes for heating and hot water use. Although it varies among enterprises, hot water use is in the first place [22]. Figure 3 shows the energy use rates in restaurant businesses.

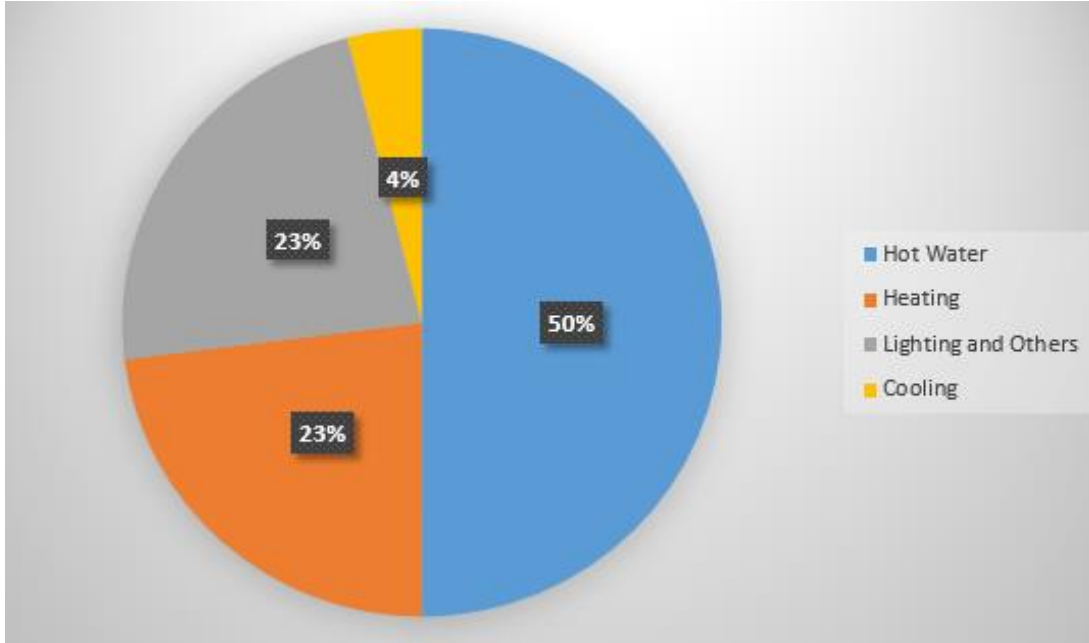


Figure 3. Energy consumption in restaurants [5].

In order to save energy in restaurant businesses, it is necessary to pay attention to some issues. The first of these issues is energy saving in terms of structure. When evaluated from a structural point of view, it is necessary to pay attention to the architecture and design of the building in order to save energy in restaurant businesses [23]. In addition to simple saving methods such as building insulation, the use of smart and green systems are applications that will greatly increase energy savings in restaurant businesses [24].

In order to reduce heating expenses and to save energy, the heating environment temperature should be kept at 22 degrees at the highest and at the lowest 24 degrees in the cooling process. Cooling systems should not be operated when the outside temperature is below 30 degrees. This shows the magnitude of the savings when it is considered that a reduction of 1 degree in ambient temperature will reduce fuel consumption by 6% on average. Unnecessary cooling of 1 degree increases energy consumption to a large extent. Lowering the ambient temperature by 1 degree saves 6%, lowering it by two degrees by 12% and lowering it by 3 degrees saves up to 18%. Building insulations also take the lead at this point, and areas such as windows and doors that will cause heat loss should be supported with insulation [5].

Another way of saving is related to equipment used in restaurant businesses. The A class of electronic equipment to be used increases energy saving and efficiency [5].

5. Conclusion

Restaurant businesses are enterprises that change and develop according to human needs. Restaurant businesses, which started to increase in number with industrialization and women's participation in business life, have become an important part of the tourism sector today. Depending on this increase, it is possible to say that the share of restaurant businesses in energy consumption has increased. As can be seen, energy consumption is a major expense item in restaurant businesses, as in other sectors. At the same time, factors such as not using energy properly cause great damage to the environment and nature. Most of the energy sources used today depend on fossil fuels. This situation reveals the extent of the damage that restaurant businesses cause to the environment.

Many applications that have emerged today have entered a struggle to reverse this situation. Sustainability and energy saving concepts are examples of these applications. The aim of



sustainability is to transfer the resources we use to the future without harming nature and the environment. It is also possible to ensure sustainability in restaurant businesses. The use of local resources is one of them. The use of local products prevents environmental damage caused by transportation. It also contributes to the local economy. The use of organic products creates the same effects and also protects the environment as chemical pesticides are not used in the soils where the products are produced. On the other hand, it is possible to say that the materials and equipment used are important in terms of sustainability. It is also important for sustainability that the products used are soluble in nature and do not contain harmful chemicals.

It is possible to say that it is important in terms of sustainability in green buildings and their structural applications. Factors such as the materials used in these buildings and the use of the land on which the building will be built should support sustainability. The materials used in the interior environment as well as the buildings should be sustainable. For example, instead of using materials that are harmful to nature, such as plastic, materials that will not harm nature should be used.

Another important issue for the environment is the correct use of energy and energy saving. It is known that today, energy production from fossil fuels is quite common. Fossil fuels are quite harmful for the environment. Therefore, energy saving reduces fossil fuel consumption and provides significant benefits both to the business economy and to the environment. Another option is for restaurants to generate their own renewable energy. For example, a restaurant that uses solar energy will not only benefit the economy by using its own energy, but also will not harm the environment.

As a result, it is of great importance to save energy for the protection of the environment. On the other hand, sustainable restaurant businesses preserve the balance of nature.

REFERENCES

- [1] YAZICIOĞLU İrfan, AYDIN Ayla, "Yeşil Restoran Uygulamaları Üzerine Nitel Bir Araştırma: İstanbul Örneği." *Journal of Gazi University Faculty of Tourism*, 1, pp. 55-79, 2018.
- [2] SÜNNETÇİOĞLU Serdar, "Sürdürülebilirlik Kapsamında Yiyecek ve İçecek İşletmelerindeki Uygulamalar: İzmir'deki Restoran İşletmelerinin Sürdürülebilir Restoran İşletmeciliği Kavramına Yaklaşımlarının Değerlendirilmesi" *Dokuz Eylül University, PhD Thesis, Social Sciences Institute, July 2013.*
- [3] YURTSEVEN Rıdvan, KAYA Ozan, "Eko-gastronomi ve Sürdürülebilirlik", 11th National Tourism Congress, 2-5 December 2010.
- [4] YAZAR Kadir Hakan, "Sürdürülebilir Kentsel Gelişme Çerçevesinde Orta Ölçekli Kentlere Dönük Kent Planlama Yöntem Önerisi", *Ankara University, PhD. Thesis, Institute of Social Sciences, 2006.*
- [5] ÖZTÜRK Harun Kemal, ÖZTÜRK Hande Mutlu, DOMBAYCI Ömer Altan, "Turizm Sektöründe Enerji Tüketimi ve Enerji Tasarruf Olanakları" *Journal of Current Tourism Research*, 2(1), pp. 17-28, 2018.
- [6] KOÇ Erdem, KAYA Kadir, "Enerji Kaynakları-Yenilenebilir Enerji Durumu" *Engineer and Machinery*, 56(668), pp. 36-47, 2015.
- [7] BİLGİNOĞLU Mehmet Ali, "Gelişmekte Olan Ülkelerde Enerji Sorunu ve Alternatif Enerji Politikaları" *Erciyes University İ.İ.B.F. Journal*, 9, pp. 122-147, 1991.
- [8] HİLALOĞULLARI Melih, AKDAĞ Gürkan, ÜZÜLMEZ Meral, "Yeşil Restoran Uygulamalarının Müşterilerin Memnuniyetleri ve Davranışsal Niyetleri Üzerindeki Etkisi: İstanbul İlinde Bir Uygulama" *The Effect of Green Restaurant. Journal of Tourism and Gastronomy Studies*, 10(3), pp. 2237-2255, 2022.
- [9] BİNGÖL Ramazan, "Restoran işletmeciliği: restoranlar ve lokantalar nasıl yönetilir?" *İstanbul: Timaş Publishing, 2009.*
- [10] KURNAZ Alper, "Sustainable Green Restaurants" in ÖZDOĞAN Osman N., *Trends in the Food and Beverage Industry II*, pp. 51-81, Ankara: Detay, 2016.
- [11] ERTOPCU İsmail, "Restoran İşletmelerinin Sosyal Medya Kullanımı: Instagram Örneği" *Journal of Current Tourism Research*, 3(1), pp. 49-64, 2019.
- [12] GÜDÜK Tanju, "Birinci Sınıf Restoranların Web Sitelerinin Tasarım ve Pazarlama Faaliyetleri Açısından Değerlendirilmesi" *Trakya University, Master's Thesis, Institute of Social Sciences, 2016.*
- [13] GHERİBİ Edyta, "Innovation Strategies in Restaurant Business" *Ekonomika I Organizacija*, pp. 152-163, 2017.



- [14] PEKKÜÇÜKŞEN Şerife, YİĞİT Yunus, "Atık yönetiminde iyi uygulama örneği: Yeşil Nesil Restoran Hareketi" Turkish Studies-Economics, Finance, Politics, 14(1), pp. 121-139, 2019.
- [15] LEGRAND Willy, SLOAN Philip, SİMONS-KAUFMANN Claudia, FLEİŞHER Sarah, "A Review of Restaurant Sustainable Indicators" in Joseph S. Chen (ed.) 6 (Advances in Hospitality and Leisure, Volume 6), Emerald Group Publishing Limited, pp.167-183, 2010.
- [16] SİMS Rebecca, "Food Place and Authenticity: Local Food and Sustainable Tourism Experience" Journal of Sustainable Tourism, 17(3), pp. 321-336, 2009.
- [17] GRA (Green Restaurant Assosiation) www.dinegreen.weebly.com (17.12.2022).
- [18] JANG Jung Yong, KİM Gon Woo, BONN Mark A., "Generation Y Consumers' Selection Attributes and Behavioral Intentions Concerning Green Restaurants" International Journal of Hospitality Management, 30(4), pp. 803-811, 2011.
- [19] SANDIKÇI Mustafa, "Dekorasyon ve Planlama. Profesyonel Restoran Yönetimi, İlkeler, Uygulamalar ve Örnek Olaylar" Editors: SARIŞIK, Mehmet, ÇAVUŞ, Şenol, KARAMUSTAFA, Kurtuluş, Ankara: Detay Yayıncılık, pp. 83-225, 2019.
- [20] SÜNNETÇİOĞLU Serdar, YILMAZ Burcu, "İzmir'deki Restoran Yöneticilerinin Sürdürülebilir Restoran İşletmeciliği Üzerine Yaklaşımlarının Değerlendirilmesi" Karabük University Journal of Social Sciences Institute, 5(1), pp. 94-114, 2015.
- [21] KOTLER Philip, LEE Nancy, "Corporate Social Responsibility: Doing the Most Good for Your Company and Your Cause" Best practices from Hewlett-Packard, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2005.
- [22] UNEP, PERERA Oshani, HİRSCH Stephen, FRİES Peter, "Switched On: Renewable Energy Opportunities in the Tourism Industry" United Nations Publication, 2003.
- [23] HU Hsin-Hui, PARSA H.G., SELF John, "The Dynamics of Green Restaurant Patronage" Cornell Hospitality Quarterly. 51(3), pp. 344-362, 2010.
- [24] SÖĞÜT Ziya, "Binalarda Enerji Taraması ve Örnek Uygulama" Journal of Defense Sciences, 8(2), pp. 127-143, 2009.

CURRICULUM VITAE

Dogukan BAYESEN

He was born in Seyhan in 1996 and graduated from ÇOMÜ Gökçeada School of Applied Sciences in 2018 with the title of gastronome. He received the title of "High Gastronome / Science Specialist" from Çanakkale Onsekiz Mart University Graduate Education Institute in 2020. He works as an "Lecturer" at Istanbul Rumeli University Vocational School.

Mustafa Oğuzhan ERCAN

He was born in 1995 in the central district of Elazığ. Ercan completed his primary and secondary education in Elazığ and graduated from Atatürk University Faculty of Tourism and Department of Gastronomy and Culinary Arts in 2018.

In 2021, Ercan graduated from Nevşehir Hacı Bektaş Veli University, Department of Gastronomy and Culinary Arts with the title of "Evaluation of Turkish Desserts by Chefs within the Scope of Gastronomy Tourism: Product Development Study within the Scope of Fusion Cuisine Practices" and received his master's degree. Ercan, who has been working as a chef in the kitchen department in the hotel management and food and beverage sector for many years, is currently working as a lecturer at Istanbul Rumeli University Cookery Program. He continues his academic studies in the fields of Sustainable Gastronomy Tourism, Fusion Cuisine, Local Cuisine, Pastry, Dessert, Bread Products and Tourism Marketing.



ENDEKS

| A | Sayfa |
|-----------|--------------------------|
| ACAR | 75, 217 |
| B | |
| BAYAT | 40, 182 |
| BAYESEN | 138, 283 |
| BARSLAN | 49, 191 |
| BUYRUK | 1, 40, 69, 144, 182, 211 |
| C | |
| CAN | 23, 165 |
| CANER | 40, 69, 182, 211 |
| Ç | |
| ÇAKMAK | 52, 195 |
| D | |
| DUMAN | 75, 217 |
| E | |
| ERCAN | 138, 283 |
| G | |
| GALOVIC | 30, 172 |
| GÜNER | 85, 227 |
| K | |
| KARAKOÇ | 112, 258 |
| KARTUNOV | 7, 150 |
| KEREY | 49, 191 |
| KİZİROĞLU | 90, 232 |
| KUZEY | 75, 217 |



M

MEMİŞ 61, 112, 203, 258

O

ODELJAN 30, 172

S

SOLDO 30, 172

Ş

ŞEKERCİ 123, 268

ŞEN 49, 191

ŞENNAROĞLU 112, 258

T

TORUN 1, 144