

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

June 1-3, 2024
New York

PROCEEDINGS BOOK

Editor

Assist. Prof. Dr. Saltuk Bugra SELCUKLU

ISBN - 978-625-367-727-5

PROCEEDINGS BOOK



INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

June 1-3, 2024

New York

Editor

Assist. Prof. Dr. Saltuk Bugra SELCUKLU

Institute Of Economic Development And Social Researches Publications®

(The Licence Number of Publicator: 2014/31220)

TÜRKİYE

TR: +90 342 606 06 75

E posta: kongreiksad@gmail.com

www.iksad.org www.iksadkongre.org

All rights of this book belong to IKSAD Publishing House

Authors are responsible both ethically and juridically

Iksad Publications - 2024©

Issued: 15.06.2024

ISBN - 978-625-367-727-5

CONGRESS ID

TITLE OF CONGRESS

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

PARTICIPATION

Keynote & Invited

DATE - PLACE

June 1-3, 2024

New York

ORGANIZATION

İKSAD-Institute of Economic Development and Social Researches

ORGANIZING COMMITTEE

Dr. Germán Martínez Prats, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

Dr. Mevlüt ALBAYRAK, Atatürk University

Dr. Lenida Lekli, Aleksander Xhuvani University

SCIENTIFIC COMMITTEE

Dr. Ethem İlhan ŞAHİN, Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University

Dr. Germán Martínez Prats, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

Dr. Mevlüt ALBAYRAK, Atatürk University

Dr. Lenida Lekli, Aleksander Xhuvani University

Dr. Uchenna David Uwakwe, Federal University of Technology

Dr. Cynthia Correa, University of São Paulo

Dr. Mohamed El Malki, Mohammed First University

Dr. Uzma Nadeem, University of Delhi

Dr. Anna Maria Vasile, National Institute for Economic Research "Costin C. Kirişescu"

PARTICIPATING COUNTRIES (13)

Türkiye, Pakistan, Poland, Italy, Algeria, Morocco, France, Nigeria, Iran,
Canada, Hungary, Iraq, India

TOTAL ABSTRACTS: 34

The number of abstracts from foreign countries: **22**

The number of abstracts from Türkiye: **12**

LANGUAGES

Turkish, English

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

PHOTO GALLERY



PROCEEDINGS BOOK

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES



PROCEEDINGS BOOK

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES



PROCEEDINGS BOOK

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES



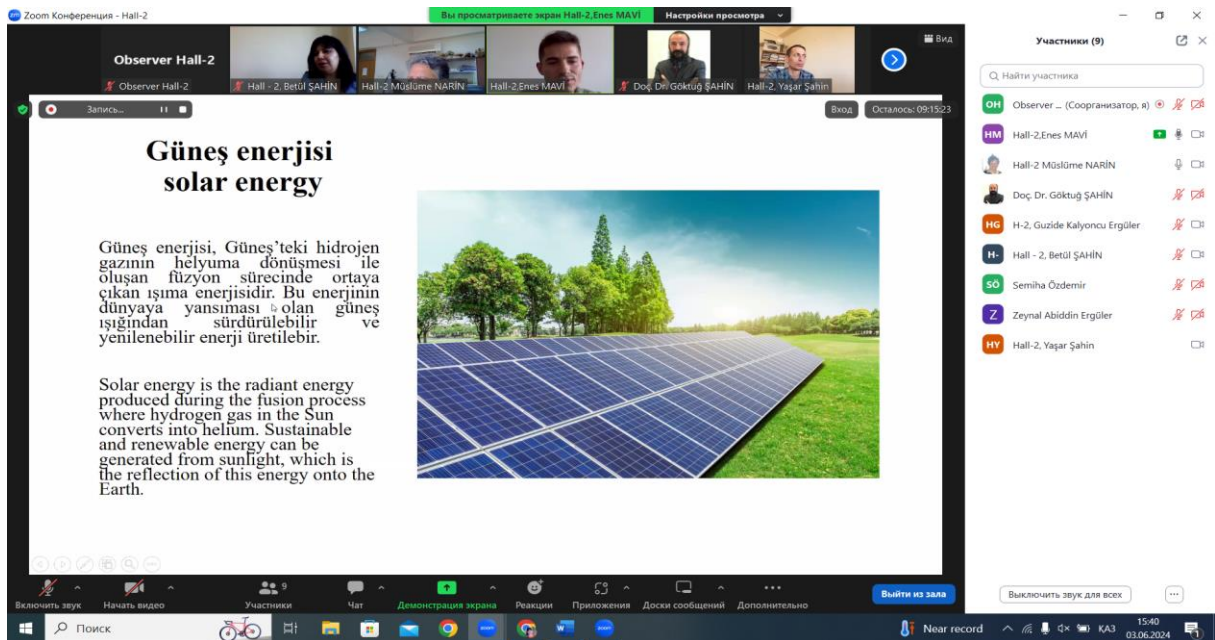
PROCEEDINGS BOOK

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES



PROCEEDINGS BOOK

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES



INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

Zoom Конференция - Hall-3

Участники (5)

- Observ... (Соорганизатор, я)
- Zbigniew Grzymala
- Atouailaa Mohamed Kadour
- H3 Hall 3. karim NEGADI
- MA Muhammad Aminu Musa

Выключить звук для всех

18:07 03.06.2024

Zoom Toplantı - Hall-4

Hall-4, Chaimaa Moukhfi ekranını görüntülüyorsunuz

Seçenekleri Görüntüle

Görüntüle

Katılımcılar (5)

- IKSAD Instit... (Oturum Sahibi, ben)
- Hall-4, Chaimaa Moukhfi
- obser... (Ortak oturum sahibi)
- HO Hall-4, Othman EL KSSIRI
- S- SESSION -1/ HALL- 4, Youssef A...

Kalan: 09:54:26

Double Perovskite Sr_2FeWO_6

Protocole of the synthesis:

```
graph TD
    A[Citric Acid] --> B["(NH4)6H2W12O40 · x H2O  
FeCl2, SrCl2, nH2O"]
    B --> C[A-W-cit]
    C -- "Evaporation (80°C) / drying (120°C)" --> D[Xérogels]
    D -- "Pre-calcination" --> E[Black Powdre]
    E -- "Calcination" --> F["Powdre Sr2FeWO6"]
```

7

Odadan Çık

Tümünü Sessize Al

31°C Güneşli 14:56 3.06.2024

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

Energy Analysis

Masjid Name	Kadı İzzettin Mosque 13th Century	Hacı Hasan Mosque 15th Century
Total Area of Masjid m ²	298.35 m ²	330.31 m ²
Masjid height (h)	9.11 m	12.00 m
Wall Material	Stone	Stone
Wall Thickness	75 cm	90 cm
Top Cover Material	Tile Covering	Brick
Top Cover Thickness	Pitched Roof	Pitched Roof
	16.13	9.61
Window-Wall Ratio (%)	North	16.10
	East	6.19
	West	14.41
Cooling Load per m2 kWh	12.24	10.37
Heating Load per m2 kWh	155.29	140.21
Energy Consumed per m2 (heating-cooling-lighting) kWh	174.34	157.39

The slide also features two 3D architectural models of domes, one for the 13th-century mosque and one for the 15th-century mosque, showing their structural details and dimensions.

Zoom Toplantısı Kalar: 09:38:11

Katılımcılar (9)

- H1 Hall 1... (Ortak oturma sahibi, ben)
- Hall 1-Neriman Gül Çelebi
- MH Moderator: HALİL AKBAS
- Et Edip taşkesen
- HALL-1 Aynur ÖNÜR ASLAN
- HH Hall-1, Hakkı Can ERGUN
- V Hall-1, Volkan TUĞAN
- H Hamza Alahmad
- MO Melis Öder

Meeting ID: 871 0713 9228
Passcode: 010203



International Congress on Advanced Energy Studies

*June 1-3, 2024
New York*

CONGRESS PROGRAM



ONLINE PRESENTATIONS

**Meeting ID: 871 0713 9228
Passcode: 010203**

PARTICIPANT COUNTRIES (13):

Türkiye, Pakistan, Poland, Italy, Algeria, Morocco, France, Nigeria, Iran, Canada,
Hungary, Iraq, India

IMPORTANT, PLEASE READ CAREFULLY

- To be able to make a meeting online, login via <https://zoom.us/join> site, enter ID instead of "Meeting ID
- or Personal Link Name" and solidify the session.
- The presentation will have **15 minutes** (including questions and answers).
- The Zoom application is free and no need to create an account.
- The Zoom application can be used without registration.
- The application works on tablets, phones and PCs.
- Speakers must be connected to the session **10 minutes before** the presentation time.
- All congress participants can connect live and listen to all sessions.
- During the session, your camera should be turned on at least %70 of session period
- Moderator is responsible for the presentation and scientific discussion (question-answer) section of the session.

TECHNICAL INFORMATION

- Make sure your computer has a microphone and is working.
- You should be able to use screen sharing feature in Zoom.
- Attendance certificates will be sent to you as pdf at the end of the congress.
- Moderator is responsible for the presentation and scientific discussion (question-answer) section of the session.

**Before you login to Zoom please indicate your name surname and hall number,
exp. Hall-1, Shahla Tahirgizi**

ÖNEMLİ, DİKKATLE OKUYUNUZ LÜTFEN

- Kongremizde Yazım Kurallarına uygun gönderilmiş ve bilim kurulundan geçen bildiriler için online (video konferans sistemi üzerinden) sunum imkanı sağlanmıştır.
- Sunumlar için **15 dakika** (soru ve cevaplar dahil) süre ayrılmıştır.
- Online sunum yapabilmek için <https://zoom.us/join> sitesi üzerinden giriş yaparak "Meeting ID or Personal Link Name" yerine ID numarasını girerek oturuma katılabilirsiniz.
- Zoom uygulaması ücretsizdir ve hesap oluşturmaya gerek yoktur.
- Zoom uygulaması kaydolmadan kullanılabilir.
- Uygulama tablet, telefon ve PC'lerde çalışıyor.
- Her oturumdaki sunucular, sunum saatinden **10 dk öncesinde** oturuma bağlanmış olmaları gerekmektedir.
- Tüm kongre katılımcıları canlı bağlanarak tüm oturumları dinleyebilir.
- Moderatör – oturumdaki sunum ve bilimsel tartışma (soru-cevap) kısmından sorumludur.

TEKNİK BİLGİLER

- Bilgisayarınızda mikrofon olduğuna ve çalıştığına emin olun.
- Zoom'da ekran paylaşma özelliğine kullanabilmelisiniz.
- Katılım belgeleri kongre sonunda tarafınıza pdf olarak gönderilecektir
- Kongre programında yer ve saat değişikliği gibi talepler dikkate alınmayacaktır

Zoom'a giriş yaparken önce lütfen adınızı, soyadınızı ve SALON numaranızı yazınız
Örnek: Salon-1, Shahla Tahirgizi

Zoom meeting link:

<https://us02web.zoom.us/j/87107139228?pwd=ZGhQTIFDd3p3Q0MwTWo2VHpBOFkvUT09>

03.06.2024

Session-1 / Hall-1

New York Time: 08⁰⁰-10⁰⁰

Ankara Time: 15⁰⁰-17⁰⁰

HEAD OF SESSION: Assist. Prof. Prof. Dr. Halil AKBAŞ

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
ENERGY AND THERMAL COMFORT EVALUATIONS OF HISTORICAL ANATOLIAN SELJUK MOSQUES IN KONYA	Neriman Gül ÇELEBİ Ümit ARPACIOĞLU	Mimar Sinan Fine Arts University, Türkiye
EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF SINGLE SLOPE AND DOUBLE SLOPE SOLAR STILLs IN TUNCELİ CLIMATE CONDITIONS	Volkan TUĞAN Mustafa İNALLI	Munzur University, Türkiye Fırat University, Türkiye
HYDROELECTRIC ENERGY POTENTIAL ASSESSMENT: A CASE STUDY OF SIRNAK PROVINCE	Hamza ALAHMAD Edip TAŞKESEN Elif Nur BİLEN Fatih ARLI Hakan DUMRUL	Sirnak University, Türkiye.
OPTIMIZATION MODELS IN RENEWABLE ENERGY SYSTEMS	Halil AKBAŞ Gültekin ÖZDEMİR	Süleyman Demirel University, Türkiye
THE IMPORTANCE OF THE RENEWABLE ENERGY RESOURCES AND THE SUSTAINABILITY PRINCIPLE IN TÜRKİYE'S FOREIGN TRADE	Aynur ÖNÜR ASLAN	İstanbul University- Cerrahpaşa, Türkiye
THE IMPACT OF DIFFERENT MARKET STRUCTURES AND ENERGY RESOURCES ON THE ELECTRICITY MARKETS	Hakki Can ERGUN Saltuk Bugra SELCUKLU	Erciyes University, Türkiye

03.06.2024

Session-1 / Hall-2

New York Time: 08⁰⁰-10⁰⁰

Ankara Time: 15⁰⁰-17⁰⁰

HEAD OF SESSION: Prof. Dr. Müslüme NARİN

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
EFFECTS OF THE RUSSIA-UKRAINE WAR ON NATURAL GAS MARKETS AT GLOBAL AND REGIONAL LEVELS	Göktuğ ŞAHİN Müslüme NARİN	Ankara Hacı Bayram Veli University, Türkiye
ENERGY EFFICIENCY: STUDIES ON ENERGY EFFICIENCY IN TÜRKİYE	Müslüme NARİN Göktuğ ŞAHİN	Ankara Hacı Bayram Veli University, Türkiye
UTILIZATION OF SOLAR PANELS FOR MEETING THE ELECTRICITY DEMAND OF A FACULTY BUILDING AND COST ANALYSIS	Enes MAVİ Halit ARAT	Dumlupınar University, Türkiye
2053 NET ZERO EMISSIONS AND A LOOK AT POSSIBLE NEW THERMAL POWER POWERS IN TURKEY FOR DEVELOPMENT	Semiha ÖZDEMİR Güzide KALYONCU ERGÜLER	Kütahya Dumlupınar University, Türkiye
LITERATURE REVIEW OF STUDIES CONDUCTED IN THE FIELD OF RENEWABLE ENERGY RESOURCES AND GREEN FINANCE	Betül ŞAHİN Yaşar ŞAHİN	Trabzon University, Türkiye
BIOMASS AND BIOMASS CONVERSION PROCESSES	Betül ŞAHİN	Trabzon University, Türkiye

03.06.2024

Session-1 / Hall-3

New York Time: 08⁰⁰-10⁰⁰

Ankara Time: 15⁰⁰-17⁰⁰

HEAD OF SESSION: Prof. Karim Negadi

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF CHROMIUM SUBSTITUTED COPPER GALLIUM OXIDE NANOPARTICLES FOR PHOTOVOLTAIC APPLICATIONS	Kinza Zulfiqar, Hafeez Anwar	University of Agriculture, Faisalabad, Pakistan
DESIGN AND SIMULATION OF A POINT ABSORBER BASED ON POWER INVERTER AND MAGNETIC LEAD SCREW	Prof. Karim Negadi Ikram Nouari Prof. Fabrizio Marignetti	University of Tiaret, Algeria University of Cassino, Italy
A COMPARATIVE STUDY BETWEEN SPWM AND SHE-PWM MODULATION TECHNIQUES FOR A SINGLE-PHASE INVERTER	Ramzi EL IDRISSE Abdelkabar BACHA Fatima LMAI	Hassan II University, Morocco.
DFT AND TD-DFT INVESTIGATIONS OF NON-FULLERENE ELECTRON ACCEPTORS BASED ON THIOPHENE DERIVATIVES FOR ORGANIC PHOTOVOLTAICS	M.K. Atouailaa, A. Arif M., Boulghallat, M. El idrissi	Sultan Moulay Slimane University, Morocco
BIOPOLYMER-ENCAPSULATED PHASE CHANGE MATERIALS FOR LOW TEMPERATURE HEAT STORAGE	Abdelkoddouss El Majd, Said Sair, Hanane Ait Ousaleh, Zohir Younsi, Naoual Belouaggadia, Abdeslam El Bouari	Hassan II University of Casablanca, Morocco. LIMSET University Mohammed VI Polytechnic, Benguerir, Morocco. Laboratoire de Génie Civil et géo- Environnement (LGCgE), France
MATHEMATICAL MODEL FOR ENHANCING PASSIVE INDOOR THERMAL AND VISUAL COMFORT IN DOUBLE-BANKED OFFICE BUILDINGS IN THE TEMPERATE DRY CLIMATE OF NIGERIA	Muhammad Aminu Musa	Ahmadu Bello University, Zaria
CHEMICAL SYNTHESIS, CHARACTERIZATION AND INVITRO ANTIBACTERIAL STUDIES OF IRON OXIDE NANOPARTICLES	Abdullahi Ahmad Muhammad, Muhammadu Marwana Yusuf	Umaru Musa Yaradua university, Nigeria
WATER MANAGEMENT IN COMMUNES IN POLAND	Zbigniew Grzymała Agnieszka Wójcik-Czerniawska	MBASGH-Warsaw School of Economics, Warsaw, Poland

03.06.2024

Session-1 / Hall-4

New York Time: 08⁰⁰-10⁰⁰

Ankara Time: 15⁰⁰-17⁰⁰

HEAD OF SESSION: Chaimaa Moukhfi

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
THE SYNTHESIS AND COMPREHENSIVE ANALYSIS OF Sr ₂ FeWO ₆ COMPOUND: A STUDY OF ITS PROPERTIES AND CHARACTERISTICS	Chaimaa Moukhfi, Hamza Ouachtouk, Youssef Ghandi, Soufiane Zerraf, Mohammed Elalaoui Belghit, S. Belaouad	Hassan II University of Casablanca, Casablanca, Morocco. Laboratory of Nernest Technology, Canada
ECONOMICALLY ANALYSIS OF HEAT TRANSFER IN BUILDING WALL INTEGRATION WITH PHASE CHANGE MATERIAL AND THERMAL INSULATION	Humam Kareem Jalghaf, Endre Kovács	University of Miskolc, 3515 Miskolc, Hungary University of Technology-Iraq, Iraq
STRUCTURAL AND DYNAMICAL PROPERTIES OF LITHIUM ALUMINUM PHOSPHATE GLASSES: A MOLECULAR DYNAMICS STUDY	Othman El Kssiri, Sara Aqdim, Abdellah Tahiri, Mohammed Filali, Mohamed Naji	University of Sidi Mohamed Ben Abdellah, Morocco University Hassan II of Casablanca, Casablanca, Morocco
COMPUTATIONAL AND EXPERIMENTAL STUDIES ON THE CORROSION INHIBITION PERFORMANCE OF PEANUT SHELL EXTRACT ON THE ACIDIC CORROSION OF CARBON STEEL	Youssef ADNAN, Nouredine IDLAHOUSSAINE, Brahim EL IBRAHIMI, Nada Kheira SEBBAR, Hassan OUACHTAK, Abdelaziz ATT ADDI	Ibn Zohr University, Agadir, Morocco Mohammed V University in Rabat, Morocco
ADSORPTIVE REMOVAL OF REACTIVE BLACK-5 DYE FROM AQUEOUS SOLUTIONS USING BACTERIA-MEDIATED SILVER NANOPARTICLES: A KINETIC STUDY	Akeem Adebayo Jimoh, Samsudeen Olanrewaju Azeez, Mojeed Olalekan Bello, Nasiru AbdusSalam	Kwara State University, Nigeria. University of Ilorin, Nigeria
STRUCTURAL, VIBRATIONAL, MAGNETIC, AND ELECTRONIC PROPERTIES OF La ₂ MMnO ₆ DOUBLE PEROVSKITES WITH M = Ni, Co, and Zn	Hamza Ouachtouk, Amine Harbi, Chaimaa Moukhfi, Said Azerblou, Youssef Naimi, El Mostafa Tace	University Hassan II of Casablanca, Morocco.
SYNTHESIS, CHARACTERIZATION AND CATALYTIC PERFORMANCE OF CADMIUM MOLYBDATE CdMoO ₄	Yousra Taoudi, Hicham Oudghiri Hassani, Mohammed Lachkar	Sidi Mohamed Ben Abdellah University, 30000 Fez, Morocco

03.06.2024

Session-1 / Hall-5

New York Time: 08⁰⁰-10⁰⁰

Ankara Time: 15⁰⁰-17⁰⁰

HEAD OF SESSION: Hassan BADAUI

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
QUINAZOLINE DERIVATIVES AS POTENTIAL EGFR INHIBITORS: 2D and 3D-QSAR, MOLECULAR DOCKING, DRUGLIKENESS, AND MD SIMULATIONS	Hassan BADAUI, Mohamed OUABANE, Mohamed ELBOUHI, M'barek CHOUKRAD, Chakib SEKKATE, Tahar LAKHLIFI, Mohammed BOUACHRINE	My Ismail University, Meknes, Morocco.
ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF AN ENERGY MANAGEMENT SYSTEM BASED ON POWER HYBRID SOLAR, WIND, AND BATTERY	Ikram NOUARI, Karim NEGADI, Mostefa KOULALI	Laboratory of L2GEGI, Algeria
STUDY OF STRUCTURAL, ELECTRONIC, MAGNETIC AND OPTICAL PROPERTIES OF BaAlO ₃ COMPOUND WITH USING GGA APPROACHES	Aman Kumar, Anuj Kumar	Swami Vivekanand Subharti University, Meerut, Uttar Pradesh, India. Mahamaya Government Degree College, Sherkot, Bijnore, Uttar Pradesh, India.
COMPARISON STUDY BETWEEN SLIDING MODE CONTROL AND BACKSTEPPING CONTROL OF A WIND POWER SYSTEM BASED ON THE DFIG GENERATOR	Abdelghafour HERIZI, Riyadh ROUABHI, Al hassan BOUSSAG, Abdesattar DJALAB	University of M'sila, BP 166 Ichbilia 28000, Algeria
MAN, ENERGY, ENVIRONMENT AND VISION FOR THE FUTURE	Farhad Pirmohammadi Alishah, Mehdi Mohammadrezaei	Islamic Azad University, Tasuj, Iran
CARBAZOLE-BASED D-A-II-A DYES FOR DYE SENSITIZED SOLAR CELLS	Omar Britel, Asmae Fitri, Adil Touimi Benjelloun, Mohammed Benzakour, Mohammed Mcharfi	Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Fez, Morocco
DEVELOPMENT AND CHARACTERIZATION OF NEW MATERIALS WITH COMPLEX STRUCTURES, AND STUDY OF THEIR ELECTRICAL, MAGNETIC AND OPTICAL PROPERTIES	Doha Doughri, Boubker Mehdaoui, Abdeslam El Bouari	University Hassan II of Casablanca, Casablanca, Morocco.

CONTENTS

AUTHOR	TITLE	No
<i>Neriman Gül ÇELEBİ</i> <i>Ümit ARPACIOĞLU</i>	ENERGY AND THERMAL COMFORT EVALUATIONS OF HISTORICAL ANATOLIAN SELJUK MOSQUES IN KONYA	1
<i>Volkan TUĞAN</i> <i>Mustafa İNALLI</i>	EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF SINGLE SLOPE AND DOUBLE SLOPE SOLAR STILLS IN TUNCELİ CLIMATE CONDITIONS	8
<i>Hamza ALAHMAD</i> <i>Edip TAŞKESEN</i> <i>Elif Nur BİLEN</i> <i>Fatih ARLI</i> <i>Hakan DUMRUL</i>	HYDROELECTRIC ENERGY POTENTIAL ASSESSMENT: A CASE STUDY OF SIRNAK PROVINCE	17
<i>Halil AKBAŞ</i> <i>Gültekin ÖZDEMİR</i>	OPTIMIZATION MODELS IN RENEWABLE ENERGY SYSTEMS	30
<i>Müslüme NARİN</i> <i>Göktuğ ŞAHİN</i>	ENERGY EFFICIENCY: STUDIES ON ENERGY EFFICIENCY IN TÜRKİYE	39
<i>Göktuğ ŞAHİN</i> <i>Müslüme NARİN</i>	EFFECTS OF THE RUSSIA-UKRAINE WAR ON NATURAL GAS MARKETS AT GLOBAL AND REGIONAL LEVELS	52
<i>Enes MAVİ</i> <i>Halit ARAT</i>	UTILIZATION OF SOLAR PANELS FOR MEETING THE ELECTRICITY DEMAND OF A FACULTY BUILDING AND COST ANALYSIS	67
<i>Semiha ÖZDEMİR</i> <i>Güzide KALYONCU ERGÜLER</i>	2053 NET ZERO EMISSIONS AND A LOOK AT POSSIBLE NEW THERMAL POWER POWERS IN TURKEY FOR DEVELOPMENT	75
<i>Betül ŞAHİN</i> <i>Yaşar ŞAHİN</i>	LITERATURE REVIEW OF STUDIES CONDUCTED IN THE FIELD OF RENEWABLE ENERGY RESOURCES AND GREEN FINANCE	79
<i>Betül ŞAHİN</i>	BIOMASS AND BIOMASS CONVERSION PROCESSES	81
<i>Hakki Can ERGUN</i> <i>Saltuk Buğra SELÇUKLU</i>	INVESTIGATION OF MARKET STRUCTURE AND ENERGY RESOURCE EFFECTS ON THE ELECTRICITY MARKETS WITH HUMAN-BASED SIMULATIONS	88

<i>Muhammad Aminu Musa</i>	MATHEMATICAL MODEL FOR ENHANCING PASSIVE INDOOR THERMAL AND VISUAL COMFORT IN DOUBLE-BANKED OFFICE BUILDINGS IN THE TEMPERATE DRY CLIMATE OF NIGERIA	97
<i>Kinza Zulfiqar Hafeez Anwar</i>	SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF CHROMIUM SUBSTITUTED COPPER GALLIUM OXIDE NANOPARTICLES FOR PHOTOVOLTAIC APPLICATIONS	112
<i>Zbigniew Grzymala Agnieszka Wójcik-Czerniawska</i>	WATER MANAGEMENT IN COMMUNES IN POLAND	113
<i>Karim Negadi Ikram Nouari Fabrizio Marignetti</i>	DESIGN AND SIMULATION OF A POINT ABSORBER BASED ON POWER INVERTER AND MAGNETIC LEAD SCREW	114
<i>Aynur ÖNÜR ASLAN</i>	THE IMPORTANCE OF THE RENEWABLE ENERGY RESOURCES AND THE SUSTAINABILITY PRINCIPLE IN TÜRKİYE'S FOREIGN TRADE	116
<i>Ramzi EL IDRISSE Abdelkabar BACHA Fatima LMAI</i>	A COMPARATIVE STUDY BETWEEN SPWM AND SHE-PWM MODULATION TECHNIQUES FOR A SINGLE-PHASE INVERTER	119
<i>M.K. Atouailaa A. Arif M. Boulghallat M. El idrissi</i>	DFT AND TD-DFT INVESTIGATIONS OF NON-FULLERENE ELECTRON ACCEPTORS BASED ON THIOPHENE DERIVATIVES FOR ORGANIC PHOTOVOLTAICS	120
<i>Abdelkoddouss El Majd Said Sair Hanane Ait Ousaleh Zohir Younsi Naoual Belouaggadia Abdeslam El Bouari</i>	BIOPOLYMER-ENCAPSULATED PHASE CHANGE MATERIALS FOR LOW TEMPERATURE HEAT STORAGE	121
<i>Abdullahi Ahmad Muhammad Muhammadu Marwana Yusuf</i>	CHEMICAL SYNTHESIS, CHARACTERIZATION AND INVITRO ANTIBACTERIAL STUDIES OF IRON OXIDE NANOPARTICLES	122
<i>Farhad Pirmohammadi Alishah Mehdi Mohammadrezaei</i>	MAN, ENERGY, ENVIRONMENT AND VISION FOR THE FUTURE	123
<i>Omar Britel Asmae Fitri Adil Touimi Benjelloun Mohammed Benzakour Mohammed Mcharfi</i>	CARBAZOLE-BASED D-A-II-A DYES FOR DYE SENSITIZED SOLAR CELLS	124

<i>Doha Doughri</i> <i>Boubker Mehdaoui</i> <i>Abdeslam El Bouari</i>	DEVELOPMENT AND CHARACTERIZATION OF NEW MATERIALS WITH COMPLEX STRUCTURES, AND STUDY OF THEIR ELECTRICAL, MAGNETIC AND OPTICAL PROPERTIES	125
<i>Chaimaa Moukhfi</i> <i>Hamza Ouachtouk</i> <i>Youssef Ghandi</i> <i>Soufiane Zerraf</i> <i>Mohammed Elalaoui Belghit</i> <i>S. Belaouad</i>	THE SYNTHESIS AND COMPREHENSIVE ANALYSIS OF Sr₂FeWO₆ COMPOUND: A STUDY OF ITS PROPERTIES AND CHARACTERISTICS	126
<i>Humam Kareem Jalghaf</i> <i>Endre Kovács</i>	ECONOMICALLY ANALYSIS OF HEAT TRANSFER IN BUILDING WALL INTEGRATION WITH PHASE CHANGE MATERIAL AND THERMAL INSULATION	127
<i>Othman El Kssiria</i> <i>Sara Aqdimb</i> <i>Abdellah Tahiria</i> <i>Mohammed Filalia</i> <i>Mohamed Najia</i>	STRUCTURAL AND DYNAMICAL PROPERTIES OF LITHIUM ALUMINUM PHOSPHATE GLASSES: A MOLECULAR DYNAMICS STUDY	128
<i>Youssef ADNAN</i> <i>Noureddine IDLAHOUSSEINE</i> <i>Brahim EL IBRAHIMI</i> <i>Nada Kheira SEBBAR</i> <i>Hassan OUACHTAK</i> <i>Abdelaziz AIT ADDI</i>	COMPUTATIONAL AND EXPERIMENTAL STUDIES ON THE CORROSION INHIBITION PERFORMANCE OF PEANUT SHELL EXTRACT ON THE ACIDIC CORROSION OF CARBON STEEL	129
<i>Akeem Adebayo Jimoh</i> <i>Samsudeen Olanrewaju Azeez</i> <i>Mojeed Olalekan Bello</i> <i>Nasiru AbdusSalam</i>	ADSORPTIVE REMOVAL OF REACTIVE BLACK-5 DYE FROM AQUEOUS SOLUTIONS USING BACTERIA-MEDIATED SILVER NANOPARTICLES: A KINETIC STUDY	130
<i>Hamza Ouachtouk</i> <i>Amine Harbi</i> <i>Chaimaa Moukhfi</i> <i>Said Azerblou</i> <i>Youssef Naimi</i> <i>El Mostafa Tace</i>	STRUCTURAL, VIBRATIONAL, MAGNETIC, AND ELECTRONIC PROPERTIES OF La₂MnO₆ DOUBLE PEROVSKITES WITH M = Ni, Co, and Zn	131
<i>Yousra Taoudi</i> <i>Hicham Oudghiri Hassani</i> <i>Mohammed Lachkar</i>	SYNTHESIS, CHARACTERIZATION AND CATALYTIC PERFORMANCE OF CADMIUM MOLYBDATE CdMoO₄	132
<i>Hassan BADAUI</i> <i>Mohamed OUABANE</i> <i>Mohamed ELBOUHI</i> <i>M'barek CHOUKRAD</i> <i>Chakib SEKKATE</i> <i>Tahar LAKHLIFI</i> <i>Mohammed BOUACHRINE</i>	QUINAZOLINE DERIVATIVES AS POTENTIAL EGFR INHIBITORS: 2D and 3D-QSAR, MOLECULAR DOCKING, DRUGLIKENESS, AND MD SIMULATIONS	133

<i>Ikram NOUARI Karim NEGADI Mostefa KOULALI</i>	ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF AN ENERGY MANAGEMENT SYSTEM BASED ON POWER HYBRID SOLAR, WIND, AND BATTERY	134
<i>Aman Kumar Anuj Kumar</i>	STUDY OF STRUCTURAL, ELECTRONIC, MAGNETIC AND OPTICAL PROPERTIES OF BaAlO₃ COMPOUND WITH USING GGA APPROACHES	135
<i>Abdelghafour HERIZI Riyadh ROUABHI Al hassan BOUSSAG Abdesattar DJALAB</i>	COMPARISON STUDY BETWEEN SLIDING MODE CONTROL AND BACKSTEPPING CONTROL OF A WIND POWER SYSTEM BASED ON THE DFIG GENERATOR	136

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

ENERGY AND THERMAL COMFORT EVALUATIONS OF HISTORICAL ANATOLIAN SELJUK MOSQUES IN KONYA

Lec. Neriman Gül ÇELEBİ¹

¹*Istanbul Nişantaşı University, Vocational School, Department of Interior Design, Istanbul-Türkiye.*

¹ ORCID ID: 0000-0003-0478-0449

Assoc. Prof. Dr. Ümit ARPACIOĞLU²

²*Mimar Sinan Fine Arts University, Faculty of Architecture, Department of Architecture, Istanbul-Türkiye.*

² ORCID ID: 0000-0001-8858-7499

ABSTRACT

Historical and monumental mosques are valuable elements of cultural and religious architectural heritage. This heritage needs to be documented and protected. Mosques are characterized by their unique working hours, and they are used simultaneously in a specific region and time zone. This characteristic property affects the energy demand of the masjid building during the heating and cooling periods, depending on the climate zones. Climate-related design properties of buildings affect the building's comfort conditions and thermal performance. In addition, the comfort of the user in a religious building is important for a sense of sacred worship. In this respect, providing the comfort conditions in the interior space in an energy-efficient method is an important subject. In this context, in this study, monumental mosques built in the Anatolian Seljuk Period in Konya are investigated in terms of thermal comfort and energy efficiency. Firstly, The mosques' architectural design properties and construction techniques are explained and energy and thermal comfort analyses are made by modeling them through the DesignBuilder simulation software. The relationship between architectural design properties and the energy demands of mosques is handled. It is aimed to show the importance of historical religious buildings in terms of energy efficiency.

Keywords: Historical mosques, energy efficiency, thermal comfort.

INTRODUCTION

Throughout its history, Konya has been one of the most important main centers of Turkish-Islamic culture and art in Anatolia. The city has preserved its importance for many years as the capital of the Anatolian Seljuk Civilization and as it is one of the important state centers of the Ottoman Empire. It has been an architectural center throughout its history and has valuable elements of cultural and architectural heritage (Baykara, 2002). Religious buildings such as mosques or masjids built during the Anatolian Seljuk and Ottoman periods are important buildings that provide the formation of city morphology. At that time, mosques were built on a large scale in the main centers of cities and were an important social center where people came together. Masjids were built to provide services on a neighborhood scale. In this respect, monumental religious buildings can be handled as mosques and masjids. Monumental religious buildings are valuable elements of religious and cultural architectural heritage. Creating an inventory of these buildings is important for the protection of cultural heritage.

Mosques are characterized by their unique working hours. They are used simultaneously in a specific region and time zone. This situation has an impact on the energy demand depending on the climatic regions during the heating and cooling periods of the building (Al-Homoud vd., 2005). In addition, The comfort of the user in a religious building is important. Worshipers should be able to feel a sense of peace and tranquility. Seasonal characteristics and indoor activities are important factors affecting thermal comfort. Thermal comfort parameters can be classified as environmental and user-related. Environmental parameters include air temperature, air humidity (relative humidity), average radiant

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

temperature, and air speed. User-related parameters include users' clothing and physical activity status. Worship in a mosque is done in two ways. Various models have been developed to relate human feelings of comfort to relevant factors. ASHRAE is used and important to evaluate thermal comfort conditions (Al-Homoud ve diğ., 2009). The climate-related design features of mosques affect the interior comfort conditions in the interior and the thermal performance of the building (Abdou vd, 2005). In this respect, providing comfort conditions in the interior of religious mosque buildings within the scope of energy efficiency is an issue that should be carefully evaluated.

In the study of Al-Homoud et al., indoor comfort conditions were analyzed for three mosques located in the hot humid climate zone of Damman, Saudi Arabia. The relationship between comfort conditions and the consumed energy levels was evaluated. It was determined that only one of the mosques had a thermal insulation layer in the envelope. It was reported that two uninsulated mosques had higher levels of energy consumption and dissatisfaction in terms of thermal comfort (Al-Homoud vd., 2009). This study aims to create and document the inventory of monumental mosques and to research the masjids in terms of energy efficiency. The relationship between design properties and the energy demands of mosques is handled. It is aimed to show the importance of monumental religious buildings in terms of energy efficiency. There is not enough research in the literature about the basic design and energy performance of mosques. In this respect, it is important to create an inventory of the religious architectural heritage and investigate it in terms of energy and thermal comfort.

METHODS

This study is prepared within the scope of the Scientific Research Project (BAP) and among the analyzed religious buildings, Kadı İzzettin (13th century) and ve Hacı Hasan (15th century) Mosques built in Konya during the Anatolian Seljuk Period are handled. First of all, information about the mosques belonging to the Anatolian Seljuk Period period and Konya City are collected using the analyzing technique in the literature. The mosques are visualized with the drone and their features are documented with photographs. Drawings in the electronic environment are taken from the Konya Regional Directorate of Foundations and colored, and their current situation is based on on-site determinations, and their relations with their immediate surroundings are processed on the drawings. The plan, section, facade, roof cover, and interior space elements are explained and design typologies are determined in the light of the information in the literature, drawings, and visuals. At the same time, the construction technique and material properties are explained. Mosques' architectural design properties were documented are modeled in the Design-Builder simulation program. According to the simulation results, the heating-cooling and total energy loads of the mosques are analyzed. An evaluation is explained according to the findings.

FINDINGS

In this section, the architectural design properties of the Kadı İzzettin and ve Hacı Hasan Mosques built in the Anatolian Seljuk Period and their energy loads according to simulation results are explained.

Historical Anatolian Seljuk Mosques' Architectural Design Properties


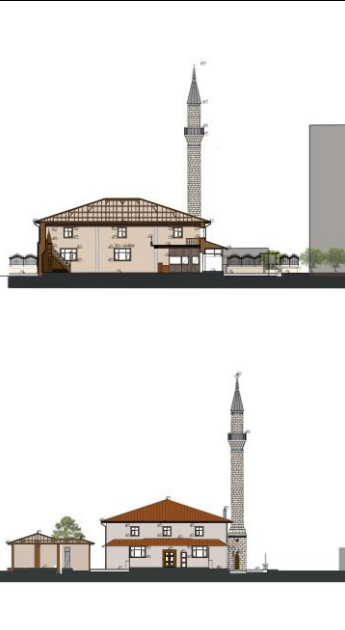
Kadı İzzettin Mosque was built by Kadı İzzeddin in 1252. The construction technique was masonry. Hacı Hasan Mosque was built using masonry technique in the 15th century and was repaired in 1907 during the Ottoman Period (Konyalı, 2007). Photographs of Kadı İzzettin and Hacı Hasan Mosques are shown in Figure 1. The architectural design properties of Kadı İzzettin Mosque are shown in Table 1, and the architectural design properties of Hacı Hasan Mosque are shown in Table 2.

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES





Figure 1. Kadı İzzettin Mosque and Hacı Hasan Mosque (Photographs by the authors, 2019)

Table 1. Kadı İzzettin Mosque's Construction Techniques and Material Properties

Design Typology				
	Period	13th Century, Anatolian Seljuk Period		
	Building Form	Rectangle		
	Plan Organization	Two Spaces		
	Top Cover	Pitched Roof		
	Building Order	Detached Order		
	Mosque height (h)	9.11 m		
	Total Area of Mosque m²	298.35 m ²		
Construction Techniques and Material Properties				
	WALL	Bond Technique	Masonry Wall	
		Material	Stone	
		Wall Thickness	75 cm	
		Openings	Windows ratios are mixed.	
		Window-Wall Ratio (%)	South	16.13
			North	13.96
	East		12.01	
	West		12.05	
	FLOORING	Material	Wood flooring	
	TOP COVER	Bond Technique	Wooden construction pitched roof	
Material		Brick (Roof tile)		
Openings		There are no openings.		
MINARET	Bond Technique	Masonry		
	Material	Cut-stone		

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

Table 2. Hacı Hasan Mosque's Construction Techniques and Material Properties

Design Typology				
	Period	15th Century, Anatolian Seljuk Period		
	Building Form	Rectangle		
	Plan Organization	Three Spaces		
	Top Cover	Pitched Roof		
	Building Order	Detached Order		
	Mosque height (h)	12.00 m		
	Total Area of Mosque m²	330.31 m ²		
Construction Techniques and Material Properties				
	WALL	Bond Technique		Masonry Wall
		Material		Stone
		Wall Thickness		90 cm
		Openings		Windows ratios are mixed.
		Window-Wall Ratio (%)	South	9.61
			North	16.10
	East		6.19	
	West		14.41	
	FLOORING	Material		Wood flooring
	TOP COVER	Bond Technique		Wooden construction pitched roof
		Material		Brick (Roof tile)
		Openings		There are no openings.
MINARET	Bond Technique		Masonry	
	Material		Stone and brick	

Historical Anatolian Seljuk Mosques' Energy and Thermal Comfort Analysis

The Kadı İzzettin and Hacı Hasan Mosques belonging to the Anatolian Seljuk Civilization, are analyzed in terms of energy efficiency and thermal comfort in light of the simulation results. Mosques are modeled using Design Builder simulation software. Design Builder is an EnergyPlus-based software tool developed to measure and analyze the performance of building design in terms of energy, carbon, lighting, and comfort (Zhang, 2014). Models specific to mosque buildings that have characteristic features are developed in the DesignBuilder simulation program, taking into account the users, occupancy rate, and usage times.

- **Energy Analysis**

Energy-efficient building design parameters, passive parameters, are handled as the location of the building, the distance between other buildings, building orientation and space design, building form, building envelope optical and thermophysical properties, solar control, and natural ventilation layout (Lechner, 2015). Konya is located in the temperate-dry climate zone of Türkiye. The period in which heating is important in temperate-dry climatic regions. It can be said that energy-efficient design parameters are also valid for a mosque building. However, mosque buildings have elements that direct their basic design such as qibla, qibla wall, mihrab, and minbar. In this respect, the orientation of mosques with a characteristic design approach is the direction of the qibla. The orientation of the Konya mosques (their qibla), which are handled within the scope of the study, is in the south direction.

In terms of building form, the form of mosque buildings is square or rectangular, which should be in a temperate-dry climate zone. The distance between the buildings, the heights of the buildings, and their

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

locations according to each other affect solar radiation and wind factors. Therefore, passively benefiting from or being protected from the effects of sun and wind changes depending on the settlement texture and distance between buildings. In this respect, it is one of the parameters that directly affect the energy load of a building. Both mosques have a detached order property. Kadı İzzettin and Hacı Hasan Mosques' energy loads are shown in Table 3.

Table 3. The Monumental Religious Buildings' Energy Loads

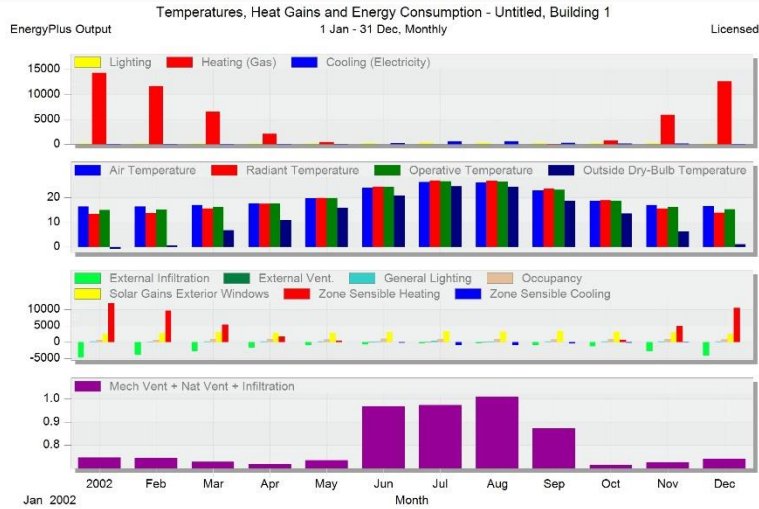
Mosque Name	Kadı İzzettin Mosque 13th Century	Hacı Hasan Mosque 15th Century
Cooling Load per m ² kWh	12.24	9.24
Heating Load per m ² kWh	155.29	62.17
Energy Consumed per m ² (heating-cooling-lighting) kWh	174.34	78.23

Stone building material has the qualification to contribute to the heating and cooling loads of buildings in terms of thermal performance. It should be noted that the thermal conductivity properties of the opaque and transparent components of the building envelope are important parameters that can affect the energy loads of the buildings. The thermal conductivity of the wall varies depending on the building material properties and wall thickness. Period differences between analyzed mosques, differences in wall thickness of mosques, and the type of glass used in the openings should be handled as factors affecting the thermal conductivity of the wall. It can be stated that the building materials used in the analyzed mosques qualify for reducing the energy load of the buildings. According to top cover properties, both mosques have wooden construction pitched roofs. In this respect, mosques' envelope properties should be evaluated as the parameter that affects their energy needs.

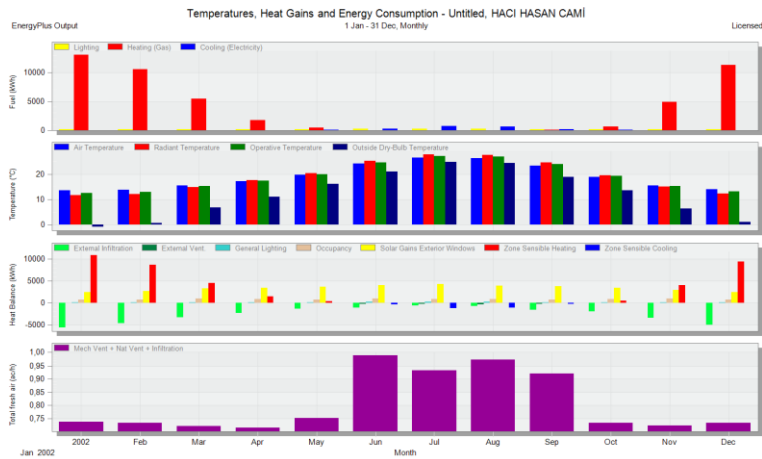
The opening ratios of the buildings are different depending on the directions. It should be noted that openings in the south direction provide direct solar radiation gain, but multi-directional openings, especially in the north direction, cause heat losses. In this respect, it can be said that the openings depending on the directions are the reasons for the differences between the energy loads of the mosques. Design properties such as building materials, wall thicknesses, top cover properties, directional openings, and thermal conductivity are the properties that make a difference between the energy loads of the mosques. In addition, building volume should be handled and evaluated as an important factor.

- **Thermal Comfort Analysis**

Kadı İzzettin Mosque's thermal comfort results are shown in Graphic 1 and Hacı Hasan Mosque's thermal comfort results are shown in Graphic 2. According to the temperature graphs, it was seen that the outdoor air temperature, radiant temperature, and indoor air temperature values were generally close to each other for the buildings examined. The main reason for this situation can be stated as phase canceling. Thermophysical properties and thickness of the building wall are factors that affect phase shift. Phase shift is a condition that supports thermal comfort, and the wall thickness and material properties of the structures examined provide this situation.



Graphic 1. Kadi İzzettin Mosque's Thermal Comfort Graphic



Graphic 2. Hacı Hasan Mosque's Thermal Comfort Graphic

According to the results regarding heat balance, heat transfer in mosques consists especially in cold periods when heating is required. It can be stated that this is due to the openings in the building envelope. Window elements, old joinery due to construction dates, and wall compositions can cause heat transfer. Solar gain from windows varies depending on the building. In particular, it has been observed that the solar gain rate of Hacı Hasan Mosque is higher than other structures. The size of the windows, their thermal conductivity properties, and whether they are single or double-glazed are among the reasons for these differences.

Although the total fresh air rate in the interior spaces of the examined buildings varies, it is seen that these rates are higher between June and September compared to other months. The important factor of indoor air circulation is natural ventilation. Differences in results are related to factors such as the location and size of openings that affect natural ventilation.

CONCLUSION

In this study, monumental mosques built during the Anatolian Seljuk Period in the city of Konya, one of the most important main centers of Turkish-Islamic culture and art, are investigated in terms of energy efficiency. The plan, section, facade, and interior properties of historical religious buildings have been documented. The energy consumption of the mosques is analyzed. As a result, it can be said that more positive results are obtained in terms of energy efficiency for both mosques although the differences between the energy loads.

It can be said that mosque buildings, which are important elements of the monumental architectural heritage built in the Anatolian Seljuk period, are energy-efficient in line with today's energy needs and

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

traditional design features and construction techniques. In terms of material use, the use of traditional materials with thermal mass suitable for climatic conditions is a sustainable approach that affects the energy needs of a building. At the same time, it is concluded that building volume is an important parameter for these building types in terms of energy efficiency. The DesignBuilder simulation program calculates the energy loads per m². It has been determined that this is inadequate for buildings where volume is an important factor, such as monumental mosques, and that volume-related analysis results are required.

As a result, it can be said that historical mosques are valuable and important buildings in terms of energy efficiency in line with the energy loads consumed per m². Considering the deficiency of studies in the field of monumental mosque structures and energy efficiency, it is expected that this study will create potential research scopes for future research. Documenting and analyzing cultural-historical heritage in terms of energy efficiency is a pioneering work and will throw light on future studies.

INFORMATION NOTE

This study is reproduced from the Mimar Sinan Fine Arts University Scientific Research Project (BAP) titled “Research of the Monumental Architectural Heritage in terms of Comfort Parameters and Energy Efficiency, Seljuk-Ottoman Period” coordinated by Assoc. Prof. Dr. Ümit ARPACIOĞLU.

REFERENCES

Abdou, A., Al-Homoud, M., & Budaiwi, I. (2005). Mosque Energy Performance, Part I: Energy Audit and Use Trends Based on the Analysis of Utility Billing Data. *Journal of King Abdulaziz University-Engineering Sciences*, 16(1), 155–173. <https://doi.org/10.4197/ENG.16-1.10>

Al-Homoud, M., Abdou, A., & Budaiwi, I. (2005). Mosque Energy Performance, Part II: Monitoring of Energy End Use in a Hot-Humid Climate. *Journal of King Abdulaziz University-Engineering Sciences*, 16(1), 175–191. <https://doi.org/10.4197/ENG.16-1.11>

Al-Homoud, M. S., Abdou, A. A., & Budaiwi, I. M. (2009). Assessment of monitored energy use and thermal comfort conditions in mosques in hot-humid climates. *Energy and Buildings*, 41(6), 607–614. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2008.12.005>

Baykara, T. (2002). “Konya”, *Türkiye Diyanet Vakfı İslâm Ansiklopedisi*, 26, s. 182-187.

Konyalı İ.H. (2007). Abideleri ve Kitabeleriyle Konya Tarihi. *Konya Büyük Şehir Belediyesi*, s.198-199.

Lechner, N. (2015). *Heating, Cooling, Lighting: Sustainable Methods for Architects* (fourth edition). John Wiley and Sons.

Zhang, L. (2014). Simulation Analysis of Built Environment Based on Design Builder Software. *Applied Mechanics and Materials*, 580–583, 3134–3137. <https://doi.org/10.4028/WWW.SCIENTIFIC.NET/AMM.580-583.3134>

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

TEK EĞİMLİ VE ÇİFT EĞİMLİ GÜNEŞ ENERJİLİ DAMITICILARIN TUNCELİ İKLİM ŞARTLARINDA DENEYSSEL OLARAK İNCELENMESİ

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF SINGLE SLOPE AND DOUBLE SLOPE SOLAR STILL IN TUNCELİ CLIMATE CONDITIONS

Arş. Gör. Volkan TUĞAN

Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Tunceli, Türkiye.

Prof. Dr. Mustafa İNALLI

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye.

ÖZET

Küresel çapta enerji talebinin artması ülkelerin fosil yakıtlar gibi geleneksel enerji kaynaklarına bağımlı hale gelmesine ve ekonomik büyümelerinin önüne geçmesine sebep olmaktadır. Fosil yakıtlar sınırlı, sabit ve yenilenemez olduğundan son zamanlarda yenilenebilir enerji kaynaklarına yoğun bir ilgi olduğu görülmektedir. Tatlı su kaynaklarının sınırlı olması sebebiyle en önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisiyle tuzlu suyun tatlı suya dönüştürülmesi büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, tuzlu sudan tatlı su üretmek amacıyla tek eğimli ve çift eğimli olmak üzere iki farklı güneş enerjili damıtıcının tatlı su üretkenliği ve termal verimi deneysel olarak araştırılmıştır. Bununla birlikte, tuzlu su sıcaklığının, cam sıcaklığının, çevre hava sıcaklığının, güneş ışınım şiddetinin ve rüzgâr hızının zamana göre değişimi grafikler halinde sunulmuştur. Her iki damıtıcı da galvaniz sacdan üretilmiş olup aynı taban alanına sahiptir. Damıtıcıların üretkenliğini ve termal verimini araştırmak amacıyla yürütülen deneysel çalışma, Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi'nde bulunan Tunceli şehrinin iklim şartları altında yürütülmüştür. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, her iki damıtıcı için de gün içerisindeki en yüksek tatlı su üretkenliği saat 14:00'da elde edilmiştir. Çift eğimli güneş enerjili damıtıcının günlük tatlı su üretkenliğinin tek eğimli güneş enerjili damıtıcıya kıyasla %6,6 daha fazla olduğu görülmüştür. Ek olarak, tek eğimli güneş enerjili damıtıcının termal veriminin %15,1, çift eğimli güneş enerjili damıtıcının termal veriminin %16,1 olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Güneş enerjili damıtıcı, tatlı su üretkenliği, termal verim.

ABSTRACT

Increasing global energy demand causes countries to become dependent on traditional energy sources such as fossil fuels and hinders their economic growth. Since fossil fuels are limited, fixed and non-renewable, there has been an intense interest in renewable energy sources recently. Since fresh water resources are limited, it is of great importance to convert salt water into fresh water with solar energy, one of the most important renewable energy sources. In this study, the fresh water productivity and thermal efficiency of two different solar stills, single slope and double slope, were experimentally investigated to produce fresh water from salt water. In addition, the changes in salt water temperature, glass temperature, ambient air temperature, solar radiation intensity and wind speed over time are presented in graphs. Both stills are made of galvanized sheet metal and have the same floor area. The experimental study was carried out under the climate conditions of the city of Tunceli, located in the Eastern Anatolia Region of Turkey, to investigate the productivity and thermal efficiency of solar stills. According to the results obtained from the study, the highest fresh water productivity was achieved at 14:00 during the day in both solar stills. The daily fresh water productivity of the double slope solar still was found to be 6.6% higher than that of the single slope solar still. Additionally, the thermal efficiency of the single slope solar still was found to be 15.1%, and the thermal efficiency of the double slope solar still was 16.1%.

Keywords: Solar still, fresh water productivity, thermal efficiency.

GİRİŞ

Su, tüm canlılar için en temel ihtiyaçtır. Dünya'nın yaklaşık dörtte üçü su ile kaplıdır ancak bunun sadece %1'i canlılar tarafından kullanılabilir niteliktedir (Al-Kayiem vd., 2023; Edalatpour vd., 2016). Kullanılabilir nitelikteki tatlı su kaynaklarının hızla tüketilmesi ve kirlenmesi, küresel çapta nüfus artışı, endüstriyel uygulamaların sürekli olarak artması gibi faktörler tatlı su kaynaklarının gün geçtikçe azalmasına sebep olmaktadır (Abujazar vd., 2016). Bu olumsuz durumun önüne geçebilmek amacıyla Dünya'da bol miktarda bulunan tuzlu suyun tatlı suya dönüştürülebilmesi için yoğun çaba gösterilmektedir.

Doğalgaz, kömür ve petrol gibi fosil yakıtlar doğada sınırlı miktarda bulduklarından gün geçtikçe tükenmektedir. Bununla birlikte, fosil yakıtlar sürekli olarak çevreye zararlı gaz yayarak çevre kirliliğine yol açmaktadır. Bu olumsuzluklarla başa çıkmanın yollarından bir tanesi fosil yakıtların kullanıldığı uygulamalarda enerji verimini artırarak daha az yakıt kullanılmasını sağlamaktır. Diğer ise fosil yakıtlar yerine yenilenebilir enerji kaynaklarından birini kullanmaktır (Kanoğlu vd., 2020). Yenilenebilir enerji kaynağı, doğal kaynaklardan sürekli olarak elde edilebilen ve tükenmeyen enerji kaynağıdır. En önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisiyle tuzlu suyun tatlı suya dönüştürülmesi, tatlı su kaynaklarının tükenmesinin önüne geçebilmek açısından büyük önem taşımaktadır. Güneş enerjisini kullanarak tuzlu sudan tatlı su elde etmek amacıyla kullanılan cihazlara güneş enerjili damıtıcı adı verilmektedir. Güneş enerji damıtıcılar, absorber yüzey tarafından emilen güneş enerjisiyle tuzlu suyun ısıtılarak buharlaştırılması ve daha sonra yoğunlaştırılması prensibine göre çalışmaktadır. Böylece tuzlu su, tuzdan ve diğer kirli maddelerden arınmaktadır. Yoğuşan suyun bir kanal aracılığıyla toplanmasıyla tatlı su elde edilir (Edalatpour vd., 2016). Tuzlu suyun tatlı suya dönüştürülebilmesi açısından bu cihazların kullanılması, en ekonomik ve uygulanabilir yöntemlerden biridir (Singh vd., 2019). Bu nedenle, son yıllarda güneş enerjili damıtıcıları konu alan birçok çalışma yürütülmüştür. Attia vd., 2021, enerji depolama malzemesi olarak kum torbalarının kullanıldığı bir tek eğimli güneş enerjili damıtıcının performansını deneysel olarak araştırmıştır. Geliştirilen güneş enerjili damıtıcının tatlı su üretkenliğinin geleneksel güneş enerjili damıtıcıya kıyasla %34,57 daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Balachandran vd., 2020, güneş enerjili damıtıcının emici yüzeyine mikropartikül ve nanopartikül olarak Fe₂O₃ kaplanmasının üretilen tatlı su miktarına etkisini deneysel olarak araştırmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, mikropartikül ve nanopartikül kaplanması durumunda tatlı su üretkenliğinin sırasıyla 3,23 kg/m² ve 4,39 kg/m² olduğu gözlemlenmiştir. Chandrika vd., 2021, tek eğimli güneş enerjili damıtma cihazının iç yüzeylerinde yansıtıcı ayna ve alüminyum folyo levhaların kullanımının tatlı su üretkenliğine etkisini deneysel olarak araştırmıştır. Yansıtıcı ayna ve alüminyum folyo levha kullanılması durumunda geleneksel güneş enerjili damıtıcıya kıyasla tatlı su üretkenliğinde sırasıyla %68,57 ve %48,57 artış olduğu tespit edilmiştir. Darabi vd., 2022, tek eğimli güneş enerjili damıtıcıda reflektör kullanımının tatlı su üretkenliğine ve termal verimine etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. Reflektörsüz ve reflektörle damıtıcılar için üretilen günlük tatlı suyun sırasıyla 1095 ml ve 1710 ml olduğunu tespit etmişlerdir. Ek olarak, reflektörsüz ve reflektörlü sistemlerin günlük verimlerinin sırasıyla %30,10 ve %46,13 olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Elshamy & El-Said, 2018, boru şeklindeki güneş enerjili damıtıcının tatlı su üretimini ve verimini deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, boru şeklindeki güneş enerjili damıtıcının tatlı su üretkenliğinin ve termal veriminin düz plakalı olana kıyasla sırasıyla %26,47 ve %25,9 daha yüksek olduğu görülmüştür. Muthu Manokar vd., 2020, cam soğutma ve havuz ısıtmanın güneş enerjili damıtıcının performansına etkisini deneysel olarak araştırmıştır. Geleneksel, havuz ısıtmalı, cam soğutmalı ve hem havuz ısıtma hem de cam soğutmalı güneş enerjili damıtıcıların tatlı su üretkenliğinin sırasıyla 1,89 kg/m², 2,49 kg/m², 3,79 kg/m² ve 4,56 kg/m² olduğu tespit edilmiştir. Cam soğutma ve havuz ısıtmanın birlikte kullanıldığı güneş enerjili damıtıcının tatlı su üretkenliğinin geleneksel güneş enerjili damıtıcıya kıyasla %58,57 daha fazla olduğu görülmüştür. Nayagam vd., 2022, boru şeklindeki bir güneş enerjili damıtıcıda harici bir ısıtıcının kullanılmasının tatlı su üretkenliğine etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Harici ısıtıcının kullanıldığı damıtıcı üretkenliğinin ısıtıcısız damıtıcıya kıyasla %32,67 daha fazla olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Saadi vd., 2018, geleneksel ve kademeli güneş enerjili damıtıcıların günlük verimini artırmak amacıyla deneysel çalışma yürütmüştür. Elde edilen sonuçlara göre, kademeli güneş enerjili damıtma cihazının günlük veriminin geleneksel güneş enerjili damıtma cihazına kıyasla en düşük %47,18, en yüksek %104,73 arttığı tespit edilmiştir.

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

Bu çalışmada, tek eğimli ve çift eğimli olmak üzere iki farklı güneş enerjili damıtıcı tasarlandı, üretildi ve tatlı su üretkenlikleri deneysel olarak araştırıldı. Ek olarak, güneş enerjili damıtıcıların termal verimleri incelendi. Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde damıtıcıların üretimi, deneysel olarak test edilmesi, elde edilen bulgular ve bulguların yorumlanması ile ilgili detaylı bilgiler alt başlıklar halinde sunuldu.

MATERYAL VE METOT

Bu deneysel çalışma, Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi'nde bulunan Tunceli şehrinin iklim şartları altında yürütülmüştür. Deneyler 08.00 ile 19.00 arasında yapılmıştır. Mevcut çalışma kapsamında tasarlanan ve üretilen tek eğimli ve çift eğimli güneş enerjili damıtıcıların görüntüleri sırasıyla Şekil 1 ve Şekil 2'de verilmiştir. Her iki damıtıcı da 1 mm'lik galvaniz sacdan üretilmiş olup, yerden yükseklikleri ve taban alanları eşittir. Tek eğimli güneş enerjili damıtıcının her bir kenarı 720 mm uzunluğa sahiptir. Çift eğimli güneş enerjili damıtıcı havuzunun kısa kenarı 650 mm, uzun kenarı 800 mm'dir. Tek eğimli ve çift eğimli güneş enerjili damıtıcılar yerden 400 mm yükseklikte olacak şekilde demir kutu profiller ile desteklenmiştir. Yalıtım malzemesi olarak damıtıcıların cam kapak hariç tüm yüzeylerine 25 mm kalınlığında kauçuk levha kaplanmıştır. Güneş enerjili damıtıcıların güneş ışınımından maksimum düzeyde yararlanabilmesi için damıtıcı havuzları ısıya dayanıklı siyah boya ile boyanmıştır. Her iki damıtıcıda da 6 mm kalınlığında cam kapak kullanılmış ve yatayla 39° eğimli olacak şekilde yerleştirilmiştir. Güneş enerjili damıtıcıların her birine 12,5 L deniz suyu doldurulmuştur. Deniz suyu, Türkiye'nin Akdeniz Bölgesi'nde bulunan Mersin şehrinin deniz kıyısından temin edilmiştir. Tek eğimli damıtıcıda bir adet ve çift eğimli damıtıcıda iki adet tatlı su toplama kanalı kullanılmıştır. Toplama kanalları 25,4 mm dış çapa sahip olup, krom malzemedan üretilmiştir. Güneş enerjili damıtma cihazlarından elde edilen tatlı suyu biriktirmek için 1,5 L'lik cam malzemedan üretilmiş tatlı su toplama kapları kullanılmıştır.



Şekil 1. Tek eğimli güneş enerjili damıtıcı



Şekil 2. Çift eğimli güneş enerjili damıtıcı

Deney düzeneğinde kullanılan malzeme ve cihazlar, Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Biriminin (FÜBAP) desteğiyle satın alınmıştır. Ayrıca, deneyler için gerekli olan bazı ölçüm aletleri Munzur Üniversitesi'nden temin edilmiştir. Sıcaklık ölçümleri K tip termokupl kullanılarak yapılmıştır. Sıcaklık ölçüm aletlerinden (K tip termokupl) elde edilen verileri toplamak ve kaydetmek amacıyla datalogger kullanılmıştır. Güneş ışınım şiddetini ve rüzgâr hızını ölçmek amacıyla kullanılan cihazlar sırasıyla Şekil 3 ve Şekil 4'te verilmiştir. Damıtıcılardan elde edilen tatlı su miktarı hassas tartı kullanılarak ölçülmüştür.



Şekil 3. Işınım ölçer



Şekil 4. Rüzgâr hızı ölçer

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, tek eğimli ve çift eğimli güneş enerjili damıtıcıların deneysel analizlerinden elde edilen veriler detaylı bir şekilde sunulmuştur. 08.00 ile 19.00 arasında yürütülen deneylerden elde edilen güneş ışınım şiddeti, rüzgâr hızı, sıcaklık, üretkenlik ve termal verim değerleri grafikler halinde verilmiştir. Güneş ışınım şiddetinin ve rüzgâr hızının zamanla değişimini gösteren grafik Şekil 5'te gösterilmiştir. Gün içerisinde en yüksek güneş ışınım şiddetinin ($977,9 \text{ W/m}^2$) saat 12.00'da elde edildiği görülmüştür. Rüzgâr hızının deneylerin yapıldığı süre boyunca sürekli olarak değişkenlik gösterdiği ve en yüksek değerinin (2 m/s) saat 11.00'da elde edildiği gözlemlenmiştir.

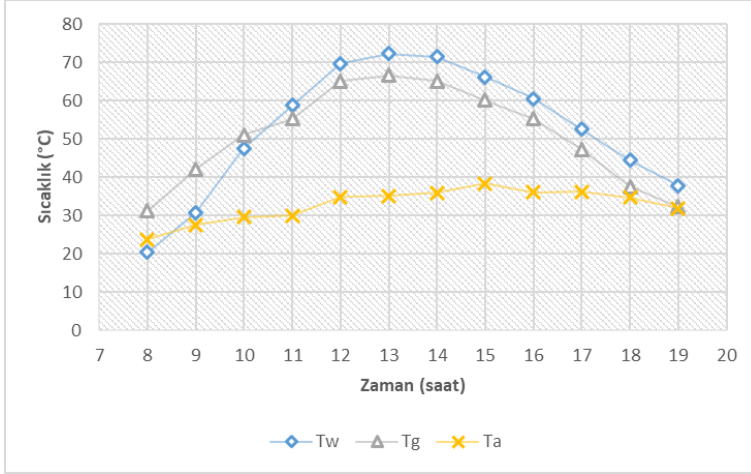


Şekil 5. Işınım şiddetinin ve rüzgâr hızının zamanla değişimi

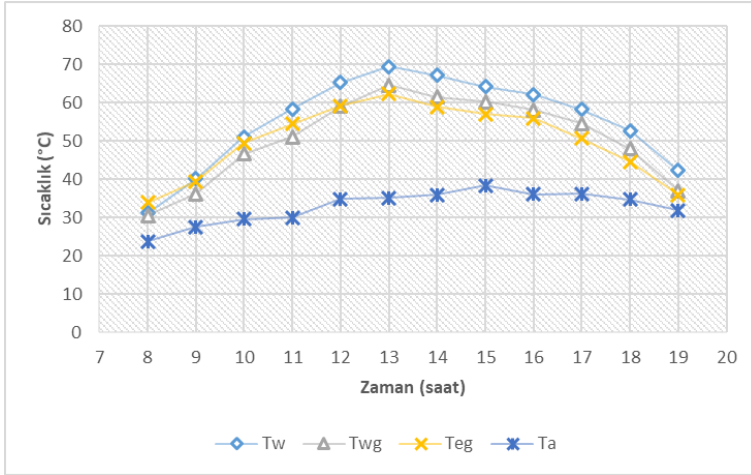
Tek eğimli ve çift eğimli güneş enerjili damıtıcılar için sıcaklıkların zamana göre değişimini gösteren grafikler sırasıyla Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmiştir. Şekil 6'da görüldüğü üzere çevre hava sıcaklığı gün içerisinde en yüksek değerine ($38,4 \text{ }^\circ\text{C}$) saat 15.00'da ulaşmıştır. Tek eğimli güneş enerjili damıtıcıdaki deniz suyu sıcaklığının 13.00'a kadar arttığı ve 13.00'dan sonra yavaş yavaş azaldığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebi, öğlen saatlerinde güneş ışınım şiddetinin maksimum değerine ulaşmasıdır. Şekil 7'de görüldüğü üzere, çift eğimli damıtıcıdaki deniz suyu sıcaklığı en yüksek değerine tek eğimli damıtıcıdakine benzer olarak 13.00'da ulaşmıştır. Sabahın ilk saatlerinde doğu tarafı cam sıcaklığının batı tarafı cam sıcaklığından yüksek olmasının sebebi güneşin sabah saatlerinde doğu tarafı cam yüzeye doğrudan vurmasından kaynaklanmaktadır. Aynı durum güneş batarken batı tarafı cam için geçerlidir. Tek eğimli ve çift eğimli güneş enerjili damıtıcılar deniz suyu sıcaklığı açısından kıyaslandığında sabah

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

ve akşam saatlerinde çift eğimli damıtıcıdaki deniz suyu sıcaklığının, öğlen saatlerinde ise tek eğimli damıtıcıdaki deniz suyu sıcaklığının daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.



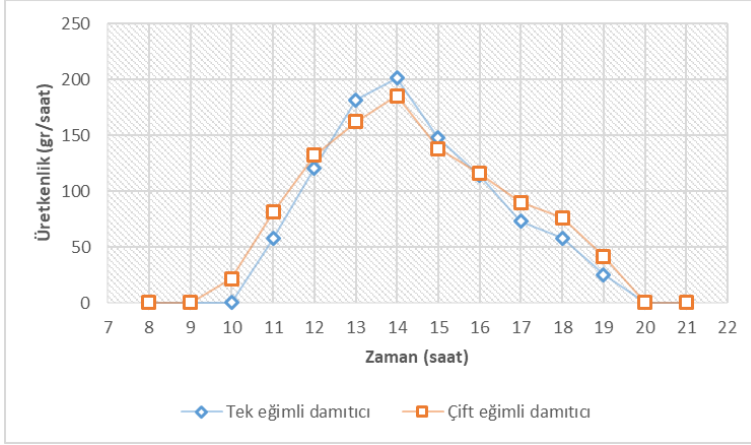
Şekil 6. Tek eğimli güneş enerjili damıtıcı için sıcaklıkların zamana göre değişimi



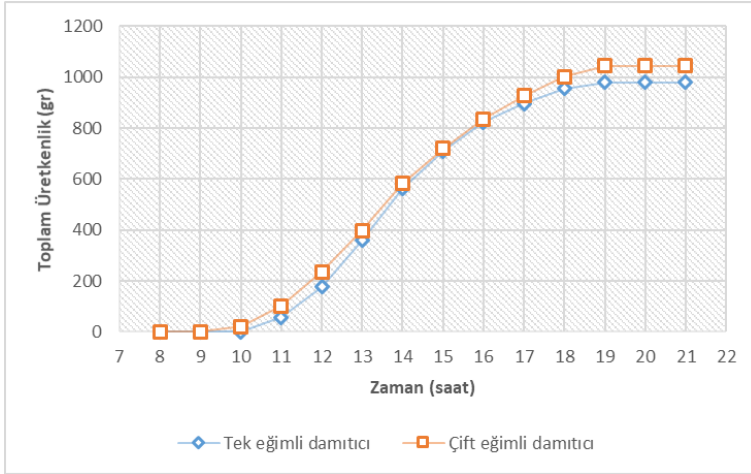
Şekil 7. Çift eğimli güneş enerjili damıtıcı için sıcaklıkların zamana göre değişimi

Tek eğimli ve çift eğimli güneş enerjili damıtıcıların saatlik ve toplam üretkenlik değerleri sırasıyla Şekil 8 ve Şekil 9'da gösterilmiştir. Şekil 8'de görüldüğü üzere tek eğimli ve çift eğimli güneş enerjili damıtıcılar için elde edilen en yüksek saatlik üretkenlik değeri 14.00'da elde edilmiş olup, sırasıyla 201,5 gr/saat ve 185,5 gr/saat'tir. Bununla birlikte, sabah ve akşam saatlerinde çift eğimli güneş enerjili damıtıcının, öğlen saatlerinde ise tek eğimli güneş enerjili damıtıcının tatlı su üretkenliğinin daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 9'da görüldüğü üzere tek eğimli ve çift eğimli güneş enerjili damıtıcıların her saat için toplanarak elde edilen üretkenlik değerleri verilmiştir. Tek eğimli ve çift eğimli güneş enerjili damıtıcılar için günlük tatlı su üretkenliğinin sırasıyla 979,6 kg/gün ve 1044,4 kg/gün olduğu gözlemlenmiştir. Günlük tatlı su üretkenliği açısından kıyaslandığında çift eğimli güneş enerjili damıtıcıdan elde edilen tatlı su üretkenliğinin tek eğimli güneş enerjili damıtıcıya kıyasla %6,6 daha fazla olduğu görülmüştür.

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

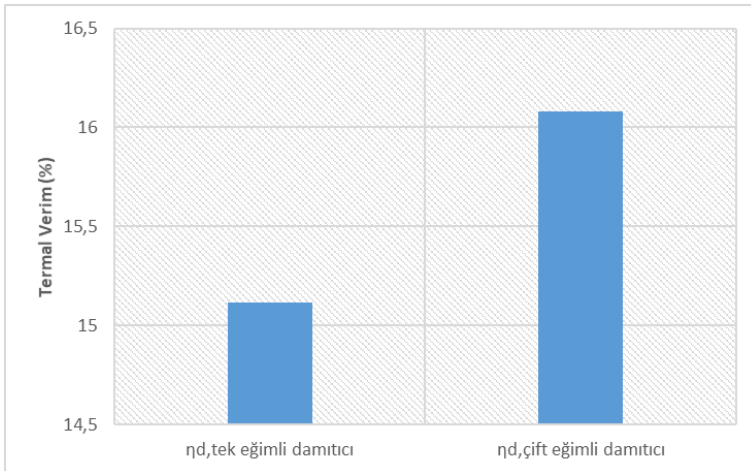


Şekil 8. Güneş enerjili damıtıcıların saatlik üretkenlik değerlerinin zamanla değişimi



Şekil 9. Güneş enerjili damıtıcıların toplam üretkenlik değerlerinin zamanla değişimi

Her iki damıtıcı için elde edilen termal verim değerlerinin kıyaslandığı grafik, Şekil 10'da sunulmuştur. Tek eğimli ve çift eğimli güneş enerjili damıtıcıların günlük termal veriminin sırasıyla %15,1 ve %16,1 olduğu tespit edilmiştir. Bu, aynı taban alanına sahip olmalarına rağmen çift eğimli güneş enerjili damıtıcının üretkenliğinin tek eğimli güneş enerjili damıtıcınınkinden yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 10. Güneş enerjili damıtıcıların termal verimleri

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

SONUÇLAR

Bu çalışmada, tuzlu sudan tatlı su üretmek amacıyla tek eğimli ve çift eğimli olmak üzere iki farklı güneş enerjili damıtıcının tatlı su üretkenliği ve termal verimi deneysel olarak araştırılmıştır. Bununla birlikte, tuzlu su sıcaklığının, cam sıcaklığının, çevre hava sıcaklığının, güneş ışınım şiddetinin ve rüzgâr hızının zamana göre değişimi grafikler halinde sunulmuştur. Deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur:

- Güneş ışınım şiddetinin güneş enerjili damıtıcı içerisindeki tuzlu su sıcaklığını önemli ölçüde etkilediği ve ışınım şiddetinin artmasının tuzlu su sıcaklığını artırdığı görülmüştür.
- Sabah ve akşam saatlerinde çift eğimli güneş enerjili damıtıcıdaki, öğlen saatlerinde ise tek eğimli güneş enerjili damıtıcıdaki tuzlu su sıcaklığının daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Böylece, sabah ve akşam saatlerinde çift eğimli güneş enerjili damıtıcının, öğlen saatlerinde ise tek eğimli güneş enerjili damıtıcının tatlı su üretkenliğinin daha fazla olduğu görülmüştür.
- Tek eğimli ve çift eğimli güneş enerjili damıtıcılar için günlük tatlı su üretkenliğinin sırasıyla 979,6 kg/gün ve 1044,4 kg/gün olduğu gözlemlenmiştir. Çift eğimli güneş enerjili damıtıcıdan elde edilen tatlı su üretkenliğinin tek eğimli güneş enerjili damıtıcıya kıyasla %6,6 daha fazla olduğu görülmüştür.
- Tek eğimli ve çift eğimli güneş enerjili damıtıcıların günlük termal veriminin sırasıyla %15,1 ve %16,1 olduğu tespit edilmiştir.

İlerleyen çalışmalarda, güneş enerjili damıtma cihazlarının tatlı su üretkenliğini artırmak amacıyla emici yüzeylerin çeşitli nanomalzemelerle kaplanması, cam örtünün çeşitli yöntemlerle soğutulması gibi yöntemler incelenebilir.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması, Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (FÜBAP) tarafından MF.22.12 protokol numaralı proje ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Abujazar, M. S. S., Fatihah, S., Rakmi, A. R., & Shahrom, M. Z. (2016). The effects of design parameters on productivity performance of a solar still for seawater desalination: A review. *Desalination*, 385, 178-193. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2016.02.025>
- Al-Kayiem, H. H., Mohamed, M. M., & Gilani, S. I. U. (2023). State of the Art of Hybrid Solar Stills for Desalination. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 48(5), 5709-5755. <https://doi.org/10.1007/s13369-022-07516-8>
- Attia, M. E. H., Kabeel, A. E., Abdelgaied, M., & Driss, Z. (2021). Productivity enhancement of traditional solar still by using sandbags of El Oued, Algeria. *Heat Transfer*, 50(1), 768-783. <https://doi.org/10.1002/htj.21903>
- Balachandran, G. B., David, P. W., Mariappan, R. K., Kabeel, A. E., Athikesavan, M. M., & Sathyamurthy, R. (2020). Improvising the efficiency of single-sloped solar still using thermally conductive nano-ferric oxide. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(26), 32191-32204. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06661-2>
- Chandrika, V. S., Attia, M. E. H., Manokar, A. M., Marquez, F. P. G., Driss, Z., & Sathyamurthy, R. (2021). Performance enhancements of conventional solar still using reflective aluminium foil sheet and reflective glass mirrors: Energy and exergy analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(25), 32508-32516. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13087-2>
- Darabi, M. A., Pasha, G., Ebrahimpour, B., Guodarzi, A. M., Morshedsolouk, F., Roshan, H. H., & Shafaghat, R. (2022). Experimental investigation of a novel single-slope tilted wick solar still with an affordable channeled absorber sheet, an external condenser, and a reflector. *Solar Energy*, 241, 650-659.

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

- Edalatpour, M., Aryana, K., Kianifar, A., Tiwari, G. N., Mahian, O., & Wongwises, S. (2016). Solar stills: A review of the latest developments in numerical simulations. *Solar Energy*, 135, 897-922. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.03.005>
- Elshamy, S. M., & El-Said, E. M. S. (2018). Comparative study based on thermal, exergetic and economic analyses of a tubular solar still with semi-circular corrugated absorber. *Journal of Cleaner Production*, 195, 328-339. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.243>
- Kanoğlu, M., Çengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2020). *Fundamentals and applications of renewable energy*. McGraw-Hill.
- Muthu Manokar, A., Vimala, M., Prince Winston, D., Rajendran, D. R., Sathyamurthy, R., & Kabeel, A. E. (2020). A comparative study of 3E (energy, exergy, and economy) analysis of various solar stills. *Heat Transfer*, 49(8), 4394-4409. <https://doi.org/10.1002/htj.21832>
- Nayagam, V. S., Geetha, K., Vallikannu, R., Muthuvel, S. K., Ram, G. C., Gupta, P., Sudhakar, M., Mohanavel, V., & Sathyamurthy, R. (2022). Energy efficient tubular solar still for augmented yield using electrical heater. *Energy Reports*, 8, 959-964. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.10.283>
- Saadi, Z., Rahmani, A., Lachtar, S., & Soualmi, H. (2018). Performance evaluation of a new stepped solar still under the desert climatic conditions. *Energy Conversion and Management*, 171, 1749-1760. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.06.114>
- Singh, A. K., Singh, D. B., Mallick, A., Harender, Sharma, S. K., Kumar, N., & Dwivedi, V. K. (2019). Performance analysis of specially designed single basin passive solar distillers incorporated with novel solar desalting stills: A review. *Solar Energy*, 185, 146-164. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.04.040>

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

HYDROELECTRIC ENERGY POTENTIAL ASSESSMENT: A CASE STUDY OF SIRNAK PROVINCE

Mr. Hamza ALAHMAD¹

¹*Sirnak University, Graduate Education Institute, Department of Energy Science and Technologies, Sirnak, Turkey.*

¹ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6261-3449>

Dr. Edip TAŞKESEN²

²*Sirnak University, Faculty of Engineering, Department of Energy Systems Engineering, Sirnak, Turkey.*

²ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3052-9883>

Mrs. Elif Nur BİLEN³

³*Sirnak University, Graduate Education Institute, Department of Energy Science and Technologies, Sirnak, Turkey*

³ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7385-3704>

Dr. Fatih ARLI⁴

³*Sirnak University, Faculty of Engineering, Department of Energy Systems Engineering, Sirnak, Turkey.*

⁴ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0899-3460>

Dr. Hakan DUMRUL⁵

¹*Sirnak University, Faculty of Engineering, Department of Energy Systems Engineering, Sirnak, Turkey.*

⁵ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1122-3886>

ABSTRACT

This study provides an in-depth analysis of the hydroelectric energy potential in Türkiye, with a specific focus on Sirnak province. Energy demand globally is on the rise, with a notable increase observed between 1990 and 2022. Hydroelectric energy stands as a significant contributor to the world's electricity production, making up 15% in 2022. In Türkiye, hydroelectric power generation ranks 11th globally, indicating its importance in the country's energy landscape. The study delves into the technical and theoretical hydroelectric potentials of Türkiye, highlighting the nation's substantial hydroelectric capacity, equivalent to 18% of Europe's technical potential. Furthermore, the study evaluates the status and prospects of hydroelectric power plants in Sirnak province, detailing operational, under-construction, and planned projects. Key findings reveal that Sirnak possesses a growing hydroelectric potential, with seven operational power plants and several projects in various stages of development. Large-scale projects such as Cizre Dam and HEPP significantly contribute to regional energy production. The study underscores the significance of hydroelectric energy in diversifying Türkiye's energy sources, emphasizing the need for strategic planning to harness the full potential of this renewable and sustainable energy resource.

Keywords: Energy, Hydroelectric, Production, Potential, Türkiye

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

INTRODUCTION

Energy is an increasing need for everyday life. This need affects humanity and is in a decisive position in creating and performing vital human activities. The demand for trustee energy emerges from this position, and various energy production methods meet this demand. However, energy demand is used as a scale that classifies the development status of societies based on energy consumption. Demand for energy increases to 2-3% in developing countries and up to 10% in developed countries (Ergün Bülbül & Çokluk, 2017; Fırat & Süme, 2020). The exchange values of world energy demand between 1990 and 2022, shown in Figure 1', indicate an increase in the demand for energy. In 2022, total energy demand worldwide reached 14,585 Mtoe. 10% of this total energy demand is due to electrical energy demand (Figure 2).

The chart presented in Figure 3 shows the change in electricity demand worldwide in 2022. This year, total electricity consumption worldwide reached 25.530 TWh. Distribution of production that meets the world's electrical energy consumption in the same year by sources is 35.8% from coal, 22.2% from natural gas, 15% from hydroelectric sources, 9.2% from nuclear energy, 7.5% from wind, 4.5% is supplied from solar energy, 3% from other fossil fuels, 2.4% from biomass and 0.4% from different renewable energy sources. Figure 4 shows the Distribution of World electricity generation by source in 2022.

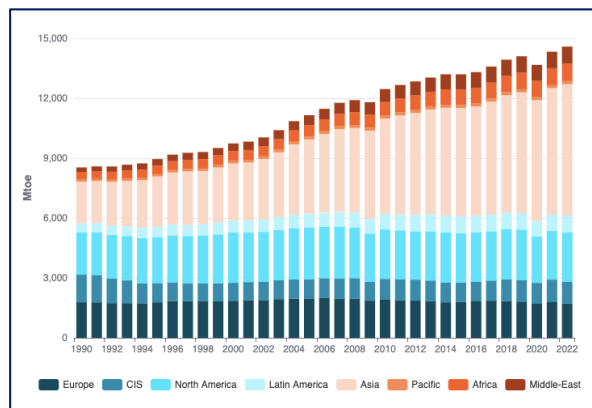


Figure 1. World Total Energy Consumption 1990-2022 Annual Distribution (*Mtoe: Millions of tonnes of oil equivalent) (World Energy & Climate Statistics- Yearbook 2023 (Total energy consumption), 2023).

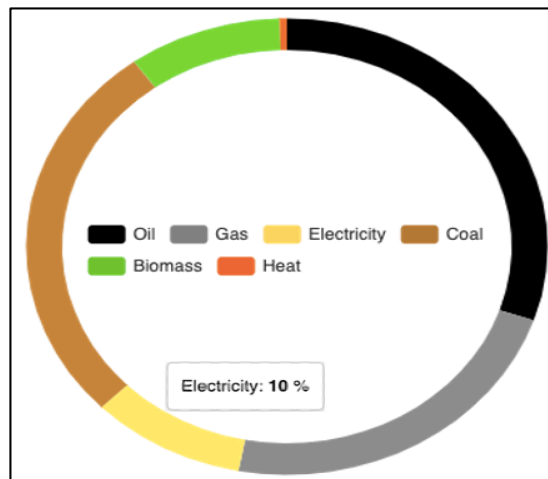


Figure 2. Distribution of World Energy Consumption By Source in 2022 (World Energy & Climate Statistics- Yearbook 2023 (Total energy consumption), 2023).

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

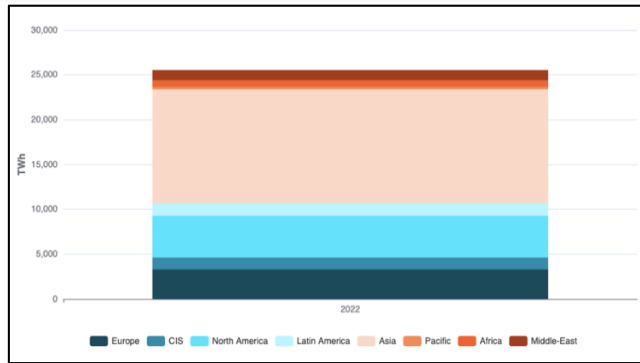


Figure 3. Electrical Energy Consumption Distribution Worldwide in 2022 (World Energy & Climate Statistics- Yearbook 2023 (Electricity production), 2023).

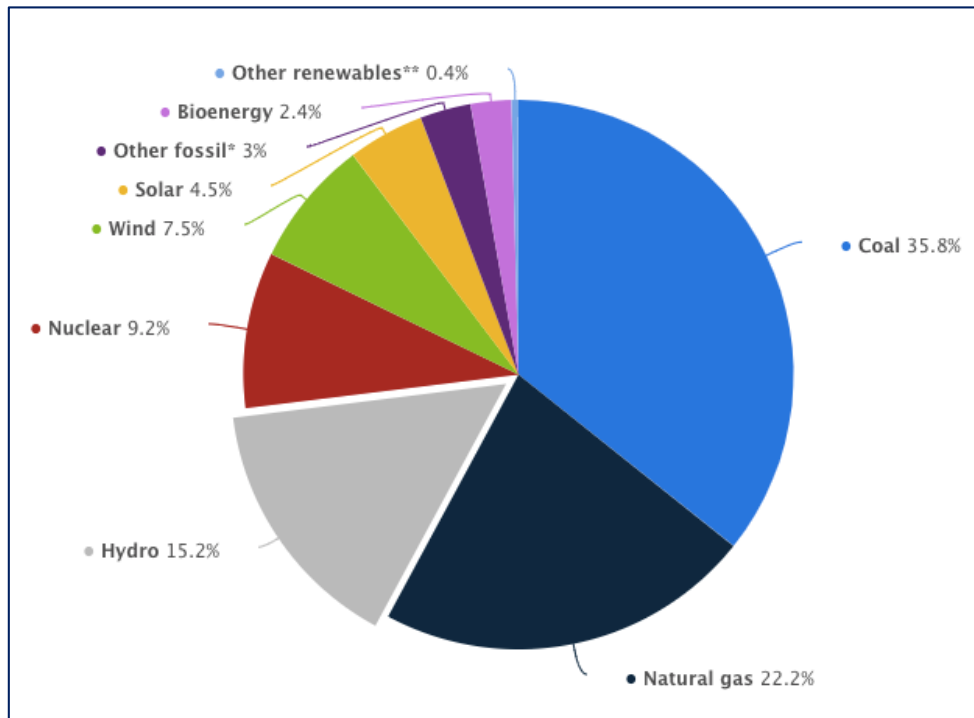


Figure 4. Distribution of Electricity Generation Worldwide in 2022 by energy source (‘Distribution of electricity generation worldwide in 2022’, 2023).

Hydroelectric energy has an essential place with a share of 15%’ and is third in world electrical power generation. Hydroelectric energy is produced by a method that converts the kinetic energy of water into electrical energy. The importance of this energy source stands out as it is environmentally friendly and sustainable. They can also be used as a stable resource in energy production thanks to the water storage capacities of hydroelectric power plants. For this reason, hydroelectric energy plays an important role in world energy production and makes a sustainable and clean contribution to energy consumption.

The facilities abbreviated as HPP are called hydroelectric power plants, and today, modern electricity generation with water power is carried out in these facilities. It is known that the first example of these power plants was established in 1771 in the Derwent Valley of Richart Akwrite, England, and the first tribune hydraulic power plant was established in 1827 by the French engineer Benoit Fourneyron (Firidin, 2017).

HPP structures are usually installed in the form of dam type, the structure that brings water to a certain height, and the damless type, usually built on rivers, with a regulator that swells flowing water. These structures are used in electricity production in various parts of the World (Veli & Firat, 2020).

A wide variety of energy sources are used in electricity production. Water power, coal, oil, natural gas, solar, wind, geothermal, biomass and nuclear energy sources are the main ones. Although the cost factor

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

is important in resource preference, it is observed that countries often turn to their resources and try to increase the variety of resources. In addition, clean and renewable energy sources are preferred due to environmental problems caused by fossil fuels. Located between developing countries, Türkiye, in order to meet the rapidly increasing electricity needs, it has to turn primarily towards domestic and renewable energy sources. Undoubtedly, at the beginning of these, water power, which has been evaluated as of today, is only 25 (Akpınar, 2005; Pamir, 2003).

Hydroelectric power generation in 2022 worldwide totaled 4,326.76 TWh ('Hydropower Generation', 2023; Kankal, Bayram, Uzlu, & Satılmış, 2014). In this production, China is in the leading position and provided the highest production with approximately 1.318.22 TWh; Brazil and Canada follow China with 400 TWh, respectively (See. Figure 5). Türkiye's hydroelectric power generation is 11th worldwide and represents 1.55% of the total world production, with approximately 67.09 TWh production (See. Figure 6).

The streams use the kinetic energy of the water that falls or falls from the height of electricity production. It is possible to divide the hydroelectric power plants installed for this purpose into two: dam type (decope) and river type (decomalienic) power plants. Electricity generation in storage power plants is closely related to the current characteristics of the current as well as the water-holding capacity of the dam. In contrast, production in non-storage power plants largely depends on the natural current characteristics of the current. Hydroelectric power plants are generally divided into five categories: micro (1 kW-200 kW), mini (200 kW-1 MW), small (1 MW-10 MW), medium (10 MW-50 MW) and large (50 MW and above). This classification is made according to the installed power capacity of the power plants (Aslan, Yaşar, & Karabörk, 2004).

Total rainfall in Türkiye is 508 billion m³, which is 186 billion m³ (38%) flows through the flow of streams. In our country, which is considered relatively rich in the stream network, there are about 600 streams, large and small (Atalay, 2004). Türkiye shows a large part of the open basin feature of streams, and the indoor basins in the Eastern Anatolia Region and the indoor basins cover a small area. In the coastal areas of the Mediterranean and Black Sea regions, short streams flow by taking their waters from the sea-facing slopes of the mountains, which are the majority. In our other regions, there are medium and tall streams, including transboundary rivers such as Coruh (Çoruh), Aras, Tigris (Dicle) and Euphrates (Firat).

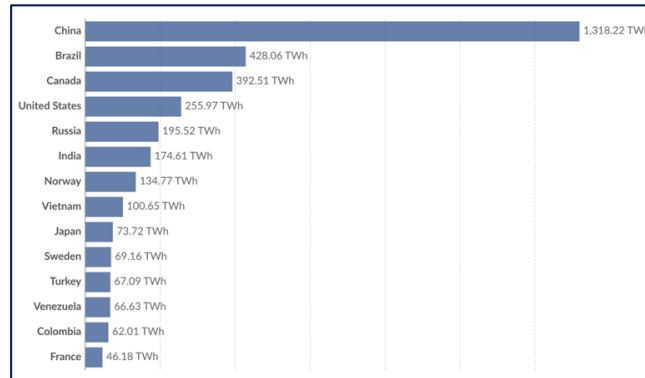


Figure 5. Global Distribution of Countries Leading in Hydroelectric Power Generation in 2022 ('Hydropower Generation', 2023).

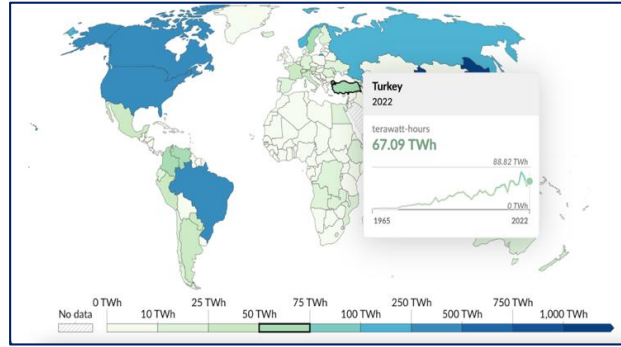


Figure 6. Hydroelectric Energy Production Potential in Türkiye in 2022 (TWh) (‘Hydropower Generation’, 2023).

Türkiye's water resources and electricity production HPP structures first started in 1902 in Tarsus in a small-scale hydroelectric power plant in Istanbul in 1913, the first large-scale power plant, In 1933', the lighting and electricity grid provided with hydroelectric energy was established in Yöverti, and 1935 and afterward, relevant government agencies were created (Gökdemir, Kömürcü, & Evcimen, 2012). Türkiye has reached an electricity consumption per capita of 3386 kWh as of 2021 (2022 Yılı Türkiye Elektrik Dağıtım Sektör Raporu, 2023). In order to ensure this demand, which has increased in parallel with the development of our country, various arrangements have been made in the energy sector after 2001 in order to ensure this demand is regularly (Ergün Bülbül & Çokluk, 2017).

This study, Türkiye's hydroelectric power potential with current production capacity by examining, aims to assess the position and importance of this energy source in Türkiye's electricity production. In addition, it aims to contribute to future work in the relevant region by presenting data on the current hydroelectric power status of Simak province.

HYDROELECTRIC ENERGY AND HYDROELECTRIC POWER PLANT

There is potential energy owned by water, which is given a certain height. This energy is converted into kinetic energy with a few processes, then into electrical energy with the help of machines. This energy obtained is called hydroelectric energy (Balmer & Spreng, 2008).

The conversion scheme of hydroelectric power plants reflects a complex process in which the potential energy of water is converted into mechanical energy and, ultimately, electrical energy. In this scheme, water from water sources is converted from high-potential energy to kinetic energy through turbines. The rotation movement of the turbines evolves into mechanical energy and is converted into electrical energy by a generator. The electrical energy obtained as a result of this conversion process is converted to appropriate voltage levels by transformers and integrated into the electrical network (Güney & Kaygusuz, 2010; Khan, Bhuyan, Iqbal, & Quaicoe, 2009; Ünver, Bilgin, & Güven, 2015). Figure 7 also shows the hydroelectric power plant energy conversion umbrella.

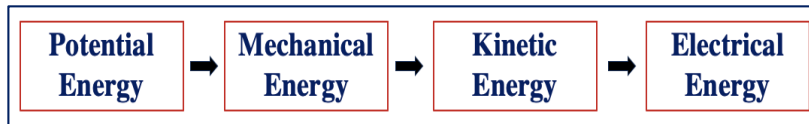


Figure 7. Hydroelectric Power Plant Energy Conversion Scheme.

Hydroelectric power plants (HPP) convert the energies of streams into electricity. The amount of energy that streams have is proportional to the flow height and rate of drop of water. Water flowing in a large river carries a large amount of potential and kinetic energy. The water enclosed in the canal or pipes flows into the turbines and hits the turbine wings, leaving its energy to the wings. The wings allow the turbine shaft connected to the generator to rotate and convert mechanical energy into electrical energy. In this way, electrical energy is obtained from the energy of the water (Ünver et al., 2015). Figure 8' shows the general energy conversion scheme of hydroelectric power plants.

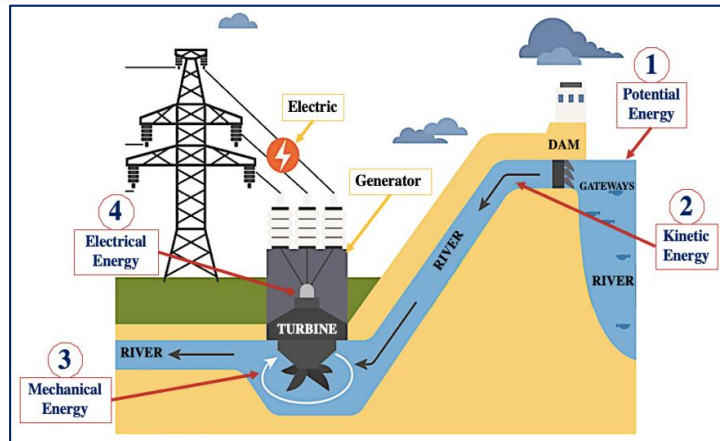


Figure 8. Hydroelectric Energy Transformation Scheme.

Hydroelectric power plants can often be classified according to various characteristics (Hidroelektrik Enerji ve Türbinleri, 2020). Some commonly used criteria for classification of hydroelectric power plants are as follows:

- According to the installed Power Capacity:
 - Small Hydroelectric Power Plants (SHPP): less than 100 kW,
 - Mini Hydroelectric Power Plants (MHPP): 101 kW- 10.000 kW
 - Small Hydroelectric Power Plants (SH): 10 MW- 50 MW,
 - Large Hydroelectric Power Plants (BHE): 50 MW and above (Hidroelektrik Enerji ve Türbinleri, 2020).
- According to Water Flow:
 - Fluid (Riverine) Power Plants: Power plants built on the stream,
- Reservoir (Reservoir) Power plants: Power plants using water storage systems created with dams and ponds (Hidroelektrik Enerji ve Türbinleri, 2020).
- According to the Construction Shape:
 - Stream Type (Run-of-River) Power plants: Power plants producing energy using natural water flow without using dams,
 - Dam Power Plants: Power plants that use dams to create the water reservoir (Hidroelektrik Enerji ve Türbinleri, 2020).
- By Turbine Type:
 - Tiger Turbine Power Plants: Used in rivers with high flow rates,
 - Francis Turbine Power Plants: Used in rivers with medium flow rates,
 - Pelton Turbine Power Plants: Used under high head (high water) conditions (Hidroelektrik Enerji ve Türbinleri, 2020).
- According to their purpose:
 - Power Plants for Energy Production: Power plants focused on electrical power generation,
 - Irrigation Power Plants: Power plants used to support agricultural irrigation (Hidroelektrik Enerji ve Türbinleri, 2020).

Today, hydroelectric power generation is carried out with HPPs established as a reservoir and regulator type. The topographic and morphological characteristics of the type of HPP to be established due to its height and flow dependence are affected (Fırat & Süme, 2020; Uyar, 2018). The choice of HPP type is

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

also affected by various issues, such as the population of the region to be established, its commercial structure and the need for energy (Buttanrı, 2006). In addition, HPP can be used to protect floods, tourism, irrigation, energy storage, and aquaculture. It is preferred in energy and electricity production in many regions as it can meet general and special needs such as this and that (Fırat & Süme, 2020).

If a hydroelectric power plant is desired to be installed, the change in the annual amount of water in the region to be established should be revealed. Transportation to the region where the power plant is installed should not be very difficult. Before the plant is established, its effects on the environment should be well analyzed, and the necessary measures should be taken before the plant is established. Advantages of hydroelectric power plants: not creating air pollution, providing job opportunities to people living around the power plant, and resisting sudden floods thanks to the sequels made in front of the dams. It has benefits such as not only electricity generation but also agricultural land around it, meeting the water needs, afforestation of the plant environment and preventing erosion. Disadvantages: There are also negative parties, such as the transportation of settlements installed on the edge of the stream with the rise of waters, cutting trees to ensure transportation during its construction, damaging the ecological balance of the plant area (Dinçer, Atik, Yılmaz, & Çingı, 2017).

HYDROELECTRIC ENERGY STATUS IN TÜRKİYE

Türkiye's electricity consumption in 2022 compared to the previous year, a decrease of 0.5% to 328.8 TWh (Figure 9). Electricity generation decreased by 1.9% compared to the previous year and reached 326.09 TWh (Figure 10). According to the results of the study of Türkiye's National Energy Plan, electricity consumption in 2025, 380.2 TWh, 455.3 TWh in 2030, is expected to reach 510.5 TWh in 2035 ('Elektrik', 2023).

According to data on Türkiye's electricity generation in 2022, electricity generation from coal was 34.6%, 22.9% natural gas, 20.3% hydraulic energy, 10.6% wind, 5.1% solar, 3.4% geothermal energy, and 3% were provided from other sources ('Elektrik', 2023). Figure 11 shows Türkiye's electricity production ratio according to sources; Figure 12 shows the total production of electricity in Türkiye in 2022 by sources (TWh) expressed visually.

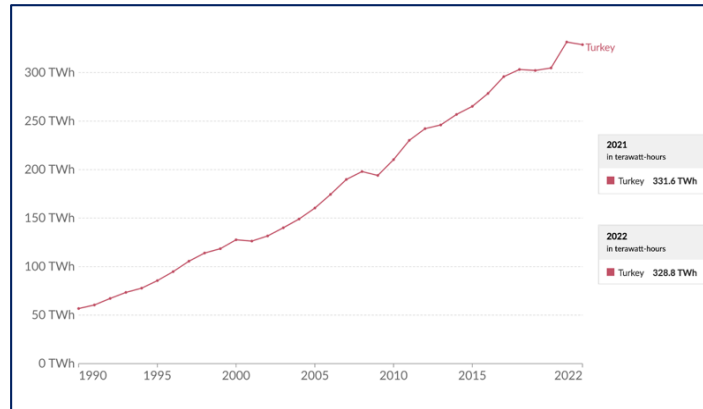


Figure 9. Türkiye Between 1990-2022 Years Distribution of Electrical Energy Demand ('Electricity demand (1990 to 2022)', 2024).

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

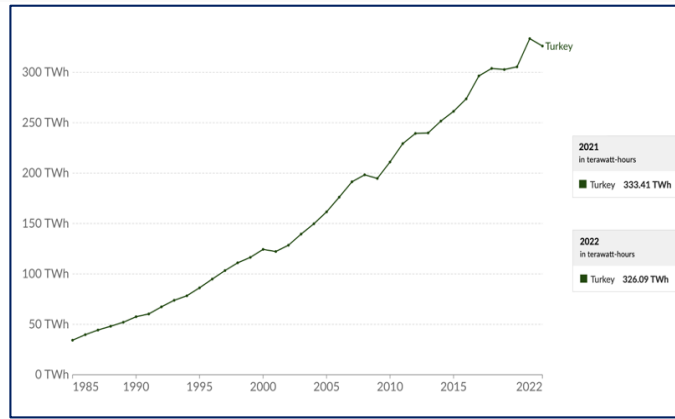


Figure 10. Türkiye 1985-2022 Years of Electricity Production Distribution (Annual Production Change Distribution) ('Electricity Generation', 2024).

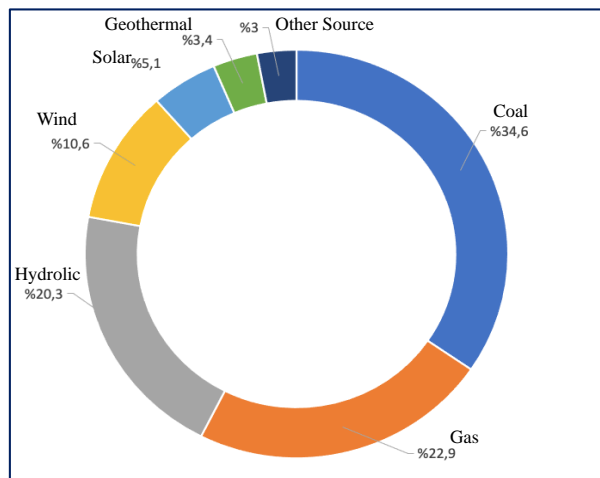


Figure 11. Türkiye 2022 Year Electricity Generation By Sources of The Rate Distribution.

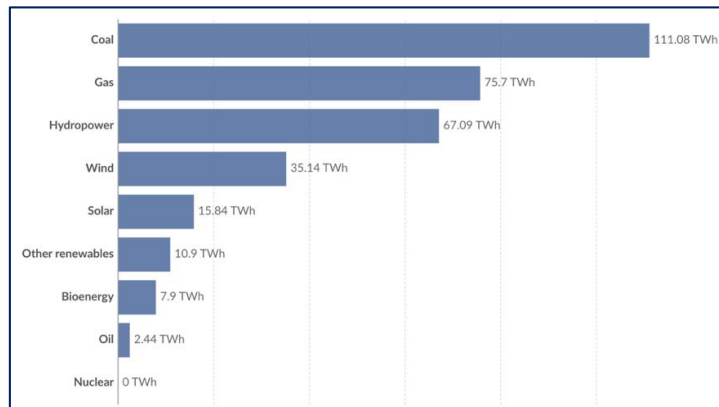


Figure 12. Türkiye in 2022 Total Production of Electricity Production By Sources (TWh).

Theoretical hydroelectric potential in Türkiye is 433 billion kWh/ year; technically, evaluable potential is calculated as 216 billion kWh/ year. Türkiye's technical hydroelectric potential is 1.5% of the world's technical hydroelectric potential and corresponds to 18% of the European technical hydroelectric potential. US technical hydroelectric potential is 86%, Japan's 78%, Norway's 72%, Canada's 56%, and Türkiye developed 50 (Bobat, 2021; 'Electricity Sector Report-2022', 2023).

As of the end of 2022, the hydroelectric potential has reached about 47,933 MW and corresponds to about 160 billion kWh/year of energy production. This potential is constantly increasing with the projects being developed. Work is continuing rapidly with the cooperation of the state-private sector in order to evaluate Türkiye's remaining hydroelectric potential. In 2002, the installed power in

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

hydroelectric power was 12,382 MW, while in 2022, it increased to 32,333,61 MW. Energy production potential was 2002 billion kWh in 44, while in the last 20 years, 111.66 billion kWh was increased by State-private cooperation (DSİ, 2022). Table 1 presents the potential of Türkiye's hydroelectric power plants (HPP), while Table 2 shows hydroelectric power plant projects developed and developed by the private sector.

As of the end of September 2023, there are a total of 753 hydroelectric power plants being operated in Türkiye (Including unlicensed power plants) ('Hidrolik', 2023). The number of registered plants is 709 units, the total installed capacity of these plants is 31,565 MW, and the annual average production capacity is 78,431 GWh. This corresponds to approximately 31.35% of total electricity demand ('Hidroelektrik Santralleri', 2023). Türkiye's hydraulic energy capacity is shown in Table 3.

Table 1. Potential state of hydroelectric power plants (HPP) in Türkiye (DSİ, 2022).

Türkiye Hpp Potential Status				
Power Plant Status	Number of Hydroelectric Power Plants	Total Installed Capacity (MW)	Average Annual Production (GWh/year)	Rate
Online (working)	740	32.334	111.660	70.1%
Under Construction	22	465	1.715	1.1%
Construction Not Started Yet	498	15.240,0	45.813	28.8%
Total	1.260	48.039	159.188	100%

Table 2. Projects to be developed in the private sector within the framework of electricity market law numbered 6446 (DSİ, 2022).

Projects To Be Developed/Developed By The Private Sector Within The Framework Of Electricity Market Law 6446					
Faaliyet	Average Annual Production (GWh/year)	Rate (%)	Total Installed Capacity (MW)	Private Sector (MW)	Number of Hydroelectric Power Plants
Online (working)	60.130	56	32.333,61	17.924	681
Under Construction	1.034	1	1.005,0	305	21
Planning and Project	45.813	43	15.240,0	15.241	498
Total	106.977	100	48.578,61	33.470	1.200

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

Table 3. Installed powers and project capacities of hydroelectric power plants ('Hidroelektrik Santralleri', 2023).

Hydroelectric Power Plants Board Power and Project Capacities		
Situation	Installed Power (MWe)	Rate
Online (working)	31.555	73.0%
Continuing installation	1.440	3.3%
Obtained production license	1.053	2.4%
Received production associate	2.831	0%
Project level	6.346	14.7%
Total	43.234	100%

HYDROELECTRIC POWER POTENTIAL AND CURRENT PRODUCTION POWER IN SIRNAK PROVINCE

Sirnak province has significant potential in energy production, and hydroelectric power plants play a major role in utilizing this potential. There are currently seven hydroelectric power plants in the province, and the majority of these plants are in the operating phase. Among the power plants in the operational phase, there are important projects such as Uludere Dam and HEPP (3.43 MW), Sirnak Dam and HEPP (2.48 MW), Silopi Dam and HEPP (2.38 MW). These enterprises have a total capacity of 8.92 MW (Baz, Alp, & Bilgin, 2019; 'EİGM Raporları', 2023; 'Sirnak Elektrik Santralleri', 2023; 'Sirnak HES Potansiyeli Haritası', 2023).

Additionally, four hydroelectric power plants are at the feasibility stage in Sirnak province. Among the hydroelectric power plants that received associate licenses, high-capacity projects such as Cizre Dam and HEPP (331 MW), Can Dam and HEPP (85 MW), Şenova Dam and HEPP (47 MW) attract attention. These pre-licensed projects have a total capacity of 463 MW (Baz, Alp, & Bilgin, 2019; 'EİGM Raporları', 2023; 'Sirnak Elektrik Santralleri', 2023; 'Sirnak HES Potansiyeli Haritası', 2023).

In addition, hydroelectric power plants are planned in Sirnak province. These projects include projects with significant potential, such as Silopi Energy Group HEPP (148 MW), Yüksekaya Dam and HEPP (80 MW), Meşetepe HEPP (79 MW), Çağlayan HEPP (11 MW). The total capacity of the planned projects is 318 MW. Table 4 shows the HEPPs located in Sirnak (Baz et al., 2019; 'EİGM Raporları', 2023; 'Sirnak Elektrik Santralleri', 2023; 'Sirnak HES Potansiyeli Haritası', 2023).

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

Table 4. Hydroelectric power plants in Sirnak province.

Plant Status	District	Plant Name	Power (MW)
Online (working)	Uludere	Uludere Dam ve HPP	3,43
	Uludere	Sirnak Dam ve HPP	2,48
	Uludere	Silopi Dam ve HPP	2,38
	Uludere	Uludere HPP	0,64
Total		4	3,43
HPP That Receives Production Licenses	Cizre	Cizre Dam ve HPP	331
	Beytüşşebap	Can Dam ve HPP	85
	Uludere	Şenova Dam ve HPP	47
Total		3	463
Current Total Production Power		7	471,92
Planned	Silopi	Silopi Enerji Grubu HPP	148
	Yüksekkaya	Yüksekkaya Dam ve HPP	80
	Meşetepe	Meşetepe HPP	79
	Silopi	Çağlayan HPP	11
Total		4	318
Total Hydroelectric Energy Potential		11	789,92

CONCLUSION

This study revealed that it discussed Türkiye's hydroelectric energy potential from a general perspective and made an evaluation specifically of Sirnak province. At the global level, hydroelectric energy constitutes a significant part of world electricity production and will have a share of 15% in 2022. Türkiye's geostrategic location and rich water resources bring with it a large hydroelectric potential with a theoretical capacity of 433 billion kWh/year. As of 2022, Türkiye's hydroelectric energy production ranks 11th in the global rankings.

The hydroelectric potential of Sirnak province is being developed; 7 hydroelectric power plants are currently under operation, and the projects being developed in this field stand out. In addition to these power plants with a total capacity of 8.92 MW, it is seen that those that work with a capacity of 781.92 MW are under development. Large projects such as Cizre Dam and HEPP especially increase their contribution to regional hydroelectric energy production.

In addition to the product portfolio of hydroelectric energy, it is important to observe the potential offered by this energy source. Factors such as environmental impact assessments, effective communication with partners and infrastructure services are critical for success.

As a result, hydroelectric energy plays a critical role in diversifying Türkiye's energy portfolio and achieving a sustainable energy future. A region with potential, like Sirnak, can especially maximize this

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

advantage with correct planning and applications. Türkiye needs to take steps to realize the full potential of hydroelectric energy, which is in line with its overall energy targets.

REFERENCES

2022 Yılı Türkiye Elektrik Dağıtım Sektör Raporu. (2023). Retrieved 6 April 2024 from Ankara: <https://tedas.gov.tr/FileUpload/MediaFolder/f1bb5ed3-88d0-4502-966b-4ecaab4c1270.pdf>

Akpınar, E. (2005). Nehir Tipi Santrallerin Türkiye'nin Hidroelektrik Üretimindeki Yeri. Erzincan Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 7(2), 1–25. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/erziefd/issue/6005/80068>

Aslan, Y., Yaşar, C., & Karabörk, M. Ç. (2004). Bir mikro-hidro örneği: kayaboğazı barajı. Eleco 2004, 21–25.

Atalay, İ. (2004). Türkiye coğrafyası ve jeopolitiği. Meta basım.

Balmer, M., & Spreng, D. (2008). Hydroelectric power. In Future Energy (pp. 193–209). Elsevier.

Baz, İ., Alp, D., & Bilgin, Ö. (2019). Sırnak enerji ve maden potansiyeli. Eğitim Yayınevi. Retrieved 6 April 2024 from <https://enerji.gov.tr/>

Bobat, A. (2021). Hydroelectric Power Outlook in Türkiye. In M. S. Genç, G. Genç, S. B. Selçuklu, & Ş. T. Azgın (Eds.), In International World Energy Conference (IWEC 2021) (pp. 319–325). Kayseri: Iksad Global Publishing House (IKSAD).

Buttanrı, B. (2006). Türkiye’de Küçük Hidroelektrik Santrallerin Tarihsel Gelişimi ve Bugünkü Durum (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ), İstanbul. Retrieved 6 April 2024 from <https://polen.itu.edu.tr:8443/server/api/core/bitstreams/97589085-695e-4117-ac77-8df2df0ac0f5/content>

Dinçer, F., Atik, İ., Yılmaz, Ş., & Çıngı, A. (2017). Hidrolik enerjisinden yararlanmada ülkemiz ve gelişmiş ülkelerin mevcut durumlarının analizi. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 8(3), 555–561. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/dumf/issue/33629/408322>

Distribution of electricity generation worldwide in 2022. (2023). Retrieved 6 April 2024, from <https://www.statista.com/statistics/269811/world-electricity-production-by-energy-source/>

DSİ. (2022). DSİ 2022 Yılı Faaliyet Raporu. Retrieved 6 April 2024 from Ankara: <https://cdn.nys.tarimorman.gov.tr/api/File/GetFile/425/Sayfa/759/1107/DosyaGaleri/dsi2022faaliyetraporu.pdf>

EİGM Raporları. (2023).

Electricity demand (1990 to 2022). (2024). Retrieved 6 April 2024, from <https://ourworldindata.org/grapher/electricity-demand?tab=chart&country=~TUR>

Electricity Generation. (2024). Retrieved 6 April 2024, from <https://ourworldindata.org/grapher/electricity-generation?tab=chart&country=~TUR>

Electricity Sector Report-2022. (2023). Retrieved 6 April 2024, from <https://www.epdk.gov.tr/detay/icerik/3-0-23/elektrikaylik-sektor-raporlar>

Elektrik. (2023). Retrieved 6 April 2024, from <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik>

Ergün Bülbül, S., & Çokluk, Y. (2017). Türkiye’de Gelişen Enerji Sektörü Hes’ler ve Kâr Kaybı Sigortaları. Finansal Araştırmalar ve Çalışmalar Dergisi, 21–46. Retrieved from <https://doi.org/10.14784/marufacd.346188>

Firidin, E. (2017). Türkiye’de Hes Sürecinin İyi Yönetişim İlkeleri Çerçevesinde Değerlendirilmesi: Doğu Karadeniz Örneği. Karadeniz Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Trabzon.

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

Fırat, S. S., & Süme, V. (2020). Hidroelektrik Santraller ve Trabzon İlinde Bulunan Hidroelektrik Santrallerin Şehir ve Doğu Karadeniz Havzası İçin Önemi. *Türk Hidrolik Dergisi*, 4(1), 10–24. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/turhidder/issue/54829/712392>

Gökdemir, M., Kömürcü, M. İ., & Evcimen, T. U. (2012). Hidroelektrik Enerji ve HES Uygulamalarına Genel Bakış.

Güney, M. S., & Kaygusuz, K. (2010). Hydrokinetic energy conversion systems: A technology status review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(9), 2996–3004.

Hidroelektrik Enerji ve Türbinleri. (2020). Tekno Tasarım. Retrieved 6 April 2024 from https://www.erbakan.edu.tr/storage/files/department/elektrikelektronikmuhendisligi/Editor/DERS/YEKEnrUrt/Hidroelektrik_Enerji_T%C3%BCrbinleri.pdf

Hidroelektrik Santralleri. (2023). Retrieved 6 April 2024, from <https://www.enerjiatlas.com/hidroelektrik/>

Hidrolik. (2023). Retrieved 6 April 2024, from <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-hidrolik>

Hydropower Generation. (2023). Retrieved 6 April 2024, from <https://ourworldindata.org/grapher/hydropower-consumption?tab=table>

Kankal, M., Bayram, A., Uzlu, E., & Satılmış, U. (2014). Assessment of hydropower and multi-dam power projects in Türkiye. *Renewable Energy*, 68, 118–133. Retrieved from <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.01.031>

Khan, M. J., Bhuyan, G., Iqbal, M. T., & Quaicoe, J. E. (2009). Hydrokinetic energy conversion systems and assessment of horizontal and vertical axis turbines for river and tidal applications: A technology status review. *Applied Energy*, 86(10), 1823–1835. Retrieved from <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.02.017>

Pamir, A. N. (2003). Dünyada ve Türkiye’de Enerji, Türkiye’nin Enerji Kaynakları ve Enerji Politikaları. *Metalurji Dergisi*, 134(23), 1–39.

Sirnak Elektrik Santralleri. (2023). Retrieved 6 April 2024, from <https://www.enerjiatlas.com/sehir/sirnak/>

Sirnak HES Potansiyeli Haritası. (2023). Retrieved 6 April 2024, from <https://www.enerjiatlas.com/hes-haritasi/sirnak>

Ünver, Ü., Bilgin, H., & Güven, A. (2015). Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Sistemler. *Mühendis ve Makina*, 56(663), 57–64.

Uyar, F. (2018). HES Nedir ? HES Hakkında Bilmeniz Gereken Herşey! Retrieved 6 April 2024, from <https://www.enerjibes.com/Hes-Nedir/>

Veli, S., & FIRAT, S. S. (2020). Hidroelektrik Santraller ve Rize İlinde Bulunan Hidroelektrik Santrallerin Şehir ve Doğu Karadeniz Havzası İçin Önemi. *Türk Hidrolik Dergisi*, 4(2), 8–23.

World Energy & Climate Statistics - Yearbook 2023 (Electricity production). (2023). Enerdata. Retrieved 6 April 2024 from <https://yearbook.enerdata.net/electricity/world-electricity-production-statistics.html>

World Energy & Climate Statistics - Yearbook 2023 (Total energy consumption). (2023). Enerdata. Retrieved 6 April 2024 from <https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-consumption-statistics.html>

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİNDE ENİYİLEME MODELLERİ OPTIMIZATION MODELS IN RENEWABLE ENERGY SYSTEMS

Dr. Öğretim Üyesi Halil AKBAŞ

*Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği
Bölümü, Isparta, Türkiye.*

Prof. Dr. Gültekin ÖZDEMİR

*Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği
Bölümü, Isparta, Türkiye.*

ÖZET

Yenilenebilir enerji, sera gazı emisyonları ve küresel ısınmaya karşı dünya genelinde alınan önlemler ve 2050 yılı sonuna kadar ulaşılması hedeflenen amaçlar kapsamında fosil yakıtların yerini almaya uygun en önemli enerji kaynağı olarak kabul edilmektedir. Yenilenebilir enerjiyi dönüştüren fiziksel, biyolojik veya kimyasal süreçlerden kaynaklanan karmaşık içsel dinamikler, yenilenebilir enerji sistemlerinin sistem kararlılığını olumsuz yönde etkilemekte, bu sistemlerin etkinlik ve verimliliğini sağlamak ve işleyişini kontrol altında tutmak için eniyileme modellerine ihtiyaç duyulmasına neden olmaktadır. Bu çalışmada, yenilenebilir enerji sistemleri ile ilgili gerçek hayatta karşılaşılan modelleme ve karar verme problemlerinin amaç fonksiyonu ve kısıt koşullarının doğrusal olmayan, analitik olmayan ve kara kutu özelliklerine sahip olması nedeniyle deterministik olmayan polinomsal (NP) sınıfta değerlendirilen yenilenebilir enerji sistemlerinin tek veya çok amaçlı eniyileme problemleri için polinomsal bir zaman dilimi içerisinde global eniyi çözüme yakın çözümler bulmak amacıyla yaklaştırma yöntemlerinden olan metasezgisel algoritmalar kullanılmaktadır.

Anahtar kelimeler: Yenilenebilir enerji, eniyileme, öngörü, metasezgisel algoritma, yapay zekâ.

ABSTRACT

Renewable energy is recognized as the most important energy source suitable for replacing fossil fuels within the scope of the measures taken worldwide against greenhouse gas emissions and global warming and the targets set to be reached by the end of 2050. The complex intrinsic dynamics arising from the physical, biological or chemical processes that transform renewable energy negatively affect the system stability of renewable energy systems, leading to the need for optimization models to ensure the efficiency and productivity of these systems and to keep their operation under control. In this research, metaheuristic algorithms, which are approximate methods, are used to find solutions that are close to the global optimal solution within a polynomial time period for single or multi-objective optimization problems of renewable energy systems, which are considered to be in the non-deterministic polynomial (NP) class due to the fact that the objective function and constraint conditions of the modeling and decision-making problems encountered in real life related to renewable energy systems have nonlinear, non-analytical and black box properties.

Keywords: Renewable Energy, Optimization, Prediction, Metaheuristic Algorithm, Artificial Intelligence.

GİRİŞ

Yenilenebilir enerji sistemleri, yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik, ısı, vb. ikincil enerjilere dönüştürülmesini sağlayan yüksek teknolojiyle donatılmış modern sistemlerdir. Bu sistemler rüzgâr, güneş, biyokütle vb. yenilenebilir enerji kaynaklarının özelliklerine bağlı olarak ortaya çıkan karmaşık, doğrusal olmayan ve dinamik süreçler içermektedir. Dolayısıyla, en yüksek etkinlik ve verimlilik

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

seviyelerinde çalıştırılmalarını temin etmek için sistem operatörlerinin hızlı karar almasında ve eniyilenmiş tesis ayarlarının belirlenmesinde kullanılacak veriye dayalı öngörü ve eniyileme modellerinin tasarlanması ihtiyacı ortaya çıkmaktadır.

Veriye dayalı modelleme yaklaşımı, tesislerin çalıştırılması esnasında ihtiyaç duyulan tesadüfen oluşan ve karmaşıklık içeren hızlı karar alma işlemleri için uygulanması uzun zaman alan ve zor olan ya da yenilenebilir enerji kaynağının türüne bağlı olarak ortaya çıkan bir takım fiziksel, kimyasal veya biyolojik reaksiyonların etkisi altındaki aşamalar sebebiyle mümkün olmayan matematiksel denklemlere dayalı deterministik modelleme yaklaşımlarının yerine önerilmektedir (Yin ve diğerleri, 2010; Ranzi ve diğerleri, 2011; Kusiak ve Wei, 2011; Martinez-Lopez ve diğerleri, 2021). Metodolojik açıdan veriye dayalı öngörü ve eniyileme modelleri, çok sayıda alternatif üzerinden eniyi konfigürasyonların seçilmesine yardımcı olmakta ve karmaşıklık özelliğine bağlı olarak analizi zor olan yenilenebilir enerji sistemlerinin analiz edilmesi aşamasını daha elverişli bir hale getirmektedir (Alabi ve diğerleri, 2022; Entezari ve diğerleri, 2023).

Yenilenebilir enerji sistemlerinde performans iyileştirmesi sağlanması, dünya genelinde; sera gazı emisyonları, küresel ısınma ve iklim değişikliğine karşı alınan önlemlere, Paris İklim Anlaşması (BM, 2015) kapsamında 2050 yılı sonuna kadar ulaşılması hedeflenen amaçlara ve enerji maliyetlerindeki yükselmeye bağlı olarak enerji endüstrisinin ilgi alanına giren çok önemli bir konudur. Bir yenilenebilir enerji sisteminin performansı, tasarlanacak olan modelin doğruluğuna ve model performansının değerlendirilmesi için seçilen performans göstergelerine bağlı olmaktadır.

Hesaplama teorisinde problemleri karmaşıklık sınıflarına ayırmak önemli bir işlemdir. Karmaşıklık sınıfı problemlerden oluşturulan bir kümeyi temsil etmektedir. Bu küme miktarı belirli olan hesaplama kaynaklarını kullanarak çözülebilen tüm problemlerin kümesidir ve polinomsal (P) ve deterministik olmayan polinomsal (NP) problem sınıflarını içerir. P karmaşıklık sınıfı, deterministik bir algoritma kullanarak polinomsal zamanda çözülebilen tüm karar problemlerinin kümesini temsil ederken, NP karmaşıklık sınıfı ise polinomsal zamanda deterministik olmayan bir algoritma vasıtasıyla çözümü bulunabilen tüm karar problemlerinin kümesini göstermektedir. Karmaşıklık teorisinde ele alınan problemler karar problemlerinden oluşmaktadır. Eniyileme problemleri ise karar problemlerine indirgenebilmektedir (Talbi, 2009).

Cook (1971) NP karmaşıklık sınıfındaki problemler üzerine odaklanmış ve uygulamada karşılaşılan görünüşte zor problemlerin çoğunun NP sınıfına ait olduğunu ileri sürmüştür. NP sınıfında en zor problemler grubunun bulunduğu dair araştırmalar yapmıştır. Karp (1972) hesaplama açısından birbiriyle eşdeğer olan geniş bir karar problemleri sınıfı olduğu fikrini savunarak, $P = NP$ varsayımı altında bu sınıftaki her problemin polinom zamanlı bir algoritmaya çözülebildiğini veya problemlerden hiçbirisinin böyle bir özelliğe sahip olmadığını araştırmıştır. Netice olarak, $P = NP$ varsayımı altında, NP sınıfındaki en zor problemlerin polinomsal zamanda çözülemeyeceği sonucuna varmıştır. Hesaplama açısından eşdeğer olan bu problemler sınıfı NP-tam problemler sınıfı olarak adlandırılmaktadır. NP-tam'lık teorisi, Cook (1971) ve Karp (1972) tarafından yapılan araştırmalar sonucunda geliştirilmiştir. NP-zor problemler, bağlantılı karar problemleri NP-tam olan eniyileme problemleridir (Talbi, 2009). NP-tam'lık teorisi üzerine yapılan uygulamalar, algoritma tasarımcılarına problem çözme çabalarını faydalı algoritmalar geliştirme olasılığı en yüksek olan yaklaşımlara yönlendirmelerini sağlamaktadır.

Bu çalışmada, yenilenebilir enerji sistemlerindeki karar problemleri esasen NP problem sınıfında ele alınmakta, polinomsal zamanda deterministik olmayan bir algoritmayla karar problemlerinin çözümlenmesi amaçlanmaktadır. Ancak, yenilenebilir enerji sistemlerindeki yenilenebilir enerji kaynak akışlarının heterojen özelliklere sahip birbirinden farklı ve dinamik bileşenlerle modellenmesinin yenilenebilir enerji kaynakları ve enerji dönüşüm aşamaları için doğrusal olmayan denklemlere dayalı kısıtlamaların kullanımını gerektirdiği görülmektedir. Yenilenebilir enerji sistemleri için tasarlanan modelin karmaşıklığının artmasına yol açan doğrusal olmayan kısıtlamalar nedeniyle NP-tam karar problemiyle bağlantılı NP-zor eniyileme problemi olduğu düşünülen bir problem çeşidiyle karşılaşıldığı sonucuna varılmaktadır.

Gerçek hayatta karşılaşılan eniyileme problemleri çoğunlukla NP-zor problem sınıfına girmektedir, fakat NP-zor problemler için verimliliği kanıtlanmış olan algoritmalar henüz geliştirilememiştir. NP-zor

eniyileme problemlerinin eniyi çözümlerinin tespit edilmesinde $P = NP$ varsayımının sağlanmaması durumunda üstel zaman içerisinde eniyi çözüm bulunabilmektedir (Talbi, 2009). Graham (1966) mevcut çözüm yöntemleriyle eniyi çözümü bulunamayan eniyileme problemleri için eniyi çözüme yakın çözümler üreten yaklaştırma algoritmalarının kullanılması fikrini bilimsel olarak ileri sürmüştür. Cook (1971) ve Karp (1972) geliştirdikleri NP-tam'lık teorisi kapsamındaki NP-zor problemlerin hızlı bir şekilde optimale yakın çözümlerinin bulunmasında yaklaştırma algoritmalarını kullanmışlar, ancak bazı problem türlerinde kanıtlanabilir derecede eniyiye yakın çözümlerin hızlı bir şekilde üretilmediğini görmüşlerdir. Zaman içerisinde yakınsama yapılamayan problemlere çözebilmek için metasezgisel algoritmalar geliştirilerek yaklaştırma algoritmalarının kapsamı genişletmiştir. Günümüze kadar yapılan çok sayıdaki bilimsel çalışmalarla birlikte sağlanan ilerlemelerle günümüzde metasezgisel algoritmalar NP-zor sınıftaki problemleri çözmek için önemli bir seçenek oluşturmaktadır (Gonzalez, 2007).

İşletmelerde, fabrikalarda ve günlük hayatta faaliyetlerin kesintisiz olarak devam edebilmesi için ihtiyaç duyulan enerjinin fosil enerji kaynaklarını kullanmadan yalnızca yenilenebilir enerji kaynaklarıyla üretilmesi amaçlanıyorsa, yenilenebilir enerji sistemleri verimli ve üretken bir şekilde sürekliliğin sağlanması koşulu altında çalıştırılabilir. Yenilenebilir enerji sistemlerinin çalıştırılması anlık ve hızlı kararlar alınmasını gerektiren, doğrusal olmayan özelliklere sahip olan ve karmaşık bir işlemdir. Fiziksel, kimyasal veya biyolojik reaksiyonlara bağlı olan üretim aşamaları bu sistemlerin sürekli olarak izlenmesini ve kontrolünü gerektirmektedir. Dolayısıyla, bu çalışma kapsamında NP sınıfında ele alınan yenilenebilir enerji sistemleri karar problemleriyle ilişkili olan NP-tam'lık teorisine göre NP-zor problemler sınıfı içerisindeki eniyileme problemlerinin eniyi çözüme yakın çözümlerinin polinomsal zamanda bulunması için yaklaştırma algoritmaları kapsamındaki metasezgisel algoritmalar kullanılmaktadır.

VAKA ÇALIŞMASI

Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan biyokütlenin tarımsal alanlara yakın olarak konumlandırılan biyorafinerilerde işlemlerden geçirilmesi neticesinde biyometan ve elektrik enerjisi üretilmesi konusunda bir vaka çalışması ele alınmaktadır. Biyorafinerilerde biyometan elde edilmesi için anerobik çürütücüler kullanılmaktadır.

Biyogaz, enerji bitkileri ve tarımsal atıklardan oluşan biyokütlenin kapalı bir çürütücü içerisinde oksijensiz ortamda anerobik çürütme işleminden geçirilmesiyle elde edilmektedir. Uygulamada anerobik çürütücü içerisindeki oksijensiz ortamda gerçekleşen reaksiyon sırasında mikroorganizmalar biyokütleyi parçalayıp ayrıştırarak biyogaz ve çamur üretilmesini sağlamaktadır. Açığa çıkan biyogazın bileşiminde CH_4 , CO_2 , H_2S , H_2O ve diğer bileşenler bulunmaktadır. Biyogazın saflaştırma işleminden geçirilmesiyle bileşimindeki CO_2 , H_2S , H_2O ve diğer bileşenlerin giderilmesi neticesinde elde edilen gaz biyometan olarak adlandırılmaktadır. Nihai ürün olarak elde edilen biyometan kojenerasyon sistemindeki motorlarda yakıt olarak kullanılarak elektrik ve ısı enerjisi üretilmektedir. Çamur, kurutma sisteminden geçirilerek pellet haline getirilir ve gübre veya yakma tesislerinde ısı ve buhar enerjisi üretimi için biyoyakıt olarak kullanıma sunulur.

Anerobik çürütücülerde gerçekleşen biyokütle çürütme işlemlerinin istikrarlı ve verimli olarak sürdürülmesi için sistemin bütünsel olarak düzenli bir şekilde izlenmesi ve analiz edilmesi gerekmektedir. Böylece, biyogaz üretiminde süreklilik sağlanması ve elde edilen biyogazın bileşiminin kontrollü bir şekilde yönetilmesi sağlanmaktadır. Biyokütlenin anerobik çürütme işleminin eniyilenmesiyle elde edilen biyometan miktarının enbüyüklenmesinin sağlanması NP-zor eniyileme problemi sınıfında ele alınmaktadır.

Veri Toplama Araçları

Bu araştırma kapsamında kullanılan veriler biyometan üretim sisteminin denetimsel kontrol ve veri toplama (SCADA) sisteminden temin edilmektedir. Biyometan üretim sistemi anerobik çamur çürütücüler, biyogaz tankları, biyogaz saflaştırma ünitesi, çamur kurutma sistemi ve kojenerasyon sisteminden oluşmaktadır. Sistemdeki tüm alt birimler SCADA sistemiyle izlenmekte ve sensörlerle algılanan veriler SCADA sistemi veri tabanında saklanmaktadır.

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

Veri Analizi

SCADA sisteminden alınan biyometan üretim sisteminin günlük verileri analizlerde kullanılmaktadır. Öngörü ve eniyileme modellerinde günlük veriler kullanılmaktadır. Bağımsız değişkenler için günlük değerler saatlik gözlem değerlerinin ortalaması alınarak hesaplanmaktadır. Bağımlı değişkenler için saatlik gözlem değerlerinin toplamı alınarak günlük değerler belirlenmektedir.

Bağımlı Değişken

Bağımlı değişkenler biyometan üretim sisteminin modellenmesinde kullanılan amaç fonksiyonunu temsil eden çıktı değişkenleridir. Öngörü ve eniyileme modelinde kullanılan bağımlı değişken ise biyometan üretimidir. Biyometan üretimi için gözlemlenen alt ve üst sınır değerleri Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1

Bağımlı değişken

Çıktı Değişkeni	Biyometan Üretimi (m ³ /Gün)	
	Min	Maks
	1210	3543

Bağımsız Değişkenler

Bağımsız değişkenler biyometan üretim sisteminin modellenmesinde kullanılan karar değişkenleridir. Öngörü ve eniyileme modelinde kullanılan bağımsız değişkenler çamur yükleme oranı (SLR), sıcaklık (T), pH, toplam katı madde (TS), toplam uçucu katı madde (TVS), uçucu yağ asidi (VFA), alkalinite (ALK), çamur bekletme süresi (SRT) ve organik yükleme oranı (OLR) olarak belirlenmektedir. Bağımsız değişkenlere ait gözlemlenen alt ve üst sınır değerleri Tablo 2'de gösterilmektedir.

Tablo 2

Bağımsız değişkenler

Girdi Değişkenleri	SLR (m ³ /gün)		T (°C)		pH		TS (mg/lt)		TVS (mg/lt)	
	Min	Maks	Min	Maks	Min	Maks	Min	Maks	Min	Maks
	212	602	34.12	38.35	6.2	7.7	19970	36564	11436	27458

Tablo 2 (devam)

Bağımsız değişkenler

Girdi Değişkenleri	VFA (mg/lt)		ALK (mg/lt)		SRT (Gün)		OLR (kg/m ³ .gün)	
	Min	Maks	Min	Maks	Min	Maks	Min	Maks
	40.2	188	1900	4189	16.5	32.5	0.75	3.14

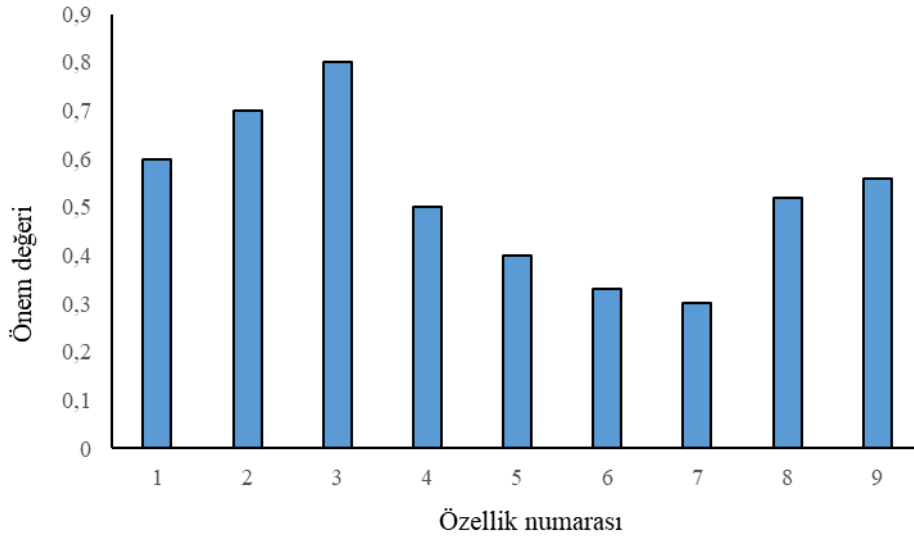
Tablo 3

Girdi değişkenleri için kullanılan kısaltmalar

Girdi No	Girdi Adı	Değişken	Girdi No	Girdi Adı	Değişken
1	SLR	x_1	6	VFA	x_6
2	T	x_2	7	ALK	x_7
3	pH	x_3	8	SRT	x_8
4	TS	x_4	9	OLR	x_9
5	TVS	x_5			

Verilerin Analizi

Öngörü modelinin yüksek boyutluluğu hızlandırılmış regresyon ağacı algoritması kullanılarak azaltılmaktadır (Breiman, 1996). Önemli değişkenlerin seçilmesiyle boyut küçülmesi sağlanmakta ve öngörü modelinin tahmin doğruluğunun yükseltilmesi amaçlanmaktadır. Boyut küçültme ihtiyacını anlamak için her bir karar değişkeninin eğitim veri seti üzerindeki tahmin doğruluğuna katkısı kontrol edilmektedir. Girdi değişkenleri ve bunlara karşılık gelen önem değerleri Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Biyometan üretim modeli için özellik önemi

Modelde kullanılacak girdi değişkenlerini belirlemek için önem analizinde eşik değer olarak 0,5 seçilmektedir. Özellik önem analizinin biyometan üretim modelinin tahmin modeline de uygulanması sonucunda önem değeri 0,5'ten büyük olan SLR, T, pH, TS, SRT ve OLR girdi değişkenleri modellemede kullanılan önemli karar değişkenleri olarak seçilmektedir.

Öngörü Modeli

Çok katmanlı algılayıcı (MLP) sinir ağı öngörü modelinde önemli karar değişkenleri olarak seçilen SLR, T, pH, TS, SRT ve OLR girdi değişkenleri kullanılarak biyometan üretim miktarı tahminlemesi yapılmaktadır. MLP sinir ağı modeli tasarımı için veri seti eğitimi, doğrulama ve test verileri olarak gruplandırılmaktadır. Yapay sinir ağı eğitim algoritması olarak Levenberg Marquardt (LM) algoritması (Hagan ve Menhaj, 1994) ve hata fonksiyonu olarak ise ortalama karesel hata (MSE) kullanılmaktadır. Gizli katman ve çıkış katmanındaki nöron sayısı 5 ile 30 arasındaki değerlerde rastgele seçilerek denenmektedir. Gizli katman ve çıkış katmanı için aktivasyon fonksiyonları olarak tanjant, purelin ve logaritmik sigmoid fonksiyonları denenmektedir.

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

Hazırlanan veri seti 100 uygun veri noktası içermektedir ve üç bölüme ayrılır. İlk veri seti 75 veri noktasına sahiptir ve yapay sinir ağı ile bir tahmin modelini eğitmek için kullanılmaktadır. İkinci veri seti model doğrulama için 10 veri noktası içermektedir. Üçüncü veri seti 15 veri noktası içerir ve modelin tahmin performansını test etmek için kullanılmaktadır.

Tablo 4'te gösterilen MLP sinir ağı modeli en yüksek tahmin doğruluğunu sağlayan yapay sinir ağı yapısını belirlemek için 100 kez deneme yapılarak bulunmuştur. Biyometan üretim modeli için girdi katmanında 6 girdi değişkeni, gizli katmanda 10 nöron ve çıktı katmanında tek çıktı değişkeni kullanılarak en yüksek tahmin doğruluğuna sahip olan yapay sinir ağı yapısı tespit edilmiştir.

MLP sinir ağı modeli için tahminleme doğruluğunun ölçülmesinde ortalama mutlak hata (MAE) ve regresyon katsayısı (R^2) istatistiksel göstergeleri kullanılmaktadır (Kusiak ve Wei, 2011). Hesaplanan MAE ve R^2 değerleri Tablo 5'te sunulmaktadır. MLP sinir ağı modeli biyometan üretiminin tahmininde yüksek tahminleme doğruluğu sağlamaktadır.

Önerilen tahminleme modeli Matlab R2022b sürümünde uygulanmıştır. Denemeler 2.80 GHz Intel (R) Core™ işlemcili ve 16.00 GB RAM'li bir dizüstü bilgisayar kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4

MLP sinir ağı modeli

Model Adı	MLP Ağ Yapısı	Eğitim Algoritması	Hata Fonksiyonu	Gizli Katman Aktivasyon Fonksiyonu	Çıktı Katmanı Aktivasyon Fonksiyonu
Biyometan Üretim Modeli	6-10-1	LM	MSE	Tansig	Tansig

Tablo 5

MLP yapay sinir ağı modelinin tahmin doğruluğu

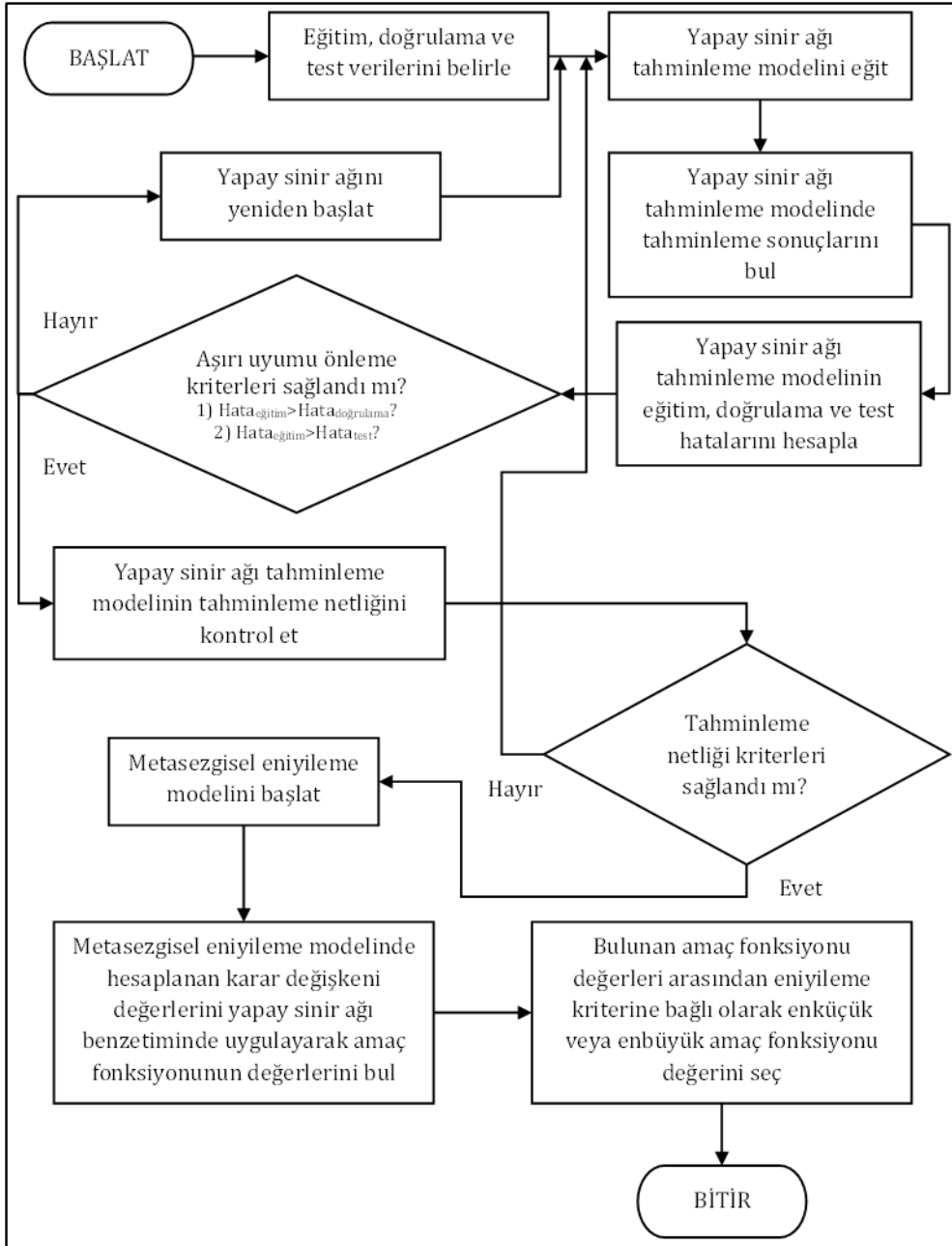
Model Adı	Çıktı	MAE	R^2
Biyometan Üretim Modeli	Biyometan Üretimi (m ³ /Day)	55.12	0.98

Eniyileme Modeli

Yenilenebilir enerji üretim sistemleri için tasarlanan yapay sinir ağı-metasezgisel algoritma eniyileme modelinin genel akış diyagramı Şekil 2'de gösterilmektedir (Akbaş, 2022). Yenilenebilir enerji üretim sistemleri için eniyileme modeli olarak geliştirilen bütünleşik eniyileme modeli biyometan üretim sisteminin eniyilenmesinde kullanılmaktadır.

Metasezgisel algoritmadan elde edilen karar değişkeni değerleri MLP sinir ağı modelinden geçirilerek eniyilme kriterine göre amaç fonksiyonu değerleri hesaplanmakta, amaç fonksiyonu değeri ve bağlı olduğu karar değişkenlerinin değerleriyle birlikte amaç fonksiyonunu eniyilme kriterine göre enbüyük ya da enküçük amaç fonksiyonu değeri biyometan üretim sisteminin eniyilendiği çözüm kümesi olarak seçilmektedir (Akbaş, 2022).

Vaka çalışmasında MLP sinir ağı-parçacık sürüsü eniyileme (PSO) modeli uygulanmaktadır. Amaç fonksiyonu biyometan üretiminin enbüyüklenmesidir. Bütünleşik tahminleme ve eniyileme modellerinin uygulanmasının biyogaz üretimini enbüyüklemesi, buna bağlı olarak kojenerasyon sisteminde elektrik ve ısı üretim miktarına katkıda bulunması hedeflenmektedir.



Şekil 2. Yenilenebilir enerji üretim sistemleri için tasarlanan yapay sinir ağı-metasezgisel algoritma eniyileme modellerinin genel akış diyagramı (Akbaş, 2022)

Parçacıklardan oluşan bir sürü, arama uzayında keyfi olarak düzenlenir. Amaç fonksiyonunun değeri her parçacık için tahmin edilir. Her parçacık, amaç fonksiyonunun mevcut değerinin, yerel olarak en iyi çözümünün, sürünün en iyi çözümünün ve kendi hızının farkındadır. Bu nedenle, tüm sürü mevcut hızı göz önünde bulundurarak global olarak en iyi değer yönünde hareket eder. Parçacıklar aşamalı olarak farklı konumlar ve başka bir yerel veya global en iyi çözüm arayışı içindedir. (Talbi, 2009).

BULGULAR

Biyometan üretimi için enbüyükleme modeli ve kısıtları Denklem-1'de aşağıdaki gibi formüle edilmektedir:

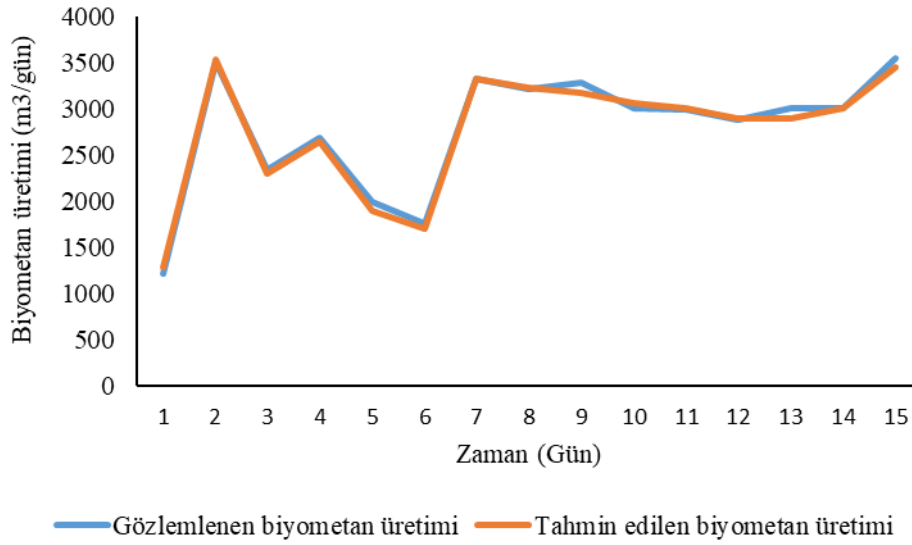
$$\text{maks. } y = f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_8, x_9) \quad (1)$$

$$\text{kısıt koşulları: } 212 \leq x_1 \leq 602; 34.12 \leq x_2 \leq 38.35; 6.2 \leq x_3 \leq 7.7; 19970 \leq x_4 \leq 36564;$$

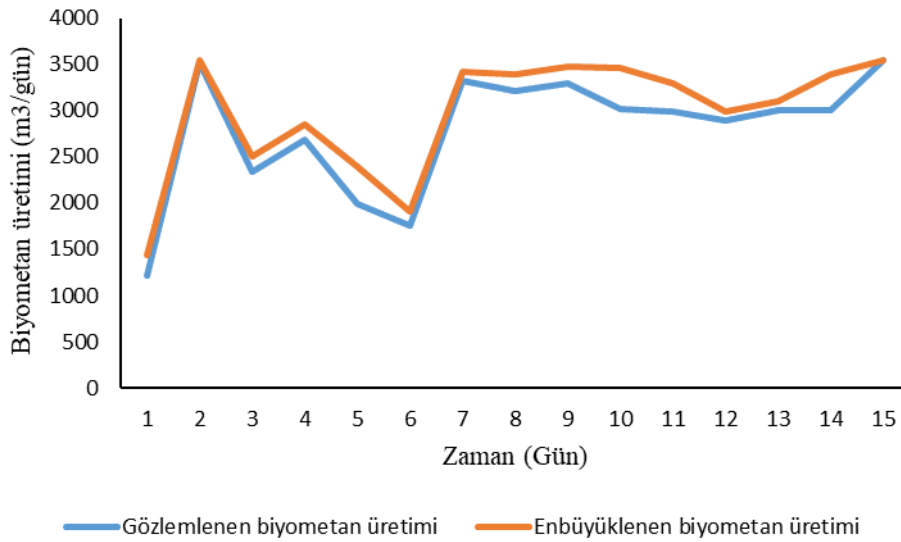
$$16.5 \leq x_8 \leq 32.5; 0.75 \leq x_9 \leq 3.14$$

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

Önerilen bütünlük tahminleme ve eniyileme modeli Matlab R2022b sürümünde uygulanmıştır. Denemeler 2.80 GHz Intel (R) Core™ işlemcili ve 16.00 GB RAM'li bir dizüstü bilgisayar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Eniyileme modelinde 100 veri noktasından oluşan verilerin tamamı kullanılmıştır. Test dönemi verileri için MLP sinir ağı modeliyle elde edilen biyometan enerji üretiminin tahmin edilen değerlerine karşılık aynı dönemdeki gözlemlenen değerleri Şekil 3'te gösterilmektedir. Biyometan üretiminin test dönemindeki gözlem ve tahmin değerlerinin hemen hemen tüm noktalarda örtüştüğü görülmektedir. Diğer taraftan, biyometan üretimi sisteminin eniyenmesi sonrasında biyometan üretiminin test dönemindeki günlük gözlemlenen değerlerinin enbüyüklediği değerlerin gözlemlenen değerlerle karşılaştırılması Şekil 4'te verilmektedir. Eniyileme işlemi sayesinde test dönemindeki biyometan üretiminin toplam değerinin % 7.13 oranında artış gösterdiği sonucu elde edilmiştir.



Şekil 3. MLP sinir ağı modeli için biyometan üretiminin test dönemindeki gözlemlenen ve tahmin edilen değerleri



Şekil 4. Biyometan üretiminin test dönemindeki gözlemlenen ve enbüyüklenen değerleri

SONUÇ

Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan biyokütlenin tarımsal alanlara yakın olarak konumlandırılan biyorafinerilerde işlemlerden geçirilmesi neticesinde biyometan ve elektrik enerjisi üretilmesi

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

konusunda bir vaka çalışması ele alınmaktadır. Biyorafinerilerde biyometan elde edilmesi için anaerobik çürütücüler kullanılmaktadır.

NP sınıfında ele alınan biyometan üretim sistemi karar problemiyle bağlantılı olan NP-zor problemler sınıfı içerisindeki eniyileme problemlerinin eniyi çözüme yakın çözümlerinin polinomsal zamanda bulunması için bir metasezgisel algoritma olan PSO algoritması uygulanmıştır. Bir biyorafinerideki biyometan üretim sistemini modellemek için MLP sinir ağı kullanılmıştır. MLP sinir ağı ve PSO modeli her çalışma günü için enbüyük biyometan üretim değerlerini hesaplamak amacıyla birbiriyle bütünleşik olarak çalıştırılmıştır. Biyometan üretim miktarının enbüyüklenmesi biyorafinerideki kojenerasyon sisteminde ve çamur kurutma tesisinde enerji tasarrufuna ve verimliliğe katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Akbaş, H. (2022). Enerjide politika modelleme ve eniyileme. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü. Isparta.

Alabi, T.M., Aghimien, E.I., Agbajor, F.D., Yang, Z., Lu, L., Adeoye, A.R. & Gopaluni, B. (2022). A review on the integrated optimization techniques and machine learning approaches for modeling, prediction, and decision making on integrated energy systems. *Renewable Energy*, 194, 822-849.

Birleşmiş Milletler (BM) (2015). Paris Agreement. [Çevrim-içi: https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf], Erişim Tarihi: 01 Haziran 2024

Breiman L., (1996). Bagging predictors. *Machine Learning*, 24,123-140.

Cook, S.A. (1971). The complexity of theorem-proving procedures. *Proceedings of the 3rd Annual ACM Symposium on Theory of Computing*, May 1971, 151-158.

Gonzalez, T.F. (2007). *Handbook of Approximation Algorithms and Metaheuristics*. Florida: Chapman & Hall/CRC

Graham, R.L. (1966). Bounds for certain multiprocessing anomalies. *The Bell System Technical Journal*, 45 (9), 1563-1581.

Hagan M.T., Menhaj M.B., (1994). Training feedforward networks with the Marquardt algorithm. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 5(6), 989-993.

Karp, R.M. (1972). Reducibility among combinatorial problems In Miller, R. E, Thatcher, J. W. and Bohlinger, J. D. (Eds.) *Complexity of computer computations*. New York: Springer Press, (Pp: 85-103).

Kusiak, A., Wei, X. (2011). Prediction of methane production in wastewater treatment facility: a data-mining approach. *Annals of Operations Research*, 216, 71–81.

Martinez-Lopez, Y., Rodriguez-Gonzalez, A. Y., Madera, J., Bethencourt Mayedo, M., Lezama, F. (2021). Cellular estimation of distribution algorithm designed to solve the energy resource management problem under uncertainty. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 101, 104231.

Ranzi, E., Pierucci, S., Aliprandi, P.C., Stringa, S. (2011). Comprehensive and detailed kinetic model of a traveling grate combustor of biomass. *Energy Fuels*, 25, 4195–4205.

Talbi, E.-G. (2009). *Metaheuristics*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc

Yin, C., Kaer, S.K., Rosendahl, L., Hvid, S.L. (2010). Co-firing straw with coal in a swirl-stabilized dual-feed burner: modelling and experimental validation. *Bioresource Technology*, 101, 4169–4178.

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

ENERJİ VERİMLİLİĞİ: TÜRKİYE'DE ENERJİ VERİMLİLİĞİNE YÖNELİK ÇALIŞMALAR

ENERGY EFFICIENCY: STUDIES ON ENERGY EFFICIENCY IN TÜRKİYE

Prof. Dr. Müslüme NARİN

Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, Ankara, Türkiye

Doç. Dr. Göktuğ ŞAHİN

Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, Ankara, Türkiye

ÖZET

Günümüzde giderek artan enerji talebinin karşılanmasında, ağırlıklı olarak kömür, petrol ve doğal gazdan oluşan fosil yakıtlar kullanılmaktadır. Bu enerji kaynaklarının tüketiminin artması, doğaya büyük ölçüde sera gazı salımına yol açmaktadır. Sera gazı salımının artması, küresel ısınmaya neden olmakta, o da iklim değişikliğini beraberinde getirmektedir. Bu sorunun çözümü için küresel düzeyde enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği açısından çeşitli stratejiler geliştirilmiştir. Bunlardan biri toplam enerji tüketimi içerisinde yenilenebilir enerji kaynaklarının payını artırmak, diğeri ise enerji verimliliğini sağlamaktır.

Enerji talebinin karşılanmasında mevcut enerji kaynaklarının miktarı sınırlıdır. Öte yandan yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları tüketimi de henüz düşük düzeydedir. Bu yüzden enerji kaynaklarının miktarını kısa sürede artırmak oldukça zordur. Bu durumda yapılabilişliği en yüksek olan seçenek, enerji tasarrufunun gerçekleştirilmesidir. Diğeri bir ifadeyle enerji verimliliğinin sağlanmasıdır. Enerji verimliliği, belirli bir çıktının en az enerji kullanımıyla üretilebilmesidir. Dünyanın hemen hemen tüm ülkelerinde enerji verimliliğine yönelik çalışmalar sürdürülmektedir. Özellikle bu çalışmalar 2000'li yıllarla birlikte hızlanmıştır. Bu çalışmada enerji verimliliği ile ilgili küresel düzeyde, çeşitli ülkelerde ve Türkiye'de enerji verimliliği ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Enerji Verimliliği, Enerji Yoğunluğu, Sürdürülebilir Enerji, Türkiye.

ABSTRACT

Today, fossil fuels, mainly coal, oil and natural gas, are used to meet the ever-increasing energy demand. Increasing consumption of these energy resources leads to large amounts of greenhouse gas emissions into nature. Increasing greenhouse gas emissions causes global warming, which in turn brings climate change. To solve this problem, various strategies have been developed for the sustainability of energy resources at the global level. One of these is to increase the share of renewable energy sources in total energy consumption, and the other is to ensure energy efficiency.

The amount of energy resources available to meet energy demand is limited. On the other hand, consumption of new and renewable energy resources is still at a low level. Therefore, it is very difficult to increase the amount of energy resources in a short time. In this case, the most feasible option is to save energy. In other words, it ensures energy efficiency. Energy efficiency is the ability to produce a certain output with the least amount of energy used. Studies on energy efficiency are continuing in almost all countries of the world. These studies especially accelerated in the 2000s. In this study, energy efficiency is discussed at the global level, in various countries and in Türkiye.

Keywords: Energy Efficiency, Energy Intensity, Sustainable Energy, Türkiye.

GİRİŞ

Genel olarak iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanan enerji, ekonomik kalkınmanın ve üretim sürecinin temel girdilerinden birini oluşturmaktadır. Bir ülkede toplumun yaşam düzeyinin yükseltilmesinde ve sürdürülebilir kalkınmanın sağlanmasında önemli role sahiptir. Dolayısıyla yirminci yüzyılın başından itibaren günümüze kadar, özellikle de son yıllarda enerji talebi çok büyük bir hızla artış göstermiştir. Enerji talebinin büyük bir bölümü kömür, petrol ve doğal gazdan oluşan fosil yakıtlarla karşılanmıştır. Ancak fosil yakıtların çok fazla tüketilmesi, hem bu kaynakların rezervlerinin giderek azalmasına hem de bu yakıtların yakılması sonucu çevresel sorunlara neden olmuştur.

Fosil yakıtların dünyadaki rezervleri oldukça sınırlıdır. Yeni rezervler bulunmadığı takdirde dünyadaki mevcut kömür rezervlerinin 139 yıl, petrol rezervlerinin 53,5 yıl ve doğal gaz rezervlerinin 48,8 yıl sonra tükeneceği öngörülmüştür (BP, 2021: 16, 34, 46; Narin, 2023: 14). Bu yüzden yeni fosil yakıt alanlarının keşfedilmesi, yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesine yönelik çalışmaların hızlandırılması gerekmektedir. Diğer yandan fosil yakıtların tüketimi, doğaya büyük ölçüde sera gazı salımına yol açmış, bu süreç de iklim değişikliğinin hızlanmasına neden olmuştur. Dolayısıyla artan enerji talebinin karşılanmasında mevcut fosil yakıtların rezervlerinin giderek azaldığı, yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyelinin düşük olduğu bir ortamda enerji kaynaklarının etkin kullanımı önemli hale gelmiştir. Hatta kıt olan mevcut enerji kaynaklarının daha az, daha etkin ve daha verimli bir biçimde kullanılması, diğer bir ifadeyle enerji verimliliğinin sağlanması zorunlu olmuştur. Enerji verimliliği, enerjinin üretim içindeki payının düşürülmesi, diğer bir ifadeyle aynı miktar üretimin daha az enerji kullanımıyla gerçekleştirilmesidir (Narin & Akdemir, 2006). Enerji verimliliğine yönelik çalışmalar hem enerji üretimi hem de enerji tüketimi alanını kapsamaktadır.

Dünya genelinde enerji çıkmazı, önemli sorundan biri olmuştur. Bu soruna yönelik çözüm arayışları konusunda öncelikli olarak gelişmiş ülkeler tarafından çeşitli politikalar geliştirilmiş, diğer ülkelerde onları takip etmiştir.

Küresel düzeyde olduğu gibi Türkiye’de de enerji tüketimi hızla artmaktadır. Artan enerji tüketimi, yeterli ulusal kaynak olmadığından ithal yoluyla karşılanmıştır. Bu durum Türkiye’yi enerji konusunda dışa bağımlı hale getirmiştir. Dolayısıyla enerji tasarrufunun gerçekleştirilmesi, dolayısıyla enerji verimliliğinin sağlanması amacıyla Türkiye’de de 2000’li yıllardan itibaren çalışmalar hızlanmıştır. Ancak günümüzde gelinen noktada Türkiye’nin hâlâ enerji verimliliği konusunda istenilen düzeye gelebildiğini söylemek mümkün değildir.

Bu çalışmanın amacı, Türkiye’deki enerji verimliliğine yönelik çalışmaların incelenmesi ve değerlendirilmesidir. Bu kapsamda öncelikle enerji verimliliği ve enerji verimliliği ile ilgili kavramlar üzerinde durulacak, ardından küresel düzeyde ve çeşitli ülkelerde enerji verimliliği, daha sonra Türkiye’de enerji verimliliğinde ulaşılan düzeye yer verilecektir.

ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE İLGİLİ KAVRAMLAR

Günümüzün en büyük sorunlarından biri enerjidir ve enerjinin üretilmesi gerekir. Eğer yeterince enerji üretileniyorsa, bu durumda enerji tüketimini azaltmak zorunlu hale gelir. Bu da enerjinin etkin kullanılması ya da enerji tasarrufuyla gerçekleştirilebilir. Bu kapsamda dünyada bütün enerji politikaları, en az enerjiyle en çok ürünün elde edilmesine dayalı olmuştur. Bu politikalar, ülkeleri enerji verimliliğine yönlendirmiştir.

Enerji verimliliği son yılların önemli kavramlarından biri olmuştur. Çeşitli kurum ve kuruluşlar tarafından, birbirine çok benzer enerji verimliliği tanımlarının yapıldığı görülmektedir. Ayrıca enerji verimliliği ile ilişkili başka terimler de bulunmaktadır. Bu terimlerin tanımlarına aşağıda yer verilmiştir.

Enerji Verimliliği

ABD Enerji Bakanlığı **enerji verimliliğini**, belirli bir düzeydeki üretimin daha az miktarda enerji girdisi ile sağlanması veya aynı enerji girdisi ile daha fazla üretimin elde edilmesi (US Department of Energy, 2024) şeklinde tanımlamıştır.

Türkiye’de “Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB)” enerji verimliliğini, “tüketilen enerjinin, üretimdeki miktar ve kaliteyi düşürmeden, ekonomik kalkınmayı ve sosyal refahı engellemeden en aza indirilmesi” olarak tanımlamıştır. Daha geniş ifade etmek gerekirse enerji verimliliği, “üretim, iletim,

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

dağıtım ve nihai tüketimdeki enerji kayıplarının önlenmesi, ileri teknoloji, teknikler, verimli ekipman ve prosesler ile hizmet/üretimi düşürmeden enerji talebinin azaltılması, enerjinin geri kazanılması gibi önlemlerin bütünüdür.” (ETKB, 2020: 5).

“Enerji Verimliliği Derneği (ENVER)” enerji verimliliğini “binalarda yaşam standardı ve hizmet kalitesinin, endüstriyel işletmelerde ise üretim kalitesi ve miktarının düşüşüne yol açmadan, birim veya ürün miktarı başına düşen enerji tüketiminin azaltılması” (ENVER, 2024; Şevik, 2007: 27) olarak ifade etmiştir.

Enerji verimliliği doğrudan ve dolaylı olarak iki farklı şekilde sağlanabilmektedir. Doğrudan enerji verimliliğinde, günlük yaşam standardında bir değişiklik yaratmadan, kullanılan ev ve araba gibi araçlarda enerjiyi daha verimli bir şekilde kullanacak şekilde düzenlemeler yapılmasıdır. Dolaylı enerji verimliliğinde ise mevcut ürünlerin daha uzun ömürlü olacak şekilde kullanarak, yeni üretilen ürünlerin üretimi azaltacak şekilde çalışmalar yer almaktadır (ADS Mühendislik, 2023).

Enerji verimliliğinin para tasarrufu sağlama, elektrik şebekelerinin dayanıklılığını ve güvenilirliğini artırma, çevre, toplum ve sağlık açısından sağladığı çok sayıda yararı bulunmaktadır. Bu yararlar aşağıda yer almaktadır (US Department of Energy, 2024).

Parasal tasarruf sağlama yararı: Konutlarda enerji kullanımını azaltan ve yaşam kalitesini artıran yalıtım ekleme, LED aydınlatma kullanma, ısı pompası kurma, hava koşullarına dayanıklılıkta iyileştirme yapma gibi uygulamalarla enerji verimliliği sağlamaktadır. Böylece elektrik faturalarından tasarruf edilebilmektedir. Enerji verimliliğinin sağlandığı binaların ısıtılması, soğutulması ve işletilmesi daha düşük maliyetle gerçekleşmekte, sanayi ve üretim tesisleri daha düşük maliyetle üretim yapabilmektedir. Ayrıca enerji verimliliği sağlanan ulaşım, yakıt tasarrufu sağlamaktadır.

Toplumsal yararlar: Enerji verimliliği programları ile toplumun her kesimine verimli, uygun maliyetli teknolojiler ve altyapı sunarak enerjinin erişimini sağlar. Böylece enerjiye erişimde eşitlik sağlanmış olur.

Çevresel yararlar: Günümüzde hala yaygın bir şekilde faaliyet gösteren geleneksel enerji santralleri sera gazı salan ve hava kirliliği yaratan fosil yakıtlarla çalışmaktadır. Bu tür enerji kullanımının azaltılması, küresel iklim değişikliğiyle mücadele etmede büyük önem taşımaktadır. Enerji tasarrufu sağlayan evlerin ve binaların çoğalması, sera gazı üretmeyen yenilenebilir enerji kaynaklarına geçişi de artırmaktadır.

Esneklik ve güvenilirlik: Enerji verimliliğinde iyileşmeler, yük olarak bilinen, tek seferde şebekedeki elektrik miktarını azaltarak, elektrik şebekesindeki sıkışıklığı ve stresi en aza indirir. Daha az yükün olması da elektrik kesintilerini önlemektedir.

Sağlık ilgili yararlar: Fosil yakıt kullanımının azaltılması, hava, su ve toprağın daha temiz olmasına neden olur. Bunların tümü insan sağlığını, özellikle de dışlanmış topluluklarda yaşayanları ve kirlilik nedeniyle daha da kötüleşen koşullara sahip insanları doğrudan etkiler.

Enerji Tasarrufu

Enerji verimliliğine ilişkin yapılan tanımların hemen hemen tümünde üretimi gerçekleştirirken enerjinin en az düzeyde kullanımına değinilmektedir. Dolayısıyla enerji verimliliğinin sağlanmasında en önemli unsur, **enerji tasarrufudur**. Enerji tasarrufu, enerjinin daha az kullanılması olarak ifade edilmekte olup, enerji atıklarının değerlendirilmesi ve enerji kayıplarının önlenmesini kapsamaktadır. Böylece enerji kaynaklarının korunmasına ve çevresel etkilerinin azaltılmasına yardımcı olmakta ve maliyet yönünden de tasarruf sağlamaktadır. Enerji tasarrufu, enerji arz güvenliğinin ve sürdürülebilirliğinin sağlanmasında da önemli role sahiptir (Baytorun, 2023).

Enerji tasarrufu genel olarak iki ampulden birinin söndürülmesi olarak algılanmaktadır. Aslında enerji tasarrufu; enerji kayıplarının önlenmesi, tüketilen enerji miktarının kalite ve performansının düşürülmeden en aza indirilmesi olarak ifade edilir. Enerji tasarrufu doğrudan ve dolaylı olmak üzere iki şekilde gerçekleştirilmektedir. Doğrudan enerji tasarrufunda; ev, araba gibi mallara son teknolojiyi uygulamak ve yaşam biçimini enerjiyi daha verimli kullanacak şekilde düzenlemekle enerji tasarrufu gerçekleştirilmektedir. Dolaylı enerji tasarrufunda ise mevcut malların daha uzun süre kullanımı sağlanarak yeni malların üretimini azaltmak, enerji tüketimini en aza indirecek biçimde yerleşim

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

yerlerini düzenlemek, ekonomide doğrudan materyal tüketiminin olmadığı faaliyetlere geçmek suretiyle enerji tasarrufu sağlanmaktadır (Norgard, 2001: 271; Narin & Akdemir, 2006).

Enerji Yoğunluğu

Enerji verimliliğine ilişkin yoğun olarak kullanılan bir başka kavram da **enerji yoğunluğudur**. Enerji yoğunluğu, bir birim çıktı üretmek için ne kadar enerji kullanıldığının göstergesidir. Bir ülkedeki enerji yoğunluğu, enerji tüketimini gayri safi yurtiçi hasılaya bölünmesiyle hesaplanır. Enerji yoğunluğunun düşük olması, bir birim çıktı üretmek için daha az enerji kullanıldığını gösterir. (Energy Education, 2024; US Department of Energy, 2024; World Bank, 2024).

DÜNYADA ENERJİ VERİMLİLİĞİ

Enerji verimliliği, dünyada bütün ülkelerin enerji ve iklim konusunda hedeflerine ulaşabilmeleri için kritik bir öneme sahiptir. Bu ülkelerin enerji çıkmazından en düşük maliyetle çıkabilmelerinin yolu da yine enerji verimliliğinin sağlanması ile mümkündür. Bu nedenle dünya genelinde tüm ülkelerin enerji verimliliği yatırımları hızla artmaktadır. Enerji verimliliğinin düşük maliyetlerle ilgili yararlarının yanı sıra toplumsal, çevresel, sağlık alanlarda esneklik ve güvenilirlik sağlaması gibi yararlarının olduğu daha önce belirtilmiştir.

Dünya Enerji Konseyi, 1999 yılında yirminci yüzyılı enerji çağı olarak ilan etmiştir. Hatta bu yüzyıl petrolün tüm dünyada önemli bir yerinin olması nedeniyle petrol çağı olarak anılmıştır (Şevik, 2007: 26). Petrol çağı da denilmesinin nedeni, petrolün dünyadaki tüm ülkelerde yoğun olarak kullanılmasından kaynaklanmaktadır. 1970'li yıllarda yaşanan petrol krizleri sonrası petrol fiyatlarındaki aşırı artış, başta Batı ülkeleri ve Japonya olmak üzere birçok ülkede enerji verimliliğine yönelik çalışmaların başlamasına yol açmıştır (Ming & Yu, 2015; Kavaz & Karagöl, 2019: 219). Bu çalışmalar, 1980'li yıllarda da devam etmiş, ülkelerin kalkınma hedeflerinde önemli rol oynamıştır. Günümüze kadar gelen süreçte küresel iklim değişikliği de dikkate alınarak enerji verimliliğinin sağlanması, dolayısıyla enerjinin tasarruflu kullanılması hedeflenmiştir.

Küresel düzeyde enerji verimliliği ile ilgili gelişmeler, enerji yoğunluğu verileri açıklanmaktadır. Tablo 1'de 2000-2021 dönemi dünya, ABD, AB, Japonya, Güney Kore, Çin, Hindistan ve Türkiye'ye ilişkin enerji yoğunluğu verileri yer almaktadır (Grafik 1).

2000 yılından 2021 yılına kadar enerji yoğunluğunun düşmesi, bu süreçte enerji verimliliğinin de artış yaşandığı anlamına gelmektedir. Küresel düzeyde 1990 yılında bir birim GDP artışı gerçekleştirebilmek için 7,67 birim enerji kullanılırken (IEA, 2023; Kavaz & Karagöl, 2019: 219), bu oran 2000 yılında 5,95, 2020 yılında ise 4,54 olmuştur (World Bank, 2023).

Tablo 1. Küresel Enerji Yoğunluğu (Birincil Enerji - Mj/\$2017 PPP GDP)

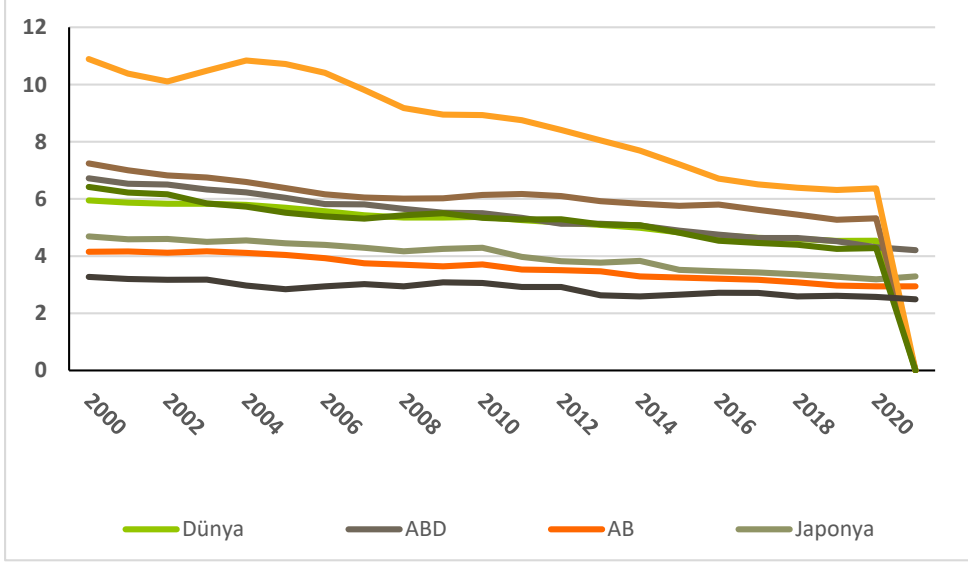
	Dünya	ABD	AB	Japonya	Güney Kore	Çin	Hindistan	Türkiye
2000	5,95	6,72	4,15	4,69	7,24	10,89	6,42	3,27
2001	5,87	6,53	4,16	4,59	7,00	10,38	6,22	3,20
2002	5,83	6,50	4,12	4,6	6,82	10,11	6,16	3,17
2003	5,83	6,33	4,17	4,5	6,75	10,48	5,84	3,18
2004	5,79	6,23	4,11	4,55	6,59	10,84	5,73	2,97
2005	5,69	6,04	4,04	4,45	6,38	10,72	5,52	2,84
2006	5,57	5,82	3,93	4,39	6,16	10,41	5,39	2,94
2007	5,43	5,81	3,75	4,29	6,05	9,81	5,31	3,02
2008	5,35	5,65	3,70	4,17	6,01	9,18	5,43	2,94
2009	5,35	5,52	3,64	4,25	6,02	8,95	5,5	3,08
2010	5,37	5,50	3,71	4,29	6,14	8,93	5,34	3,06
2011	5,26	5,34	3,53	3,97	6,17	8,75	5,28	2,92
2012	5,17	5,13	3,51	3,82	6,10	8,41	5,29	2,92
2013	5,09	5,13	3,47	3,77	5,92	8,05	5,11	2,63
2014	4,99	5,07	3,29	3,83	5,83	7,69	5,08	2,59
2015	4,83	4,89	3,25	3,52	5,76	7,21	4,82	2,65
2016	4,72	4,75	3,21	3,47	5,80	6,71	4,54	2,72
2017	4,64	4,63	3,17	3,43	5,62	6,51	4,46	2,71
2018	4,60	4,63	3,08	3,36	5,45	6,39	4,4	2,59

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

2019	4,53	4,52	2,97	3,28	5,27	6,31	4,25	2,61
2020	4,54	4,31	2,94	3,19	5,32	6,37	4,28	2,57
2021	-	4,21	2,94	3,29	-	-	-	2,49

Kaynak: World Bank, 2023.

Grafik 1. Küresel Enerji Yoğunluğu (Birincil Enerji - Mj/\$2017 PPP GDP)



Kaynak: World Bank, 2023.

2022-2050 dönemine ilişkin küresel düzeyde tahmini enerji yoğunluğu düzeyi Tablo 2’de görülmektedir (Grafik 2).

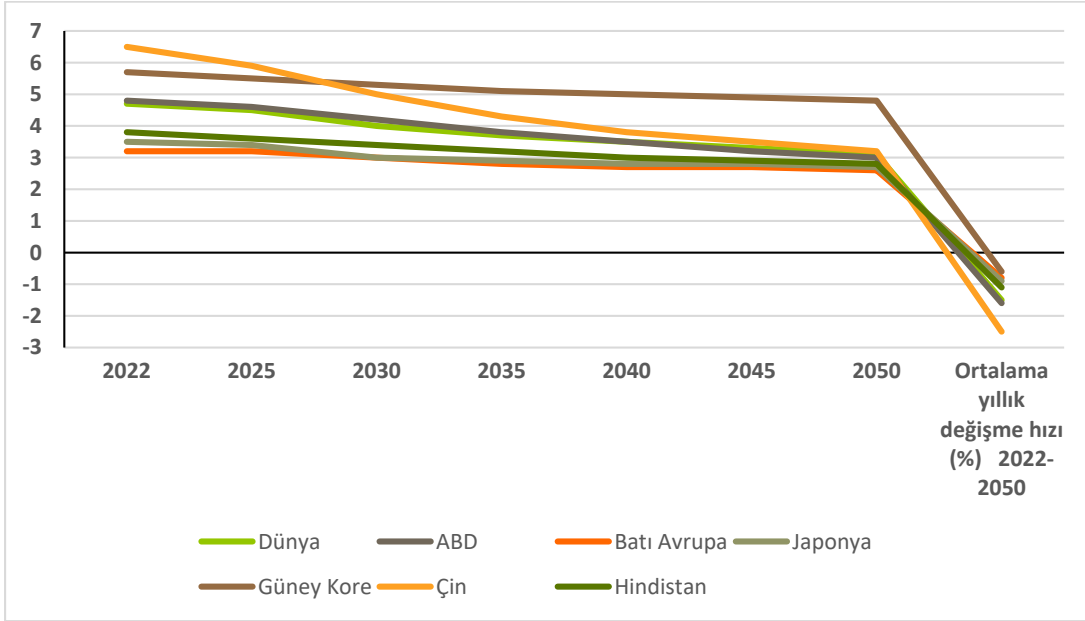
Tablo 2. Bölgelere göre dünya enerji yoğunluğu (thousand Btu per 2015 dollar of GDP - PPP)

	2022	2025	2030	2035	2040	2045	2050	Ortalama yıllık değişme hızı (%) 2022-2050
Dünya	4,7	4,5	4,0	3,7	3,5	3,3	3,1	-1,5
ABD	4,8	4,6	4,2	3,8	3,5	3,2	3,0	-1,6
Batı Avrupa	3,2	3,2	3,0	2,8	2,7	2,7	2,6	-0,8
Japonya	3,5	3,4	3,0	2,9	2,8	2,8	2,7	-0,9
Güney Kore	5,7	5,5	5,3	5,1	5,0	4,9	4,8	-0,6
Çin	6,5	5,9	5,0	4,3	3,8	3,5	3,2	-2,5
Hindistan	3,8	3,6	3,4	3,2	3,0	2,9	2,8	-1,1

Kaynak: EIA, 2023.

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

Grafik 2. Bölgelere Göre Dünya Enerji Yoğunluğu Projeksiyonu (thousand Btu per 2015 dollar of GDP - PPP)



Kaynak: EIA, 2023.

Amerikan Enerji Verimliliği Enerji Konseyi ("American Council for an Energy Efficient Economy, ACEEE"), enerji verimliliği konusunda değişik yıllarda çalışmalar yapmıştır. 2022 yılında yapılan enerji verimliliği çalışmasında, öne çıkan 25 ülke ve bu ülkelerin enerji verimliliği sıralamaları Tablo 3'te yer almaktadır.

Tablo 3. Enerji Verimliliği Sıralaması (25 Ülke - 2022)

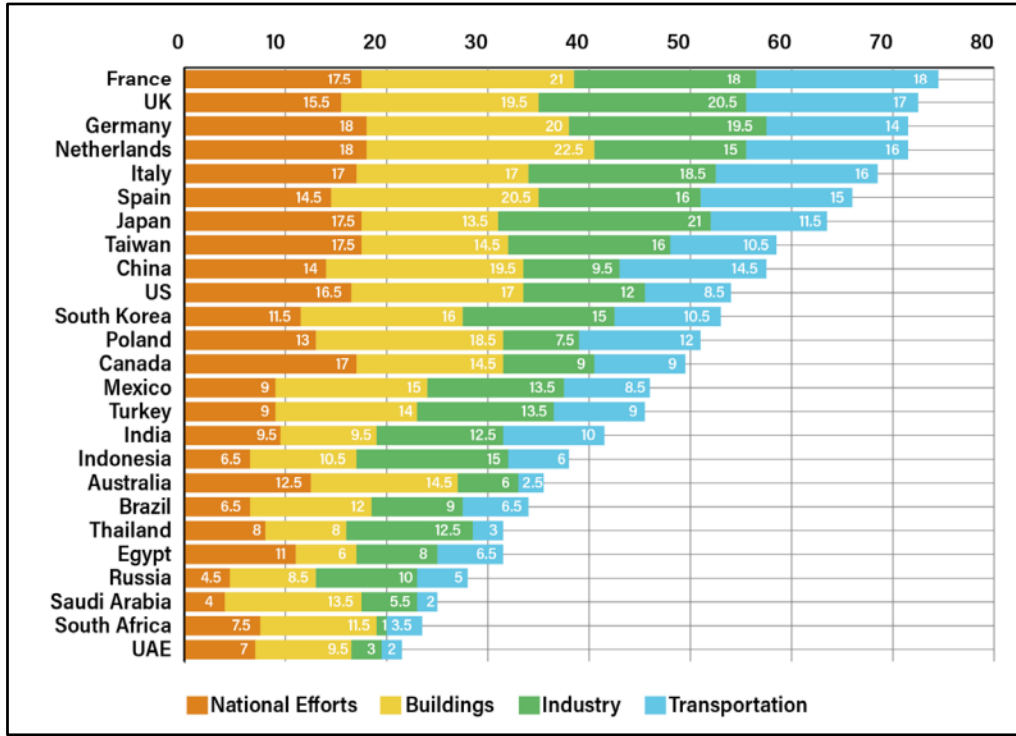
Sıralama	Ülke	Toplam Ülke Puanı
1	Fransa	74,5
2	Birleşik Krallık	72,5
3	Hollanda	71,5
4	Almanya	71,5
5	İtalya	68,5
6	İspanya	66,0
7	Japonya	63,5
8	Tayvan	58,5
9	Çin	57,5
10	ABD	54,0
11	Güney Kore	53,0
12	Polonya	51,0
13	Kanada	49,5
14	Meksika	46,0
15	Türkiye	45,5
16	Hindistan	41,5
17	Endonezya	38,0
18	Avustralya	35,5
19	Brezilya	34,0
20	Mısır	31,5
21	Tayland	31,5
22	Rusya	28
23	Suudi Arabistan	25
24	Güney Afrika	23,5
25	Birleşik Arap Emirlikleri	21,5

Kaynak: ACEEE, 2022: 13.

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

ACEEE tarafından 2022 yılında yapılan bu çalışmada enerji verimliliği dört grupta hesaplanmıştır. Bunlar; ulusal çalışmalar, konut, sanayi ve ulaşımdan oluşmaktadır. Ulusal çalışmalar; ülkelerin enerji verimliliğini sağlamak amacıyla yapılan yatırımlar, AR-GE harcamaları, vergiler ve vergi indirimleri, enerji yoğunluğundaki değişimleri kapsamaktadır. Konut içerisinde; imar yönetmeliği, cihaz ve donatımla ilgili standartlar, binaların güçlendirilmesine yönelik politikalar, bina derecelendirmeleri, binaların enerji yoğunluğu dikkate alınmıştır. Sanayi grubunda; sanayi sektöründeki enerji yoğunluğu, enerji teşvik politikaları, donanımların verimlilik standartları, zorunlu enerji denetimleri, AR-GE harcamaları bulunmaktadır. Ulaşımda ise araçların yakıt verimliliğine ilişkin standartlar, kişi başına düşen araç miktarı, yük taşımacılığında enerji yoğunluğu, toplu taşıt kullanımı, karayolu ve demiryolu yatırımları dikkate alınmıştır. Bu çalışmada ülkelerin enerji verimliliğine yönelik alanlardaki başarıları belirtilen dört grubun her birine verilen 25 puan üzerinden toplam 100 olacak şekilde hesaplanmıştır. Bu gruplandırmalara göre ülkelerin hangi alanlarda daha başarılı enerji verimliliği gerçekleştirdiği daha iyi gözlenebilmektedir. Ülkelerin dört gruplandırmaya göre verimlilik düzeyleri Grafik 3'te görülmektedir.

Grafik 3. Ülkelerin Dört Gruplandırmaya Göre Verimlilik Düzeyleri (2022)



Kaynak: ACEEE, 2022: 14.

Grafik 3'ten de görülebileceği gibi her ülkenin enerji verimliliği alanında ön plana çıktığı gruplar birbirinden farklılık göstermektedir. Hollanda, Almanya, Fransa, İtalya ve İspanya'dan oluşan Avrupa ülkelerinin ulusal çalışmalar, konut, sanayi ve ulaşım alanında puanları oldukça yüksektir. Dolayısıyla enerji verimliliğinde Avrupa ülkelerinin toplam puan üzerinden sıralamaları üst sıralarda yer almaktadır. Hollanda, Almanya, Japonya, Fransa ve Tayvan ulusal çalışmalar alanında; Hollanda, Fransa, İspanya Almanya ve Birleşik Krallık konut sektöründe; Japonya, Birleşik Krallık, Almanya, İtalya ve Fransa sanayi sektöründe; Fransa, Birleşik Krallık, İtalya, Hollanda ve İspanya konut sektöründe ilk beş sırada yer almaktadırlar. Sıralamada 15. sırada bulunan Türkiye'nin konut sektöründe ortalamanın üstünde olduğu, ancak diğer alanlarda ortalamanın altında kaldığı görülmektedir (ACEEE, 2022: 13-14).

Kısaca özetlemek gerekirse, küresel enerji verimliliği ile ilgili ağırlıklı olarak Avrupa ülkeleri ve bir kaç Uzakdoğu ülkesinin ön sıralarda yer aldığı, bazı gelişmekte olan ülkelerin ortalamada, Arap ülkelerinin ise en alt sıralarda bulunduğu görülmüştür. Enerjiyi etkin ve verimli kullanan ülkelerin öncü olarak deneyimlerini diğer ülkelerle paylaşmaları, küresel düzeyde enerji verimliliğinin artmasını sağlayacaktır. Böylece hem ülkelerin enerji maliyeti hem de enerji konusunda dışa bağımlı olan ülkelerin enerji ithalatı azalacaktır.

TÜRKİYE'DE ENERJİ VERİMLİLİĞİ

Türkiye'nin enerji talebi, büyümesine bağlı olarak, dünya ortalamasının üstünde artış göstermektedir. Ancak Türkiye enerjide dışa bağımlı bir ülkedir. Artan talebini ithalata karşılamak zorunda olan Türkiye, büyük bir enerji çıkmazı içerisindedir. Dolayısıyla bu sorunları aşabilmesi için, zorunlu olarak, enerji verimliliği çalışmalarını hızlandırılması gerekmektedir.

Türkiye, fosil yakıtlarda, özellikle petrol ve doğal gazda dışa bağımlı bir ülkedir. Bu yüzden Türkiye'de enerji ithalatını ve enerji ithalatının cari işlemler dengesini bozucu etkisini azaltmaya ve enerji arz güvenliğini sağlamaya yönelik enerji politikaları oluşturduğu görülmektedir.

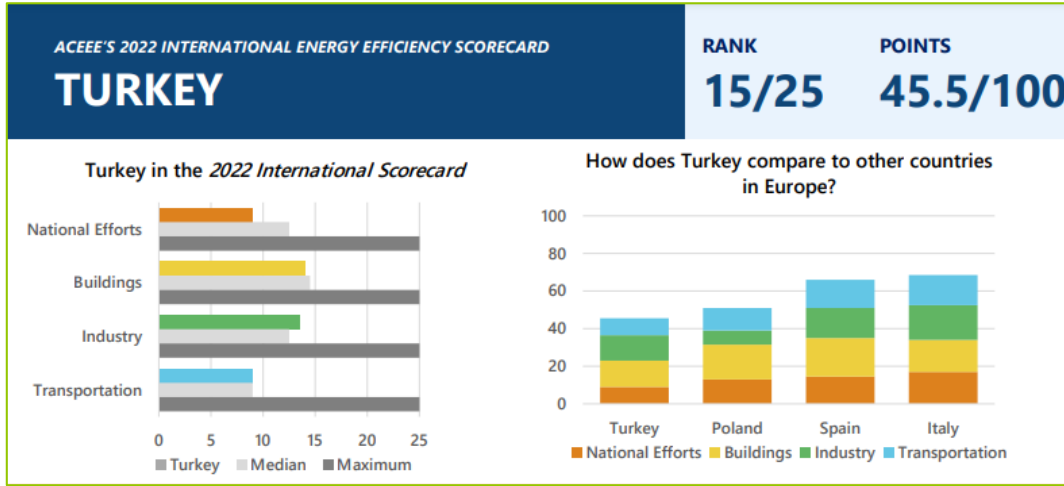
Türkiye'nin kişi başına düşen enerji tüketimi, 2021 yılında 1,88 (TEP/kişi) olmuştur. 1990 yılında 0,94 (TEP/kişi) olan enerji tüketimi, aradan geçen yaklaşık 30 yıllık süreçte giderek artmıştır (CSB, 2024). Ancak diğer ülkelerle karşılaştırıldığında düşük düzeyde olduğu görülmektedir. Türkiye'nin 2000-2021 döneminde birincil enerji yoğunluğu Tablo 1'de yer almaktadır. Bu tablodaki verilere göre 2000 yılında 3,27 olan enerji yoğunluğu, 2021 yılında 2,49 düzeyinde gerçekleşmiştir. Türkiye'de enerji verimliliğine ilişkin gelişmeler dünya ortalamasının ve ABD, AB, Japonya gibi ülkelerin üzerinde seyrettiği görülmektedir (World Bank, 2023).

Türkiye'nin Uluslararası Enerji Verimliliği Puanı

Türkiye'de enerji verimliliğine yönelik çalışmalar ve düzenlemeler, binalarda, sanayide ve ulaşımda olmak üzere üç farklı alanda yoğunlaşmıştır. Daha öncede belirtildiği gibi ACEEE'nin 2022'de yaptığı ülkelerin enerji verimliliği puanlarında ulusal çalışmalar, konut, sanayi ve ulaşımdan oluşmaktadır. Bu çalışmaya göre 25 ülke içerisinde Türkiye'nin toplam enerji verimliliği sıralamasında, toplam 45,5 puanı olduğu ve 15. sırada yer aldığı görülmektedir. Her bir grup 25 puan üzerinden puanlandığında, 9 puanı ulusal çalışmalar alanından (17. sırada), 14 puanı konut alanından (15. sırada), 13,5 puanı sanayi alanından (11. sırada), 9 puanı ulaşım alanından (13. sırada) olmuştur. Her bir gruptan alınan puanlar hesaplandığında toplam verimlilik puanını ulaşılmaktadır (ACEEE, 2022: 13).

Türkiye'nin uluslararası enerji verimliliği puanı Grafik 4'te görülmektedir. Avrupa'daki diğer ülkelerle karşılaştırıldığında dört alanda da geride kaldığını söylemek mümkündür.

Grafik 4. Türkiye'nin Uluslararası Enerji Verimliliği Puanı (2022)



Kaynak: ACEEE, 2022.

Enerji verimliliğinde ulusal çalışmalar: Türkiye'de enerji verimliliği programlarına ve Ar-Ge'ye yapılan yatırımlar, analiz edilen diğer ülkelere göre nispeten düşüktür. Bununla birlikte, ülkenin verimlilik hedeflerine ulaşmaya yardımcı olacak ulusal vergi teşvikleri ve kredi programları da bulunmaktadır. Türkiye'nin "Enerji Hizmet Şirketi (Energy Service Company, ESCO)" piyasası nispeten büyüktür. Bununla birlikte, termal tesislerinin operasyonel verimliliğinin düşük olması nedeniyle, Türkiye'nin su tasarrufu yoluyla su verimliliğini sağlayabilme potansiyeli bulunmaktadır (ACEEE, 2022).

Binalarda enerji verimliliği: Türkiye, 2022 yılında yapılan uluslararası enerji verimliliği puanlamasında binalarda enerji verimliliği alanından 14 puan almıştır. Türkiye’de mevcut minimum enerji performans standartları (minimum energy performance standards, MEPS) kapsamına giren 20 cihaz grubu bulunmaktadır. Ancak bunlardan yalnızca bir cihaz grubu zorunlu etiketler kapsamına girmektedir. Bunların yanı sıra Türkiye’de tüm binalar için zorunlu bina etiketleme çalışmaları yapılmaktadır. Konut ve ticari binalara yönelik bina mevzuatı, yeni inşa edilen binaların verimliliğini artırmak için ek teknik gereklilikler getirerek ve mevcut binalar için bina performans standartlarını benimseyerek geliştirilmesi mümkündür (ACEEE, 2022).

Sanayide enerji verimliliği: Türkiye’nin sanayi sektöründe enerji verimliliğine yönelik önemli teşvikler verilmesine rağmen, sanayide enerji yoğunluğu yüksek olmaya devam etmektedir. Türkiye, sanayide enerji verimliliği projelerini ve gönüllü anlaşmaları desteklemek amacıyla 2007 yılında “5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu”nu çıkartmıştır. Bu kanun kapsamında “Elektrik İşleri Etüt İdaresi”, üç yıllık dönemde ortalama %10 oranında enerji maliyetlerinin %20’sini destekleme kararı almıştır. Türkiye’nin enerji yönetim sistemlerine yönelik çeşitli politikaları mevcut olup, bu politikalarından yararlanabilir. Büyük sanayi tesislerde enerji yöneticilerinin istihdam edilmesine ilişkin talimatların yürürlüğe konması, ISO 50001 sertifikalı tesislerin sayısının artırılması ve sanayi üretiminin ulusal gelir içindeki payına bağlı olarak sanayi sektörüne yönelik Ar-Ge yatırımlarının artırılması gerekmektedir (ACEEE, 2022).

Ulaşım da enerji verimliliği: Türkiye’nin hafif ticari araçlarının ortalama yakıt kullanımı oldukça yüksektir (43,56 mpg). Ancak Türkiye’de bu alanda henüz 2025 yakıt verimliliği standartları bulunmamaktadır. Türkiye’de kişi başına düşen araç kilometresi görece olarak düşüktür ve ulaşımın büyük bir bölümü toplu taşıma araçları kullanılarak gerçekleştirilmektedir (ACEEE, 2022).

Türkiye’de Enerji Verimliliğine Yönelik Çalışmalar

Türkiye’de enerji verimliliğine ilişkin ifadeler “7. ve 8. Beş Yıllık Kalkınma Planları (BYKP)”nda yer almıştır. 7. BYKP’de, “Yurtiçi enerji kaynaklarının miktar ve kalite olarak yetersiz ve yüksek maliyetli olması, ithal enerji kaynakları için gerekli döviz ihtiyacı, aşırı enerji kullanımının çevre sorunu yaratması gibi nedenlerden dolayı, sanayide ve toplumsal yaşamın her kesiminde enerji yoğunluk değerlerinin aşağıya çekilmesi, verimliliğin artırılması ve tasarruf programlarının hayata geçirilmesi sağlanacaktır.” denilmektedir (DPT, 1995: 138).

8. BYKP’de ise aynı biçimde, “enerjinin, ekonomik ve sosyal kalkınmanın temel girdisi olduğu; artan nüfus, şehirleşme, sanayileşme, teknolojinin yaygınlaşması ve refah artışına paralel olarak tüketiminin arttığı; buna bağlı olarak da enerji tüketiminin en düşük düzeyde tutulması ve enerjinin en tasarruflu ve verimli bir biçimde kullanılması gerektiği” vurgulanmıştır. Ayrıca bu planın ilerleyen kısımlarında, “Günümüzde, kişi başına enerji tüketimi bir gelişmişlik göstergesi olmaktan çıkmıştır. Amaç, kişi başına enerji tüketimini artırmak değil, bir birim enerji tüketimi ile en fazla üretimi ve refahı yaratmak” denilmiştir (DPT, 2000: 142). Bu ifade ile enerji verimliliğinin hesaplanmasında kullanılan enerji yoğunluğu kavramına da yer verilmiştir. Bu kalkınma planlarında enerji tasarrufu ve enerji verimliliğinin artırılması konusu yer almıştır.

Her iki kalkınma planında yer almasının ardından, Türkiye’de enerji verimliliğine yönelik çalışmalar, 1980’lerin başlarında “24.06.1935 tarih ve 2819 sayılı Elektrik İşleri Etüt Dairesi Teşkiline Dair Kanun¹ ile kurulan Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE)” tarafından başlatılmıştır. 2011 yılında EİE’nin kapatılmasından sonra, “02.11.2011 tarih ve 662 sayılı Kanun Hükmünde Kararname² ile kurulan Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM)” bünyesinde bu çalışmalar devam etmiştir. Daha sonra bu çalışmalar, “10.01.2019 yılında 27 Numaralı Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi³” ile “Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Enerji Verimliliği ve Çevre Daire Başkanlığı” olarak yeniden yapılandırılan “Enerji İşleri Genel Müdürlüğü” tarafından sürdürülmektedir.

Enerji verimliliğinin sağlanması için gerekli mevzuat altyapısı, 2003 yılından itibaren başlasa da etkin olarak 2007 yılından itibaren yürürlüğe girmiştir (Keskin & Güven, 2017: 368). Türkiye’de 2003

¹ 24.06.1935 tarih ve 3036 sayılı Resmi Gazete.

² 01.11.2011 tarih ve 28103 (Mükerrer) sayılı Resmi Gazete.

³ 10.01.2019 tarih ve 30651 (Mükerrer) sayılı Resmi Gazete.

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

yılından günümüze kadar gerçekleştirilen enerji verimliliğine ilişkin yasal düzenlemeler Tablo 4’de yer almaktadır.

Tablo 4. Türkiye’de Enerji Verimliliğine Yönelik Yasal Düzenlemeler

Yıl	YASAL DÜZENLEMELER
2004	“Enerji Verimliliği Strateji Belgesi” Nisan 2004
2007	“5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu” 02.05.2007 tarih ve 26510 Resmî Gazete
2008	“2008 Enerji Verimliliği Yılı ile ilgili Başbakanlık Genelgesi (2008-2)” 15.02.2008 tarih ve 26788 sayılı Resmî Gazete.
2008	“2008 Enerji Verimliliği ile ilgili ETKB Genelgesi (2008-1)” 16.09.2008
2012	“Enerji Verimliliği Strateji Belgesi” 25.02.2012 tarih ve 28215 sayılı Resmî Gazete
2018	“Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı (2017-2023), I. UEVEP” 02.01.2018 tarih ve 30289 sayılı Resmî Gazete
2024	“Enerji Verimliliği 2030 Stratejisi ve II. Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı (2024-2030), II. UEVEP” 14.01.2024

Türkiye’de enerji verimliliğine ilişkin gelişmeler, birbirinden farklı yıllarda, farklı hedef ve eylemler içeren farklı belgelerle ifade edilmiştir. 2010-2023 dönemi için “**Ulusal İklim Değişikliği Strateji Belgesi ve Ulusal İklim Değişikliği Eylem Planı**”, 2012-2023 dönemi için “**Enerji Verimliliği Strateji Belgesi**”, 2014-2018 dönemi için “**Onuncu Kalkınma Planı’nın 1.14 numaralı Enerji Verimliliğinin Geliştirilmesi Programı, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2015-2019 Stratejik Planı, Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı (2017-2023)**”, bu stratejilerdendir. Ancak etkin bir izleme sistemi olmadığından, bu stratejilerin birbirleri ile ne kadar uyumlu olduğu, ne kadar ve nasıl uygulandığı tam olarak belirlenememiştir (Keskin & Güven, 2017: 368). 2024 yılı başında “**Enerji Verimliliği 2030 Stratejisi ve II. Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı (2024-2030)**” bu konudaki son stratejiyi oluşturmaktadır.

2018 yılı başında yürürlüğe giren “Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı (2017-2023)”nda, “bina ve hizmetler, enerji, ulaştırma, sanayi ve teknoloji, tarım ve her sektörde uygulanan önlemleri içeren yatay konular olmak üzere toplam 6 kategoride tanımlanan 55 eylem ile 2023 yılında Türkiye’nin birincil enerji tüketiminin %14 azaltılması” hedeflenmiştir (ETKB, 2018: 2; ETKB, 2023: 16). Planda “2023 yılına kadar kümülatif olarak 23,9 milyon TEP enerji tasarrufu sağlanması ve bu tasarruf için 10,9 milyar ABD doları yatırım yapılması” öngörülmüştür (ETKB, 2023: 16). “2017 fiyatları ile 2033 yılına kadar sağlanacak kümülatif tasarrufun 30,2 milyar ABD dolarına ulaşacağı” belirtilmiştir (ETKB, 2023: 8). Ancak “Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı”nda, 55 eylemin uygulanabilmesi için çok sayıda sorumlu kurum bulunduğu, bu kurumların herbirinin görevleri ve hedefleri birbirinden farklılık gösterdiği ve kurumlar arasında koordinasyonun tam olarak tanımlanmadığı görülmüştür (Kesin & Güven, 2017: 369).

Türkiye’de 2053 yılı, net sıfır emisyon ve yeşil kalkınma yılı olarak ilan edilmiştir. Bu kapsamda 19.01.2023 tarihinde “Türkiye Ulusal Enerji Planı” kamuoyu ile paylaşılmıştır. Bu planda 2035 yılına kadar olan döneme ilişkin tahmin ve projeksiyonlar bulunmaktadır. Planda “nüfus artışı, ekonomik büyüme, yakıt fiyatları gibi temel göstergelerdeki gelişim eğilimleri dikkate alınarak sanayi, tarım, ulaştırma sektörleriyle binalardaki ve hizmet sektöründeki enerji talebini ve bu talebe karşılık vermek üzere oluşturulmuş arz senaryoları” yer almaktadır. Yine planda “2000-2035 döneminde enerji yoğunluğunda %51 iyileştirme sağlanacağı” ileri sürülmüştür (ETKB, 2023: 14).

“Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB)” tarafından hazırlanan Türkiye’nin “Enerji Verimliliği 2030 Stratejisi ve II. Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı”nda “10 stratejik amaç ve 23 hedefi içererek, sanayi ve teknoloji, bina ve hizmet, enerji, ulaştırma, tarım, ortak konular, start-up ve dijitalleşme olmak üzere 7 kategoride 61 eylem ve 266 faaliyete” yer verilmiştir.

Planda öne çıkan hedefler aşağıda özetlenmiştir (ETKB, 2024; VTC Enerji, 2024):

- 2030 yılına kadar enerji tüketimi %16, emisyonlar 100 milyon ton azaltılacaktır.
- 2030 yılına kadar 20,2 milyar dolarlık enerji verimliliği yatırımı, 2040 yılına kadar 46 milyar dolarlık enerji tasarrufu sağlanacaktır.

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

- Enerji yoğunluğunun 2023 yılı değerine göre %15 azaltılması ve 2024-2030 döneminde toplam 37,1 mtep birincil enerji tasarrufu gerçekleşecektir.
- 2024-2030 döneminde enerji verimliliğine yönelik finansal imkânlar artırılacak ve 5 milyar dolarlık kamu tarafından vergi ve teşvik uygulamasına gidilecektir.
- Dijital teknolojilerin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması sağlanacak, yeni imkânlarla enerji verimliliğini artırmaya yönelik destek verilecektir.
- Döngüsel ekonomi projeleri desteklenecek, kaynak ve enerji verimliliği artırılacaktır.
- Ar-Ge faaliyetleri güçlendirilecek, yenilikçi projelere öncelik verilecektir.
- Isı kullanan büyük endüstriyel tesislerde kojenerasyon sistemlerinin yaygınlaştırılmasına yönelik çalışmalar önceliklendirilecektir.
- Sanayi kesiminde düşük karbonlu, yeşil ve dijital dönüşüm sağlayan projelere öncelik verilecektir.
- Kamu binalarında enerji verimliliği sağlayacak izleme sistemleri oluşturulacaktır.
- Aydınlatma sektöründe enerji verimliliği sağlanacaktır.
- Ulaştırma sektöründe düşük karbonlu taşımaya geçilecektir. Bunun için toplu taşıma ve ticari araçların elektrikli ve hibrit veya doğal gazlı araçlara geçişi desteklenecektir. Ayrıca tüm taşımacılıkta enerji verimliliği sağlanacak şekilde stratejiler geliştirilecektir.
- Kamoyunda enerji verimliliği bilincini artırmak amacıyla çeşitli eğitim programları düzenlenecek, kampanyalar oluşturulacak, tüm medya araçları bu alanda etkin bir biçimde kullanılacaktır.
- ETKB, bu planının uygulanması ve izlenmesi için etkili bir koordinasyon ve izleme mekanizması kuracaktır. Bu mekanizma aracılığıyla düzenli raporlar ve değerlendirmeler yapılacaktır.

Bu hedeflere ulaşabilmek amacıyla izlenecek yollar (ETKB, 2024; VTC Enerji, 2024):

- Katılımcı ve işbirlikçi yaklaşım benimsenecektir. Planın uygulanabilmesi için kamu, özel sektör, akademi ve sivil toplum kuruluşları arasında iş birliği sağlanacaktır.
- Teknolojik yenilikler uygulanacaktır. Ar-Ge faaliyetlerinin geliştirecek dijital teknolojilerin kullanımına ağırlık verilecektir.
- Enerji verimliliği yatırımlarını teşvik edecek finansal destek ve teşvikler verilecektir.
- Enerji verimliliği bilincini artıracak ve bu konuda farkındalığı yükseltecek etkili eğitim programları düzenlenecektir.
- Enerji verimliliği eylem planının başarılı olabilmesi için etkin izleme ve değerlendirme yapılabilecek önlemler alınacaktır.
- Enerji verimliliği alanında uluslararası düzeyde iş birliğine gidilecek ve bu alandaki iyi örnekler takip edilecek ve uluslararası deneyimlerden yararlanılacaktır.

Türkiye'nin "Enerji Verimliliği 2030 Stratejisi ve II. Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı", enerji sektöründe sürdürülebilirlik ve verimlilik açısından önemli bir yol haritası ortaya koymaktadır. Bu planın başarılı bir biçimde uygulanabilmesi için tüm paydaşların iş birliği içinde çalışması, teknolojik gelişmelerin desteklenmesi, finansal araçların uygun bir şekilde ele alınması, sürekli izleme ve değerlendirme ortamının oluşturulması önemlidir. Böylece enerji sektöründe Türkiye, daha sürdürülebilir, verimli ve çevre dostu bir geleceğe doğru yol alabilir (VTC Enerji, 2024).

SONUÇ

Enerji, bir ülkede toplumun yaşam düzeyinin yükseltilmesinde ve sürdürülebilir kalkınmanın sağlanmasında önemli role üstlenmektedir. Ekonomik büyüme, hızlı nüfus artışı, şehirleşme oranının yükselmesi gibi nedenlere, son yıllarda enerji talebi büyük ölçüde artmıştır. Artan enerji talebini, mevcut enerji kaynakları ile karşılayabilmek zor görünmektedir. Ayrıca fosil içerikli enerji kaynaklarının kullanımı da çevreye büyük zarar vermektedir. Bir yandan mevcut enerji kaynaklarının yetersizliği, öte yandan bu enerji kaynaklarının çevre üzerinde yarattığı olumsuzluklar dikkate alındığında, enerjiyi

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

daha etkin ve verimli kullanacak yöntemlerin izlenmesi kaçınılmaz hale gelmiştir. Bu kapsamda enerji verimliliği, enerji arz güvenliğinin sağlanması, enerjide dışı bağımlılığın azaltılması, çevre ve iklim sorunlarına çözüm bulunabilmesi açısından önemli bir rol oynamaktadır. Dolayısıyla tüm ülkelerde enerji verimliliğine yönelik çalışmalar hızlandırılmıştır.

Dünya genelinde ve ülkeler düzeyinde enerji verimliliğinde geline nokta, birbirinden farklılık göstermektedir. Bu nedeni ülkelerin uyguladıkları enerji politikalarındaki farklılıklardır. Bu alanda gelişmiş ülkeler daha büyük gelişme sergilerken, diğer ülkeler biraz daha yavaş hareket edebilmektedirler. Türkiye’de de enerji verimliliğine yönelik çalışmalar 2000’li yıllardan itibaren başlamış, özellikle son yıllarda hızlanmıştır. Ancak hala istenilen düzeye ulaştığı söylenemez.

Özellikle 2007 yılında kabul edilen “5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu”nun uygulanmaya başlamasıyla birlikte bir yasal çerçeve oluşturulmuştur. İzleyen yıllarda çok sayıda tebliği yayınlanmıştır. Ancak 2018 yılında ulusal düzeyde hazırlanan “Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı (2017-2023), I. UEVEP” ile başlatılan çalışmalar, enerji verimliliğinin sağlanmasında önemli rol oynamıştır. Ardından 2024 yılı başında “Enerji Verimliliği 2030 Stratejisi ve II. Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı (2024-2030), II. UEVEP” oluşturulmuştur. Bu planda yer alan hedefler ve izlenecek yıllar belirlenmiş olup, II UEVEP’in sonuçları ilerleyen yıllarda görülecektir. Ancak bu planın başarılı olabilmesi, tüm paydaşların işbirliği halinde, teknolojik gelişmelerden yararlanarak, uygun finansman araçlarıyla sürekli izleme ve değerlendirme ortamı yaratılarak gerçekleştirilebilecektir. Planın başarılı olması halinde Türkiye enerji alanında sürdürülebilir, verimli ve çevre ile uyumlu bir geleceğe doğru ilerleyebilecektir.

KAYNAKLAR

ACEEE (2022). International Energy Efficiency Scorecard. American Council for an Energy Efficient Economy ACEEE, April 2022, <https://www.aceee.org/international-scorecard> (Erişim Tarihi: 12.05.2024).

ADS Mühendislik (2023). Enerji Verimliliği Nedir? 15.06.2023, <https://www.adsmuhendislik.com.tr/blog/enerji-verimliliği-nedir> (Erişim Tarihi: 12.05.2024).

Baytorun, İ. (2023). Enerji Tasarrufu Nedir? GAMAK, <https://www.gamak.com/enerji-tasarrufu-nedir>, (Erişim Tarihi: 15.04.2024).

CSB (2024). 11.4 Kişi Başına Enerji Tüketimi. Çevresel Göstergeler, TC Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, https://cevreselegostergeler.csb.gov.tr/kisi-basina-enerji-tuketimi-i-85805#_edn1 (Erişim Tarihi: 15.05.2024).

DPT (1995). *Yedinci Beş Yıllık Kalkınma Planı 1996-2000*. Devlet Planlama Teşkilatı, DPT Yayını, Ankara.

DPT (2000.) *Uzun Vadeli Strateji ve Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı 2001-2005*. Devlet Planlama Teşkilatı, DPT Yayını, Ankara.

Duman Altan, A., & Sağbaş, A. (2020). Türkiye’nin Enerji Verimliliği ve İklim Değişikliği Performansı: Mevcut Durum ve Gelecek Projeksiyonu. *Verimlilik Dergisi*, 1, T. C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Yayını.

EIA (2023). International Energy Outlook 2023. U.S. Energy Information Administration, October 11, 2023, <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/data.php> (Erişim Tarihi: 16.04.2024)

Energy Education (2024). Energy density. https://energyeducation.ca/encyclopedia/Energy_density (Erişim Tarihi: 15.04.2024).

ENVER (2024). Enerji Verimliliği Nedir? Enerji Verimliliği Derneği, <https://www.enver.org.tr/enerji-verimliliği>, (Erişim Tarihi: 12.04.2024).

ETKB (2018). Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı (2017-2023). TC Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, <https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/EVCED/tr/EnerjiVerimlili%C4%9Fi/UlusalEnerjiVerimlili%C4%9FiEylemPlan%C4%B1/Belgeler/UEVEP.pdf> (Erişim Tarihi: 15b04b2024).

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

ETKB (2020). Enerji Verimliliği Stratejiktir. Katılım Öncesi Yardım Aracı (IPA-II) IPA 2013 Enerji Sektör Programı Faz-2 Projesi, Enerji Verimliliği Stratejik İletişim Planı, Haziran 2020, https://enerji.gov.tr/media/Dizin/BHIM/tr/duyurular/c80dadb0-cdd3-4eef-87aa-92165558a1e2_Enerji_Verimliliği_Stratejik_Iletisim_Planı_Avrupa_Birligi_Logolu.pdf (Erişim Tarihi: 10.04.2024).

ETKB (2024). Enerji Verimliliği 2030 Stratejisi ve II. Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı (2024-2030).https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/BHIM/tr/Duyurular/T%C3%BCrkiyeninEnerjiVerimlili%C4%9Fi2030StratejisiVeIIUlusalEnerjiVerimlili%C4%9FiEylemPlan%C4%B1_202401161407.pdf (Erişim Tarihi: 17.05.2024).

IEA (2023). SDG7: Data and Projections, Energy Intensity International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/sdg7-data-and-projections/energy-intensity> (Erişim Tarihi: 15.05.2024).

Kavaz, İ., & Karagöl, E. T. (2019). Dünyada ve Türkiye’de Enerji Verimliliği. Enscon’19 International Congress of Energy Economy and Security, 06-07 Nisan 2019, İstanbul.

Keskin, T., & Güven, A. (2017). Dünyada ve Türkiye’de Enerji Verimliliği. Türkiye’nin Enerji Görünümü 2020, Oda Raporu, Makine Mühendisleri Odası-MMO, MMO/717, Ankara. <https://www.mmo.org.tr/kitaplar/turkiyenin-enerji-gorunumu-2020> (Erişim Tarihi: 02.05.2024).

Ming, Y., & Yu, X. (2015). Energy Efficiency Becomes First Fuel. In Energy Efficiency – Benefits for Environment and Society, Green Energy and Technology, London, Springer.

Narin, M. (2023). Küresel İklim Değişikliği Kapsamında Türkiye’nin Yenilenebilir Enerji Politikaları. Toprak İşveren, Türkiye Toprak, Seramik, Çimento ve Can Sanayii İşverenleri Sendikası Yayın Organı, Eylül 2023, Sayı 139, 14-23.

Narin, M., & Akdemir, S. (2006). Enerji Verimliliği ve Türkiye. Türkiye Ekonomik Kurumu UEK-TEK 2006 Uluslararası Ekonomi Konferansı, 11-13 Eylül, 2006, Ankara.

Şevik, Ş. (2007). Enerji Verimliliği ve Türkiye’de Enerji Verimliliği Süreci. *TTMD Dergisi*, 51, 26-33.

US Department of Energy (2024). Energy Efficiency vs. Energy Intensity Strategic Analysis. <https://www.energy.gov/eere/analysis/energy-efficiency-vs-energy-intensity> (Erişim Tarihi: 10.04.2024).

VTC Enerji (2024). Türkiye’nin Enerji Verimliliği 2030 Stratejisi ve II. Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı: Hedefler ve İzlenmesi Gereken Yollar. <https://www.vtcenerji.com/2024/01/18/turkiyenin-enerji-verimliliği-2030-stratejisi-ve-ii-ulusal-enerji-verimliliği-eylem-planı-hedefler-ve-izlenmesi-gereken-yollar/> (Erişim Tarihi: 12.05.2024).

World Bank (2023). Energy intensity level of primary energy (Mj/\$2017 PPP GDP)-World. https://data.worldbank.org/indicator/EG.EGY.PRIM.PP.KD?locations=1W&name_desc=true (Erişim Tarihi: 25.04.2024).

World Bank (2024). Energy intensity. Metadata Glossary, Databank, <https://databank.worldbank.org/metadataglossary/world-development-indicators/series/EG.EGY.PRIM.PP.KD> (Erişim Tarihi: 16.04.2024).

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

RUSYA-UKRAYNA SAVAŞININ KÜRESEL VE BÖLGESEL DÜZEYDE DOĞAL GAZ PİYASALARINA ETKİLERİ

EFFECTS OF THE RUSSIA-UKRAINE WAR ON NATURAL GAS MARKETS AT GLOBAL AND REGIONAL LEVELS

Doç. Dr. Göktuğ ŞAHİN

Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, Ankara, Türkiye

Prof. Dr. Müslüme NARİN

Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, Ankara, Türkiye

ÖZET

Rusya ve Ukrayna arasındaki savaşın başlamasıyla birlikte küresel ve bölgesel çapta doğal gaz piyasalarında önemli değişiklikler ve gelişmeler yaşanmıştır. Küresel düzeyde, savaş enerji güvenliği endişelerini artırmış, birçok ülkeyi Rus doğal gazına olan bağımlılıklarını yeniden değerlendirmeye sevk etmiştir. Bu durum, alternatif kaynaklara yönelimi artırmış ve enerji portföylerinin çeşitlendirilmesi çabalarını hızlandırmıştır. Özellikle Avrupa ülkeleri, Sıvılaştırılmış Doğal Gaz (LNG) altyapısını genişletmekten yenilenebilir enerji üretimini artırmaya kadar çeşitli girişimlerle Rus doğal gazına olan bağımlılıklarını azaltmaya çalışmaktadırlar. Buna karşılık, doğal gaz piyasalarının bölgesel dinamikleri adına daha teferruatlı gelişmeler yaşanmıştır. Doğu Avrupa'da, savaş arz kesintileri korkularını artırmış ve enerji çeşitlendirme çabalarının stratejik önemini artırmıştır. Örneğin; Ukrayna ve Polonya gibi ülkeler, komşu devletlerle enerji iş birliğini artırmaya yönelik çabalarını yoğunlaştırma çabası içerisine girmişlerdir. Öte yandan, Batı Avrupa, Rus doğal gazı ithalatındaki azalmanın ivedi etkilerini hafifletmeye çalışırken uzun vadeli enerji dönüşümü hedeflerini ilerletmeye odaklanmaktadır. Bu durum, yenilenebilir enerji projelerine ve altyapıya yönelik artan yatırımları beraberinde getirmiş ve mevcut doğal gaz tedarik ağlarını optimize etme çabalarını ortaya koymuştur. Ayrıca, Rusya-Ukrayna savaşı jeopolitik açıdan yeniden yapılanmalara yol açmış, doğal gaz ticaret yolları ve ittifaklar üzerindeki etkileriyle birlikte yükselen enerji koridorları, Güney Gaz Koridoru ve Doğu Akdeniz rotaları gibi geleneksel tedarik yollarına alternatifler olarak önem kazanmıştır. Ek olarak, jeopolitik gerilimler uluslararası arenada enerji güvenliğine ilişkin diyalogu hızlandırarak küresel enerji piyasalarının bağlantılılığı vurgusunu artmıştır. Genel olarak, Rusya-Ukrayna savaşı küresel ve bölgesel doğal gaz piyasalarında çift yönlü bir dönüşümü tetiklemiştir. Küresel açıdan gelişmeler geniş kapsamlı çeşitlendirme ve dayanıklılık çabalarıyla karakterize edilirken, bölgesel dinamikler yerel bağlamlara uygun kapsamlı stratejilerle şekillenmektedir.

Bu çalışmada, Rusya-Ukrayna savaşıyla başlayan dönemde doğal gaz piyasalarındaki küresel ve bölgesel boyutlarda yaşanan gelişme ve değişimlerin karşılaştırmalı analiziyle birlikte enerji jeopolitiği ve piyasa dinamiklerinin gelişen durumuna dair bir değerlendirme ortaya konulacaktır.

Anahtar kelimeler: Doğal Gaz, Rusya-Ukrayna Savaşı, Enerji Ekonomisi.

ABSTRACT

With the beginning of the war between Russia and Ukraine, significant changes and developments have occurred in natural gas markets globally and regionally. At the global level, the war has increased energy security concerns, prompting many countries to re-evaluate their dependence on Russian natural gas. This situation has increased the tendency towards alternative sources and accelerated efforts to diversify energy portfolios. European countries, in particular, are trying to reduce their dependence on Russian natural gas through various initiatives, from expanding Liquefied Natural Gas (LNG) infrastructure to increasing renewable energy production. In contrast, there have been comprehensive developments

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

regarding the regional dynamics of natural gas markets. In Eastern Europe, the war has raised fears of supply disruptions and increased the strategic importance of energy diversification efforts. For example; countries such as Ukraine and Poland have begun to intensify their efforts to increase energy cooperation with neighboring states. Western Europe, on the other hand, is focused on advancing its long-term energy transition goals while trying to diminish the immediate effects of the decline in Russian natural gas imports. This situation has led to increased investments in renewable energy projects and infrastructure, alongside efforts to optimize existing gas supply networks. Furthermore, the Russia-Ukraine war has led to geopolitical restructuring, and rising energy corridors, with their effects on natural gas trade routes and alliances, have gained importance as alternatives to traditional supply routes such as the Southern Gas Corridor and Eastern Mediterranean routes. Additionally, geopolitical tensions have stimulated the dialogue on energy security in the international arena, increasing the emphasis on the interconnectedness of global energy markets. Overall, the Russia-Ukraine war has triggered a bi-directional transformation in both global and regional natural gas markets. While the global developments are characterized by a comprehensive impulse for diversification and resilience efforts, regional dynamics are shaped by particular strategies tailored to local contexts. In this study, an evaluation of the evolving situation of energy geopolitics and market dynamics will be presented, along with a comparative analysis of the developments and changes experienced at global and regional levels in natural gas markets in the period that started with the Russia-Ukraine war.

Keywords: Natural Gas, Russia-Ukraine War, Energy Economics.

GİRİŞ

Doğal gaz, küresel enerji bileşiminin çok önemli bir aktörüdür ve ısıtma, elektrik üretimi ve endüstriyel süreçler için enerji ihtiyacının oldukça yüksek bir kısmını sağlamaktadır. Aynı zamanda kömür ve petrole karşı daha temiz bir alternatif olarak görülmekte ve karbon emisyonlarını azaltma konusuna katkıda bulunmaktadır. Küresel doğal gaz piyasası diğer enerji emtialarına göre daha karmaşık bir yapıya sahip olmakla birlikte bu hayati kaynağın üretimi, nakliyesi ve tüketimiyle uğraşan çok sayıda ülke ve şirketi kapsamaktadır. Doğal gaz, enerji güvenliğinin, ekonomik istikrarın ve çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasında oldukça önemli bir rol oynamaktadır. Kullanışlılığı ve çok yönlülüğü, doğal gazı önemli bir enerji kaynağı haline getirmektedir. Yoğun olarak konut ısıtmasında, elektrik üretiminde ve çeşitli endüstriler için hammadde olarak kullanılmaktadır. Sıvılaştırılmış Doğal Gazın (LNG) yükselişi, erişimini daha da genişleterek doğal gazın okyanuslar üzerinden daha önce boru hatlarıyla erişilemeyen pazarlara taşınmasını mümkün kılmıştır. Bu durum doğal gazı, fiyatların bölgesel arz ve talep dinamiklerinden etkilendiği, küresel çapta ticareti yapılan bir emtiaya dönüştürmüştür. Ayrıca, küresel iklim krizi nedeniyle artan çevresel kaygılar da doğal gazın küresel enerji bileşimindeki rolünü güçlendirmiştir. Kömür ve petrole mukayese edildiğinde doğal gaz, daha temiz bir enerji kaynağıdır veya diğer bir ifadeyle daha düşük düzeyde zararlı kirletici madde ve sera gazı yaymaktadır. Bu durum, enerji güvenilirliğinin korunmasına katkı sağlarken karbon ayak izini azaltmak isteyen ülkeler için doğal gazı daha tercih edilen bir seçenek haline getirmiştir. Ek olarak, teknolojideki ilerlemeler doğal gazın çıkarılması ve kullanılmasının verimliliğini ve güvenliğini artırarak cazibesini daha da artırmıştır. Ancak doğal gaza olan bağımlılık, özellikle jeopolitik riskler ve piyasa oynaklığı açısından birtakım olumsuzlukları da beraberinde getirmektedir. Doğal gaz rezervlerinin Orta Doğu ve Rusya gibi siyasi açıdan görece istikrarsız bölgelerde yoğunlaşması, küresel tedarik zincirlerini aksamalara karşı savunmasız hale getirmektedir. Rusya-Ukrayna Savaşı bu zayıf noktaları çarpıcı biçimde belirginleştirmiş olmakla birlikte dünya çapında enerji güvenliği stratejilerinin yeniden değerlendirilmesine yol açmıştır (Şahin, 2021; Karan vd., 2024).

2014 yılında Kırım'ın ilhakı ve bunu takip eden Rusya ile Ukrayna arasındaki çatışmalar, Avrupa'nın enerji güvenliğindeki kırılganlıkları ortaya çıkarmıştır. Bu olaylar doğal gaz arzında geçici kesintilere neden olmuş ve Avrupa ülkelerini enerji kaynaklarını çeşitlendirme arayışına itmştir. Rusya ile Ukrayna arasındaki jeopolitik gerilimlerin tarihsel olarak doğal gaz piyasaları üzerinde dalgalanma etkileri olmuş, arz istikrarını, fiyatlandırmayı ve stratejik uyumları etkilemiştir. Rusya ile Ukrayna arasında halen devam eden ve 24 Şubat 2022 Rusya'nın Ukrayna'yı işgalinin ardından tarihinde tam ölçekli olarak tırmanışa geçen savaş, küresel açıdan çeşitli sektörlerde önemli ölçüde aksamalara yol açmış ve

özellikle doğal gaz piyasaları üzerinde göz önüne alınması elzem olan etkiler yaratmıştır. Dünyanın önde gelen doğal gaz tedarikçilerinden birisi olan Rusya'nın savaş kapsamında ortaya koyduğu eylemler, enerji sektöründe istikrarsızlık ve belirsizlikler ortaya çıkartmıştır. Çok boyutlu incelendiğinde gerek insani gerekse ekonomik açıdan krize yol açan Rusya-Ukrayna Savaşı, yalnızca doğrudan askeri müdahaleleri değil aynı zamanda küresel pazarları etkileyen ekonomik yaptırımları ve jeopolitik aksiyonları da içermektedir. Rusya ile Ukrayna arasındaki tarihi, kültürel ve siyasi farklılıklardan kaynaklanan savaşın sebepleri daha eskiye dayanmaktadır. Kırım'ın 2014 yılında Rusya tarafından ilhak edilmesi, uluslararası kınama ve yaptırımlara yol açan ciddi bir tırmanışa işaret etmiştir. Bu durum, 2022'de Kremlin'in Rusça konuşan halkları korumak ve Rusya'nın stratejik çıkarlarını güvence altına almak gerekçesiyle meşrulaştırdığı Rusya'nın işgaliyle daha da olumsuz bir hal almıştır. Ancak bu hamle, geniş çapta uluslararası hukukun ve egemenliğin ihlali olarak görülmüştür. Batılı ülkelerin Rusya'ya yoğun ekonomik yaptırımlar uygulaması, bazı ülkelerin ise Moskova'ya karşı tarafsız veya destekleyici bir duruş sergilemesi nedeniyle uluslararası toplumun tepkisi farklılıklar göstermiştir. Yaptırımlar, Rusya'nın ekonomik kapasitesini sekteye uğratmayı ve geri çekilmeyi zorlamayı amaçlayan, enerji, finans ve teknoloji de dahil olmak üzere kilit sektörleri hedef almıştır. Bu önlemlere rağmen savaş, küresel istikrar ve ekonominin sağlıklı gidişatı açısından hayati sonuçlar doğuracak şekilde tüm şiddetiyle devam etmektedir (European Parliament, 2022; Göröl, 2023; World Economic Forum, 2022; Reuters, 2022; CEPR, 2023a).

Belirtilen hususlar doğrultusunda ortaya konulan bu çalışma, Rusya-Ukrayna Savaşı'nın doğal gaz piyasaları üzerindeki çok yönlü etkilerini hem küresel hem de bölgesel düzeyde analiz etmeyi amaçlamaktadır. Çalışmada savaş nedeniyle ortaya çıkan doğal gaz arzındaki aksaklıklar, fiyat dalgalanmaları, ticaret kalıplarındaki değişiklikler ve bu değişimlerin ekonomik ve jeopolitik sonuçları değerlendirilmektedir. Ayrıca, ilgili faktörlerin incelenmesiyle birlikte savaşın doğal gaz piyasaları üzerinde devam eden ve gelecekteki potansiyel etkilerine ilişkin bir değerlendirme ortaya koyulmaya çalışılmış ve çalışmanın güncel konusu kapsamında paydaşlara, politika yapıcılara ve araştırmacılara bütünsel bir bakış açısı sunulması amaçlanmıştır.

RUSYA-UKRAYNA SAVAŞI'NIN ARKA PLANI

Rusya, dünyanın en büyük doğal gaz üreticisi ve ihracatçılarından birisi olmakla birlikte geniş rezervleri ve özellikle Avrupa'ya uzanan geniş boru hattı ağı, Rusya'nın küresel enerji denklemindeki rolünü oldukça önemli kılmaktadır. Rusya, stratejik olarak siyasi ve ekonomik etki yaratmak adına tarihi boyunca doğal gaz kaynaklarından yararlanmışır. Rusya'nın doğal gaz endüstrisi, üretim ve ihracat faaliyetlerinin çoğunu kontrol eden Gazprom başta olmak üzere devlete ait işletmelerin hakimiyetindedir. Rusya'nın doğal gaz endüstrisinin gelişimi, Batı Sibiry'a'daki büyük gaz sahalarının keşfiyle Sovyet dönemine kadar uzanmaktadır. Bu rezervler hem iç hem de uluslararası pazarlara tedarik açısından büyük öneme sahiptir. Soyuz ve Kardeşlik boru hatları gibi geniş boru hattı ağlarının inşası, doğal gazın Avrupa'ya taşınmasını kolaylaştırarak Rusya'nın güvenilir bir tedarikçi olarak konumunu güçlendirmiştir. Yıllar geçtikçe Rusya, ihracat kapasitesini artırmak ve yeni pazarlara ulaşmak için doğal gaz altyapısını genişletmiştir. Kuzey Akım ve TürkAkım boru hatları gibi projeler, transit ülkeleri devreden çıkartmayı ve siyasi açıdan istikrarsız rotalara bağımlılığı azaltmayı amaçlayan bu stratejinin bir parçası olmuştur. Özellikle Kuzey Akımı boru hattı, Rus gazını Baltık Denizi altından doğrudan Almanya'ya bağlayan Rusya'nın enerji stratejisinin temel taşı olmuştur. Rusya'nın doğal gaz piyasasındaki hakimiyeti çeşitli tartışmaları da birlikte getirmektedir. Ülkenin gaz kaynaklarını jeopolitik bir araç olarak kullanması zamanla ithalatçı ülkeler arasında endişelere yol açmış olmakla birlikte siyasi anlaşmazlıklar sırasında Ukrayna ve diğer komşu ülkelere yapılan arz kesintileri gibi faktörler, Rus gazına olan bağımlılığın olumsuz yanlarını ortaya çıkarmıştır. Bu durum, Avrupa ve ilgili diğer bölgelerde enerji kaynaklarını çeşitlendirme ve enerji güvenliğini artırma girişimlerini teşvik etmiştir. Özellikle Avrupa, tarihsel olarak Rus doğal gazına büyük ölçüde bağımlı olmuştur. 2021 yılında Avrupa Birliği'nin (AB) doğal gaz ihtiyacının yaklaşık %45'ini Rusya karşılarken savaş nedeniyle bu oran 2023 yılında %15'e düşmüştür. Bunlara rağmen Rusya geniş rezervleri, stratejik altyapı yatırımları ve ticaret ortaklarıyla yaptığı uzun vadeli sözleşmeler sayesinde büyük bir doğal gaz tedarikçisi konumunu korumuştur. Ancak, Ukrayna ile devam eden savaş bu görünümü önemli ölçüde etkileyerek hem Rusya'yı hem de ticari ortaklarını yeni konjonktüre uyum sağlamaya itmektedir

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

(Anadolu Ajansı, 2022a; Anadolu Ajansı, 2023a; Anadolu Ajansı, 2022b; Brookings, 2023; Şahin, 2021; Enerdata, 2023; European Commission, 2024).

Diğer taraftan Ukrayna, yıllar boyunca Avrupa'ya gönderilen Rus doğal gazı için kritik bir geçiş (transit) ülkesi olmuştur. Sovyetler Birliği'nin çöküşü, Ukrayna'ya doğal gaz altyapısının önemli bir kısmını bırakmış ve tedarik zincirinde hayati bir bileşen haline getirmiştir. Ancak bu bağımlılık, özellikle siyasi ve ekonomik çatışma dönemlerinde bir gerilim kaynağı da olmuştur. Doğal gazın Ukrayna üzerinden geçişi; fiyatlandırma, geçiş ücretleri ve siyasi uyum konusundaki anlaşmazlıklar nedeniyle zaman zaman gölgelenmiştir. Rusya ile Ukrayna arasındaki doğal gaz geçişine dair ilişkiler iki ülke arasında karmaşık düzeydedir ve çeşitli aşamalardan geçerek gelişmiştir. Sovyetler Birliği'nin dağılmasını takip eden ilk yıllarda, doğal gazın Ukrayna üzerinden Avrupa pazarlarına akışının devam etmesini sağlamak için çeşitli anlaşmalar yapılmıştır. Bu anlaşmalar genellikle geçiş ücretleri ve doğal gaz fiyatlarına ilişkin müzakereleri içermektedir ve her iki taraf da kendi güçlü yanlarından faydalanmaktaydı. 2000'li yılların başında gerilimin artmaya başlaması, Avrupa'ya doğal gaz arzını kesintiye uğratan çok sayıda anlaşmazlığa yol açmıştır. 2006 ve 2009 yıllarında yaşanan doğal gaz fiyatlarındaki anlaşmazlıklar ve ödenmeyen borçlar nedeniyle Rusya'nın Ukrayna'ya gaz arzını kesmesi, kış aylarında Avrupa'da ciddi gaz kesintilerine neden olmuştur. Bu olaylar, tek bir geçiş güzergahına aşırı güvenin getirdiği riskleri ve çeşitlendirme ihtiyacının önemini ortaya koymuştur. Bu aksaklıklara karşılık olarak Avrupa, Ukrayna geçiş yollarına bağımlılığını azaltmak için Ukrayna'yı tamamen devre dışı bırakan Nord Stream gibi alternatif boru hatlarının geliştirilmesini de içeren çeşitli stratejiler izlemiştir. Ayrıca, LNG altyapısına ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımlar, enerji güvenliğini artırmaya yönelik kapsamlı bir stratejinin parçası olmuştur. Buna rağmen, Ukrayna halen önemli bir doğal gaz geçiş ülkesi olmayı sürdürmektedir ve devam eden savaş söz konusu politikaları daha da karmaşık hale getirmiştir. Dahası, doğal gaz boru hatlarının sabotajı ve bölgedeki siyasi istikrarsızlık gibi faktörler, Ukrayna üzerinden doğal gaz geçişinin gelecekteki güvenilirliği konusunda endişeleri artırmıştır (Global LNG Hub, 2022; Brookings, 2023).

RUSYA-UKRAYNA SAVAŞI'NIN EKONOMİK VE SİYASİ ETKİLERİ

Söz konusu savaşın gerek Rusya gerekse Ukrayna açısından ciddi ekonomik yansımaları söz konusudur. Rusya, ekonomisini geniş çaplı sıkıntılara uğratan ve ihracat gelirlerini azaltan önemli ekonomik yaptırımlarla karşı karşıya kalmıştır. Diğer taraftan Ukrayna'nın altyapısı ve ekonomisi büyük zarar görmüştür ve bunların yanı sıra yaşanan insani krizin daha da kötüleşmesine sebebiyet vermiştir. Anlaşılacağı üzere, savaş nedeniyle ortaya çıkan olumsuz ekonomik etkiler, enerji fiyatları başta olmak üzere her iki ülkede de çok farklı sektörü ve yaşamın çeşitli yönlerini etkilemektedir (Anadolu Ajansı, 2022a; Anadolu Ajansı, 2023a; Anadolu Ajansı, 2002b; Brookings, 2023; International Monetary Fund, 2024; Steinbach, 2023).

Rusya'ya savaş nedeniyle uygulanan yaptırımlar enerji, finans ve teknoloji gibi kilit sektörleri hedef almaktadır. Bu yaptırımlar Rusya'nın uluslararası pazarlara erişme, finansal işlemler yürütme ve temel teknolojileri edinme olanaklarını kısıtlamıştır. 2022 yılında ortaya çıkan kümülatif etki, yaptırımlar ve ihracat gelirlerinin azalması nedeniyle Rusya'nın Reel Gayrisafi Yurtiçi Hasılasında (GSYH) yaklaşık %2 oranında daralma meydana gelmiştir (Allianz, 2023; Economics Observatory, 2023; CEPR, 2023b; Council of the European Union, 2023a).

Ukrayna, altyapısına verilen büyük hasar ve devam eden çatışmalar nedeniyle önemli ekonomik zorluklarla karşı karşıya kalmıştır. Savaşın başlangıcından 2023 yılı sonuna kadar Ukrayna'nın altyapısında meydana gelen hasarın 150 milyar doları aştığı ve önümüzdeki on yıl içinde 450 milyar doları aşacağı tahmin edilmektedir. Ayrıca yollar, köprüler ve enerji tesisleri de dahil olmak üzere kritik öneme sahip düzeydeki altyapının tahrip edilmesi de ekonomik faaliyetler açısından ülkeyi sıkıntıya uğratmıştır (World Bank, 2024a).

Ekonomik etkiler yakın bölgenin ötesine geçerek küresel pazarları ve ekonomileri de etkilemiştir. Doğal gaz arzındaki kesinti, küresel çaptaki üreticiler ve tüketicileri etkileyen fiyat dalgalanmalarına neden olmuştur. Ayrıca karşılaşılan ekonomik etkiler aynı zamanda jeopolitik dinamikleri de etkilerken ülkeler politikalarını ve stratejilerini değişen konjonktüre göre yeniden düzenlemektedirler. Küresel açıdan ise diğer etkilerle birleştiğinde ve savaşın özellikle enerji piyasaları üzerindeki etkisi nedeniyle ekonomik

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

performansın son 30 yılın en düşük seviyelerinde olduğu belirtilmektedir (CEPR, 2023a; World Bank, 2024b; Brookings, 2023; Wood Mackenzie, 2023).

Savaş, çeşitli ülkeler ve bölgeler arasında yeni ittifakların oluşması ve mevcut ittifakların güçlenmesiyle küresel jeopolitiği yeniden şekillendirmiştir. Bu bağlamda yaşanan jeopolitik değişimler, küresel enerji dinamiklerini ve daha geniş anlamda ülkeler arasındaki uluslararası ilişkileri etkilemiştir. Jeopolitik değişimler aynı zamanda dış politika kararlarını ve stratejik uyumları da etkilemiştir. Yaşanan enerji krizi ile birlikte küresel pazarların birbirine entegre olmasının ve enerji güvenliğinin önemi bir kere daha anlaşılmıştır. Ülkeler, ekonomik çıkarlar ile stratejik uygulamaları dengeleyerek, değişen gelişen ortamda ilerlemek için politikalarını ayarladılar. Avrupa Birliği (AB), enerji güvenliğini artırma ve Rus doğal gazına bağımlılığı azaltma çabalarını alternatif tedarikçilerle stratejik ortaklıklar, yenilenebilir enerji yatırımları ve LNG altyapısının geliştirilmesi de dahil olacak şekilde yoğunlaştırmıştır. AB'nin yaklaşımı çeşitlendirme, dayanıklılık ve sürdürülebilirliğe odaklanma şeklinde tasvir edilebilmektedir. Örneğin; AB, savaşın başlangıcından bu yana Rus olmayan tedarikçilerle birçok yeni enerji anlaşması imzalarırken AB'nin stratejik ortaklıkları 2022 yılından itibaren giderek artış göstermiştir. Rusya ise Batılı olmayan ülkelerle enerji bağlarını güçlendirmeye çalışarak Çin ve Hindistan'a yönelik artan ihracat pazarını çeşitlendirmeye ve Avrupa'ya bağımlılığı azaltmaya yönelik daha geniş bir stratejinin parçası olmuştur. Özellikle, Çin ile kurulan daha yoğun enerji boyutlu ilişkinin, bölgesel ve küresel dinamikleri etkileyen önemli jeopolitik sonuçları söz konusu olmuştur. Örneğin; Rusya'nın Çin'e yönelik doğal gaz ihracatı 2022 yılında artış göstermiştir. Öte yandan ilgili süreçte Dünya Bankası (DB), Uluslararası Enerji Ajansı (IEA), Birleşmiş Milletler (BM) gibi uluslararası kuruluşlar, enerji krizine yönelik müdahalelerin koordine edilmesinde önemli roller oynamışlardır. DB, savaş boyunca çok çeşitli ve sayıda sektöre yönelik destek sağlarken savaşın yaralarının sarılması için finansman ve yol gösterici olma özelliği göstermiştir. IEA, küresel enerji piyasalarının izlenmesinde ve politika önerileri sağlanmasında etkili olmuştur. Kuruluş, stratejik rezervlerin kullanımı da dahil olmak üzere enerji güvenliği ve çeşitliliğinin önemini vurgulayan, ülkelere rehberlik edecek çok sayıda rapor ve analiz yayınlamıştır. BM, sürdürülebilir ve adil bir enerji geçişinin gerekliliğini vurgulamıştır ve yenilenebilir enerjiye yatırımın artırılmasının yanı sıra gelişmekte olan ülkelerin enerjiye erişimlerini ve mukavemetlerini artırmalarına destek verilmesi gerektiğini savunmuştur. Ayrıca, krize yönelik çözüm arayışları kapsamında finansman sağlanması konusunda harekete geçmiş ve uluslararası gayretleri koordine etmiştir. Bu kapsamda BM, özellikle gelişmekte olan ülkelerdeki yenilenebilir enerji projelerine yönelik finansmanı harekete geçirmiştir. Diğer taraftan, planlanan ve uygulanan yaptırımlar, savaşa dair verilen uluslararası tepkide önemli bir araç olmuştur ve Rusya ekonomisinin çeşitli yönlerini hedef alarak rotasını değiştirmesi için baskı yapmayı amaçlamaktadır. Özellikle Batılı ülkeler tarafından uygulanan ve dolayısıyla ekonomisi zayıfladığı belirtilen yaptırımlar Rusya'nın ekonomik kapasitesini zayıflatmayı amaçlamıştır ancak bunların etkinliği ve uzun vadeli etkileri tartışma konusu olmaya devam etmektedir (World Bank, 2023; United Nations Foundation, 2023; International Energy Agency, 2023; United Nations Ukraine, t.y.; Zubytska, 2024; European Union, t.y.; Council of the European Union, 2023c; The Economist, 2022; Enerdata, 2023; Council of the European Union, 2023d).

RUSYA-UKRAYNA SAVAŞI'NIN KÜRESEL DOĞAL GAZ PİYASASINA ETKİLERİ

Orta Doğu çatışmaları, COVID-19 Pandemisi ve Rusya-Ukrayna Savaşı gibi küresel krizler yaratan olaylar, herkes için kapsayıcı biçimde uygun fiyatlı, güvenilir, sürdürülebilir ve modern enerji sağlanması hususundaki girişimleri sektöre uğratmıştır. Bu durum, özellikle enerji fiyatlarını istikrara kavuşturma konusunda sınırlı kapasiteye sahip olan gelişmekte olan ülkeleri etkilerken enerjiye ulaşım sorunlu hale gelmiş ve küresel ekonomik faaliyetlerde aksamalara yol açmıştır (World Bank, t.y.).

Rusya ve Ukrayna arasındaki savaş, enerji kapsamındaki çok çeşitli emtialarda fiyat istikrarsızlıklarının artmasına neden olmuştur ve bu durum 1970'lerde yaşanan petrol şoklarıyla mukayese edilebilecek düzeydedir. Doğal gaz açısından savaşın etkileri incelendiğinde, başlangıcından bugüne kadar geçen süreçte fiyatlarında yüksek düzeyde dalgalanmalar yaşanmıştır. Rusya'daki arzın kesintiye uğraması ve LNG gibi alternatif kaynaklara olan talebin artması, fiyatların rekor seviyelere çıkmasına neden olmuştur. Bu dalgalanmanın küresel piyasalarda hem üreticileri hem de tüketicileri etkileyen tesirleri söz konusu olmuştur. Fiyatlardaki hızlı dalgalanmalar ile birlikte bir belirsizlik ortamı meydana gelmiş ve bunun yanında işletmeler ile haneler açısından enerji maliyetlerinde yüksek düzeyde artışlar yaşanmıştır. Savaşın ilk şoku, yaşanabilecek doğal gaz arzı kesintileri potansiyeline piyasaların tepki

vermesi ve alternatif tedarik kaynakları arayışlarıyla doğal gaz fiyatlarının yükselmesine neden olmuştur. Savaşın ilk altı ayında doğal gaz fiyatları iki kattan fazla artış göstermiştir. Dahası, doğal gaz fiyatlarındaki oynaklık spekülasyonlar ve piyasa dinamikleri nedeniyle daha da artmıştır. İstikrar eksikliği, işletmelerin enerji maliyetlerini planlamasını ve bütçelemesini zorlaştırarak ekonomik faaliyetleri ve büyümeyi etkilemiştir. Ülkeler, fiyatlardaki dalgalanmalara karşılık olarak piyasayı istikrara kavuşturmak için çeşitli önlemler uygulamaya koymuşlardır. Bu önlemlerden bazıları doğal gaz rezervlerinden gerçekleştirilen stratejik salınımlar, tüketiciler üzerindeki etkiyi hafifletmeye yönelik sübvansiyonlar ve yerli veya alternatif kaynaklardan üretimi artırma çalışmaları şeklindedir. Bu önlemlere rağmen piyasa, süregelen belirsizliği ve savaşla ilişkili riskleri yansıtacak şekilde istikrarsızlığını sürdürmüştür (CEPR, 2023a; Anadolu Ajansı, 2023b; Eurostat, 2023; ICIS, 2024; World Bank, 2024b).

Küresel ticaret modellerindeki değişiklikler dikkate alındığında, ticaret yollarının yeniden tahsisi savaşın en dikkate değer etkilerinden birisi olmuştur. Avrupa ülkelerinin Rus doğal gazına bağımlılığını azaltma çabalarıyla birlikte ABD ve Katar'dan LNG ithalatında da ciddi bir artış yaşanmıştır. Asya pazarlarında da LNG tedarikine yönelik rekabetin artmasıyla birlikte değişimler yaşanmıştır. Bu süreçte meydana gelen ticaret kalıplarındaki değişiklikler, küresel enerji dinamiklerini yeniden şekillendirirken jeopolitik gelişmelere uyum sağlama çabalarını da etkilemiştir. Avrupa ülkeleri yoğun bir şekilde Rusya'nın arzının yerini alacak alternatif doğal gaz kaynakları arayışına girmiştir. Ayrıca ABD, Katar ve diğer bölgelerdeki üreticilerle uzun vadeli LNG sözleşmelerinin imzalanması söz konusu olmuştur. Artan LNG ithalatı, LNG terminallerinin inşası ve genişletilmesi de dahil olmak üzere altyapıya önemli yatırımlar yapılmasını gerekli kılmıştır. Ticaret kalıplarında yaşanan değişim aynı zamanda küresel LNG pazarının dinamiklerini de etkilemiştir. Daha önce Rus doğal gazına bağımlı olan ülkeler, LNG tedariki için Asyalı alıcılara rekabet etmek zorunda kalırken bu durum fiyatların yükselmesine ve pazar rekabetinin artmasına neden olmuştur. Bu durum ise LNG üreticilerine fayda sağlarken ithalatçı ülkeler için maliyet ve arz istikrarı açısından zorluklar yaratmıştır (Chatham House, 2023; CEPR, 2023a; Steinbach, 2023).

Ayrıca, Rusya ve Ukrayna arasındaki savaş, küresel doğal gaz tedarik zincirlerinde önemli aksamalara neden olmuştur. Batının Rusya'ya yönelik yaptırımları ve Rusya'nın misilleme tedbirleri, tedarik yollarının yeniden yapılandırılmasına ve alternatif kaynaklar için mücadeleye yol açmıştır. Kuzey Akım (Nord Stream) boru hattı sabotajı gibi kritik altyapıya verilen hasarlar bu zorlukları daha da artırmıştır. Bu kesintilerin enerji güvenliği, ekonomik istikrar ve jeopolitik dinamikler üzerinde bir hayli geniş kapsamlı etkileri olmuştur. Batılı ülkeler tarafından uygulanan yaptırımlar, finansal işlemler, teknoloji transferleri ve Gazprom gibi önemli enerji şirketlerinin operasyonları da dahil olmak üzere Rusya'nın doğal gaz endüstrisinin çeşitli yönlerini hedef almıştır. Bu yaptırımlar, Rusya'nın doğal gaz ihracat etme kabiliyetini kısıtlayarak onu alternatif pazarlar ve rotalar aramaya zorlamıştır. Avrupa'ya Rusya'nın doğal gaz ihracatı 2022 yılında çok ciddi düzeylerde azalırken, buna karşılık Rusya, Çin ve Hindistan gibi ülkelere ihracatını artırarak bu pazarları güvence altına almak için görece düşük fiyatlar sunmuştur. Rusya'nın misilleme olarak ortaya koyduğu önlemler arasında Avrupa'ya gaz arzını kesme uyarıları ve önemli boru hatlarından gaz akışının fiilen azaltılması yer almıştır. Bu hamleler, enerji arzını jeopolitik bir araç olarak kullanmaya yönelik daha geniş bir stratejinin parçası olmuştur. Doğal gaz akışlarındaki azalma, Avrupa'da önemli arz sıkıntılarına yol açarak alternatif doğal gaz kaynaklarına yönelik rekabetin artmasına neden olarak sonuçlanmıştır. Kuzey Akım boru hatlarının Eylül 2022'de sabote edilmesi, tedarik zincirlerindeki bozulmada önemli bir artışa işaret etmiştir. Boru hatlarına zarar veren patlamalar, gaz akışını günde 100 milyon metreküpten fazla azaltarak Avrupa arzını önemli ölçüde etkilemiştir. Bu olay, kritik enerji altyapısının jeopolitik çatışmalara karşı savunmasızlığını ortaya çıkarmıştır ve güvenlik önlemlerinin yeniden değerlendirilmesine yol açmıştır (Council of the European Council, 2023c; BBC News Türkçe, 2022; Karan vd., 2024; Council of the Wuropean Union, 2023d).

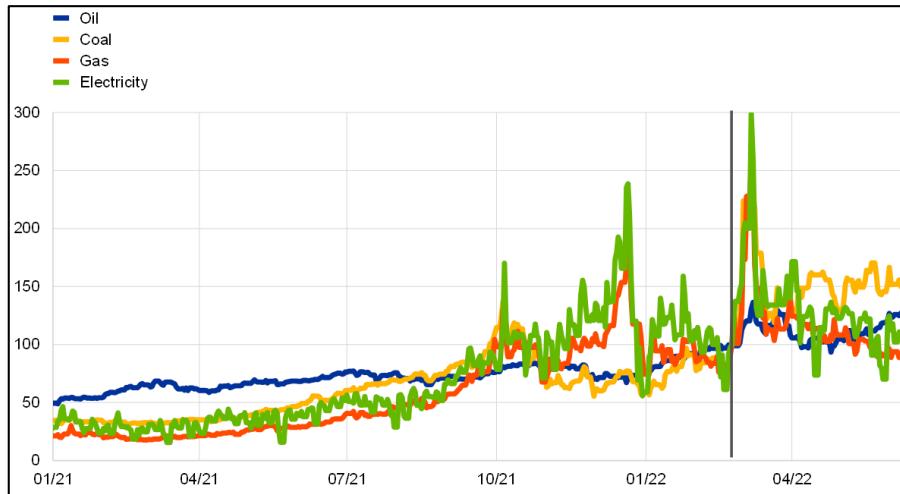
RUSYA-UKRAYNA SAVAŞI'NIN BÖLGESEL DOĞAL GAZ PİYASALARINA ETKİLERİ

Rusya ile Ukrayna arasında süregelen savaşın özellikle Avrupa, Asya ve Kuzey Amerika bölgeleri açısından etkilerinin incelenmesi, savaşın küresel boyutlu etkilerinin yanı sıra denklemleri oluşturan parçalar açısından bölgesel etkileri de önem arz etmektedir.

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

Avrupa

Avrupa açısından savaşın doğal gaz piyasasına etkileri dikkate alındığında öncelikle Rus doğal gazına yüksek düzeydeki bağımlılığı, Avrupa'yı özellikle arz kesintilerine karşı savunmasız hale getirmektedir. Bölgenin doğal gaz bağımlılığı, mevcut krizi daha da etkili hale getiren tarihi, ekonomik ve coğrafi faktörler tarafından şekillendirilmiştir. Almanya, İtalya ve Avusturya gibi ülkeler, enerji kaynaklarını çeşitlendirmeye çalıştıkça talep fazlası ve yüksek enerji maliyetleriyle karşı karşıya kalmışlardır. Tarihsel olarak Avrupa, yakınlığı ve iki bölgeyi birbirine bağlayan kapsamlı boru hattı altyapısı nedeniyle Rus gazına güvenmekteydi. Bu güven, uzun vadeli sözleşmeler ve rekabetçi fiyatlandırma ile güçlenmekte ve Rus gazını Avrupa ülkeleri için cazip bir seçenek haline getirmektedir. Ancak ilgili bağımlılık, Avrupa'yı özellikle jeopolitik gerginlik dönemlerinde önemli risklerle de karşı karşıya bırakmıştır. Savaş ile ortaya çıkan kriz, bu bağımlılığın kırılma noktalarını ortaya çıkarmış ve enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesine yönelik çabalara yol açmıştır. Dolayısıyla Avrupa ülkeleri yenilenebilir enerji, LNG altyapısı ve enerji verimliliği tedbirlerine yönelik yatırımları hızlandırmıştır ve Rus doğal gazına olan bağımlılığı azaltmayı ve uzun vadede enerji güvenliğini artırmayı amaçlamaktadır. Kısa vadeli etkiler incelendiğinde Avrupa, şirketlerin ve hane halkının benzeri görülmemiş fiyat artışlarıyla karşı karşıya kalmasıyla önemli derecede enerji krizleri yaşamıştır. Hükümetler arzı güvence altına almak ve ekonomik olumsuz etkileri hafifletmek için acil durum tedbirleri uygulamak zorunda kalmışlardır. Uzun vadede ise bölgede yenilenebilir enerjiye yapılan yatırımların ve enerji verimliliği önlemlerinin artmasıyla birlikte daha da çeşitlendirilmiş bir enerji bileşimi görülmesi muhtemeldir. Kriz, daha yeşil enerji kaynaklarına geçişi hızlandırırken gelecekteki enerji konjonktürü açısından önemli sonuçlar doğurmuştur. Avrupa Yeşil Mutabakatı gibi politika girişimleri karbon emisyonlarını azaltmayı ve enerji güvenliğini artırmayı amaçlamaktadır. Avrupa ülkeleri, krizin etkilerini hafifletmek için çeşitli politika önlemleri uygulamaya koymuşlardır. Bunlar arasında temel olarak sübvansiyonlar, yenilenebilir enerjiye yönelik vergi teşvikleri ve kaynak çeşitlendirme adına Rus olmayan tedarikçilerle stratejik ortaklıklar yer almaktadır. Örneğin; AB'nin REPowerEU Planı, 2030 yılına kadar Rusya'nın fosil yakıtlarına olan bağımlılığı önemli ölçüde azaltmayı hedeflemektedir. Ayrıca, Avrupa açısından enerji piyasalarındaki etkileri daha geniş perspektiften görebilmek açısından çeşitli enerji emtialarının savaş öncesi ve sonrası fiyatları Şekil 1 aracılığı ile incelenebilir (European Central Bank, 2022; Council of the European Union, 2023a; Council of the European Union, 2023b; UK Parliament, 2022; Enerdata, 2023; European Parliament, 2024; International Monetary Fund, 2022; International Energy Agency, 2023).



Şekil 1. Rusya-Ukrayna Savaşı Öncesi ve Sonrası Avrupa Enerji Fiyatları (Endeks, 23 Şubat 2022=100).

Kaynak: European Central Bank, 2022.

Asya

Arz kaynaklarındaki değişimler açısından Asya bölgesi incelendiğinde başta Çin ve Hindistan olmak üzere Asya ülkeleri, Batı'nın Rusya'ya uyguladığı yaptırımlar nedeniyle düşük seviyeli fiyatlardan

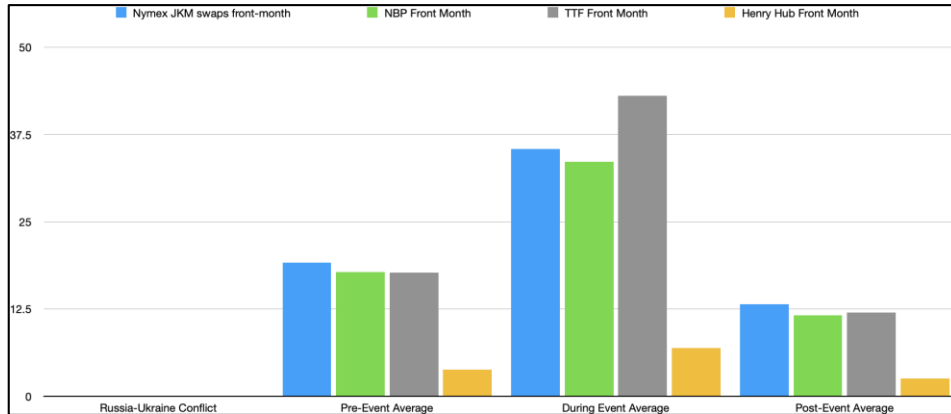
INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

yararlanarak Rus doğal gazı ithalatını artırırken diğer taraftan enerji güvenliğini artırmak için kaynaklarını çeşitlendirmeye çalışmışlardır. Ayrıca, arz kaynaklarındaki değişimler ekonomik, stratejik ve jeopolitik gelişmelerden etkilenmişlerdir. Özellikle Çin, Rusya'nın artan doğal gaz arzının karşılanmasında önemli bir rol oynamıştır. Uzun vadeli sözleşmeler ve Power of Siberia boru hattı gibi altyapı projeleri ise bu değişimi kolaylaştırmıştır. Artan enerji talebi ve Rusya ile stratejik ortaklığı, Çin'i Rus doğal gaz ihracatı açısından kilit bir pazar haline getirmiştir. Hindistan, uygun fiyat avantajından yararlanarak Rus gazı ithalatını artırmıştır ancak enerji kaynaklarını çeşitlendirmek ve yerli üretimi artırmak amacıyla dengeli bir yaklaşım izlemiştir. Hindistan, enerji ihtiyacını güvence altına almak adına çeşitli tedarikçilerle anlaşmalar imzalamıştır ve LNG altyapısına yatırım yapmıştır. Rus gazına olan bağımlılığın artması ve ticaret kalıplarındaki değişim, Rusya ile Asya arasındaki enerji bağlarını güçlendirerek daha geniş anlamda jeopolitik dinamikleri ve dış politika kararlarını da etkilemiştir. Ticaret stratejilerindeki değişim her iki taraf için de yeni fırsatlar ve zorluklar yaratmıştır. Elde edilen ekonomik avantajlar arasında enerji maliyetlerinin azalması ve enerji güvenliğinin artması yer almaktadır. Rus doğal gazının uygun fiyatlandırılması, ithalatçı ülkelere ekonomik açıdan avantaj sağlayarak ekonomik büyümeyi ve istikrarı desteklemiştir. Ancak tek bir tedarikçiye olan bağımlılığın artması, uzun vadeli güvenlik ve çeşitlilik konusundaki endişeleri yine artırmıştır. Ayrıca, Rusya ile Çin arasındaki yakınlaşma ile ortaya çıkan enerji ilişkisinin, bu bağlamda küresel jeopolitika üzerinde birtakım etkileri söz konusudur (Oxford Institute for Energy Studies, 2022; East Asia Forum, 2022; International Institute for Strategic Studies, 2023; FES, 2021; National Bureau of Asian Research, 2023; International Monetary Fund, 2022; International Energy Agency, 2023).

Kuzey Amerika

Savaşın Kuzey Amerika bölgesi doğal gaz piyasasına dair etkileri incelendiğinde ABD, Avrupa ve Asya'ya LNG ihracatını önemli ölçüde artırarak krizi avantaja dönüştürmüştür. Enerji ihracatının stratejik kullanımı ABD dış politikasının önemli bir bileşeni olmuştur. Bu durum küresel doğal gaz pazarındaki konumunu güçlendirmiş ve ekonomik fayda sağlamıştır. ABD, enerji ihracatını ve nüfuzunu artırmak için geniş kaya gazı rezervlerinden de yararlanmış. LNG ihracat altyapısına yapılan yatırımlar, yeni terminallerin devreye girmesi ve mevcut terminallerin kapasitesinin artması bu büyümeyi kolaylaştırmıştır. Artan ihracat, ABD enerji sektöründe ekonomik büyümeyi ve istihdam yaratılmasını desteklemiştir. ABD, jeopolitik etkisini artırarak küresel LNG pazarında vazgeçilmez bir oyuncu olarak ortaya çıkmıştır. Artan ihracatın, ABD pazarındaki yüksek doğal gaz fiyatları da dahil olmak üzere çeşitli yurt içi etkileri de söz konusu olmuştur. Ancak LNG altyapısına yapılan yatırımların artması ve enerji sektöründe istihdam yaratılmasıyla birlikte genel etkinin olumlu şekilde olduğu ifade edilebilir (International Energy Agency, 2023; Steinbach, 2023).

Rusya ile Ukrayna arasındaki savaş kapsamında ilgili ülkeler ve bölgeler kapsamında verilere dayalı incelemeler gerçekleştirilecek olursa:



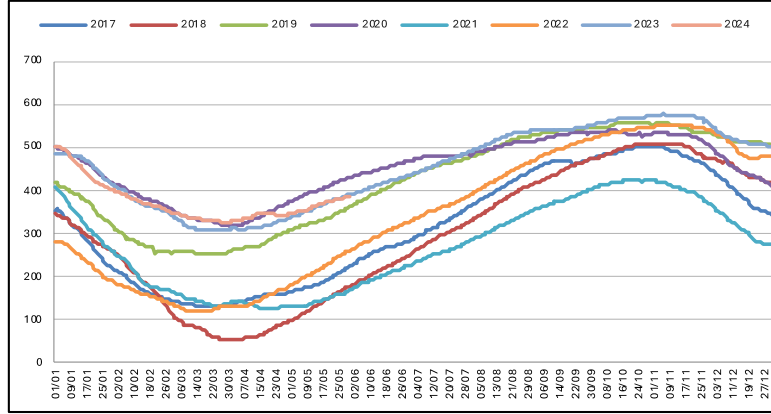
Şekil 2. Savaşın Başlangıç Dönemi ile Öncesi ve Sonrasının Karşılaştırması.

Kaynak: Refinitiv Eikon

Şubat 2022'de Rusya'nın Ukrayna'ya saldırmasından sonra özellikle Avrupa'da başlayan enerji krizi tüm dünyaya yüksek enerji fiyatları olarak yansımıştır. 2020-2021 yıllarında COVID-19 Pandemisi ile darbe

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

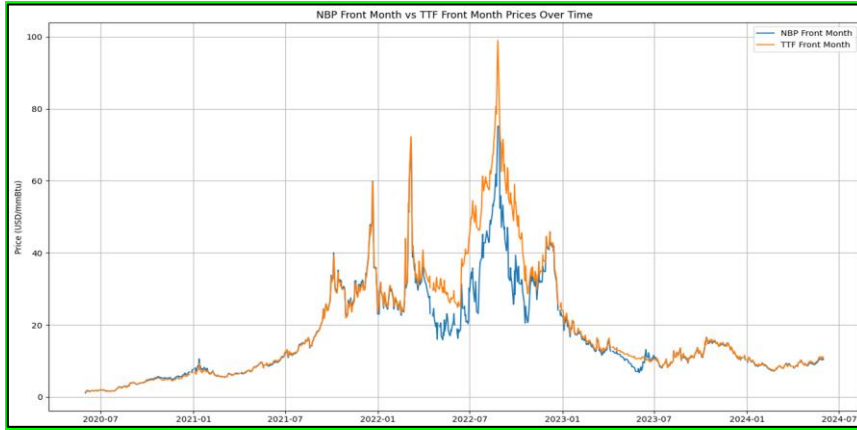
Yiyen enerji talebi, pandeminin hemen sonrasında toparlanmaya başlamışken Rusya'nın Ukrayna'ya saldırması ile Avrupa devletlerinin Rusya'ya tepki olarak doğal gaz alımını kesmesi sonrasında talep temelli bir krizden arz temelli bir krize dönüşüm gerçekleşmiştir. Hem Avrupa devletlerinin Rusya'ya yaptırım amaçlı olarak boru hattı gazı alımını durdurması hem de Nord Stream 2 boru hattının patlamasıyla birlikte Rusya'dan Avrupa'ya giden gaz akışında sorunlar yaşanmaya başlamıştır. Avrupa'nın Rusya ile olan mücadelesinde Rusya'ya olan enerji bağımlılığını azaltma çabası Avrupa'ya akan Rus gazının neredeyse sıfırlanmasına yol açmıştır. Ayrıca Şekil 2'den görülebileceği üzere savaşın başladığı zaman dilimindeki benchmark fiyat artışları öncesi ve sonrasına göre daha yüksek düzeyde gerçekleşmiştir.



Şekil 3. Avrupa Mevsimsel Doğal Gaz Stok Değişimleri.

Kaynak: Refinitiv Eikon

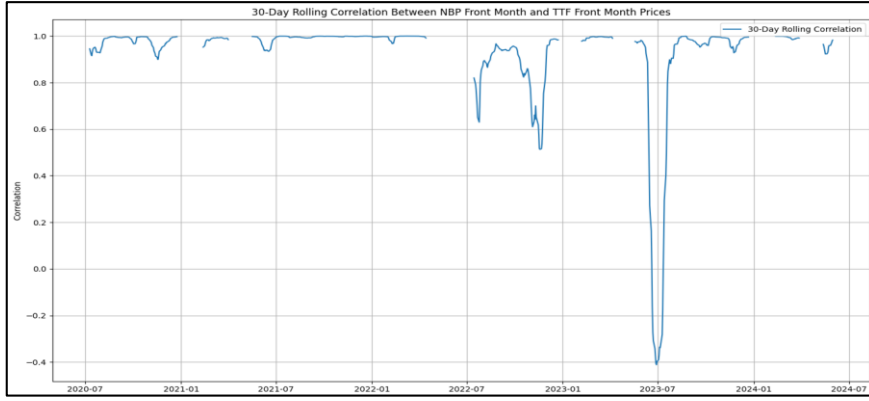
Avrupa ülkeleri ilk önlem olarak Avrupa'nın yeraltı doğal gaz stoklarının düşmesini engellemek adına talepteki mevsimselliği bozarak yaz aylarında da yüksek ithalat hacmini devam ettirmiştir. Bu durumun gerçekliği, Şekil 3'te gözlemlenebileceği üzere Kuzeybatı Avrupa stoklarının yaz aylarındaki seviyesinin daha önceki seviyelerden yüksek olması ile açıklanabilmektedir.



Şekil 4. LNG İthalat Fiyatları Korelasyon Analizi (2020-2024).

Kaynak: Refinitiv Eikon.

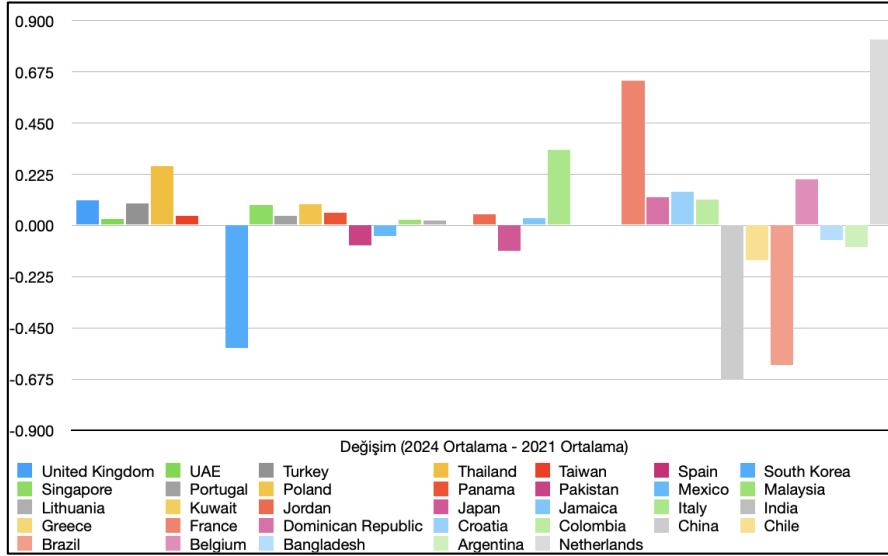
INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES



Şekil 5. LNG İthalat Fiyatları 30 Günlük Yuvarlanan Korelasyon Analizi.

Kaynak: Refinitiv Eikon

Rusya-Ukrayna Savaşı öncesinden başlayarak ortaya konacak ilgili yıllar kapsamında gerçekleştirilen korelasyon analizi, küresel LNG piyasalarının birbirine bağlı yapısını, Avrupa ve Asya fiyatları arasındaki güçlü ilişkileri ve Kuzey Amerika fiyatları üzerindeki farklı etkileri vurgulamak açısından önem arz etmektedir. Şekil 4 ve Şekil 5'teki verilere göre daha önce birlikte hareket eden İngiltere NBP ve Avrupa TTF doğal gaz benchmark fiyatlarının 2022 yaz ayları ile ayrışmaya başladığı görülmektedir. Bu ayrışmanın temel sebebi İngiltere'nin kendi doğal gaz kaynakları ile beraber enerji enflasyonunu daha rahat yönetebilmesi ve Rus doğal gazına olan bağımlılığının çok düşük olmasıdır. Buna ek olarak, Avrupa ülkeleri azalan Rus boru hattı doğal gazına karşılık çözümü ABD'den yapılan LNG ithalatını artırma yoluyla karşılamayı denemişlerdir.

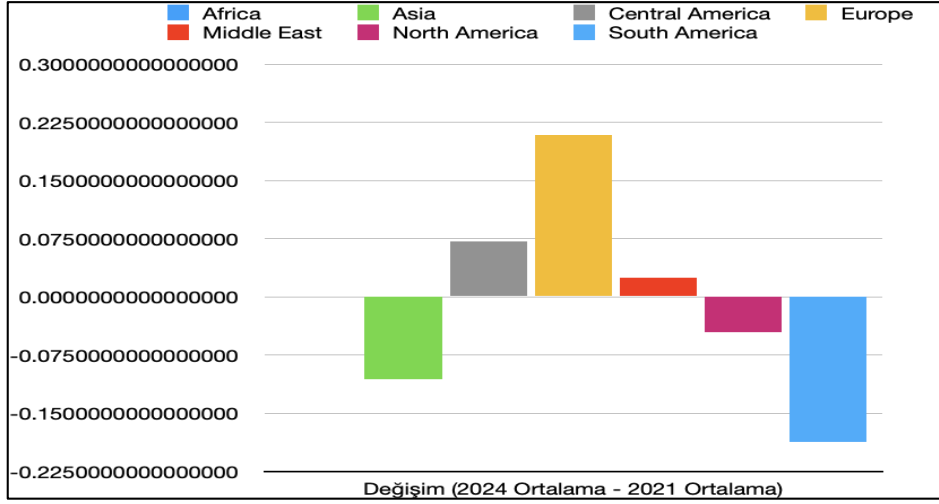


Şekil 6. Ülkelere Göre ABD'nin Yıllık Ortalama LNG İhracatı Değişimi (2024-2020).

Kaynak: Refinitiv Eikon

Şekil 6'ya göre 2021 ile 2024 yılları arasında ABD'nin LNG ihracatı gerçekleştirdiği ülkelere bakıldığında, ihracatın en çok Avrupa ülkelerinde arttığı gözlenmektedir. Her ne kadar hacimsel karşılık olarak azalan Rus doğal gazına karşı Avrupa'nın fiziki sorununu çözmüş gibi görünse de göreceli ucuz olan boru hattı gazına karşılık ABD LNG'si Avrupa'nın enerji maliyetini artırmıştır. Bu durum ise NBP ve TTF fiyatları arasındaki ayrışım olarak karşımıza çıkmaktadır. Rusya'nın hali hazırda kısıtlı olarak Avrupa'ya gaz ihracatı devam etse de görünür gelecekte Rus doğal gazının Avrupa'daki pazar payını tekrar kazanması mümkün görünmemektedir. Rusya'nın doğal gazını başta Çin olmak üzere Asya pazarına satma fırsatı bulabilecekken Avrupa'nın, Rus gazını ikamesi birebir hacim olarak mümkün olmayacaktır. Bu da Avrupa'nın kalıcı olarak gaz talebi daralması ile karşı karşıya olduğu sorunu ortaya koymaktadır.

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES



Şekil 7. Bölgelere Göre ABD'nin Yıllık Ortalama LNG İhracatı Değişimi (2024-2020).

Kaynak: Refinitiv Eikon

Dünyada Rus doğal gazının ikamesi olarak ortaya çıkan ABD LNG'si, Asya pazarı için de bir kaynak olmuştur. Asya piyasası geleneksel olarak kaynak sıkıntısı çeken bir piyasa olduğundan enerji fiyatları her zaman dünya ortalamasının üzerinde kalmıştır. Rusya-Ukrayna Savaşı ile başlayan enerji krizi, Asya'nın enerji maliyetlerini de arttırmıştır. Ancak Asya ekonomileri, Avrupa ekonomilerine göre ölçeksel olarak daha büyük ve arz kaynakları bakımından daha rekabetçi olduğundan yukarı çekilen Asya fiyatlarına rağmen Asya ithalatında kısıtlama olmamış ve bu durum doğrudan Avrupa fiyatlarını etkilemiştir. ABD LNG'sinin Avrupa'dan sonra hacmini en çok arttırdığı ikinci piyasa Asya piyasası olmuştur. Her ne kadar ABD iç piyasasında gaz ticareti için temel fiyat Henry Hub benchmarkı olsa da ABD gazının uluslararası piyasada fiyatlamasında halen ağırlıklı olarak petrol endeksi fiyatlama yöntemi kullanılmaktadır. Avrupa piyasası TTF ve NBP gibi hublar ile bu etkiyi azaltmaya çalışsa da Asya piyasasında bu tür bir hub olmaması nedeniyle Asya piyasası için petrol endeksli fiyatlama hala tek seçenektir. Rus ham petrolüne uygulanan ambargolar nedeniyle petrol fiyatlarında da bir dalgalanma yaşanmıştır. Asya piyasası hem petrol fiyatlarındaki dalgalanma hem de Rus doğal gazını kesen Avrupa'nın artan LNG talebi ile birlikte daha yüksek LNG maliyetleriyle karşı karşıya kalmıştır (Şekil 7).

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Rusya-Ukrayna Savaşı, küresel ve bölgesel doğal gaz piyasalarını derinden etkileyerek arzda aksamalara, fiyat dalgalanmalarına ve ticaret stratejilerinde değişimlere neden olmuştur. Ekonomik ve jeopolitik sonuçları çok geniş kapsamlı olan krizin enerji güvenliği, piyasa istikrarı gibi faktörler üzerinde uzun vadeli etkileri söz konusudur. Yaşanan kriz, küresel enerji sistemiyle ilişkili zayıf noktaları ve riskleri ortaya çıkarmış, dayanıklılık ve sürdürülebilirliği artırmaya yönelik küresel bir motivasyona sebep olmuştur.

Savaş nedeniyle Rus doğal gazının piyasadaki çekilmesiyle yaşanan sorunlar ABD LNG'sinin piyasaların imdadına yetişme sürecine kadar endüstriyel talebin kalıcı olarak çok düşük seviyelere gerilemesine ve hatta pandemi döneminin bile altında kalmasına sebep olmuştur. Doğal gaz fiyatlarında meydana gelen dalgalanmalar ve artışın yüksek olduğu savaşın başlangıç dönemi konjonktürü daha da olumsuz etkilemiştir. Bu dönemin başlangıcında özellikle krizden en çok etkilenen bölgelerden başı çeken Avrupa ve Asya'daki fiyatlarda tarihi rekorlar ve çok yüksek dalgalanmalar yaşanmış olmakla birlikte Avrupa'nın talebinin azalmasıyla fiyatların bir nebze de olsa yerine oturduğu görülmektedir. Ayrıca tekrar fiyat dalgalanmalarının yaşanmaması adına Avrupa, çeşitli kaynaklardan beslenerek doğal gaz stoklarının düşmesine mâni olmuştur. Bu durum İngiltere'nin Avrupa sisteminden bağımsız hareket etmesi ve Avrupa'nın stoklama stratejisi nedeniyle NBP ve TTF arasındaki fiyat ayrışmasından da açıkça görülmektedir. Diğer taraftan COVID-19 Pandemisi ile zarar gören doğal gaz talebinin toparlanmaya çalıştığı ancak bu sefer de arzın aynı hızla toparlanamadığı bir dönemin de başladığı bir süreç yaşanmıştır. Bunun yanında tedarik zincirlerinde, siyasi ve politik ortaklıklarda, kaynak

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

çeşitlendirmesinde ve ticaret stratejileri gibi konularda ortaya çıkan sorunlar, krizi daha da derinleştirmiştir.

Rusya ve Ukrayna arasındaki savaş kapsamında elde edilen tecrübeler ışığında doğal gaz piyasalarının uzun vadeli görünümüne dair değerlendirmeler gerçekleştirildiğinde arz kaynaklarının çeşitlendirilmesi, proaktif önlemler alınması, verimliliğin artırılması, güvenlik açıklarının kapatılması ve yenilenebilir enerjiye daha fazla vurgu yapılması gibi önemli değişiklikleri içereceği ön görülmektedir. Mevcut krizin tüm dünyaya gösterdiği gibi ilgili önlemler alınmadığı takdirde jeopolitik açıdan küresel enerji politikalarını ve ticaret dinamiklerini etkileyerek gelişmelerin devam edeceği ön görülmektedir. Tedarik kaynaklarının çeşitlendirilmesi birçok ülke için kritik bir odak noktası olacaktır. Tek bir tedarikçiye veya bölgeye güvenmenin önemli bir risk olarak ortaya çıkması, alternatif kaynakları güvence altına alma gerekliliğini gözler önüne sermektedir. Ayrıca, enerji güvenliğini artırmak için LNG altyapısına depolama tesislerine, teknolojik gelişmeye, yenilenebilir enerjiye ve yerli üretime yapılan yatırımlar artış trendini sürdürecektir. Yenilenebilir enerjinin küresel enerji bileşiminde giderek daha önemli bir rol oynayacağı düşünülmektedir. Yaşanan kriz nedeniyle güneş, rüzgâr ve diğer yenilenebilir enerji projelerine yapılan yatırımların artması, daha yeşil enerji kaynaklarına geçişi hızlandırmıştır. Dolayısıyla bir taraftan sürdürülebilirlik ve çevresel hedeflere odaklanmak, sektörde daha fazla ilerleme ve yeniliğe yol açacaktır. Diğer taraftan jeopolitik görünüm, enerji piyasalarını giderek daha da etkilemeye devam edecektir. Küresel enerji piyasalarının birbirine giderek daha fazla entegre olmasının, bir bölgedeki aksaklıkların küresel çapta dalgalanma etkileri yaratabileceği anlamına geldiğinden atılacak adımlar daha karmaşık ve detaylı sonuçlara neden olacaktır. İttifaklar ve ticari ilişkilerin yeniden düzenlenmesi enerji arz ve talebinin dinamiklerini şekillendirecek, ülkelerin uluslararası ilişkiler boyutunda ekonomik ve stratejik kaygıları dengeleyerek yol alması gerekecektir. Enerji güvenliğine yönelik kapsamlı stratejik planlama ve yatırımlar bu risklerin azaltılması açısından hayati önem arz etmektedir.

Sonuç olarak halen devam eden Rusya-Ukrayna Savaşı ve benzeri diğer gelişmeler, küresel enerji piyasalarının birbirine entegrasyonu yanında dayanıklı ve çeşitlendirilmiş enerji sistemlerinin önemini; herkes için sürdürülebilir ve güvenli enerji erişiminin sağlanmasına odaklanılması gerektiğini; uluslararası ilişkiler ile enerji ekonomisi bağlamını tüm dünyaya bir kez daha göstermiş durumdadır. Doğru şekilde değerlendirildiğinde mevcut kriz ile elde edilen tecrübeler gelecekteki stratejilere ve kararlara ışık tutacak, yaşanabilecek sorunlara karşı hazırlıklı ve dirençli halde olunmasına katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Allianz (2023, Mart 1). *The Russia-Ukraine war: Economic implications*. Erişim Adresi: https://www.allianz.com/en/economic_research/insights/publications/specials_fmo/russia-war-economy.html

Anadolu Ajansı (2022a, Ağustos 24). *Gas, coal prices double 6 months into Russia-Ukraine war*. Erişim Adresi: <https://www.aa.com.tr/en/economy/gas-coal-prices-double-6-months-into-russia-ukraine-war/2669095>

Anadolu Ajansı (2022b, Aralık 27). *War in Ukraine makes energy one of Europe's top crises in 2022*. Erişim Adresi: <https://www.aa.com.tr/en/europe/war-in-ukraine-makes-energy-one-of-europes-top-crises-in-2022/2775941>

Anadolu Ajansı (2023a, Şubat 24). *A year into Russia's war in Ukraine: Energy crisis deepens, but renewables emerge stronger*. Erişim Adresi: <https://www.aa.com.tr/en/economy/a-year-into-russias-war-in-ukraine-energy-crisis-deepens-but-renewables-emerge-stronger/2825355>

Anadolu Ajansı (2023b, Mayıs 6). *Natural gas prices hit record levels as Russia-Ukraine war rages*. Erişim Adresi: <https://www.aa.com.tr/en/energy/natural-gas/natural-gas-prices-hit-record-levels-as-russia-ukraine-war-rages/34766>

BBC News Türkçe (2022, Nisan 15). *Ukrayna'daki savaşın enerji piyasalarına etkisi*. Erişim Adresi: <https://www.bbc.com/turkce/articles/c3gvmv9y2x8o>

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

Brookings (2023, Mart 5). *The Russia-Ukraine war and its ramifications for Russia*. Erişim Adresi: <https://www.brookings.edu/articles/the-russia-ukraine-war-and-its-ramifications-for-russia>

CEPR (2023a, Şubat 6). *The European energy crisis and the consequences for the global natural gas market*. VoxEU. Erişim Adresi: <https://cepr.org/voxeu/columns/european-energy-crisis-and-consequences-global-natural-gas-market>

CEPR (2023b, Mart 3). *The Russian economy on a war footing: The new reality financed by commodity exports*. VoxEU. Erişim Adresi: <https://cepr.org/voxeu/columns/russian-economy-war-footing-new-reality-financed-commodity-exports>

Chatham House (2023, Eylül 13). *Consequences of the war in Ukraine for climate, food, and energy security*. Erişim Adresi: <https://www.chathamhouse.org/sites/default/files/2023-09/2023-09-13-consequences-war-ukraine-climate-food-energy-brown-et-al.pdf>

Council of the European Union (2023a). *EU response to Ukraine invasion*. Erişim Adresi: <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/eu-response-ukraine-invasion>

Council of the European Union (2023b). *Impact of Russia's invasion of Ukraine on the markets: EU response*. Erişim Adresi: <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/eu-response-ukraine-invasion/impact-of-russia-s-invasion-of-ukraine-on-the-markets-eu-response>

Council of the European Union (2023c). *Timeline: Sanctions against Russia*. Erişim Adresi: <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/sanctions-against-russia/timeline-sanctions-against-russia>

Council of the European Union (2023d). *Timeline: Energy prices and security of supply*. Erişim Adresi: <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/energy-prices-and-security-of-supply/timeline-energy-prices-and-security-of-supply>

East Asia Forum (2022, Nisan 21). *Russia's war on Ukraine threatens Southeast Asia's economic recovery*. Erişim Adresi: <https://eastasiaforum.org/2022/04/21/russia-war-on-ukraine-threatens-southeast-asias-economic-recovery>

Economics Observatory (2023, Ocak 15). *What is the current state of the Russian economy under sanctions?* Erişim Adresi: <https://www.economicsobservatory.com/what-is-the-current-state-of-the-russian-economy-under-sanctions>

Enerdata (2023, Mart 10). *Russia's gas export strategy and the EU market*. Erişim Adresi: <https://www.enerdata.net/publications/executive-briefing/russia-gas-export-strategy-eu-market.html>

European Central Bank (2022, Nisan). *How Russia's invasion of Ukraine is affecting the euro area economy*. Economic Bulletin. Erişim Adresi: https://www.ecb.europa.eu/press/economic-bulletin/focus/2022/html/ecb.ebbox202204_01~68ef3c3dc6.en.html

European Commission (2024, Şubat 15). *Focus: EU energy security and gas supplies*. Erişim Adresi: https://energy.ec.europa.eu/news/focus-eu-energy-security-and-gas-supplies-2024-02-15_en

European Parliament (2022, Aralık 20). *The impact of the Russia-Ukraine war on global energy markets*. Erişim Adresi: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/IDAN/2022/698930/EPRS_IDA\(2022\)698930_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/IDAN/2022/698930/EPRS_IDA(2022)698930_EN.pdf)

European Union (t.y.). *EU solidarity with Ukraine*. Erişim Adresi: https://eu-solidarity-ukraine.ec.europa.eu/index_en

Eurostat (2023). *Natural gas price statistics*. Erişim Adresi: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Natural_gas_price_statistics

FES (2022, Temmuz 21). *Ukraine: Impact on Asia and global order*. Erişim Adresi: <https://asia.fes.de/news/ukraine-impact-on-asia-and-global-order.html>

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

Global LNG Hub (2022, Mart). *European Gas: Russia-Ukraine*. Erişim Adresi: https://globallnghub.com/wp-content/uploads/2022/03/EuropeanGas_RussiaUkraine.pdf

Göral, E (2023). The impact of energy security on Turkish foreign policy. *LAÜ Sosyal Bilimler Dergisi*, XIV(I), 88-103.

ICIS (2024, January 19). *War in Ukraine: Gas crisis*. Erişim Adresi: <https://www.icis.com/explore/resources/news/2024/01/19/10733319/topic-page-war-in-ukraine-gas-crisis>

International Energy Agency (2023). *Russia's war on Ukraine*. Erişim Adresi: <https://www.iea.org/topics/russias-war-on-ukraine>

International Institute for Strategic Studies (2023). *Asia-Pacific regional security assessment 2023*. Erişim Adresi: <https://www.iiss.org/publications/strategic-dossiers/asia-pacific-regional-security-assessment-2023/aprsa-chapter-1>

International Monetary Fund (2022, Mart 15). *How the war in Ukraine is reverberating across world's regions*. IMF Blog. Erişim Adresi: <https://www.imf.org/en/Blogs/Articles/2022/03/15/blog-how-war-in-ukraine-is-reverberating-across-worlds-regions-031522>

International Monetary Fund (2024, March 1). *Medium-term macroeconomic effects of Russia's war in Ukraine and how it affects energy markets*. Erişim Adresi: <https://www.imf.org/en/Publications/WP/Issues/2024/03/01/Medium-term-Macroeconomic-Effects-of-Russias-War-in-Ukraine-and-How-it-Affects-Energy-544043>

Karan, M. B., Atıcı, K. B., Pirgaip, B., & Şahin, G. (2024). The Natural Gas War Between Europe and Russia After the Invasion of Ukraine. *The ESG Framework and the Energy Industry* (pp.61-84), Springer Cham.

National Bureau of Asian Research (2023). *China-Russia energy relations in the wake of the war in Ukraine*. Erişim Adresi: <https://www.nbr.org/publication/china-russia-energy-relations-in-the-wake-of-the-war-in-ukraine>

Oxford Institute for Energy Studies (2022, Ağustos). *Asian energy markets following the Russian invasion of Ukraine*. Erişim Adresi: <https://www.oxfordenergy.org/wpcms/wp-content/uploads/2022/08/Asian-Energy-Markets-Following-the-Russian-Invasion-of-Ukraine.pdf>

Refinitiv Eikon (t.y.). <https://eikon.refinitiv.com>

Reuters (2022, Aralık 13). *A year in: How Russia turbocharged a global energy crisis*. Erişim Adresi: <https://www.reuters.com/business/energy/year-russia-turbocharged-global-energy-crisis-2022-12-13/>

Şahin, G. (2021). *Natural gas economics in the scope of long-term contracts of Turkey*. Gazi Kitabevi.

Steinbach, S. (2023). *Impact of the Russia-Ukraine war on global energy markets*. *Journal of Economic and Financial Analysis*, 35(2), 45-60. Erişim Adresi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165176523001003>

The Economist (2022, Ağustos 25). *Are sanctions working?* Erişim Adresi: <https://www.economist.com/leaders/2022/08/25/are-sanctions-working>

UK Parliament (2022, Eylül 1). *The economic impact of the war in Ukraine*. House of Commons Library. Erişim Adresi: <https://commonslibrary.parliament.uk/research-briefings/cbp-9503>

United Nations Foundation (2023). *Ukraine*. Erişim Adresi: <https://unfoundation.org/ukraine>

United Nations Ukraine (t.y.). *Ukraine*. Erişim Adresi: <https://ukraine.un.org/en>

Wood Mackenzie (2023). *How the Russia-Ukraine war is changing energy markets*. Erişim Adresi: <https://www.woodmac.com/news/the-edge/how-the-russia-ukraine-war-is-changing-energy-markets>

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

World Bank (t.y.). *Energy: Overview.* Erişim Adresi: <https://www.worldbank.org/en/topic/energy/overview>

World Bank (2023, Kasım 30). *The World Bank and Ukraine: Laying the groundwork for reconstruction in the midst of war.* Erişim Adresi: <https://www.worldbank.org/en/results/2023/11/30/the-world-bank-and-ukraine-laying-the-groundwork-for-reconstruction-in-the-midst-of-war>

World Bank (2024a, Şubat 15). *Updated Ukraine recovery and reconstruction needs assessment released.* Erişim Adresi: <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2024/02/15/updated-ukraine-recovery-and-reconstruction-needs-assessment-released>

World Bank (2024b). *Global economic prospects.* Erişim Adresi: <https://www.worldbank.org/en/publication/global-economic-prospects>

World Economic Forum (2022, Kasım 14). *Russia-Ukraine invasion and the global energy crisis.* Erişim Adresi: <https://www.weforum.org/agenda/2022/11/russia-ukraine-invasion-global-energy-crisis>

Zubytska, L. (2024). *The global energy market and the Russia-Ukraine war.* Journal of Strategic Analysis, 28(3), 195-210. Erişim Adresi: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10402659.2024.2321953?src=>

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

BİR FAKÜLTE BİNASININ ELEKTRİK ENERJİSİNİN KARŞILANMASINDA GÜNEŞ PANELİ KULLANILMASI VE MALİYET ANALİZİ

UTILIZATION OF SOLAR PANELS FOR MEETING THE ELECTRICITY DEMAND OF A FACULTY BUILDING AND COST ANALYSIS

Enes MAVİ

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Kütahya, Türkiye.

ORCID ID: 0009-0002-0616-2943

Dr. Öğr. Üyesi Halit ARAT

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kütahya, Türkiye.

ORCID ID: 0000-0002-6634-2535

ÖZET

Yenilenebilir enerji kaynakları, çevre dostu ve sürdürülebilir enerji sağlama potansiyeline sahip güneş, rüzgar, hidroelektrik ve biyokütle gibi doğal kaynaklardan elde edilen enerji kaynaklarıdır. Bu kaynaklar, fosil yakıtların aksine yenilenebilir olduğu için çevreye daha az zarar vermekte ve gelecek nesiller için enerji güvenliğini sağlamaktadır. Gelişen ve yaygınlaşan kullanıma sahip yenilenebilir enerji kaynaklarından bir tanesi güneş enerjisidir. Özellikle güneş enerjisi, günümüzde enerji sektöründe önemli bir yer almakta ve maliyet faktörü de giderek daha belirleyici hale gelmektedir. Bu çalışmada, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi binalarının elektrik ihtiyacının karşılanmasında güneş enerjisinin kullanımı araştırılmış ve maliyet analizi yapılmıştır. Çalışmada fakülte binalarının yanında bulunan toplam 2205 m² olan B-D Blok otopark alanının tamamının üstüne düzlemsel güneş panelleri yerleştirilerek güç üretimi sağlanması amaçlanmıştır. Çalışmada kullanılan fotovoltaik güneş panelleri, invertör, konstrüksiyon ve diğer giderlerin toplam ilk yatırım maliyetleri çıkartılarak maliyet analizi ve bunun yanı sıra elektrik kullanımına bakılarak faturaya yansıyan bedelden santralin ilk yatırım maliyetini ve karşılama süresini 7,1 yıl hesaplanarak başa başnoktası bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Güneş kollektörü, Güneş enerjisi, Maliyet analizi, Başabaş noktası

ABSTRACT

Renewable energy sources are energy sources obtained from natural resources such as the sun, wind, hydroelectric, and biomass, which are environmentally friendly and provide sustainable energy. These sources, unlike fossil fuels, cause less harm to the environment and ensure energy security for future generations. One of the renewable energy sources with developing and widespread use is solar energy, especially in today's energy sector, where the cost factor is becoming increasingly determinative. In this study, the use of solar energy for meeting the electricity needs of the buildings of the Faculty of Engineering at Kütahya Dumlupınar University was investigated, and a cost analysis was conducted. It was aimed to provide power generation by installing flat solar panels on the entire B-D Block parking area, totaling 2205 m², adjacent to the Faculty buildings. The total initial investment costs of the photovoltaic solar panels, inverter, construction, and other expenses used in the study were calculated for cost analysis. In addition, the payback period for covering the initial investment cost of the plant from the amount reflected on the invoice according to the electricity usage scenario was calculated as 7.1 years to find the break-even point.

Keywords: Solar collector, Solar energy, Cost analysis, Breakeven point

GİRİŞ

Teknolojinin ilerlemesi ve sanayileşmenin hızlı bir şekilde yayılması, dünya genelinde sınırlı ve gelecekte tükenen fosil kaynaklarının hızla azalmasına yol açmaktadır. Bu süreçle birlikte kentlerde yaşam standartlarının yükselmesi, elektrik enerjisine olan talebi artırmaktadır. Fakat artan enerji ihtiyacını karşılamak için artık fosil yakıtlara değil, alternatif, ekonomik, yenilenebilir ve çevre dostu enerji kaynaklarına yönelmek gerekmektedir. Bu nedenle, sürdürülebilir elektrik enerjisi üretimi için fosil yakıtların yerine alternatif ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması büyük önem taşımaktadır (Arca ve Çıtıroğlu 2022). Şu anki enerji kaynakları çeşitliliğine rağmen, talep edilen enerjinin büyük bir kısmı hala fosil kaynaklardan elde edilmektedir. Fosil kaynakların oluşumu asırlar sürebilir, ancak tükenmeleri çok daha hızlı gerçekleşir, bu nedenle yenilenebilir olmayan enerji kaynakları olarak kabul edilirler (Yıldız 2017). Bunun yanı sıra, fosil yakıtların büyük çevre sorunlarına yol açması nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanan ülke sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Küresel ısınmanın düzeyini azaltmak için karbon bazlı yakıt ve kaynakların kullanımı sınırlandırılmalıdır. Artan nüfus ve sınırlı fosil yakıtlar nedeniyle yenilenebilir enerjinin verimli kullanılması ana amaçlarından biridir (Akbulut vd., 2021) Son yıllarda dünyada enerji tüketiminde artış; çevresel ve ekonomik sürdürülebilirliğin sağlanması amacıyla kullanılan enerjinin yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanma konusu son derecede ilgi görmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında özellikle güneş enerjisi kullanımı yoğun olarak ilgi görmektedir (Kılıç ve Adalı, 2023). Güneş enerji sistemleri, geniş çaplı ticari kullanımlardan ev tipi uygulamalara kadar değişen ölçeklerde kurulabilir. Bu sistemlerin kurulum, bakım ve onarım maliyetleri, teknolojik ilerlemelere bağlı olarak düşmektedir ve geri ödeme süreleri giderek kısalma eğilimindedir (Kuzucu ve Becenen 2021). Güneş enerjisi; artan enerji maliyetleri ve çevresel bilincin artmasıyla birlikte yaygınlaşan bir çözüm olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışmada, tasarlanan güneş enerjisi sisteminin kurulum maliyetleri, enerji tasarrufu potansiyeli ve geri ödeme süreleri üzerinde odaklanarak, yatırımcıların finansal açıdan sürdürülebilir ve kazançlı bir enerji dönüşümü gerçekleştirmelerine yönelik bilgiler sunmayı amaçlamaktadır.

Bayrakçı ve Gezer, çalışmasında Aydın Çinede planlanan 1 MW gücündeki güneş enerji santrali için yatırım aşamasında PVSOL Programı kullanılarak 1.277.000 dolarlık bir maliyet belirlemişlerdir. Geri ödeme süresi analizi yapıldığında, tesisin maliyetinin geri ödeme süresini 6 yıl 11 ay olarak hesaplamışlardır. (Bayrakçı ve Gezer, 2019). Artan, çalışmasında Adıyaman ilinde inşa edilen GES santralının il toplam yatırım maliyeti 2.710.682 dolar olarak belirlemiştir. Santralin yıllık geliri 2.501.068,8 TL, aylık geliri ise 208.422,4 TL olarak bulmuşlardır. Santralin kendi maliyetini amorti edeceği süreyi tahmini yaklaşık 6,9 yıl olarak hesaplamışlardır (Artan, 2020).

YÖNTEM

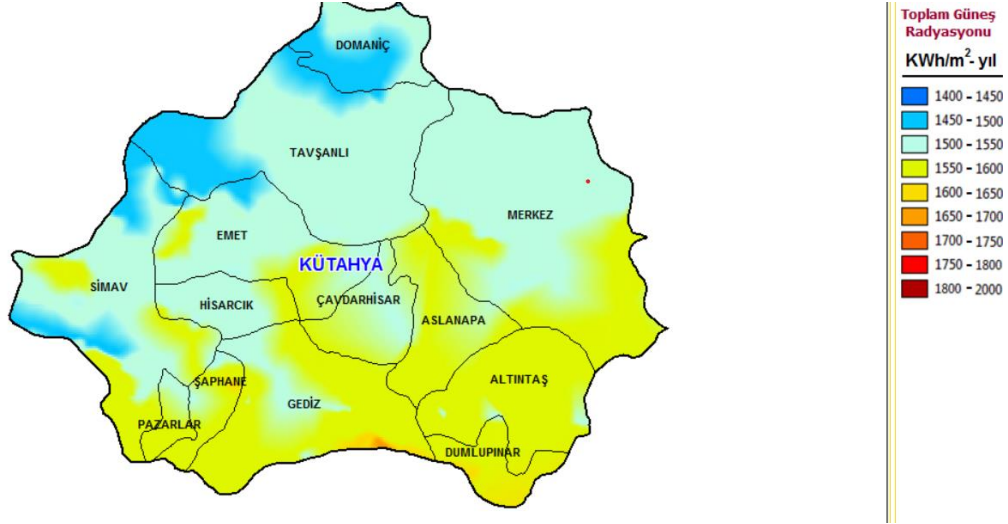
Yatırımcının bölgesel araştırma sürecinde dikkate alması gereken faktörler oldukça geniştir ve doğru bir güneş enerjisi santrali projesi için çok önemlidir. Bu süreçte göz önünde bulundurulması gereken bazı önemli unsurlar aşağıda verildiği şekildedir (Arca ve Çıtıroğlu, 2022):

- Coğrafi Yapı ve Arazi Şartları:** Bölgenin coğrafi yapısı, arazinin eğimi, toprak yapısı gibi faktörler, güneş enerjisi sistemlerinin kurulumu için önemlidir. Düz, güneş ışınlarının optimum açıda alınabileceği araziler tercih edilmelidir.
- Radyasyon ve Güneşlenme Süresi:** Güneşlenme süresi ve radyasyon miktarı, güneş enerjisi potansiyelini belirler. Bu değerlerin yüksek olması, enerji üretim verimliliğini artırır.
- İklim Koşulları:** Bölgenin iklim koşulları, güneş enerjisi sistemlerinin performansını etkiler. Sıcaklık, yağış ve rüzgâr gibi faktörler dikkate alınmalıdır.
- Altyapı ve Ulaşım:** Tesisin kurulacağı bölgenin altyapı durumu ve ulaşım erişilebilirliği, projenin başarısını etkiler. Elektrik şebekesine yakınlık ve malzeme taşıma kolaylığı önemlidir.
- Çevresel Etkiler:** Projenin çevresel etkileri değerlendirilmeli ve çevresel düzenlemelere uygunluk sağlanmalıdır. Biyolojik çeşitlilik, su kaynakları ve yerel toplumun yaşam kalitesi göz önünde bulundurulmalıdır.

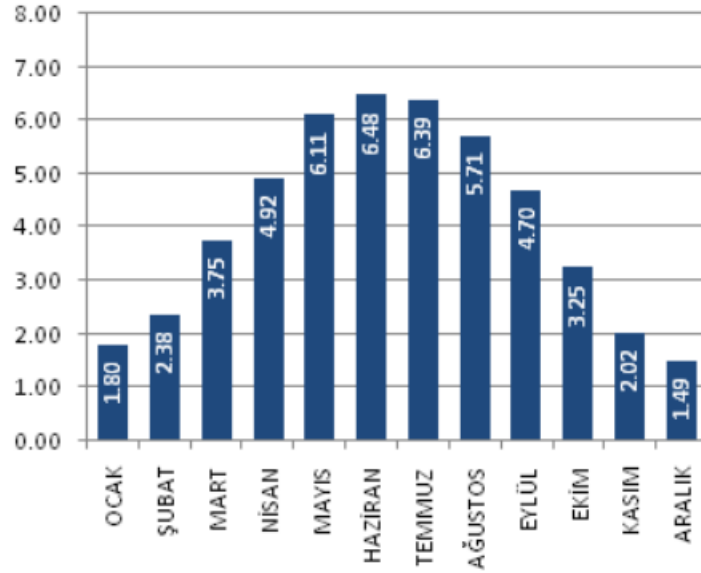
INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

6. **Finansal ve Yasal Faktörler:** Yatırım maliyetleri, enerji fiyatları, vergi avantajları ve yasal düzenlemeler gibi faktörler, projenin ekonomik başarısını etkiler.

Kurulumun gerçekleştirileceği bölgenin ulaşım açısından uygun olduğu, alanın güneş santrali inşası için uygun bir yapıya sahip olduğu, arazide gölge oluşturacak yapı veya bitki örtüsünün bulunmadığı ve arazi bedelinin göz önünde bulundurulmadığı varsayılmıştır. Çalışmada, Kütahya merkezde bulunan Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi binalarının elektrik ihtiyacının desteklenmesinde güneş enerjisinin kullanımı araştırılmıştır toplam 2205 m² olan B-D Blok otopark alanının; tamamına fotovoltaik paneller yerleştirilerek güç üretimi sağlanması amaçlanarak maliyet analizi yapılmıştır.

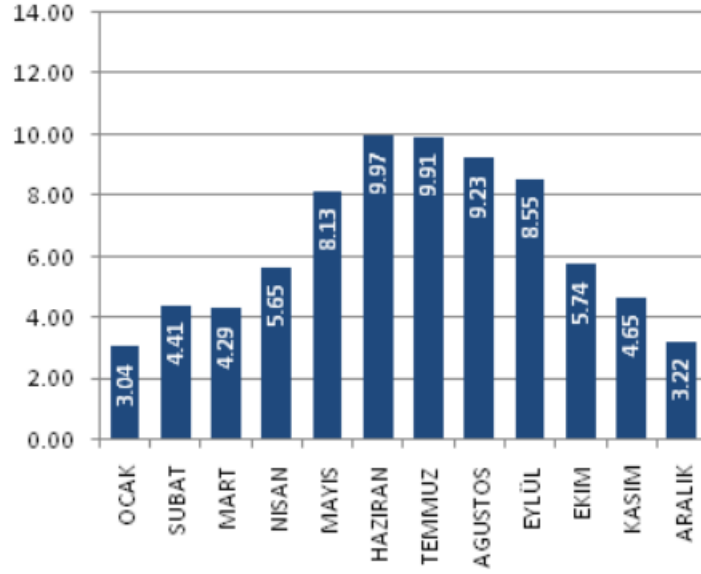


Şekil 1. Kütahya radyasyon değerleri



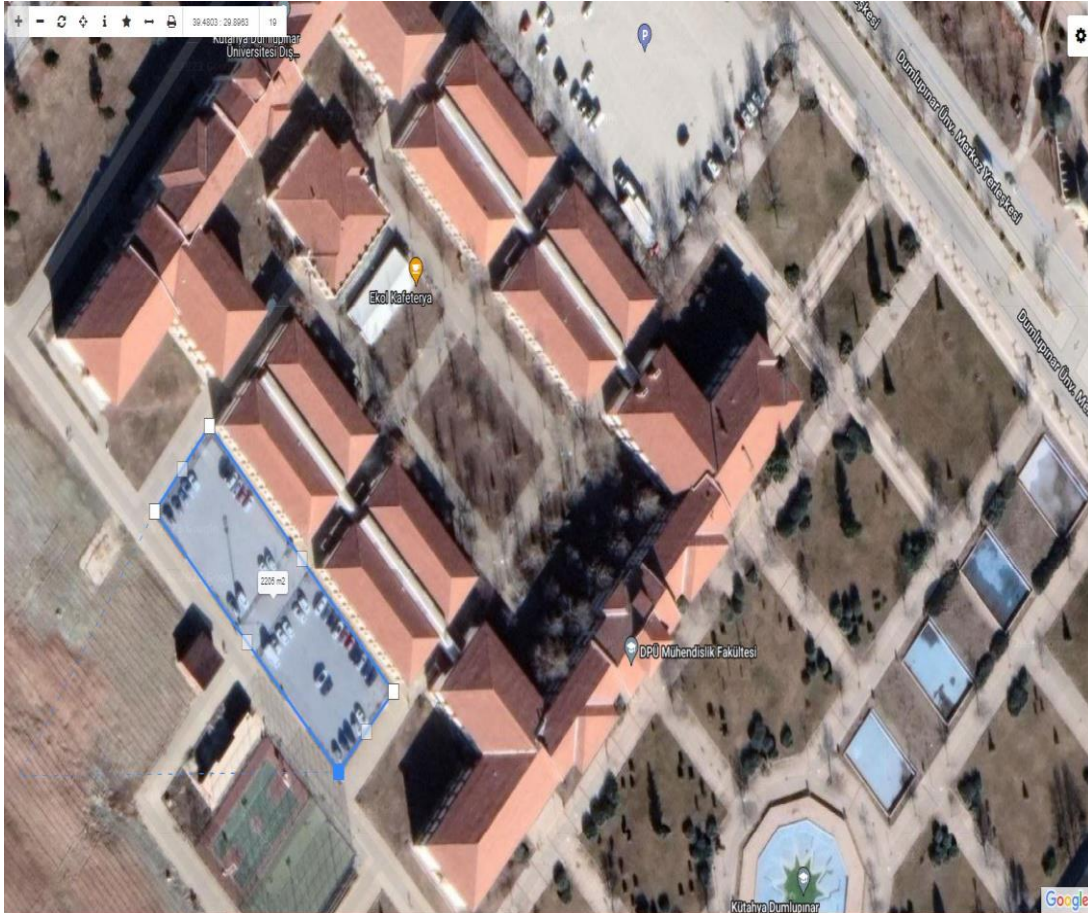
Şekil 2. Kütahya Global Radyasyon Değerleri (kWh/m² gün)

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES



Şekil 3. Kütahya Merkez Güneşlenme Süreleri (Saat)

Santralin kurulacağı alanda, Kütahya merkezine ait yıllık ortalama bir metrekareye düşen güneş radyasyonu değeri 1550 kilowatt-saat ile 1600 kilowatt-saat arasında değişmektedir, Şekil 1’de gösterilmiştir. Güneş Enerji Potansiyeli Atlası (GEPA, 2024) verilerine göre, Kütahya ilinde günlük ortalama güneşlenme süresi 5,5 saat olarak ölçülmüş, yıllık toplam ise 2007 saat olarak belirlenmiştir. Santralin kurulması planlanan alan Şekil 4’te gösterilmiştir.



Şekil 4. Çalışmada kullanılan otopark alanları

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

İlk Yatırım Maliyetleri

Çalışmada AC 250P/156-60S polikristal modeli kullanılmıştır. STC güç değerlendirmesi 250W panel ölçüleri 1640 mm x 992 mm panelin birim maliyeti ENF SOLAR marka 183 \$ dır (ENF-PV, 2024).

Toplam otopark alanı 2205 m²

Bir adet Panel Alanı 1.64 x 0.99 = 1,62 m²

Tüm Alana yerleştirilecek panel sayısı 2205 m²/1,62 m² =1358 Adet panel kullanılmıştır.

Santral, Sunny Evirici Modeli STP Tripower özelliklerine sahip olan 17 adet eviriciden oluşmaktadır. İnvertörün birim fiyatı 2877\$ (Europe-Solarstore, 2024) olup projede kullanılan invertör sayısı 17 adettir. Santralde toplamda 1358 adet panel yer almaktadır. Her bir panelin bulunduğu konstrüksiyonun ağırlığı 19 kg'dır. Bu, santralin toplam destek yapılarını belirlemede önemli bir ölçümdür.

Toplam konstrüksiyon maliyeti; toplam konstrüksiyon ağırlığı ile 1 ton konstrüksiyon fiyatının çarpımına eşittir.

İşçilik, nakliye ve çevre düzenlenmesi maliyetleri aşağıda verildiği şekilde hesaplanmıştır. 1 Watt Birim Fiyatı (\$) 0,070 \$ kabul edilmiştir (Artan, 2020).

İşletme Maliyetleri

Santralin yıllık işletim ve bakım-onarım maliyeti, her bir watt başına yaklaşık 0,012 \$ olarak kabul edilmiştir (Sarı ve Özyiğit, 2020). İlk kurulum ve işletme maliyetleri toplam maliyeti oluşturmaktadır.

Yatırımın Geri Dönüşü

Santralin elektrik üretim miktarı; ortalama günlük güneşlenme saati, kurulu güç ve birim elektrik maliyetinin (faturaya yansıyan toplam bedel 0,082\$/kwh) çarpılması ile bulunmaktadır (EBF, 2024).

2205 m² alan için 339500 W'lık kurulu gücü olan santralden 339500 W x 2007 (Yıllık güneşlenme süresi) x 0,082 (birim elektrik maliyeti) = 55121,22 \$/Yıl kazanç gerçekleşir.

Bu çalışmada yatırım geri dönüşüm hesabının yapılmasında başabaş analizi kullanılmıştır. Bir projenin kümülatif nakit akışı genellikle negatif bir başlangıç yapar ve zamanla pozitif değerlere doğru artar. 0'a ulaştığında, bu projenin başa baş noktasını işaret eder (Korkmaz ve Hacısalıhoğlu, 2024).

$$Yatırımın\ geri\ dönüşümü = \frac{Toplam\ maliyet}{Yıllık\ toplam\ gelir}$$

BULGULAR VE TARTIŞMA

Mühendislik Fakültesi B-D blok otoparkına kurulması planlanan fotovoltaik santrale ait tüm maliyet kalemleri Tablo 1'de verilmiştir.

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

Tablo 1. Fotovoltaik santrale ait tüm maliyet kalemleri

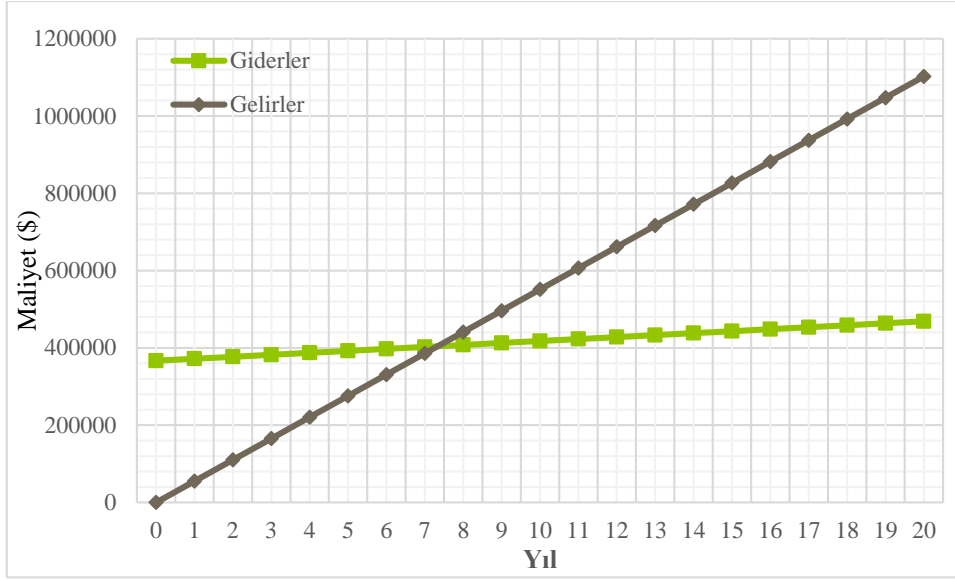
İLK YATIRIM MALİYETLERİ	
FOTOVOLTAİK GÜNEŞ PANELLERİ	
AC 250P/156-60S	
Kullanılan Panel Sayısı	1358 (250 W)
Panelin birim maliyeti	183 \$
Panel Maliyeti	1358X183\$
TOPLAM	248514 \$
EVİRİCİ	
SMA Sunny Tripower 25000TL-30	
Kullanılan Evirici Sayısı	17
Evirici birim maliyeti	2877
Toplam evirici maliyeti	17X2877
TOPLAM	48909 \$
KONSTRÜKSİYON	
Daldırma galvaniz sac	
1 Panel için Konstrüksiyon Ağırlığı	19 kg
Panel Sayısı	1358
Toplam Konstrüksiyon Ağırlığı	25802
1 Ton (1000 kg) Daldırma galvaniz sac maliyeti	1769 \$
Toplam destek yapısı maliyeti	25802x1769
TOPLAM	45643 \$
İşçilik + Nakliye + Çevre Düzenlenmesi	23765 \$
1 W Birim fiyatına 0,070	
SANTRALİN TOPLAM MALİYETİ	366831 \$

Tablo 1 incelendiğinde, fotovoltaik güneş paneli maliyeti 248514 \$ hesaplanmıştır. Ayrıca, invertör maliyeti 48909 \$ ve konstrüksiyon maliyeti ise 45643 \$ olarak bulunmuştur. Bununla birlikte, işçilik-nakliye-çevre düzenlenmesi maliyeti 23765 \$ ile santralin toplam maliyeti 366831 \$ olarak hesaplanmıştır.

Fakülte otopark alan için 339500 W'lık Kurulu gücü olan santralden yılda 55121,22 \$ getiri sağlanmıştır. Santralin yıllık işletim ve bakım-onarım maliyeti yıllık 4074 \$ olarak bulunmuştur. Toplam maliyetin toplam net gelire oranla kıyaslanması sonucu bulunan yatırım geri dönüşümü aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\text{Yatırımın geri dönüşümü} = \frac{336831,7}{371924 - 4074} = 7,1 \text{ Yıl}$$

Kurulması planlanan santralin 7,3. Yılında kümülatif nakit akışı 0 değerine ulaşmıştır. Bu yıldan itibaren santral pozitif net gelir sağlamaktadır. Santrale ait başabaş noktası grafiği Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Santrale ait başabaş noktası grafiği

SONUÇ

Bu çalışmada, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi binalarının elektrik ihtiyacının karşılanmasında güneş enerjisinin kullanımı araştırılmış ve maliyet analizi yapılmıştır. Çalışmada kurulacak olan santral için fakülte binalarının yanında bulunan otopark alanları seçilmiştir. Toplam 2205 m² olan B-D Blok otopark alanının tamamına düzlemsel güneş panelleri yerleştirilmesi planlanmıştır. Daha sonra GEPA verileri incelenerek yıllık güneş radyasyon değerleri yıllık güneşlenme saati dikkate alınarak güneşten yıllık elektrik ihtiyacı için kazanç hesaplanmıştır. Maliyet hesabı yapılırken öncelikle arazi bedelinin olmadığı kabul edilmiştir. 2205 m² alanın tamamına PV panel yerleştirerek panel maliyeti ve bunun yanı sıra invertör, konstrüksiyon, çevre ve işçilik, yıllık bakım onarım maliyetleri hesaplanarak toplamda 366831 \$ yatırım maliyeti çıkarılmıştır. Daha sonra fakülte otopark alan için 339500 W'lık Kurulu gücü olan santralden yılda 55121,22 \$ getiri sağlanmıştır. Kurulması planlanan santralin 7,1. Yılında kümülatif nakit akışı 0 değerine ulaştığı ortaya koyulmuştur.

KAYNAKLAR

Akbulut, A., Arslan, O., Arat, H., & Erbaş, O. (2021). Important aspects for the planning of biogas energy plants: Malatya case study. *Case Studies in Thermal Engineering*, 26, 101076.

Arca, D., & Çıtıröğlü, H. K. (2022). Güneş enerjisi santral (GES) yapım yerlerinin CBS dayalı çok kriterli karar analizi ile belirlenmesi: Karabük örneği. *Geomatik*, 7(1), 17-25.

Artan, A. (2020). Güneş enerjili elektrik sistemlerinin kurulum-maliyet analizi: Adıyaman örneği (Master's thesis, Amasya Üniversitesi).

Bayrakçı, H. C., & Gezer, T. (2019). Bir Güneş Enerjisi Santralının Maliyet Analizi: Aydın İli Örneği. *Teknik Bilimler Dergisi*, 9(2), 46-54

EBF, (2024), <https://enerjiajansi.com.tr/elektrik-birim-fiyatlari/> [Erişim Tarihi: 14 Mart 2024]

ENF-PV Panel, (2024), https://www.ensolar.com/pv/panel-datasheet/crystalline/34846?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwpNuyBhCuARIsANJqL9OMCdrImNxc o jPCE406FbXQw1uMd2tYFXpEqI1BRQE-BpiVud7zLhMaAkblEALw_wcB [Erişim Tarihi: 10 Nisan 2024]

Europe-Solarstore, (2024), https://www.europe-solarstore.com/sma-sunny-tripower-25000tl-30.html?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjw9vqyBhCKARIsAIICLME8yo3DpxHyRgjtBXkdGucD75o BO32WXIE0kSv76ftTSA3PtJcX2YQaAuVpEALw_wcB [Erişim Tarihi: 12 Nisan 2024]

GEPA, (2024) Enerji işleri genel müdürlüğü Güneş Enerji Potansiyel Atlası [<https://gepa.enerji.gov.tr/pages/43.aspx>] [Erişim Tarihi: 12 Nisan 2024]

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

Kılıç, M. Y., & Adalı, S. Güneş Enerjisi Kullanılarak Bir Villanın Elektrik İhtiyacının Karşlanması. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 28(1), 121-130.

Korkmaz, B., & Hacısalıhoğlu, S. Fotovoltaik ve Biyogaz Enerji Sistemlerinin Enerji Ve Çevresel Potansiyellerinin İncelenmesi: Süt Sığırı Çiftliği Örneği. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 29(1), 245-262.

Kuzucu, U., & Becenen, İ. (2021). Edirne ilinde tarımsal sulamada güneş enerjisi kullanımı (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Sarı, V., & Özyiğit, F. Y. (2020). Sivas ilinin farklı ilçelerinde şebeke bağlantılı güneş enerji santrallerinin tasarımı ve analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 425-437.

Yıldız, E. (2019). Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynakları, uygulama: Güneş enerji santrali ve rüzgar enerji santrali kuruluş maliyetleri (Master's thesis, Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü).

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

2053 NET ZERO EMISSIONS AND A LOOK AT POSSIBLE NEW THERMAL POWER POWERS IN TURKEY FOR DEVELOPMENT

Researcher, Semiha ÖZDEMİR

Kütahya Dumlupınar University, Faculty of Engineering, Department of Geological Engineering, Kütahya, Türkiye.

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2245-2935>

Associate Professor, Güzide KALYONCU ERGÜLER

Kütahya Dumlupınar University, Faculty of Engineering, Department of Geological Engineering, Kütahya, Türkiye.

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8023-2431>

ABSTRACT

Since coal is the most common fossil fuel, its use in thermal power plants is extremely high. Although Türkiye is not as rich as China, it has many coal deposits. Although these coal formations do not contain rich calorific value, they can be used in thermal power plants for energy production. Turkey, which joined the Paris Agreement by ratifying it in 2021, continues its efforts to take various actions to achieve the goal of limiting global warming to 1.5 degrees. The need for energy is increasing in Turkey as well as all over the world. Adding new loads to the emission burden of existing coal-fired power plants with new power plants may be considered harmful at first, considering the 2053 net zero emission target.

In this study, it is found that SO₂ emissions of existing power plants can be reduced with FGD (Flue Gas Desulfurization) for sulphur and carbon emissions to reduce greenhouse gas emissions, and new thermal power plants can be built based on low-calorie and high-sulphur domestic coal. As a result of increasing the existing quality with technological steps that can be taken in about thirty years, the installation of new power plants, although not in large numbers, is seen as possible in modelling. In addition, CCS (carbon capture and storage) technologies can be used to reduce CO₂ gas emissions such as carbon capture and storage. TIMES (Integrated MARKAL-EFOM System) modelling system has been mentioned for reducing emissions resulting from electricity production in Turkey, and it is thought that the TIMES modelling system can help in evaluating decarbonisation ways for the energy sector. When a small number of new coal-fired thermal power plants were established in Turkey; Turkey is expected to reach the Europe 2053 net zero emission target if the FGD (Flue Gas Desulfurization) system, CCUS technology and sink area creation and protection activities, which are actively preferred today, are implemented.

Keywords: Coal, thermal power plant, Türkiye, 2053 net zero emissions.

INTRODUCTION

Today, it is seen that the development of the installed capacity of coal-fired thermal power plants in Turkey is parallel to the increase in greenhouse gas emissions. The carbon dioxide, sulphur dioxide and nitrogen oxides released into the atmosphere by coal-fired thermal power plants in Turkey have a large impact on air pollution, and as a result, there is climate change due to global warming. Therefore, the problem of global warming should be eliminated and a transition to clean energy production should be made. For this reason, it is necessary to transition to the decarbonisation process with various technologies in order to ensure sustainable development. In this study; studies conducted for carbon and sulfur emissions aimed at reducing greenhouse gas emissions are mentioned. These studies; FGD (Flue Gas Desulfurization), CCS (carbon capture and storage) technology and afforestation activities to equalize the sink areas that hold greenhouse gases (creation of forest areas, greenhouse gas capture technology, etc.) are mentioned. With FGD (Flue Gas Desulfurization), SO₂ emissions of existing

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

power plants can be reduced and new thermal power plants based on low-calorie and high-sulphur domestic coal can be built. CCS (carbon capture and storage) technologies can be used to reduce CO₂ gas emissions such as carbon capture and storage. In our study, TIMES (Integrated MARKAL-EFOM System) modelling system was mentioned in order to investigate potential ways to reduce emissions from electricity generation in Turkey and it was stated that TIMES modelling system can help in evaluating carbon removal ways for the energy sector. In this study, afforestation was carried out to equalize the sink areas that hold greenhouse gases (formation of forest areas, oceans, greenhouse gas capture technology and methods, etc.), FGD (Flue Gas Desulfurization) was used to reduce SO₂ emissions of existing power plants and zero emission was targeted in thermal power plants by using CCS (carbon capture and storage) technology. At the same time, it was stated in this study that Turkey aims to reach net zero carbon target for 2053 with its coal phase-out plan in line with the 2053 net zero target, and it was stated that using CCS (carbon capture and storage) technology will contribute to Turkey reaching the European 2053 net zero emission target.

RESEARCH AND FINDINGS

Carbon Emissions from Coal-Fired Thermal Power Plants in Turkey

Thermal power plants, which emit many harmful gases to the environment, cause environmental problems as a result. This situation is also called thermal pollution. In thermal pollution, wastewater is discharged from the power plant and this causes pollution of the surrounding natural resources. Thus, it negatively affects underground and surface water resources (1).

As a result of fossil fuels burned in thermal power plants, products such as greenhouse gases and ash are emitted into the atmosphere. As a result, many problems arise on human health (2). The most important gases emitted from thermal power plants to the atmosphere are carbon dioxide, sulphur dioxide and nitrogen oxides. Carbon dioxide (CO₂) gas is one of the main gases emitted as a result of burning fossil fuels.

The most important of all gases emitted from thermal power plants is carbon dioxide. Thermal power plants are energy production facilities that increase the carbon dioxide level to the highest level all over the world. As long as we continue to use the world's coal reserves for energy production, it will continue to be the main cause of CO₂ emissions (3). Sulphur dioxide is another gas released from power plants. Due to its indirect effects on the atmosphere, it can affect the scattering of incoming sunlight, the formation of clouds and precipitation patterns. Therefore, it is considered an indirect greenhouse gas. Sulphur dioxide turns into sulphuric acid in the atmosphere, which then returns to Earth as acid rain and can affect ecosystems. Nitrogen oxides are also considered an indirect greenhouse gas and can combine with other atmospheric gases and moisture to form acid rain and smog. Another major pollutant from thermal power plants is ash. Ash contains harmful particulate matter and heavy metals. Ash can have multiple effects; it can enter waterways and soil wherever it falls (not necessarily the local environment) (1). Of the gases emitted into the atmosphere, it is important to reduce carbon and sulphur dioxide in particular. According to studies conducted for sulphur and carbon emissions aimed at reducing greenhouse gas emissions; One of the studies carried out to reduce the SO₂ emissions of existing power plants is the "Flue Gas Desulfurization (FGD)" units of coal-fired power plants. Turkey has strengthened its existing thermal power plants with new FGD units. With FGD, the SO₂ emissions of existing power plants can be reduced. In addition, new thermal power plants based on low-calorie and high-sulphur domestic coal can be built (8). CCS (carbon capture and storage) technologies have been developed to reduce the emission of CO₂ gas, such as carbon capture and storage (4).

A model was developed using the TIMES (Integrated MARKAL-EFOM System) modelling system in order to investigate potential ways to reduce emissions from electricity generation in Turkey. With this model, national data were used to make a comprehensive assessment of the existing electricity generation infrastructure in Turkey and emission trends were estimated due to various reasons. The TIMES model allowed the analysis of energy, economy and environmental relations based on technological development (9).

The TIMES-Wal model is a model developed for the Walloon Region of Belgium to assess the impacts of achieving the 55% greenhouse gas emission reduction target (10). The TIMES modelling system;

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

The energy model created for Turkey has allowed us to determine the electricity generation mix that will meet the demand created by the expected growth in population and gross domestic product. This modelling can help to evaluate decarbonisation paths for the energy sector (9).

Net Zero Carbon Target for Coal-Fired Thermal Power Plants in Turkey by 2053

The damages caused by carbon emissions to the environment have reached very serious dimensions today. For this reason, sectors such as energy, heavy industry and transportation sectors that cause carbon emissions need to switch to clean energy production. In these decarbonisation processes; technologies such as nuclear energy, variable renewable energy (VRE) sources and carbon capture and storage (CCS) have been developed to reduce CO_2 gas emissions (4). Among these technologies, CCS technology is considered as a bridge technology used to switch to net zero emission energy in the near and medium term (5). However, CCS technology is a costly technology and studies have concluded that CCS costs are reduced by converting a portion of the stored carbon for use (6).

Carbon capture, utilization and storage technology (CCS) is a technology that will provide definite and rapid decarbonisation in reducing carbon emissions for the implementation of the decarbonisation system. With this technology, our country is expected to reach the European 2053 net zero emission target.

The Paris Agreement states that all countries should take responsibility in this regard and that the earth's temperature should be kept at $1.5\text{ }^\circ\text{C}$. Developing countries will be provided with finance by developed countries so that they can adapt to climate change. According to the agreement, Turkey is obliged to reduce greenhouse gas emissions by 21% between 2021 and 2030 within the scope of this agreement and bring it to the $2\text{ }^\circ\text{C}$ temperature limit (7). In 2053, it is aimed for the amount of greenhouse gases and the sink areas that hold greenhouse gases (creation of forest areas, oceans, greenhouse gas capture technologies and methods, etc.) to be equal. With this article in the Paris Agreement, it is aimed for the amount of greenhouse gases held by greenhouse gas sinks in the world to be equal to the amount of greenhouse gases released into the atmosphere in 2053. In order to achieve this goal, new sustainable technologies will need to be developed and forest areas, which are carbon sinks, will need to be increased.

DISCUSSION AND CONCLUSION

Recently, the concepts of “global warming” and “climate change” have become an important topic on the world agenda. In 2021, Turkey participated in the Paris Agreement for the first time by approving it. In this conference, it was stated that various actions should be taken for the target of limiting global warming to $1.5\text{ }^\circ\text{C}$. In this context, various activities were put forward to reduce carbon emissions.

According to the research we have conducted in this study; As a result of the studies carried out for sulphur and carbon emissions to reduce greenhouse gas emissions, SO_2 emissions of existing power plants can be reduced with FGD (Flue Gas Desulfurization) and new thermal power plants based on domestic coal with low calories and high sulphur can be built. CCS (carbon capture and storage) technologies can be used to reduce CO_2 gas emissions, such as carbon capture and storage. In Turkey, the TIMES (Integrated MARKAL-EFOM System) modelling system was mentioned for reducing emissions from electricity generation, and it was stated that the TIMES modelling system could help evaluate decarbonisation paths for the energy sector.

When coal-fired thermal power plants are established in Turkey; FGD (Flue Gas Desulphurization) system, CCS technology, mixed lignite combustion systems (olive pomace etc.), actively preferred sink area creation activities today and monitoring the changes in existing areas, Turkey is expected to reach the European 2053 net zero emission target.

REFERENCES

- 1- Bayazıt, Y. (2021). Hidroelektrik ve Termik Santrallerin Karbon Emisyonu Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması: Eskişehir İli Örneği, BEÜ Fen Bilimleri Dergisi, Araştırma Makalesi.
- 2- ALA (American Lung Association). (2011). Toxic Air: The Case for Cleaning Up Coal-Fired Power Plants. Report.

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

- 3- Shindell D. & Faluvegi G. (2010). The net climate impact of coal-fired power plant emissions. *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 3247-3260.
- 4- Brouwer, A. S. van den Broek, M. Zappa, W. Turkenburg, W. C.& Faaij, A. (2016). Least-cost options for integrating intermittent renewables in low-carbon power systems, *Applied Energy*, 161, 48–74.
- 5- Hasan, M. F. Zantye, M. S. & Kazi, M. K. (2022). Challenges and opportunities in carbon capture, utilization and storage: A process systems engineering perspective, *Computers & Chemical Engineering*, 166, 107925.
- 6- Kumcu, S.& Özyörük, B. (2023). Sürdürülebilir yeşil bir kalkınma için salınan karbonun yakalanması, depolanması ve kullanımına yönelik bir araştırma, *NÖHÜ Müh. Bilim. Derg. / NOHU J. Eng. Sci.*, 12(2), 386-394.
- 7- Eşbah, H. O. (2023). Kentsel Karbon Emisyonlarının Ve Karbon Yutak Alanlarının Mekansal Analizi: Bursa Yıldırım İlçesi Örneği, Yüksek Lisans Tezi.
- 8- Kılıç, O., Acarkan, B.& Ay, S. (2013). FGD investments as part of energy policy: A case study for Turkey, *Energy Policy* 62 (2013) 1461–1469.
- 9- Çakmak, E.G., Okutan, H.C. (2023). Technological assessment of greenhouse gas reduction potential of power generation in Türkiye, *Atmospheric Pollution Research* 14, 101911.
- 10- Coppens, L., Gargiulo, M., Orsini, M., Arnould, N. (2022). Achieving 55% GHG emissions in 2030 in Wallonia, Belgium: insights from the TIMES-Wal energy system model. *Energy Pol.* 164 <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.112871>.

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE YEŞİL FİNANS ALANINDA YAPILAN ÇALIŞMALARIN YAZIN TARAMASI

LITERATURE REVIEW OF STUDIES CONDUCTED IN THE FIELD OF RENEWABLE ENERGY RESOURCES AND GREEN FINANCE

Öğr. Gör. Dr. Betül ŞAHİN¹

¹Trabzon Üniversitesi, Beşikdüzü MYO, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Trabzon, Türkiye.

ORCID: 0000-0003-0882-594X

Öğr. Gör. Dr. Yaşar ŞAHİN²

²Trabzon Üniversitesi, Beşikdüzü MYO, Pazarlama ve Reklamcılık Bölümü, Trabzon, Türkiye.

ORCID: 0000-0002-5205-3054

ÖZET

Enerji, iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanabilir. Enerji kaynakları yenilenebilir enerji kaynakları ve yenilenemez enerji kaynakları olarak ikiye ayrılır. Yenilenemez enerji kaynakları, bir kez kullanıldığında tekrar kullanılamayan enerji kaynaklarıdır. Fosil yakıtlar yenilenemez enerji kaynaklarıdır. Kömür, petrol, doğalgaz vs. gibi fosil yakıtlar, hızlı ve büyük oranda enerji vermeleri, ulaşılabilirliği ve yaygın kullanımı ile popülerliğini korumaktadır. Ancak yaydıkları zararlılar bir sera etkisi yaratarak iklim değişimine sebebiyet vermiştir. Salınan zararlı emisyonlar karbon döngüsünü bozmuş, çevreye, dahası tüm canlılara zarar vermektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları, tekrar kullanılabilirliği, sürdürülebilirliği, uygun fiyatı, ulaşılabilirliği ve en önemlisi çevre dostu olmalarıyla geleceğin enerji kaynaklarıdır. Ancak uzun yıllardır kullanılmış olan fosil yakıt kullanımının bir anda değişmesi mümkün görünmemektedir. Ayrıca çok büyük oranda enerji sistemlerinin fosil yakıt kullandıklarını düşünürsek bu sistemlerin dönüşümünün bir zaman ve maliyet gerektireceği açıktır. Bu dönüşüm ve değişim için en önemli kriterlerin başında finansal kaynak elde etme ve ilgili yatırımları gerçekleştirme becerisi gelmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının her tür finansı olarak tanımlanabilecek olan yeşil finans bu noktada hayati bir önem taşımaktadır. Yeşil finans, yeşil tahviller, yeşil krediler, sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyumlu yatırım fonları gibi finansal araçlar kullanarak, yatırımcılara çevresel ve sosyal etkileri olan projelere yatırım yapma imkânı sunan bir finans modelidir.

Bu çalışmada, yenilenebilir enerji kaynakları ve yeşil finans ile ilgili çalışmalar incelenmiştir. Araştırmada 2012-2024 yılları aralığında, yenilenebilir enerji kaynakları ve yeşil finans anahtar kelimeleri kullanılarak yapılan çalışmaların bibliyometrik analizi sonucunda en çok atıf almış olan makalelerin bir derlemesi yer almaktadır. En çok atıf almış olan yenilenebilir enerji kaynakları ve yeşil finans çalışmalarının önemi vurgulanarak, araştırmacılara bu konuda tavsiye ve yönlendirmelerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Enerji, Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Yeşil Finans, Yazın taraması

ABSTRACT

Energy can be defined as the ability to do work. Energy resources are divided into two: renewable energy resources and non-renewable energy resources. Non-renewable energy sources are energy sources that cannot be used again once used. Fossil fuels are non-renewable energy sources. Fossil fuels such as coal, oil and natural gas maintain their popularity due to their rapid and large energy yield, accessibility and widespread use. However, the pests they spread have caused climate change by creating a greenhouse effect. The harmful emissions released have disrupted the carbon cycle and harm the environment and all living things. Renewable energy sources are the energy sources of the future with their reusability, sustainability, affordable price, accessibility and, most importantly, environmental friendliness.

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

However, it does not seem possible for fossil fuel usage, which has been used for many years, to change suddenly. Moreover, considering that a large proportion of energy systems use fossil fuels, it is clear that the transformation of these systems will require time and cost. The most important criteria for this transformation and change are the ability to obtain financial resources and make relevant investments. Green finance, which can be defined as all types of financing of renewable energy resources, is of vital importance at this point. Green finance is a finance model that offers investors the opportunity to invest in projects with environmental and social impacts by using financial instruments such as green bonds, green loans, and investment funds compatible with sustainable development goals.

In this study, studies on renewable energy resources and green finance were examined. The research includes a compilation of the most cited articles as a result of the bibliometric analysis of studies using the keywords renewable energy resources and green finance between 2012 and 2024. The importance of the most cited renewable energy sources and green finance studies was emphasized, and recommendations and guidance were given to researchers on this subject.

Keywords: Energy, Renewable Energy, Green Finance, Review

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

BİYOKÜTLE VE BİYOKÜTLENİN DÖNÜŞÜM SÜREÇLERİ BIOMASS AND BIOMASS CONVERSION PROCESSES

Öğr. Gör. Dr. Betül ŞAHİN

Trabzon Üniversitesi, Beşikdüzü MYO, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Trabzon, Türkiye.

ORCID: 0000-0003-0882-594X

ÖZET

Artan nüfus, gelişen teknoloji ve büyüyen sanayi, vb., gibi sebeplerle dünya enerji talebi her geçen gün artmaktadır. Fosil yakıtlar, azalan rezervleri ve çevreye verdikleri geri dönüşü olmayan zararlar sebebiyle artık istenmemektedir. Bu sebeplerle günümüzde alternatif enerji kaynakları arayışı hiç olmadığı kadar hızlanmıştır. Alternatif enerji kaynakları araştırmalarında dikkate alınan en önemli husus yeni kaynakların çevreye zarar vermemesi olmuştur. Çevreyle dost olmasının yanında sürdürülebilirliği, uygun fiyatı ve dünya üstünde eşit dağılımı gibi sebeplerle yenilenebilir enerji kaynakları bu arayışların öncülü olmuştur. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan biyokütle, enerji kaynakları içerisinde özellikleri ile fosil yakıtlara en çok benzeyen kaynaktır.

Biyokütle genel olarak canlı veya kısa süre önce hayatını kaybetmiş organizmalar ve bu organizmalardan arta kalanlar olarak tanımlanabilir. Biyokütle çeşitleri, orman atıkları, tarım atıkları, deniz atıkları, şehir atıkları, kanalizasyon atıkları, vb.'dir. Her tür enerji kaynağında olduğu gibi biyokütle kaynakları da işlendiğinde ısı değerinde artış görülmektedir. Kömür de ki nem alma işlemlerine benzer şekilde biyokütleyle uygulanan işlemler biyokütlenin yanma kalitesini dolayısıyla verimliliğini artırmaktadır. Bu ve buna benzer pek çok işlem ve dönüşüm biyokütlenin mahiyetine göre işlenerek biyokütle daha değerli hale getirilmektedir. Biyokütle, kimyasal/biyokimyasal ve termokimyasal olmak üzere iki farklı platform da dönüştürülmektedir. Kimyasal/biyokimyasal platformda dönüşüm sonucunda biyodizel, biyoetanol, sıvı hidrokarbon gibi çıktılar olurken termokimyasal platform da yakma, metanol, biyoyağ, biyokömür gibi çıktılar elde edilmektedir. Bu çalışmada, biyokütle ve biyokütle türleri hakkında bilgi verildikten sonra biyokütle dönüşüm süreçleri hakkında bilgi verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Enerji, Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Biyokütle, Biyokütle Dönüşüm Süreçleri

ABSTRACT

World energy demand is increasing day by day due to reasons such as increasing population, developing technology and growing industry. Fossil fuels are no longer desired due to their decreasing reserves and irreversible damage to the environment. For these reasons, today the search for alternative energy sources has accelerated more than ever. The most important issue taken into consideration in research on alternative energy sources is that new sources do not harm the environment. Renewable energy sources have been the pioneer of these searches for reasons such as sustainability, affordable prices and equal distribution around the world, as well as being environmentally friendly. Biomass, one of the renewable energy resources, is the resource that is most similar to fossil fuels with its features among the energy resources.

Biomass can generally be defined as living or recently deceased organisms and the remains of these organisms. Biomass types can be grouped as forest waste, agricultural waste, marine waste, city waste and sewage waste. As with all types of energy sources, when biomass resources are processed, their calorific value increases. Similar to the dehumidification processes in coal, processes applied to biomass increase the combustion quality and therefore efficiency of biomass. These and many similar processes and transformations are processed according to the nature of the biomass, making it more valuable. Biomass is converted on two different platforms: chemical/biochemical and thermochemical. As a result of conversion in the chemical/biochemical platform, outputs such as biodiesel, bioethanol, and liquid

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

hydrocarbon are obtained, while in the thermochemical platform, outputs such as combustion, methanol, biooil, and biochar are obtained. In this study, after giving information about biomass and biomass types, information about biomass conversion processes is given.

Key Words: Energy, Renewable Energy Sources, Biomass, Biomass Conversion Processes

GİRİŞ

Dünya nüfusunda ki artış, teknolojideki ilerleme, sanayinin gelişimi enerji talebini artırmıştır. Artan enerji talebi hala büyük oranda fosil yakıtlardan karşılanıyor olsa da yapılan araştırmalar fosil yakıtların birkaç yüzyıl içerisinde tükeneceğini ön görmektedir. Bunun yanında fosil yakıtların haddinden fazla kullanımı karbon dengesini bozmuştur. Fosil yakıtların yaydığı zararlı emisyonlar sera etkisi yaratarak iklim değişimine sebebiyet vermiştir. Bu sebeplerle bilim insanları fosil yakıtların azalması, dünyaya verdikleri zararlar, artan enerji talebine karşılık verememeleri gibi sebeplerden ötürü fosil yakıtlar yerine kullanılabilir alternatif enerji kaynakları arayışlarına girmişlerdir. Alternatif enerji kaynaklarının içerisinde dönüştürülebilir, sürdürülebilir, doğayla dost, uygun fiyatlı, dünya var oldukça var olacak olan yenilenebilir enerji kaynakları çok önemli bir yer tutmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, biyokütle enerjisi, hidroelektrik enerji vb. gibi doğa da var olan enerji kaynaklarıdır (Öztürk;2013, Öztürk; 2016, Öztürk; 2021, Yarımkaya; 2021).

1-BİYOKÜTLE

Biyokütle enerjisi, canlı veya yeni ölmüş olan bitki ve her tür canlının kullanımı ile elde edilen enerji türü olarak tanımlanabilir. Biyokütle denizden karaya her yerde bulunabilen temiz ve güvenilir bir yenilenebilir enerji kaynağıdır (Demirbaş; 2001, Doğanay; 1998).

Biyokütle kaynakları yüz yıldan az bir zaman içerisinde dönüştürüldüğünden yenilenebilir. Güneş var olduğu sürece var olacağından sürdürülebilir. Dünyanın her yerinde var olduğundan ulaşılabilir. Kullanıldığında bünyesindeki karbon dönüştüğünden ve yapısında kükürt bulunmadığından (yada çok az bulunduğundan) fosil yakıtlardan çok çok daha az emisyon salmaktadır. Bu sebeplerle potansiyeli yüksek bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Biyokütle, bitkisel atıklar, orman atıkları, evsel atıklar, tarım atıkları, şehir atıkları, kanalizasyon atıkları, hayvan atıkları vb. gibi organik maddelerden elde edilebilir (Acaroğlu; 2013, Doğanay; 1998).

Biyokütle, ağırlıklı olarak selüloz, hemiselüloz, lignin, karbonhidrat, yağ ve proteinlerden oluşurlar. Birçok biyokütle çeşidi olmakla birlikte fiziksel özellikleri birbirlerinden oldukça farklıdır. Ancak genel olarak azot ve kükürt derişimlerinin düşük olduğu söylenebilir. H/C oranları dikkate değerdir. Isıl değerleri düşük kaliteli linyit kömürüne yakındır (Acaroğlu; 2002).

Aşağıdaki tabloda (**Tablo: 1**) bazı biyokütlelerin ultimate (nihai - elemental), proximate (kısa) analizleri ve ısıl değerleri verilmiştir.

Tablo 1: Bazı biyokütle kaynaklarının ultimate-proximate analizleri ve ısıl değerleri (Demiral; 2004)

%Ağırlık	Odun	Tarımsal Atıklar	Şehir katı atıkları	Hayvansal atıklar
C	50-53	45	47,60	35,10
H	5,8-7	5,8	6	5,3
N	0-0,3	2,40	1,2	2,5
S	0-0,1	0-0,1	0,3	0,4
O	38-44	42,5	32,9	38,7
Uçucu madde	77,0-87	80	77	76,5
Sabit C	13-21	0-0,1	11	0-0,1
Kül	0,1-2	4	12	23,5
Nem	25-60	16	20	7-35
Isıl değer(MJ/kg)	19,8-21	16,8	19	13,4

2-BİYOKÜTLE KAYNAKLARI

2.1-Bitkisel Biyokütle

Dünyanın %70'i gibi büyük bir oranda biyokütle kaynağı, tarım ve orman biyokütlesinden oluşmaktadır. Dünyada kesilen ağaçların yarısı yakılarak biyokütle enerjisine dönüştürülürken orman atıkları sadece %10'unu oluşturmaktadır. Dolayısıyla enerji ormancılığı biyokütle enerjisi eldesin de önemli bir yer tutmaktadır (Öztürk; 2016).

2.2-Hayvansal Biyokütle

Köylerde hayvan dışkılarının samanla karıştırılarak katı yakacak olarak kullanılması çok eski zamanlara dayanmaktadır. Dolayısıyla profesyonel bir işlem olmaksızın küçük yerleşim yerlerinde kullanımı çok yaygındır. Hayvansal biyokütlenin en önemli dönüşümü ise biyogaz olarak kullanılmasıyla mümkün olmaktadır.

Biyogaz; insanların attıkları çöpler, hayvan dışkıları, bikisel-tarımsal atıklar, posalar gibi atıkların anaerobik koşullarda, optimal olarak 35°C mezofilik ve 60°C termofilik sıcaklıkta, 6,7-7,6 pH ortamında enzimatik hidroliz, bakterilerle organik aside dönüşme ve metan jenerasyonu işlevlerinden oluşan fermentasyon sonucunda elde edilmektedir. Biyogazın kalori değeri biyokütle içerisindeki bileşenlerine bağlı olarak değişmektedir. Biyogaz da ağırlıklı olarak sırasıyla metan ve karbondioksit daha sonra az miktarda azot, hidrojen, sülfür, oksijen ve diğer gazlar yer almaktadır (Öztürk; 2016).

2.3-Şehirsal ve Endüstriyel Atıklar

Her tür şehir atığı; çöp, kanalizasyon çamuru, yiyecek-giyecek, endüstride açığa çıkan işleme, paketlenme, kağıt, plastik, vb. gibi atıklar bu gruba dahildirler. Bu atıklar kullanılarak çevresel temizlik sağlanabileceği gibi verdiği enerji rahatça tüm enerji sistemlerinde kullanılabilirler. Yakma, piroliz, aneorobik çürüme gibi yollarla biyokütle enerjisine dönüştürülebilmektedirler. Büyük oranda organik kökenli olan bu atıklar ile fosil bir yakıt karşılaştırıldığında atıkların emisyon seviyesinin çok daha düşük olduğu görülmektedir. Ayrıca çeşitli dönüşüm süreçleri sonunda bu atıklardan metanca zengin yakıtlar elde edilebilmektedir (Öztürk; 2016).

2.4-Enerji Bitkileri

Şeker kamışı, Miscanthus, sorgum bitkisi gibi bitkilere enerji bitkileri denilmektedir. Bu bitkiler düşük kükürt ve azot içerikleri ile hava kalitesini artırmaya yardımcı bitkilerdir. Sentetik gaz olarak kullanılabilirler (Öztürk; 2012).

2.5-Su Bitkileri

Chlorella, Scenedesmus, yeşil ve mavi algler gibi tek ve çok hücreli su yosunları bu grupta yer almaktadırlar (Öztürk; 2012).

3-BİYOKÜTLENİN DÖNÜŞÜM SÜREÇLERİ

Biyokütle, denizden karaya dünyanın her yerinde bulunmaktadır. Ancak biyokütle enerjisinin hammadde kaynaklarında ki süreklilik sorunu, taşımada ki zorlukları, enerji değerinin işlenmemiş haliyle daha düşük olması gibi sebeplerle daha güçlü bir biyokütle enerjisi eldesi için biyokütle kaynakları ham olarak kullanılmak yerine dönüştürülmekte ve böylece enerji değerleri iyileştirilmektedir (Kosamia vd.;2022, Alma vd.; 2021).

Biyoküteller, genellikle biyokütlenin hangi grupta yer aldığına ve özelliklerine bağlı olarak dönüştürülürler. Ayrıca biyokütle kaynağına, elde edilecek enerjinin nasıl kullanılacağına, ihtiyaca, çevresel ve ekonomik koşullara göre de şekillenirler.

Biyoküteller fiziksel süreçlerden de geçmektedirler. Bu işlemlerden biri biyokütlenin bünyesinde var olan ya da depolama aşamasında bünyesine katmış olduğu nem miktarının alınarak ısı değerinin yükseltilmesidir. Aynı sebeple kömür gibi fosil yakıtlara da uygulanıyor olan nem alma süreci biyokütle için de oldukça önemlidir. Bunun yanında boyutlarının küçültülerek daha küçük bir hacme sıkıştırılması hem taşıma hem de kullanımdaki yoğunluğunun artışı desteklemesi bakımından önemlidir. Ayrıca biyokütle gazlaştırma süreci sırasında parçacık boyutu, sürecin oluşum hızını doğrudan etkiler (Severoğlu; 2010). Briketleme küçültülmüş bir biyokütlenin bazen bir yapıştırıcı ile bazen de yapıştırıcı

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

olmaksızın belirli bir basınç altında biçim verilmesiyle sıkıştırılmış bir boyda ürün elde edilmesidir. Briketleme teknolojisi kullanılarak biyobiriket elde edilir. Biyobiriketler, biyokütlenin taşıma ve depolamasını kolaylaştırmanın yanında yakıt değerini de artırır (Acaroğlu; 2002). Özütleme, süzme, yoğunlaştırma ve fraksiyonlama ise biyokütleyle uygulanan diğer önemli fiziksel süreçlerdir. Biyokütleyle uygulanan fiziksel süreçler neticesinde biyokütlenin yakıt kalitesinde artış gerçekleşir. Direk yakılarak kullanılabilmesine olanak verir. Ayrıca taşıma ve ulaştırma ve kullanım kolaylığı sağlanmış olur (Demiral; 2004).

Tablo 2’de biyokütleyle uygulanan dönüşüm süreçleri verilmiştir.

Ürün	Proses	Besleme özelliği	Besleme tipi	Durum
Isı	Direk yanma	Kuru	Odun	1
	Aerobik parçalanma	Yaş	Hayvansal atık	3
Katı yakıtlar	Piroliz	Kuru	Odun	1
Gaz yakıtlar	Aerobik parçalanma	Yaş	Hay./bit. atık	1
	Hava gazlaştırma	Kuru	Odun/ekin atık	1
	Hidrojen gazlaştırma	Kuru	Odun	1
	Oksijen gazlaştırma	Kuru	Odun	1
Sıvı yakıtlar	Piroliz	Kuru	Odun	1
	Direk sıvılaştırma	Kuru/ıslak	Odun atıkları	4
	Fermantasyon	Yüksek şeker içeriği	Şeker kamışı	1
	Yağ ekstraksiyonu	Ağır yağ içeriği	Yağlıhurma-ayçiçeği	2
	HC ekstraksiyonu	Kompleks HC içeriği	Euphorbiaceae	2

1:Düşük ve orta besleme maliyetli teknoloji, 2:Yüksek besleme maliyetli teknoloji, 3:Düşük ısıtma seviyeli teknoloji

Biyokütleden direk yakılarak enerji elde edileceği gibi çeşitli kimyasal süreçler ile katı, sıvı ve gaz şeklinde yakıtlar da elde edilebilir. Soya, mısır, vb gibi yenilenebilir olan tohumlar ve yüksek nem düzeyindeki bitkiler biyorafineri işlemlerine tabi tutularak dönüştürülürler. Bu işlemler kimyasal/biyokimyasal işlemler ve termokimyasal işlemler olmak üzere ikiye ayrılırlar (Alma vd.; 2021).

Tablo 3’de biyoyakıt üretiminde kullanılan biyorafineri türleri ve dönüşüm süreçleri verilmiştir.

1-Kimyasal / Biyokimyasal Platform	2-Termokimyasal Platform
1.1-Yağ ekstraksiyonu – Transesterifikasyon-Biyodizel	2.1: Yakma
1.2-Ön muameleler/Şeker hidrolizi	2.2: Gazlaştırma –Sentez gazı-Metanol
1.2.3Anaerobik Bozunma/Fermantasyon	2.3:Sıvılaştırma –Biyoyağ-HC
1.2.3-Fermantasyon- Aseton/Butanol Etanol-Biyoetenol	2.4:Piroliz/Karbonizasyon-Biyokömür
1.2.3-Katalitik sulu Faz İşlemleri- Sıvı HC	

Biyokimyasal dönüşüm süreçleri su içeriğinin yüksek olduğu biyokütlelere uygulanırken termokimyasal dönüşüm süreçleri daha ziyade kuru biyokütlelere uygulanmaktadır. Termokimyasal süreçler için saniyeler veya dakikalar yeterken biyokimyasal süreçler için günler, haftalar gerekmektedir. Termokimyasal dönüşüm biyokimyasal dönüşüme göre daha yüksek verimliliğe sahiptir. Termokimyasal süreçlerin biyokimyasal süreçlerle dönüşen biyokütlelere göre diğer bir üstünlüğü ise taşınma ve depolanma özelliklerinin daha iyi olmasıdır. Ayrıca yüksek verimle yanarak, bir fosil yakıtla kıyasla çok da az emisyon salmaktadırlar.

Biyolojik dönüşüm süreci, bir biyokütlenin oksijensiz bir ortam içerisinde mikroorganizmalar yardımı ile enzimatik olarak parçalara ayrıldığı sürece verilen isimdir. Anaerobik bozunma süreci hayvansal

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

atıklar, orman atıkları, bitki atıkları gibi atıklardan enerji elde etmede kullanılır. Böylece kazanılan enerjinin yanı sıra çevre de temizlenmiş olur. Bu hammaddelerden elde edilen biyogazın enerji değeri, hammaddenin içerisindeki bileşenlerine göre değişiklik gösterir. Elde edilen biyogaz, metan ağırlıklı olmak üzere karbondioksit ve az miktarda diğer gazlar içerir.

Biyokütle fermantasyon işlemi, organik bir maddenin mikroorganizmalar aracılığıyla başka maddelere dönüştürülme işlemidir. Fermantasyon ile mısır, yulaf, patates gibi çokça nişasta içeren hammaddeler kullanılır. Alkolik fermantasyon yardımı ile nişastalı biyokütle etanole dönüştürülür. Fermantasyon yöntemi ile kuru bir bitkinin bir birim tonu başına yaklaşık olarak 450 litre etanol üretimi gerçekleştirilmektedir. Bu işlem sonrasında kalan katı biyokütle atığı hayvan yemi olarak, kazanlarda yakıt olarak veya gazlaştırma işleminde hammadde olarak kullanılabilir.

Biyofotoliz ile denizin içindeki bazı mikroskobik algler bir nevi güneş pili gibi çalıştırılarak fotosentetik olarak ayrıştırılırlar. Ayçiçek bitkisi, kolza, soya gibi bitkiler ise esterleştirme işlemi ile dizel yakıtı alternatif olacak şekilde biyoyakıt olarak kullanılırlar.

Termokimyasal dönüşüm sürecinde biyokütlenin enerji bileşenleri yükseltilir ve katı, sıvı, gaz yakıt olarak dönüştürülürler. Termokimyasal dönüşüm süreci yanma, gazlaştırma, sıvılaştırma ve piroliz ile gerçekleştirilir.

Biyokütle yakma; biyokütlenin yakılarak enerji ve karbondioksit elde etme işlemine verilen addır. Biyokütle yakılarak, fırın, ocak, kazan, buhar türbini, turbo jeneratörü vb. gibi sistemlerde kullanılabilir halde ısı, mekanik güç ve elektrik enerjisi üretilebilir. Biyokütlenin yakılması ile elde edilen enerji elektrik üretiminde, yanma sistemlerinde direk olarak ve birçok farklı yerde kullanılabilir. Doğrudan yanmanın en önemli hususlarından biri kullanılacak olan biyokütlenin kuru olmasıdır. Çünkü bu durum açığa çıkan enerji değerini doğrudan etkileyen bir faktördür. Doğru şartlar altında yakılan bir biyokütlenin sıcaklığı 800°C'den 1000°C'ye kadar yükseltilir.

Biyokütle gazlaştırması bir biyokütlenin yüksek sıcaklık altında kısmi bir oksidasyon ile yanabilir gazla dönüştürülmesi işlemine verilen addır. Gazlaştırma işleminde karbon içeriği yüksek olan biyokütle, yüksek sıcaklıklarda bozunarak yanabilir bir gaz haline gelir. Gazlaştırma işlemleri genellikle odun ve tahıl atıklarına yapılır. Bunun sebebi içeriklerindeki selüloz miktarlarının yüksek olmasıdır. Gazlaştırma işleminin yapıldığı sıcaklık, basınç, ısıtma hızı, katalizör türü, açığa çıkan gazın kalitesini doğrudan etkiler. Gazlaştırma işleminde hava, oksijen veya buhar kullanılabilir. Hava ile dönüştürülen gazlaştırma işleminde gazlaştırılmış biyokütle 900-1100°C sıcaklık aralığında oluşur. Oksijen kullanılan biyokütle gazlaştırmasında ise 1000-1400°C aralığında gazlaştırılmış biyokütle oluşmaktadır. İşlem neticesinde düşük ve orta ısı değerli gazlar oluşur. Bu gazlar direk kullanılabilirler. Ayrıca gaztürbinleri, motorlar ve kazanlarda yakıt olarak değerlendirilebilirler.

Sıvılaştırma; bir biyokütlenin düşük sıcaklıklarda, yüksek basınç altında, bir katalizör eşliğinde sıvı elde edilmesi işlemidir. Sıvılaştırma işlemi bir biyokütlenin 250-400°C aralığındaki düşük sıcaklıklarda ve 150 bar gibi yüksek bir basınç altında katalizör hidrojen veya karbonmonoksit varlığıyla gerçekleştirilir. Bu süreçten maksimum sıvı elde edilmesi hedeflenir. Yüksek basınç altında oluşabilmesi ve pahalı olması sebebiyle sıvılaştırma işlemi piroliz ve gazlaştırma işlemlerine göre daha az tercih edilir. Sıvılaştırma işlemiyle maksimum sıvı ve verim amaçlanırken sıvı da minimum miktarda oksijen içeriği hedeflenir. Çünkü minimum oksijen içeriği rekasyon mekanizmasında ki reaksiyonun hızlı ve kontrollü gerçekleşebilmesi demektir. Bu dönüşümler sırasında hidrojenasyon ve hidroleksijenasyon reaksiyonları oluşması sebebiyle piroliz sıvısından daha yüksek kalitede sıvı ürün elde edilir. Sıvılaştırma işlemi ile bir biyokütleden %50'den %80'e varan sıvı elde edilebilir. Kalan miktarı ise az miktardaki gaz ve katıdır. Sıvılaştırma işleminde biyokütlenin içeriğindeki nem miktarının sorun olmaması artı bir özelliktir (Song vd.; 2020).

Piroliz işlemi bir biyokütlenin hava olmayan bir ortam içerisinde ısı verilerek katı, sıvı ve gaz ürünlere dönüştürülmesidir. Başka bir deyişle biyokütlenin havasız bir ortamda ısı verilerek bozundurulması sonucu elde edilen katı, sıvı ve gaz yakıtlardır. Piroliz işlemi sonrasında elde edilen ürünler, sıcaklık, ısıtma hızı ve buharın alıkonma süresine göre değişiklik gösterebilirler. Piroliz işlemleri sırasında ortalama olarak 300°C dolaylarında sıvı, 500°C dolaylarında gaz yakıt elde edilmektedir. Alçak işlem sıcaklığı ve uzun süren piroliz işleminde odun kömürü oluşurken yüksek sıcaklık ve uzun işlem

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

sürecinde biyokütlenin gaz ürüne dönüşümünde artış yaşanır. Orta sıcaklık ve kısa alıkonulma sürelerinde ise optimum sıvı üretimi gerçekleşir (Budak; 2017).

4-SONUÇLAR

Artan nüfus, gelişen teknoloji ve büyüyen sanayi, vb., gibi sebeplerle dünya enerji talebi her geçen gün artmaktadır. Hala birincil enerji kaynağımız olan fosil yakıtların tükeneceği ön görüşünün yanı sıra doğaya verdiği zararlar göz önüne alındığında alternatif enerji kaynakları araştırmaları hız kazanmıştır. Sürekliliğe sahip olması, yenilenebilmesi, ucuz ve ulaşılabilir olması ile yenilenebilir enerji kaynakları bu kaynakların en önemlisidir.

Bu çalışmada, biyokütle ve biyokütle türleri hakkında bilgi verildikten sonra biyokütle dönüşüm süreçleri hakkında bilgi verilmiştir.

Biyokütle, yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Biyokütle genel olarak yüz yıldan daha kısa süre içerisinde yaşamış ve henüz ölmüş her tür canlıya verilen isimdir. Yapısı itibarıyla fosil yakıtlara oldukça benzerdir. Denizden karaya nerdeyse dünyanın her yerinde varlığını sürdürmektedir. Şehir atıkları, orman atıkları, tarım atıkları, kanalizasyon çamuru gibi birçok farklı biyokütle çeşidi vardır.

Her tür enerji kaynağında olduğu gibi biyokütle kaynakları da işlendiğinde ısı değerinde artış görülmektedir. Kömür de ki nem alma işlemlerine benzer şekilde biyokütleye uygulanan işlemler biyokütlenin yanma kalitesini dolayısıyla verimliliğini artırmaktadır. Bu ve buna benzer pek çok işlem ve dönüşüm biyokütlenin mahiyetine göre işlenerek biyokütle daha değerli hale getirilmektedir. Biyokütle kimyasal/biyokimyasal ve termokimyasal olmak üzere iki farklı platform da dönüştürülmektedir. Kimyasal/biyokimyasal platformda dönüşüm sonucunda biyodizel, biyoetanol, sıvı hidro karbon gibi çıktılar olurken termokimyasal platform da yakma, metanol, biyoyağ, biyokömür gibi çıktılar elde edilmektedir.

KAYNAKLAR

Öztürk H. 2012. Enerji Bitkileri ve Biyoyakıt Üretimi, Hasad Yayıncılık, İstanbul.

Öztürk H. 2013. Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Birsen Yayınevi, İstanbul.

Öztürk H. 2016. Biyoyakıt Üretimi, Umuttepe Yayınları, Kocaeli.

Acaroğlu M., 2013. Alternatif Enerji Kaynakları. Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık, Ankara.

Yarımkaya D. 2021. Alternatif Enerji Kaynakları, Nobel Yayınevi, Ankara.

Demiral İ., 2004. Gıda Sanayi Atıklarından Biyoyakıt Eldesi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 160 sayfa.

Alma M.H., Salan T., Altıkat A., Altıkat S., 2021. Biyokütlenin Termokimyasal Dönüşüm Süreçleri ve Reaktörler, Nobel Yayınevi, 349 sayfa.

Severoğlu A., 2010. Katı Biyoyakıt Üretimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 91 sayfa.

Acaroğlu, M., Ögüt, H., Örnek, M.N., 2002. Biyokütlenin Biriketlenmesi ve Biyokütle Biriketlerinin Fiziksel Özellikleri Üzerine Bir Araştırma, IV. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul, 819-832.

Demirbaş, A., 2001. Biomass and the Other Renewable and Sustainable Energy Options for Turkey in the Twenty-First Century, Energy Sources, 23, 177-187.

Doğanay, H., 1998. Enerji Kaynakları. Şafak Yayınevi, 587 sayfa, Erzurum.

Budak M. S. 2017. Biyokütleden Hızlı Piroлиз Yöntemi ile Biyoyakıt Eldesi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 91 sayfa.

Khan A., Niazi M. B. K., Ansar R., Jahan Z., Javaid F., Ahmad R., Anjum H., Ibrahim M., Bokhari A., 2023. Thermochemical conversion of agricultural waste to hydrogen, methane, and biofuels: A review, Fuel, 1-13.

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

Kosamia N. M, Samavi M, Piok K, Rakshit S. K., 2022. Perspectives for Scale up of Biorefineries using Biochemical Conversion Pathways: Technology Status, Techno-Economic, and Sustainable Approaches, Fuel, 324.

Song, C., Zhang, C., Zhang, S., Lin, H., Kim, Y., Ramakrishnan, M., Barceló, D., 2020. Thermochemical Liquefaction of Agricultural and Forestry Wastes into Biofuels and Chemicals from Circular Economy Perspectives. Science of the Total Environment, 749, 1-17.

Huanga Y., Liua S., Wua Y., Zhuh X., Xuc Z., Lic B., Hud X, Sune H., Zhoua J., SZhanga S., 2020. Volatile-Char Interactions During Biomass Pyrolysis: Contribution of Amino Group on Graphitized Carbon Nanotube to Xylose Evolution Based on Experimental and Theoretical Studies, Fuel, 282, 1-7.

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

INVESTIGATION OF MARKET STRUCTURE AND ENERGY RESOURCE EFFECTS ON THE ELECTRICITY MARKETS WITH HUMAN-BASED SIMULATIONS

Hakki Can ERGUN

Erciyes University, Türkiye

ORCID NO: 0000-0002-5827-1984

Saltuk Buğra Selçuklu

Erciyes University, Türkiye

ORCID NO: 0000-0002-9295-3866

ABSTRACT

Due to the restructuring of the electricity sector, many countries have established competitive electricity markets. The electricity market refers to the economic system and infrastructure through which energy producers sell their generation and customers purchase electricity. This study examines the effects of different market structures and energy resources in the electricity market on producers and consumers within the market. The simulation structure used to analyze electricity markets is provided by the EMGame platform, which is a simulation game that covers two different market mechanisms, Pay-as-Bid (PaB) and Uniform Pricing (UP), allowing participants to test their strategies under these mechanisms. The simulation platform offers real players the opportunity to develop decision-making and strategy development skills through scenarios reflecting real-world conditions. Data for this study is collected from twelve games played on the EMGame platform and analyzed, covering two different mechanisms, ten different energy sources, and three different scenarios. The dataset used offers a greater variety of games and rankings based on impact levels compared to human-based experimental datasets commonly used in literature. Both market structures have offered different advantages and disadvantages in terms of the effects of energy resources on the market and supply strategies. The research shows that the choice of market structure has implications for market participants' decisions, market efficiency, and competition. Specifically, while the UP mechanism offers a more transparent and predictable market, the PaB mechanism may be more susceptible to strategic behaviors and potential market manipulation.

Keywords: Electricity Markets, Market Mechanisms, Human-based simulation

INTRODUCTION

Many countries have established competitive electricity markets in the last three decades. Electricity markets play a crucial role in energy systems by fostering competition, enhancing efficiency, and attracting investments. Through supply-demand dynamics, these markets facilitate transparent price discovery for generators, retailers, and consumers, enabling informed decision-making. Competitive mechanisms effectively reduce manipulation, supporting sustainability, and innovation. One of the essential factors for profitability and sustainability in commercial activities is determining the most appropriate electricity market structure and how this structure balances the interests of both producers and consumers.

Central to daily electricity markets is the Market Clearing Price, a critical metric aligning supply and demand. Determined through wholesale market clearing, the MCP reflects the price at which the total electricity supply meets demand, typically hourly. Market participants, including generators and retailers, engage in bid submissions, specifying both electricity quantities and corresponding prices. Lower bids secure dispatch, resulting in the generation of electricity fed into the grid, while higher bids may not be dispatched. Generators receive payments based on the MCP and the market structure for the supplied electricity, and users incur corresponding costs for consumed electricity (Figure 1).

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

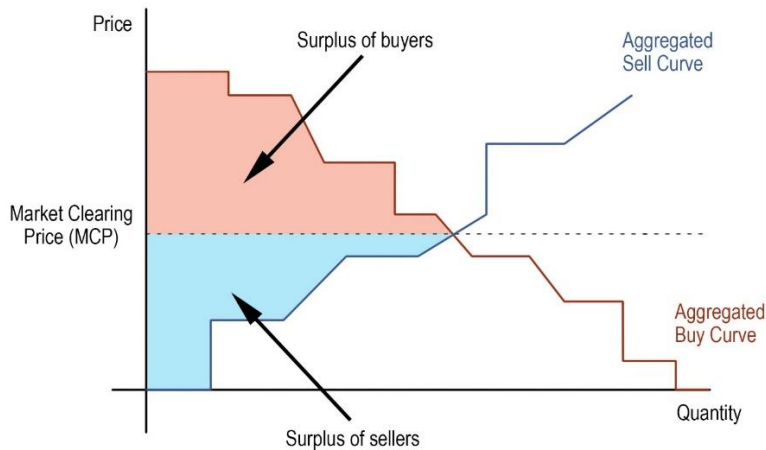


Figure 1. Market Clearing Price

Various market structures in electricity markets have been extensively studied. Cramton (2004) explains three main and practical pricing rules, namely, Uniform Pricing (UP), Pay-as-Bid (PaB), and generalized Vickrey rules. In UP, payment is made to all winning bidders at the accepted highest bid, which is the market clearing price. In the PaB rule, each bidder is paid based on their bid price (Sensfuß, Ragwitz, & Genoese, 2008). The Vickrey rule is formulated for single-unit pricing and is a second-price sealed-bid auction where the highest bidder wins (Vickrey, 1961). It is claimed that this mechanism encourages bidders to offer their true values (Ethier, Zimmerman, Mount, Schulze, & Thomas, 1999; Lucking-Reiley, 2000). Some researchers prefer the UP structure, while others prefer the PaB structure. Some studies suggest a combination of these structures or the emergence of a different structure through integration. However, most analyses focus on comparing the short-term performances of the two auction structures (PaB and UP). Some articles cover diverse aspects of electricity markets, simulations, and the integration of human subjects with computational agents. Mazzi et al. (Mazzi, Kazempour, & Pinson, 2018) focused on evaluating the supply strategies of energy resources in the market. However, it has been noted that most existing models focus on the UP model, and only a few countries such as Germany and Italy utilize PaB (Clò, Cataldi, & Zoppoli, 2015; Sensfuß et al., 2008). Zhao et al. (2023) evaluate UP and PaB using game theoretical models to assess market equilibrium and design. However, it is emphasized that these game theory models do not fully reflect the complexity of real electricity markets and assume the rational behavior of players (Lucking-Reiley, 2000). Pinto et al. (2013) use game theory models to evaluate different electricity market scenarios to represent the strategic behaviors of players and derive equilibrium outcomes. Due to some shortcomings of game-theoretical models, agent-based modeling and simulation (ABMS) have become a preferred method (Veit, Weidlich, & Krafft, 2009; Weidlich & Veit, 2008). ABMS can flexibly model how competitive structures in electricity markets and factors such as UP and PaB at different market concentration levels affect prices (Viehmann, Lorenczik, & Malischek, 2021). Viehmann et al. (2021) stated that they were the first to extend the Multi-Unit Multi-Bid (MUMB) model inspired by Bakirtzis' work (Bakirtzis & Tellidou, 2006). The use of simulation tools is highly suitable for analyzing complex, dynamic, and adaptive systems with intricate interactions (Deshmukh et al., 2006; Prýmek & Horák, 2010). By simulating system behavior and participants' strategic behaviors with multi-agent simulation tools, one can examine how market rules and conditions affect the system (Badawy, Hirsch, & Albayrak, 2010; Praca, Ramos, Vale, & Cordeiro, 2003). For instance, Liu et al. (2012) suggested the replacement of the PaB mechanism with the UP mechanism based on their analysis using Agent-Based Simulation (ABS). Veit et al. (2006) utilized two different agent-based simulation models for the electricity market in the United Kingdom. These are AMES (Agent-Based Modeling of Electricity Systems) (Bagnall & Smith, 2005), an open-source agent-based framework, and MASCEM (Multi-Agent System for Competitive Electricity Markets) (Praca et al., 2003).

While agent-based simulation models have been valuable in electricity market research, human-based experiments offer a complementary approach to understanding market dynamics, participant behavior,

and the impact of policy interventions. Duffy (2006) explores the relationship between agent-based modeling and human subject experiments, testing the empirical validity of ABM. They also present insights into the replacement of human subjects with artificial agents in computerized experimental designs. Delarue et al. (2009) emphasize the evolving structure of electricity markets, fostering competition, and introducing a simulation package for energy engineering students. Delarue et al. (2011) introduce a techno-economic education package with two simulation games, focusing on enhancing learning through key attributes. Trinh et al. (2013) examine the strategic behavior of generators in a European wholesale electricity market using experimental economics and agent-based modeling, comparing results between human participants and computer-based agents. Yu and Sun (2019) analyze the trading risk control model of electricity retailers in multi-level power markets, evaluating decision-making abilities in complex market environments through human-based experiments. Shayegh and Sanchez (2021) assess the impact of Renewable Portfolio Standards (RPS) on clean energy technologies in regulated and deregulated markets, using a simplified electricity market model and observing human-based experiences. Wang et al. (2022) shed light on the challenges and opportunities associated with decision-making under risk for participants in trans-provincial electricity markets under RPS, utilizing human-based experiments.

This study aims to examine the effects of different market structures and energy resources in the electricity market through a human-based game approach. The effectiveness of different market structures and their impact on prices and competition are being analyzed. This study aims to provide valuable insights for market participants, regulatory institutions, and policymakers. It offers information to better understand the challenges faced in the energy sector and to effectively utilize, and even manage markets.

METHODOLOGY

The EMGame is an electricity market simulation game designed to provide and enhance knowledge and skills in electricity markets. Electricity market simulation games are practical learning tools for students and researchers to experience realistic market conditions. With its current version, the EMGame is developed based on Asp.Net MVC, Entity Framework, Bootstrap, and MSSQL. The electricity market simulation game platform was initially utilized in relevant courses at the Department of Energy System Engineering, Engineering Faculty, Erciyes University, with initial trials conducted using a simple game model based on Excel and MATLAB. The first internet-based version of the game was initiated by Abusah and Selçuklu (2022). The platform covers two different market mechanisms, PaB and UP, allowing participants to test their strategies under these mechanisms. The simulation platform offers human players the opportunity to develop decision-making and strategy development skills through scenarios reflecting real-world conditions.

This study analyzes the games played by students under six scenarios. Through PaB and UP market simulations, participants experience scenarios involving a mix of renewable and fossil fuel plants. Within the game, each player is directed to their respective game page where they can manage their portfolio for investment and trading. In the investment section, players decide to invest in new energy power plants, examining details such as costs, capacity, efficiency, and carbon emissions. After the construction period, newly purchased plants are added to the portfolio, and after the operational period, they are retired. The trade section involves bidding within the \$0 to \$200 price range, allowing players to specify quantities and corresponding bid prices. Trade results, displaying commercial activities for each power plant, are highlighted on the market outcome page. The dispatched bids table shows bids and accepted ratios, while the all-bids table illustrates bids from all companies, offering insights into other players' strategies. The game data is stored in the database.

Data from twelve games have been obtained and analyzed, covering two different mechanisms, ten different energy sources, and six different scenarios. Undergraduate and graduate students played games at the Energy Systems Engineering Department, at Erciyes University. The detailed descriptions of the games are given in Table 1. The dataset offers a greater variety compared to previous human-based experimental datasets. The identified variables include game types, player ID number, energy plant name, game period, capacity (MW) that each player can sell, player's bid price, total capacity (MW),

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

amount of capacity (MW) sold, market clearing prices, plant types such as nuclear, lignite coal, CCGT, hydro, solar, onshore and offshore wind, biofuel, geothermal, and import coal.

Table 1 Types of Games

Game Type	Mechanism	Energy Type Employed	Game Type Details
RMCP	MCP: UP	R: Only Renewable Energy	13 participants, 25 periods
RPaB	PaB	Only Renewable Energy	11 participants, 25 periods
FMCP	UP	F: Only Fossil Fuel	11 participants, 25 periods
FPaB	PaB	Only Fossil Fuel	10 participants, 25 periods
RFMCP	UP	RF: Both Renewable and Fossil Fuel	11 participants, 25 periods
RFPaB	PaB	Both Renewable and Fossil Fuel	11 participants, 25 periods
RMCP-2	UP	Only Renewable Energy	18 participants, 24 periods
RPaB-2	PaB	Only Renewable Energy	18 participants, 24 periods
FMCP-2	UP	Only Fossil Fuel	15 participants, 24 periods
FPaB-2	PaB	Only Fossil Fuel	20 participants, 24 periods
RFPaB-2	PaB	Both Renewable and Fossil Fuel	16 participants, 24 periods
RFPaB-3	PaB	Both Renewable and Fossil Fuel	19 participants, 24 periods

Through the analysis of data obtained from electricity market simulation games, outputs are generated, including the calculation of market clearing prices, determination of player bidding strategies, and evaluation of the effectiveness of different market mechanisms. The comparison among market structures encompasses factors such as the effectiveness of different pricing mechanisms, competition level, price formation, and supply/demand stability.

RESULTS

An analysis of twelve games has been presented in the study. **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.** presents the box plots of players' final budgets for each game. A budget box plot of a game shows the visual indication of the 25th percentile, 50th percentile, 75th percentile, median, mean, minimum, maximum, and outlier values of player budgets. The line splitting the box in two represents the median value. Outliers are shown with circles. The shape of the boxplot shows how player budgets at the end of the game are distributed and it is a useful way to compare different game types in terms of total income and income distribution. For example, the game with only fossil resources under the PaB mechanism (FPaB) and the game with only fossil resources under the UP mechanism (FMCP) games have contrasting budget distributions. In the FPaB game, players have earned less than the FMCP game, but the income distribution is more equitable. Another distinctive comparison can be made between the game with both renewable and fossil resources under the PaB mechanism (RFPaB) and the game with both renewable and fossil resources under the UP mechanism (RFMCP) games. These comparisons suggest an effect of market mechanisms on income and income distribution. However, RPaB and RMCP games have similar box plots. As a result, an effective pricing mechanism for electricity markets is identified, and the effects of different market structures on competition levels are examined.

Comparing each game in terms of Market Clearing Price (MCP), utilizing a graph of MCP (Figure 2) would provide valuable insights. Figure 2 illustrates a general trend in the MCP within the UP structure,

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

showing an initial high level, followed by a decline, and then a subsequent increase. Conversely, in the PaB structure, MCP typically commenced with an average value, followed by abrupt fluctuations characterized by sudden declines and subsequent rises. This approach would enable us to identify games with high or low MCP values and assess market competition concurrently.

According to the US Department of Justice (DOJ) Horizontal Merger Guidelines, the Herfindahl-Hirschman Index (HHI) is a common measure of market concentration and is used to determine market competitiveness. HHI index is calculated as in (1) where MS_i is the market share of the firm i and N is the number of firms in the market.

$$HHI = \sum_{i=1}^N (MS_i)^2 \quad (1)$$

According to the DOJ, a market with an HHI above 1800 is considered highly concentrated. A merger that increases the HHI by more than 100 points and results in a highly concentrated market or a market share for the merged firm of greater than 30% is presumed to substantially lessen competition or tend to create a monopoly. Table 2 presents HHI calculations for each period of each game. The HHI is high only in the last period of the FPAB game (2291). This means that a highly concentrated market was formed in just one period of all games. All other instances are acceptably low. Hence, we can conclude that all games were played in competitive markets. However, electricity markets are more complex than other market environments. Therefore, further analysis of supply-demand relations should be conducted.

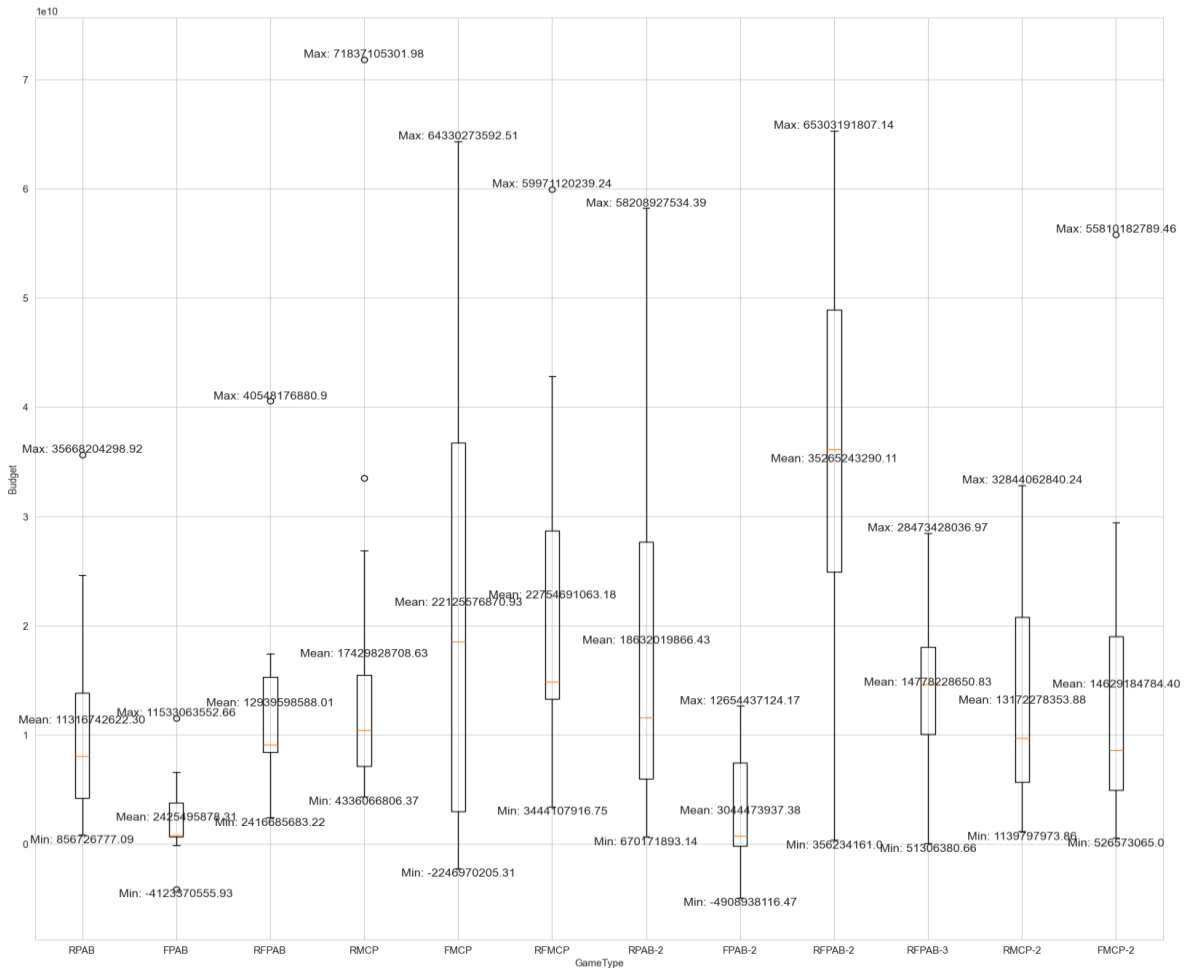


Figure 1. Budget box plots

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

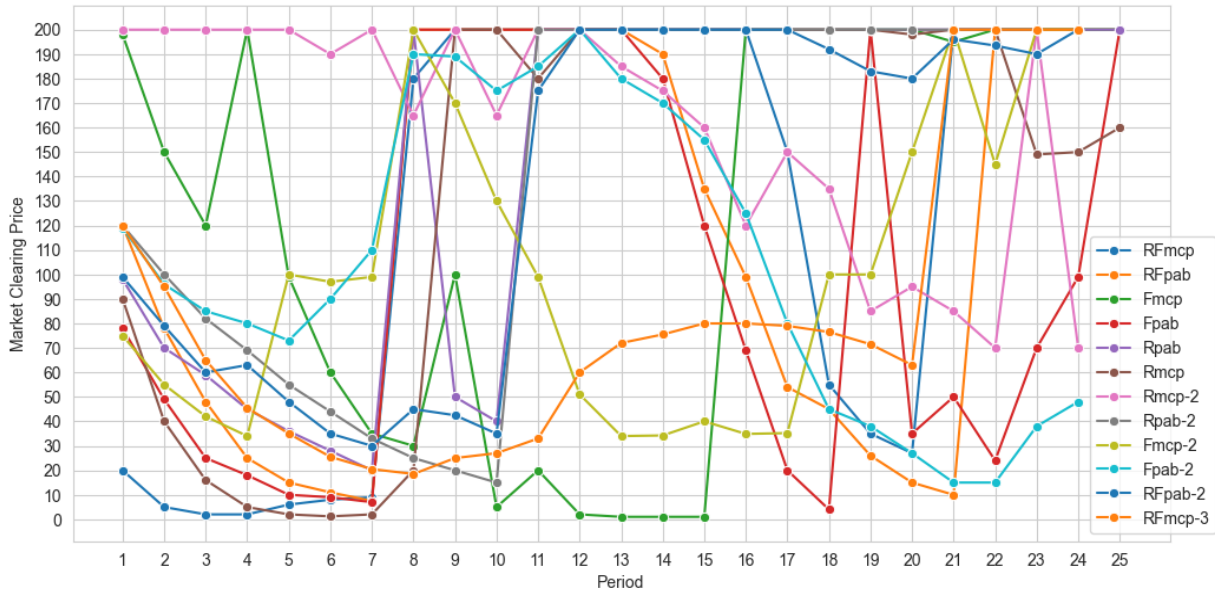


Figure 2. MCP for each period of games

Table 2 Herfindahl-Hirschman Index

HH	RM	RP	FM	FP	RFM	RFP	RMC	RPa	FMC	FPa	RFPa	RFPa
I	CP	D	CP	D	CP	D	CP	D	CP	D	CP	D
1	486	62	432	46	434	424	345	328	310	242	203	405
2	511	59	407	49	397	414	318	339	328	245	206	394
3	504	57	419	50	422	381	310	336	322	237	203	396
4	470	56	398	45	447	393	302	343	312	247	198	404
5	469	56	356	40	447	396	300	336	330	245	183	356
6	469	55	401	42	427	372	286	327	275	241	180	348
7	440	47	352	38	427	368	280	293	286	221	170	331
8	425	46	561	61	815	574	265	341	421	295	215	289
9	566	56	486	58	799	573	250	294	332	299	191	297
10	549	49	385	58	692	521	233	281	294	241	185	286
11	129	91	626	14	1684	108	366	465	443	310	364	283
12	632	98	622	69	1122	782	317	430	373	262	337	275
13	477	10	521	58	541	579	233	378	329	231	292	275
14	341	83	454	48	519	454	212	364	252	223	250	280
15	350	66	474	51	445	369	182	324	247	239	228	259
16	301	59	491	44	396	344	182	296	276	239	192	236
17	316	47	534	44	375	333	329	237	283	212	227	215
18	305	45	508	49	427	314	328	206	319	212	216	202
19	277	41	487	57	446	479	346	189	335	226	257	174
20	275	46	512	57	471	506	350	159	393	228	244	165
21	276	46	806	78	505	494	477	173	517	255	335	199
22	305	45	866	90	537	572	485	163	703	299	312	212
23	480	45	886	95	707	584	482	165	702	355	353	199
24	658	60	861	15	901	769	538	179	899	537	463	214
25	786	73	917	22	932	934						

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

CONCLUSION

By presenting a human-based study, an attempt has been made to provide a more realistic comparison of electricity markets and to offer a complementary approach to addressing the deficiencies in the literature. From the MCP graph, we can see that the bids given by the players and the market price range change according to the different market structures. The relationship in terms of market efficiency and competition can be seen from the supply-demand and budget graphs. Both market structures offer different advantages and disadvantages in terms of the effects of energy resources on the market and supply strategies. Additionally, the UP mechanism offers a more transparent and predictable market, whereas the PaB mechanism may be more susceptible to strategic behaviors and potential market manipulation according to our study.

This study emphasizes human-based experiments on market structures and the impact of energy resources on electricity markets. Preliminary results are presented, and further investigations are needed. Supply Margin Assessment (SMA) index, involves evaluating the balance between electricity supply and demand will be compared. Also, MCP and marginal cost of the price setting technology will be compared that's called "Bidding Markup". The EMGame has been used as a foundation for this study and an agent-based simulation model is being developed. In this model, the learning of agents will be modeled using machine learning methods The ABSM method will be employed to compare real players and AI agents.

ACKNOWLEDGMENTS

This study has been supported by the Erciyes University Scientific Research Projects Coordination Unit under grant number FHD-2024-13745 and ARDEB 3501 at the Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBİTAK) project number 222M440.

REFERENCES

- Abusah, I. C., & Selçuklu, S. B. (2022). Simülasyon ile Öğrenme İçin Tasarlanmış Web Tabanlı Yeni Bir Elektrik Ticareti Oyunu. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 38(1), 21-37.
- Badawy, R., Hirsch, B., & Albayrak, S. (2010). Agent-based coordination techniques for matching supply and demand in energy networks. *Integrated Computer-Aided Engineering*, 17, 373-382. doi:<https://doi.org/10.3233/ICA-2010-0350>
- Bagnall, A. J., & Smith, G. D. (2005). A multiagent model of the UK market in electricity generation. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 9(5), 522-536. doi:<https://doi.org/10.1109/TEVC.2005.850264>
- Bakirtzis, A., & Tellidou, A. C. (2006). *Agent-Based Simulation of Power Markets under Uniform and Pay-as-Bid Pricing Rules using Reinforcement Learning*.
- Clò, S., Cataldi, A., & Zoppoli, P. (2015). The merit-order effect in the Italian power market: The impact of solar and wind generation on national wholesale electricity prices. *Energy Policy*, 77, 79-88. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.11.038>
- Cramton, P. (2004, 10-13 Oct. 2004). *Alternative pricing rules*. Paper presented at the IEEE PES Power Systems Conference and Exposition, 2004.
- Delarue, E., Laga, E., Meeus, L., Belmans, R., & D'haeseleer, W. J. I. J. o. E. E. (2011). Achieving learning potentials in an educational simulation game for trading and generating electrical energy. 27(4), 703.
- Delarue, E., Laga, E., Meeus, L., Belmans, R., & haeseleer, W. D. (2009, 27-29 May 2009). *Techno-economic educational simulation games for trading and generating electrical energy*. Paper presented at the 2009 6th International Conference on the European Energy Market.
- Deshmukh, A., Ponci, F., Monti, A., Cristaldi, L., Ottoboni, R., Riva, M., & Lazzaroni, M. (2006, 24-27 April 2006). *Multi Agent Systems: an Example of Dynamic Reconfiguration*. Paper presented at the 2006 IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings.

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

- Duffy, J. (2006). Chapter 19 Agent-Based Models and Human Subject Experiments. In L. Tesfatsion & K. L. Judd (Eds.), *Handbook of Computational Economics* (Vol. 2, pp. 949-1011): Elsevier.
- Ethier, R., Zimmerman, R., Mount, T., Schulze, W., & Thomas, R. (1999). A uniform price auction with locational price adjustments for competitive electricity markets. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 21(2), 103-110. doi:[https://doi.org/10.1016/S0142-0615\(98\)00034-9](https://doi.org/10.1016/S0142-0615(98)00034-9)
- Liu, Z., Yan, J., Shi, Y., Zhu, K., & Pu, G. (2012). Multi-agent based experimental analysis on bidding mechanism in electricity auction markets. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 43(1), 696-702. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2012.05.056>
- Lucking-Reiley, D. (2000). Vickrey auctions in practice: From nineteenth-century philately to twenty-first-century e-commerce. *Journal of economic perspectives*, 14(3), 183-192.
- Mazzi, N., Kazempour, J., & Pinson, P. (2018). Price-Taker Offering Strategy in Electricity Pay-as-Bid Markets. *IEEE Transactions on Power Systems*, 33(2), 2175-2183. doi:<https://doi.org/10.1109/TPWRS.2017.2737322>
- Pinto, T., Praça, I., Vale, Z., Morais, H., & Sousa, T. M. (2013). Strategic bidding in electricity markets: An agent-based simulator with game theory for scenario analysis. *Integrated Computer-Aided Engineering*, 20, 335-346. doi:<https://doi.org/10.3233/ICA-130438>
- Praca, I., Ramos, C., Vale, Z., & Cordeiro, M. (2003). MASCEM: a multiagent system that simulates competitive electricity markets. *IEEE Intelligent Systems*, 18(6), 54-60. doi:<https://doi.org/10.1109/MIS.2003.1249170>
- Prýmek, M., & Horák, A. (2010). Multi-agent approach to power distribution network modelling. *Integrated Computer-Aided Engineering*, 17, 291-303. doi:<https://doi.org/10.3233/ICA-2010-0348>
- Sensfuß, F., Ragwitz, M., & Genoese, M. (2008). The merit-order effect: A detailed analysis of the price effect of renewable electricity generation on spot market prices in Germany. *Energy Policy*, 36(8), 3086-3094. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.03.035>
- Shayegh, S., & Sanchez, D. L. (2021). Impact of market design on cost-effectiveness of renewable portfolio standards. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 136, 110397. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110397>
- Trinh, Q. C., Saguean, M., & Meeus, L. (2013). Experience With Electricity Market Test Suite: Students Versus Computational Agents. *IEEE Transactions on Power Systems*, 28(1), 112-120. doi:10.1109/TPWRS.2012.2199335
- Veit, D., Weidlich, A., & Krafft, J. (2009). An agent-based analysis of the German electricity market with transmission capacity constraints. *Energy Policy*, 4132-4144. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.05.023>
- Veit, D., Weidlich, A., Yao, J., & Oren, S. (2006). Simulating the dynamics in two-settlement electricity markets via an agent-based approach. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 1, 83-97. doi:<https://doi.org/10.1080/17509653.2006.10671000>
- Vickrey, W. (1961). Counterspeculation, auctions, and competitive sealed tenders. *The Journal of finance*, 16(1), 8-37.
- Viehmann, J., Lorenczik, S., & Malischek, R. (2021). Multi-unit multiple bid auctions in balancing markets: An agent-based Q-learning approach. *Energy economics*, 93, 105035. doi:<https://doi.org/10.1016/j.eneco.2020.105035>
- Wang, H., Chen, Y., Wu, Z., & Xu, H. J. E. E. J. A. E. E. (2022). Optimal Decision-Making of Trans-Provincial Electricity Market Subjects with Risks under Renewable Portfolio Standards. 119, 1141-1167. doi:10.32604/ee.2022.016151
- Weidlich, A., & Veit, D. (2008). A critical survey of agent-based wholesale electricity market models. *Energy economics*, 30(4), 1728-1759.

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

Yu, X., & Sun, Y. (2019). Trading risk control model of electricity retailers in multi-level power market of China. 7(6), 2756-2767. doi:<https://doi.org/10.1002/ese3.457>

Zhao, D., Botterud, A., & Ilic, M. (2023). *Uniform Pricing vs Pay as Bid in 100%-Renewables Electricity Markets: A Game-theoretical Analysis*. Paper presented at the Proceedings of the 14th ACM International Conference on Future Energy Systems, Orlando, FL, USA. <https://doi.org/10.1145/3575813.3595201>

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

MATHEMATICAL MODEL FOR ENHANCING PASSIVE INDOOR THERMAL AND VISUAL COMFORT IN DOUBLE-BANKED OFFICE BUILDINGS IN THE TEMPERATE DRY CLIMATE OF NIGERIA

Muhammad Aminu Musa

Department of Architecture, Faculty of Environmental Design, Ahmadu Bello University, Zaria

ORCID ID: 0000-0003-4516-1281

ABSTRACT

Many researchers have differed on the optimum values of Passive Indoor Thermal and Visual Comfort (PITVC) determinants for double-banked office buildings in tropical climates. The study is aimed at developing a mathematical model for enhancing PITVC in double-banked midrise office buildings, during the activity period (8 am to 5 pm), in the temperate dry climate of Nigeria. It was achieved by evaluating the effects of Orientation, WWR, R-values, and shading devices on PITVC. A quantitative research design using an explorative design approach was employed in the study as well as an experimental research strategy through simulation method to enhance PITVC. The study used Bank of Industry building as a prototype of a double-banked office building. The Google Sketch-Up 2022 and OpenStudio simulation tools were used to evaluate the prototype building from January to December 2023. The data generated was analyzed using relevant statistical tools (MANOVA, ANOVA, column charts, graphs, and tables). The findings revealed that the best WWR for visual and thermal comfort are 45% and 15% respectively while the compromise value was 45%. the best values of projection factors for visual and thermal comfort are 0.35 and 0.6 respectively while the compromise value was 0.5. It was also noted that the R-value of external wall insulation material does not affect the visual comfort of an office building but affects operative temperature as well as relative humidity as the optimum value was found to be 3.61 m²·K/W. The mathematical model was developed as $A = -47.22 + 174.22WWR - 85PF + 6.33R \dots \dots 1$ Where A is orientation, WWR window-to-wall ratio, PF projection factor, and R is the R-value of the external wall materials.

Keywords: Daylight autonomy, Double-banked office building, Operative temperature, Thermal comfort, Visual comfort.

Introduction

There are many studies concerning passive indoor thermal and visual comfort in across the globe but little have considered building layout. A study conducted by Tereci et al. (2013) has revealed that there is significant impact of building typology on building energy performances. Other studies such as that of Musa (2023) Astrich, Morris, and Walters (2010) and Samir, Nouredine and Abdelhalim (2017) confirmed Tereci et al. (2013) findings. There are various ways of classifying office buildings in architecture, which include: classification based on form; circulation pattern; accessibility; building layout; and so, on as shown in Figure 2.1.

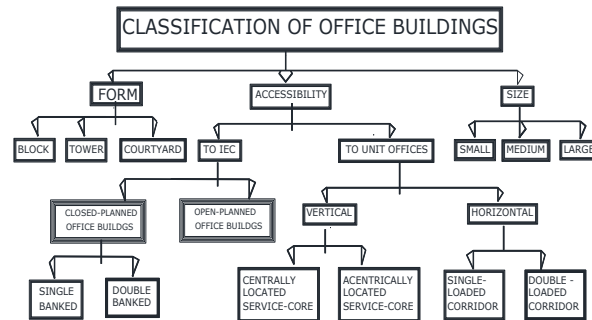


Figure 2. 1. Classification of office buildings

Source: Musa (2022)

Many studies in the tropics were able to predict PITVC but of conflicting values due to the failure to consider building spatial layout. For example: Mahmoud et al., (2015) and Hakim, et al., (2021) findings were not tie to any building classification while that of Salem et al., (2022) did not consider a number of variables such as WWR, R-values of the materials as well as building layout. Moreover, a study by Zhang, and Ji, (2022) have added a concept of energy without considering the building spatial layout.

Achieving the acceptable passive indoor environmental comfort, in office buildings is very important to the success of a sustainable office building. It is very vital to take passive thermal and visual comfort into account in their interactions in tropical nations like Nigeria to prevent environmental pandemonium. The study has shown that most of the mid-rise office buildings in Temperate dry climate in developing countries are of double-banked layout. For example, Prasetya, et al., (2023) noted that, most of the mid-and high-rise buildings in Indonesia are double-loaded corridor. Hassan, (2022) has noted that, double loaded corridor buildings have rooms accessed from both sides of the corridor and are more suitable for high-rise buildings due to their structural requirements. Another advantage of double-banked office buildings is in terms of economy of space and structural requirements. The study aims at developing a Framework for passive indoor thermal and visual comfort (PITVC) in double-banked office buildings in the temperate dry climate of Nigeria. This was done by investigating the effects of window-to-wall ratio (WWR), Orientation, Overhang Projection Factor, and R-values of the exterior wall component of double-banked office buildings on PITVC in the temperate dry climate of Nigeria. These brought about the following research questions:

- i. to what extent does the orientation (azimuth) affect PITVC of double-banked office buildings?
- ii. to what extent does the WWR affect PITVC of double-banked office buildings?
- iii. to what extent does the shading device affect the PITVC of double-banked office buildings?
- iv. to what extent do the R-values of the exterior wall component affect the PITVC of double-banked office buildings?

They brought about the following hypothesis: (H₁) states that the mean effects of PITVC are significantly different for at least one of the Azimuths in a double-banked office buildings in the temperate dry climate of Nigeria; Hypothesis (H₂) states that the mean effects of PITVC are significantly different for at least one of the WWRs in a double-banked office buildings in the temperate dry climate of Nigeria; hypothesis (H₃) states that the mean effects of PITVC are significantly different for at least one of the Overhang Projection Factors in a double-banked office buildings in the temperate dry climate

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

of Nigeria; hypothesis (H4) states that the mean effects of PITVC are significantly different for at least one of the R-value of external wall materials in a double-banked office buildings in the temperate dry climate of Nigeria.

2.0 Literature Review

The climate type is a fundamental factor in optimizing Passive Indoor Thermal and Visual Comfort and based on the various historical periods, climate could be classified into two (2): classical and modern. According to Rohl (2015), the ancient Greeks used reasoning to categorise climate during the classical era. The creation and spread of weather recording equipment in the middle of the 19th century is credited with giving rise to modern climate classification. Although many different modern climate classifications have been developed, they may all be broadly divided into two categories: genetic climate classifications and empiric classifications (Rafferty, 2016; Ritter, 2019). The study has adopted the empiric climate classifications as widely adopted for all practical applications as concluded by Djamila, (2018). Most climate classifications that are based on human comfort have their origin in Atkinson's (1953) climate classification (Koenigsberger et al. 2013) as shown by Musa (2022). The study has adopted Mobolade and Pourvahidi's (2020) climate classification based on the fact that it factored temperature, relative humidity, mean radiant temperature, and wind velocity in its method of classification. It also considered the gradual transition from one climatic zone to another as shown in Figure 2.2.

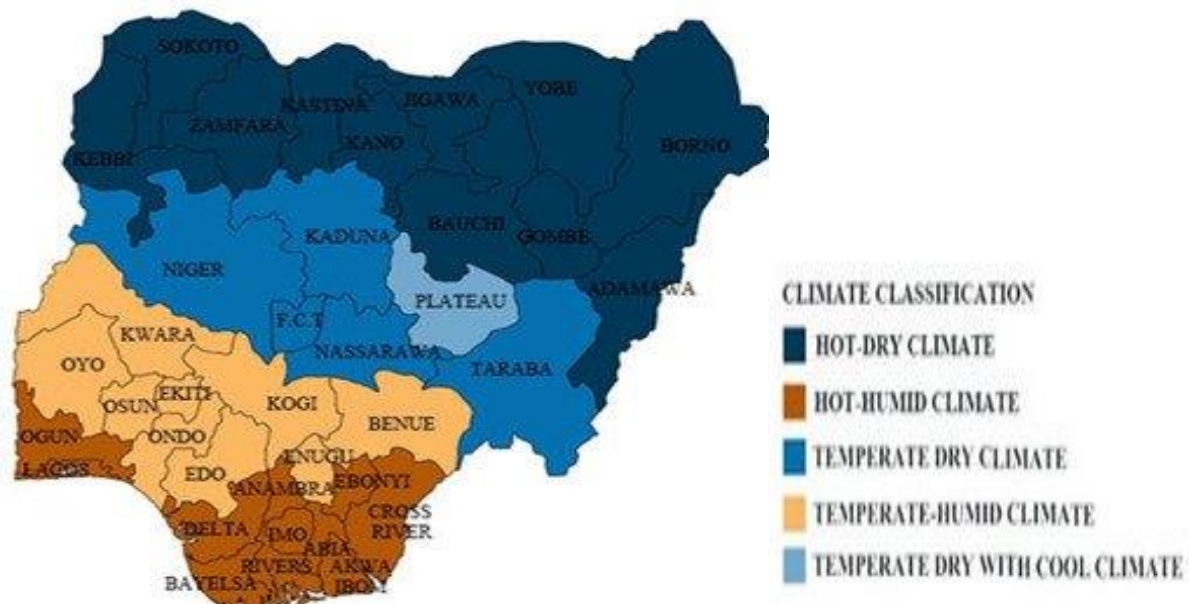


Figure 2 2. Classification of the Nigerian climate Mobolade and Pourvahidi.

Source: Mobolade and Pourvahidi (2020).

A Framework is an intellectual arrangement that acts as a roadmap for building concepts that develop into something meaningful. There are generally two types of frameworks: - theoretical and conceptual framework. A theoretical framework is a structure that can hold a theory of research study (Kivunja, 2018) and is used to limit the scope of the relevant data by focusing on specific variables. Ravitch and Riggan, (2017) noted that conceptual framework is the entirety of the researcher's ideas regarding the research topic, the issue to be looked into, the questions to be asked, the literature to be reviewed, the theories to be applied, the methodology you will employ, the tools, procedures, and data analysis, the interpretation of the findings, recommendations, and conclusions. Thus, it includes a theoretical framework in addition to other things. Another sub-frame classification is the optimisation framework which was defined by Ansari (2020) as the optimum technology that treats each waste type into useful products. The word "Optimisation" in this research simply means to make the indoor environment of the office buildings as comfortable as it can be in the temperate dry climate of Nigeria. Sukreet and Kensek, (2014) outlined four (4) different types of optimisation in architectural education, which include: parametric analysis; genetic algorithms; multi-objective optimisation; and passive optimisation

techniques. Passive optimization is the process by which an expert designer generates a large number of design possibilities, typically with the use of simulation software, to meet optimisation standards. Sukreet and Kensek (2014) have critiqued the process of developing three or more building options, comparing them cognitively to past experiences, and then using intuition to choose the best one. Coello, (2005) observed that multi-objective algorithm is more traditionally associated with engineering and scientific fields. Parametric analysis is the process of changing the values of a particular variable until a maximum or minimum result is obtained which indicates the best solution. The research has adopted the parametric method of optimization for achieving the study goal.

3.0 Methodology

An experimental research strategy using the simulation method was employed through an exploratory design approach and quantitative research design. A non-convenience probability sampling technique was used in selecting the Bank of Industry building as a case of a double-banked office building as illustrated in Figure 1.

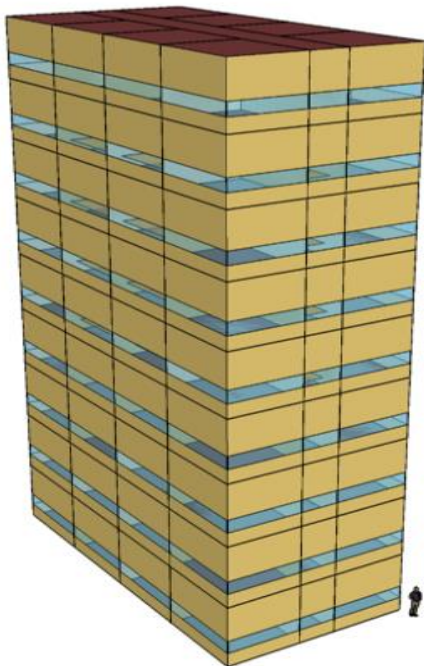


Figure 1. Iterative Prototype of Bank of Industry

The Iterative prototype of the Bank of Industry in Nigeria was modeled in Google Sketch Up 2022 and simulated in OpenStudio from January to December 2023 on the hypothetical sites devoid of surrounding buildings and trees, in Jalingo, Abuja, and Kaduna, using the various range of values of WWR, Azimuths, Overhang Projection factor, and R-values and their corresponding mean values of Daylight Autonomy (DA), Useful Daylight Illuminance ($UDI_{100-3000}$), Spatial Daylight Autonomy (sDA), Operative Temperature (OT), and Relative Humidity (RH) was recorded. Data generated were then analyzed using the MANOVA statistical tool with a significance value of 0.05, bar charts, graphs, and tables. Regression analysis was then used to establish the relationship between the four variables in a double-banked office building for PITVC in the temperate dry climate of Nigeria.

4.0 Findings and Discussion

The results are presented based on the following research questions:

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

4.1. To what extent does the azimuth angle affect PITVC of double-banked midrise office buildings in the temperate dry climate of Nigeria?

The simulations were done with a double-banked office building with WWR of 8.8%, and R-value of 2.08 m²K/W. The results were presented in Tables 4.1, 4.2 and 4.3.

Table 4.1. Simulation results of the effects of orientation on DA, sD, and UDI in double-banked mid-rise office buildings, in the temperate dry climate of Nigeria.

Azimuth	0 ⁰	11.5 ⁰	22.5 ⁰	45 ⁰	67.5 ⁰	90 ⁰
DA	73	73	73	75	76	76
sDA	97.5	97.4	97.4	97.7	97.5	97.5
UDI	81	80	79	74	69	67

Source: Author, (2024)

It was noted that three out of eleven conditions have fulfilled the benchmarks as put forward by Illuminating Engineering Society (IES, 2022) which recommended a DA of 60% of the work plane illuminance; UDI₁₀₀₋₃₀₀₀ of 80%, and sDA of 75% in office space. It has also been observed that, as the azimuth angle increases the DA increases but UDI decreases. When the daylight indicators were ranked, it showed that a building oriented at zero degrees has the best visual comfort as shown in Table 4.2. The finding is in agreement with the Anumah and Anuma (2007).

Table 4.2 Ranking of the daylight comfort metrics on building orientation

Azimuth	DA	SDA	UDI	Daylight Comfort	Remark
0	3 rd	2 nd	1 st	1 st	0 ⁰ is the best orientation to achieve Visual comfort
11.5	3 rd	3 rd	2 nd	2 nd	
22.5	3 rd	3 rd	3 rd	4 th	
45	2 nd	1 st	5 th	6 th	
67.5	1 st	2 nd	6 th	8 th	
90	1 st	2 nd	7 th	9 th	
112.5	1 st	8 th	6 th	11 th	
135	2 nd	4 th	5 th	7 th	
157.5	3 rd	5 th	3 rd	5 th	
180	3 rd	6 th	1 st	3 rd	
270	4 th	7 th	4 th	10 th	

Source: Author,

The simulation results of the effects of building orientation on operative temperature and relative humidity are presented in Table 4.3. The result showed that 11.5⁰ azimuth is the most appropriate orientation for better operative temperature and relative humidity. When values of daylight metrics and thermal comfort indicators were ranked together as indicated in Table 4.4, 11.5⁰ was found to be the most appropriate for PITVC due to the direction of air circulation at 45⁰ as observed by Bhatia, (nd) and Szokolay (2008).

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

Table 4.3. Ranking of the orientation for PITVC

Azimuth	DA	SDA	UDI	Daylight Comfort	Thermal Comfort	PITVC	Remark
0	3 rd	2 nd	1 st	1 st	2 nd	1 st	11.5 ⁰ is the most appropriate due to the effects of wind direction in the tropics.
11.5	3 rd	3 rd	2 nd	2 nd	1 st	1 st	
22.5	3 rd	3 rd	3 rd	4 th	3 rd	2 nd	
45	2 nd	1 st	5 th	6 th	4 th	3 rd	
67.5	1 st	2 nd	6 th	8 th	5 th	4 th	
90	1 st	2 nd	7 th	9 th	6 th	5 th	
112.5	1 st	8 th	6 th	11 th			
135	2 nd	4 th	5 th	7 th			
157.5	3 rd	5 th	3 rd	5 th			
180	3 rd	6 th	1 st	3 rd			
270	4 th	7 th	4 th	10 th			

Source: Author, (2024)

4.1.1 Hypothesis Testing: -

a) H_{01} : There is no significant difference in PITVC among the midrise office buildings with different azimuth angles in the temperate dry climate of Nigeria.

One-way MANOVA was used to test if the effect of azimuth angle differs from one another significantly in one or more of the PITVC variables and a statistically significant difference was obtained, $F(25, 210) = 3.640$, $p < .00001$; Pillai's $\Lambda = 1.512$, partial $\eta^2 = .302$. Hence since there were more than two (2) levels of the independent variable, post-hoc should be conducted. A series of one-way ANOVAs on each of the PITVC variables was conducted as a follow-up test to the MANOVA. The results turned out to be statistically significant in all the five PITVC variables: DA ($F(5, 42) = 14.645$; $p < .000$; partial $\eta^2 = .635$), UDI ($F(5, 42) = 419.750$; $p < .0000$; partial $\eta^2 = .980$), sDA ($F(5, 42) = 3.267$; $p < .014$; partial $\eta^2 = .280$), mean annual operative temperature ($F(5, 42) = 10.776$; $p < .000$; partial $\eta^2 = .562$), and mean annual relative humidity ($F(5, 42) = 2.857$; $p < .026$; partial $\eta^2 = .254$).

A series of post-hoc analyses using Fisher's LSD was conducted to examine individual mean differences comparison across the azimuth angles and PITVC variables. The result revealed that: except for azimuth 45, all DA were statistically significant with one another for all values that were greater than 22.5 but less than 45; except for the relationship between azimuth 0 and 11.5, all UDI values were statistically significant to one another; and finally, except for the relationship between azimuth 22.5 and 45, 67.5 and 90, all sDA values were not statistically significant to one another. That means all azimuth angles that are within 45 are not statistically significant to one another, while those that are not within the same 45 are statistically significant to one another. For example, 0, 11.5, and 22.5 are not significant to one another, while they are significant with 45, 67.5, and 90. The reverse is also true. For the relative humidity, it shows that, except azimuth 90 which was statistically significant to all others, all the average annual relative humidity were not statistically significant to one another.

4.2 To what extent does the WWR affect PITVC in double-banked midrise office buildings in the temperate dry climate of Nigeria?

The simulations of a double-banked office building, with an R-value of 2.08 m²K/W and a constant Azimuth angle of 11.5⁰ were done and the results are presented in Tables 4.4 and 4.5.

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

Table 4.4. Simulation results for the effects of WWR on DA, sDA and UDI in a mid-rise office building, in the temperate dry climate of Nigeria.

WWR	0.15	0.2	0.24	0.3	0.40	0.425	0.45
DA	19	27	33	42	57	60	63
UDI	59	68	70	70	70	70	70
sDA	32.8	40.89	55.75	71.05	77.45	83.15	83.9

Source: Author, (2024)

Table 4.4 shows that none of the seven conditions fulfilled the benchmarks as put forward by Illuminating Engineering Society (IES, 2012) and Architectural Energy Corporation (AEC, 2013), which recommended a DA of 60% of the work plane illuminance; UDI₁₀₀₋₃₀₀₀ of 80% and sDA of 75% in office space. The most appropriate WWR for visual comfort was found to be 0.45 as shown in Table 4.40 which is contrary to the 2012 International Energy Conservation Code (2012 IECC) which recommended a different value of 30% (Makela, Williamson & Makela, 2011).

The simulation results of the effects of WWR on operative temperature and relative humidity are presented in Figure 3.

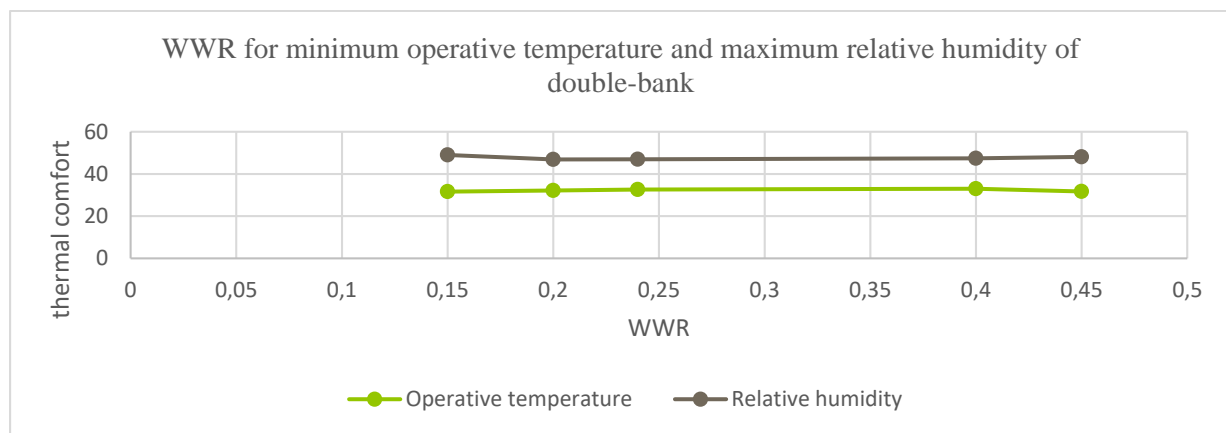


Figure 3 showing the effects of WWR for minimum Operative temperature and Relative humidity in a double-banked office building

The results show that, while relative humidity has met the condition recommended by ASHRAE Standard 55 (2013), none of the operative temperature met with the ANSI/ASHRAE Standard 55, (2013) It also indicates that 15% was the most appropriate WWR for better operative temperature as well as relative humidity as indicated in Figure 3. When the values of daylight metrics and thermal comfort indicators were ranked together as indicated in Table 4.5, 45% WWR was found to be the most appropriate for PITVC.

Table 4.5. Ranking of the WWR for PITVC in double-banked office buildings

WWR	DA	UDI	sDA	Daylight Comfort	Thermal Comfort	PITVC	Remark
15	7 th	3 rd	7 th	7 th	1 st	3 rd	45% is the most appropriate WWR for PITVC.
20	6 th	2 nd	6 th	6 th	3 rd	4 th	
24	5 th	1 st	5 th	5 th	3 rd	3 rd	
40	3 rd	1 st	3 rd	3 rd	3 rd	2 nd	
45	1 st	1 st	1 st	1 st	2 nd	1 st	

Source: Author, 2024

4.2.1 Hypothesis Testing: -

The one-way MANOVA was used to test if the midrise office buildings with different WWR differ from each other significantly in one or more PITVC variables. The homogeneity of variance-covariance matrices was tested using Box's Test of Equality of Covariance Matrices and the Box' M valued obtained was 329.073 with a p-value of .000. Therefore the covariance matrices of the dependent variables were equal across groups for MANOVA. It was then tested and a statistically significant difference was obtained, $F(20, 296) = 18.828$, $p < .0000$; Pillai's $\Lambda = 2.240$, partial $\eta^2 = .560$.

A homogeneity for variance assumptions was tested for all the five PITVC variables before conducting a series of tests between the subject effects. Based on a series of Levene's F test, it was considered satisfactorily. A Series of one-way ANOVA's on each of the PITVC variables was conducted as a follow up test to the MANOVA. The results turn out to be statistically significant in all the DA ($F(4, 75) = 319.351$; $p < .000$; partial $\eta^2 = .945$), UDI ($F(4, 75) = 25.073$; $p < .0000$; partial $\eta^2 = .572$), sDA ($F(4, 75) = 330.158$; $p < .0000$; partial $\eta^2 = .905$), OT ($F(4, 75) = 5.1761$; $p < .0000$; partial $\eta^2 = .235$) and RH ($F(4, 75) = 5.413$; $p < .0000$; partial $\eta^2 = .224$). A series of post-hoc analysis using Fisher's LSD were performed to examine individual mean differences comparison across all the five (5) different WWR and five PITVC variables. The result revealed that, all the five (5) WWR were statistically significant with one another.

4.3 To what extent does the shading device affect the PITVC of midrise office buildings in the temperate dry climate of Nigeria?

The simulations of a double-banked office building, with an R-value of $2.08 \text{ m}^2\text{K/W}$, azimuth angle of 11.5° , a Shade offset value of 0.3, and WWR of 45%, were done and the results are presented in Table 4.6 and Figure 4.

Table 4.6. Simulation results for the effects of projection factors on visual comfort of double-bank mid-rise office building in the temperate dry climate of Nigeria.

Projection factor	0.35	0.400	0.450	0.500
DA	65	61	61	59
UDI	72	73	74	75
SDA	78.85	83.2	83	82.55

The finding has shown that the optimum projection factor for visual comfort in double-banked midrise office buildings in the temperate dry climate is 0.4, followed by 0.45, then 0.5, and lastly the 0.35 as indicated in Table 4.6.

The simulation results of the effects of the projection factor on thermal comfort are presented in Figure 4. The results have shown that, there was an annual average decrease in operative temperature of 1.58°C (5%) and an increase in relative humidity of 11.55% (26%) respectively between buildings with projection factors of 0.5 and that with no shading device in the temperate dry climate of Nigeria.

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

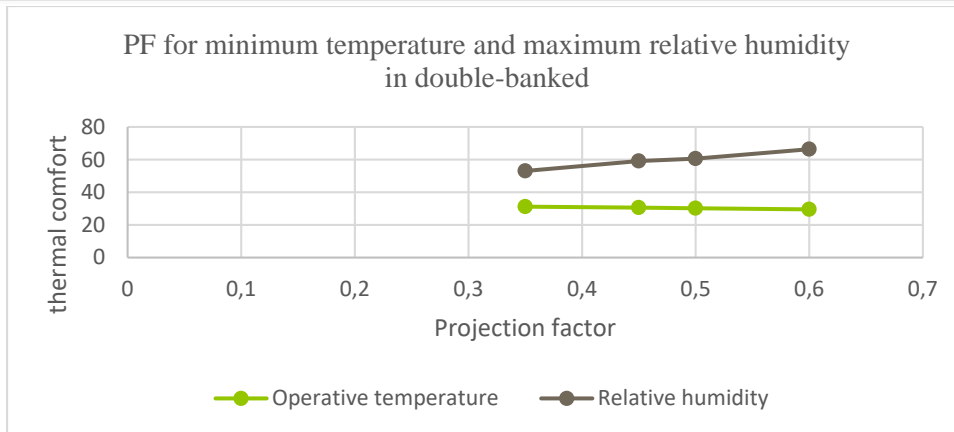


Figure 4.6. Projection factor for minimum operative temperature and relative humidity in a double-banked office building

Source: Author, 2022

The result has also shown that 0.6 was the most appropriate projection factor for better operative temperature as well as relative humidity as indicated in Figure 4.6. When the values of daylight metrics and thermal comfort indicators were ranked together as indicated in Table 4.7, 0.5 projection factor was found to be the most appropriate for PITVC.

Table 4.7. Ranking of the projection factor for PITVC

Projection factors	DA	UDI	sDA	Daylight Comfort	Thermal Comfort	PITVC	Remark
0.35	1 st	3 rd	1 st	1 st	4 th	4 th	0.5 is the most appropriate P.F for PITVC.
0.45	2 nd	2 nd	2 nd	2 nd	3 rd	3 rd	
0.5	2 nd	2 nd	2 nd	2 nd	2 nd	1 st	
0.6	3 rd	1 st	3 rd	3 rd	1 st	1 st	

Source: Author, (2024)

4.3.1 Hypothesis Testing: -

H_{03} : There is no significant difference in PITVC between double-banked midrise office buildings with different Projection factors of shading devices in the temperate dry climate of Nigeria.

The MANOVA test was conducted to test if there would be one or more differences between PF and PITVC variables and a statistically significant difference was obtained, $F(15, 222) = 5.479$, $p < .000$; Pillai's $\Lambda = .811$, $\text{partial } \eta^2 = .270$. A homogeneity for variance assumptions was tested for all the five PITVC variables before conducting a series of tests between the subject effects. Based on a series of Levene's F test, it was considered satisfactorily. A Series of one-way ANOVA's on each of the five PITVC variables was conducted as a follow up test to the MANOVA. The results turned out to be statistically significant in all the DA ($F(3, 76) = .863$; $p = .464$; $\text{partial } \eta^2 = .033$), UDI ($F(3, 76) = 5.274$; $p = .002$; $\text{partial } \eta^2 = .172$), sDA ($F(3, 76) = 7.35$; $p < .000$; $\text{partial } \eta^2 = .225$), Operative temperature ($F(3, 76) = 14.425$; $p < .000$; $\text{partial } \eta^2 = .363$) and Relative humidity ($F(3, 76) = 35.859$; $p < .000$; $\text{partial } \eta^2 = .589$).

4.4 To what extent do the R-values of the exterior wall insulation material affect PITVC of double-banked midrise office buildings in the temperate dry climate of Nigeria?

The simulations of a double-banked office building, with an azimuth angle of 11.5° , a shade offset value of 0.3, an overhang projection factor of 0.5, and WW of 45% were done and the results are presented in Table 4.8

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

Table 4. 81. Simulation Results for the effects of R-values of external wall insulation material on visual comfort in mid-rise office building in the temperate dry climate of Nigeria.

R-values of external walling materials (m ² ·K/W)	1.04	2.08	3.12	4.16
DA	60	60	60	60
UDI	75	75	75	75
sDA	82.55	82.55	82.55	82.55

Source: Author, (2022)

The results revealed that all the four (4) conditions were the same. Which means R-value of external wall insulation material does not affect the visual comfort of an office building as indicated in Table 4.9.

Table 4.9 Ranking of the DA, sDA, and UDI against the R-value of external wall insulation materials

R-value of the external wall (m ² ·K/W)	DA	RANK	UDI	RANK	SDA	RANK	DAYLIGHT RANK
1.04	60	1 st	75	1 st	82.55	1 st	1 st
2.08	60	1 st	75	1 st	82.55	1 st	1 st
3.12	60	1 st	75	1 st	82.55	1 st	1 st
4.16	60	1 st	75	1 st	82.55	1 st	1 st

Source: Author, (2022)

The simulation results for the effect of R-values of external wall insulation material on thermal comfort are presented in Tables 4.10 and 4.11

Table 4.10. Simulation result for the effects of the R-values of external wall materials on the operative temperature in a double-banked mid-rise office building in the temperate dry climate of Nigeria.

R-values of external walling materials (m ² ·K/W)	1.04	2.08	3.12	4.16
Office	Av. annual temp	Av. annual temp	Av. annual temp	Av. annual temp
102	31	30.3	30	29.36
202	30.6	29.9	30.2	29.56
302	30.7	30	30	29.36
402	30.7	30	29.9	29.26
502	31.2	30.5	29	28.36
602	31	30.3	29.1	28.46
702	30.7	30	28.2	27.56
802	30.7	30	28.5	27.86
Mean value	30.825	30.125	29.3625	28.7225

Source: Author, (2024)

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

Table 4.11. Simulation results for the effects of R-values of external wall materials on the relative humidity in a double-banked mid-rise office buildings in the temperate dry climate of Nigeria.

R-values of external walling materials (m ² ·K/W)	1.04	2.08	3.12	4.16
Office	Average humidity	Average humidity	Average humidity	Average humidity
102	54.6	59	61.8	64
202	51.1	55.5	59.2	61.9
302	52	56.4	60.9	63.6
402	56	60.4	62.3	65
502	58	62.4	60.6	68
602	56	60.4	58	65.3
702	60	64.4	59.7	65.8
802	62	66.4	61.1	67
Mean value	56.2125	60.6125	60.45	65.075

Source: Author, (2022)

The results have shown that, as the R-value increases, the thermal comfort also increases. When the values of daylight metrics and thermal comfort indicators were ranked together and also correlated, $y = 4.3253x + 47.795$ and $y = -0.6798x + 31.526$ were obtained for relative humidity and operative temperature respectively, and 3.61 m²·K/W was found to be the optimum R-value for PITVC as indicated on Table 4.47.

Table 4.12. Ranking of the R-values for PITVC

R-Value of external Insulated wall material (m ² ·K/W)	DA	UDI	sDA	Daylight Comfort	Thermal Comfort	PITVC	Remark
1.04	1 st	1 st	1 st	1 st	3 rd	3 rd	
2.08	1 st	1 st	1 st	1 st	2 nd	2 nd	
3.12	1 st	1 st	1 st	1 st	1 st	1 st	
4.16	1 st	1 st	1 st	1 st	4 th	4 th	3.61 is the most appropriate R-Value of the external wall for PITVC in the temperate dry climate of Nigeria

Source: Author, 2022

The result conformed with that of ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1 (2007, and 2010 editions) which recommended a minimum range of R-value of 1.0 - 2.7(m²·K/W) for non-residential building but contrary to that of Energy Conservation Building Code (2017), which recommended the optimum R-value of 3.7(m²·K/W) as the optimum for non-residential buildings.

4.4.1 Hypothesis Testing: -

The homogeneity of variance-covariance matrices was tested using Box's Test of Equality of Covariance Matrices **and** the Box' M valued obtained is 22.633 with a p-value of 1.0, which was interpreted as non-significant based on Huberty and Petosky's (2000) guidelines. Therefore the covariance matrices of the dependent variables were equal across groups for MANOVA. The one-way MANOVA was tested and a statistically significant difference was obtained, $F(15, 174) = 4.810$, $p < .000$; Pillai's $\Lambda = .879$, partial $\eta^2 = .293$.

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

A homogeneity for variance assumption was tested for all the variables before conducting a series of tests between the subject effects. Based on a series of Levene's F test, it was considered satisfactorily. A Series of one-way ANOVA's on each of the variables was conducted as a follow up test to the MANOVA. The results turned out to be statistically significant in all the DA ($F(3, 60) = .000; p = 1.00; \text{partial } \eta^2 = .000$), UDI ($F(3, 60) = .000; p = 1.00; \text{partial } \eta^2 = .000$), sDA ($F(3, 60) = .000; p < 1.00; \text{partial } \eta^2 = .000$), Operative temperature ($F(3, 60) = 21.165; p < .000; \text{partial } \eta^2 = .514$), and Relative Humidity ($F(3, 60) = 18.227; p < .000; \text{partial } \eta^2 = .477$). It showed that, visual comfort has no effect on R-value of external wall materials, while R-value has effect on thermal comfort.

A series of post-hoc analysis using Fisher's LSD was performed to examine individual mean differences comparison across all the R-values and four thermal comfort variables. The result revealed that there is a statistically significant difference in the relationship among all the four variables (1.08 m²·K/W, 2.08 m²·K/W, 3.12 m²·K/W, and 4.16 m²·K/W).

4.5 Mathematical Models

To develop a relationship between the enhanced PITVC determinants for double-banked office buildings in the temperate dry climatic zone of Nigeria.

The mathematical models are limited to office buildings with horizontal shading devices, for it is more effective than the vertical in the tropics as observed by Al-Tamimi and Fadzil. (2011); Kim et al. (2012); Palmero-Marrero and Oliveira (2010); and Seok-Hyun et al. (2017). The framework was used to obtain four more enhanced PITVC values in each type of office building as indicated in Table 4.13 for double-banked office buildings. It was used to carry out the multiple regression to investigate whether the enhanced values of WWR, projection factor, and R-value of external wall material, could significantly predict different enhanced azimuth angles for PITVC in double-banked office buildings in a temperate dry climate of Nigeria.

Table 4.13. Five (5) sets of enhanced values of PITVC in double-banked office buildings in a temperate dry climate.

S/NO	Azimuth	WWR	PF	R-value
1	11.5	0.45	0.5	3.61
2	22.5	0.55	0.55	3.26
3	35	0.4	0.085	3.12
4	45	0.4	0.2	6.24
5	12.5	0.45	0.47	3.35

Source: Fieldwork, (2024)

The results of the regression indicated that, the model explained 99.9% of the variance and that the model was a significant predictor of azimuths, $F(3,1) = 58,922.2, p = .003028$.

The WWR, projection factor (PF), and R-value of external wall materials (R) contributed significantly to the model ($B = 174.222, p=0.003659$), ($B = -85, p=0.002143$), and ($B = 6.334941, p=0.002952$), respectively.

Equation 4.1 was also used to develop the mathematical model from regression results as follows:

$$\text{Azimuth (A)} = - 47.2226 + (174.2227 \times \text{WWR}) + (-85.0007 \times \text{Projection Factor}) + (6.334941 \times \text{R-Value})$$

$$\mathbf{A = - 47.22 + 174.22WWR - 85PF + 6.33R \dots \dots 4.3}$$

SI Units: A= (°); R= (m².K/W); C= (°); M₁= (°); M₂= (°); and M₃= (° W/m².K).

4.6 Framework Validation

There are various ways of validating a model which include: an expert assessment validation and the examination of framework output for reasonableness under a variety of settings of the input parameters.

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

4.6.1. Experts Assessment Validation

This is the assessment of the model/ framework by an expert or group of experts and makes a pronouncement based on their experience whether the model is valid or not. They usually used face validation, which according to Haladyna (1999) and DeVon *et al.* (2007) was used to evaluate the appearance of the framework/ model in terms of readability, consistency of style and formatting, and the clarity of the model. Based on this, the summary of the developed framework and validation questionnaire was sent to twenty-two (22) PITVC experts, and fourteen (14) came back. Their responses are tabulated as shown in Table 4.14.

Table 4.14. Experts' evaluation of the framework and model developed in this research.

Respondents	Relevance	Clarity	Internal Consistency	Readability	Total (%)
1	5	5	5	5	100
2	5	5	5	5	100
3	5	5	5	4	95
4	5	5	5	5	100
5	5	4	5	5	95
6	5	5	5	5	100
7	4	4	4	4	80
8	5	5	4	4	90
9	5	5	5	5	100
10	5	4	5	4	90
11	5	4	5	4	90
12	5	5	5	5	100
13	5	5	5	5	100
14	5	5	5	5	100
Mean value					88.9%

Source: Author. 2024

It therefore shows that the Mathematical model was satisfactorily based on experts assessment.

CONCLUSION

The study has concluded that the ideal orientation for a new building is 11.5^0 but also depends on the building's spatial layout, window-to-wall ratio, shading device, and type of building materials used. Architects and other building professionals should not use the values from different researchers directly, for many researchers have not considered building spatial layout when recommending PITVC determinants such as Kandar, et al., (2011) and Building Energy Efficiency Code (BEEC) for Nigeria (2017) who recommended WWR of 25% and 20% in the tropics respectively.

REFERENCES

- Al-Ansari, T., & Alherbawi, M. (2020). Optimising multi bioms freedstock utilisation considering a multi technology approach. *Computer Aided Chemical Engineering*, 48, 1633-1638.
- Al-Tamimi, N. (2011). *Impact of Building Envelope Modifications on the Thermal Performance of Glazed High-Rise Residential Buildings in the Tropics*. Unpublished PhD Thesis, Department of Architecture, University Science Malaysia, Malaysia.
- Atkinson, G A (1953). *Tropical architecture and building standards*, Conference. on tropical architecture, University College, London, UK.
- ANSI/ASHRAE Standard 55. (2020). *Thermal environmental conditions for human occupancy*. Author, Georgia, USA.
- ANSI/ASHRAE Standard 55. (2012). *Thermal environmental conditions for human occupancy*. Author, Georgia, USA.

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

- ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1. (2017). *Energy standard for buildings except low-rise residential buildings*. Author, Georgia, USA.
- ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1. (2010). *Energy standard for buildings except low-rise residential buildings*. Author, Georgia, USA.
- Anumah, J.J. & Anumah, L. (2017). Building Orientation; Enhancing Nature with Nature. *Journal of Applied Sciences & Environmental Sustainability*, 3 (7), 29 – 35.
- Budhiyanto, A. (2017). The effect of the window-to-wall ratio on cooling energy usage and comfort temperature. *Journal of Architecture and Built Environment*, 44(2). <https://doi.org/10.9744/dimensi.44.2.189-194>
- Coello, C.A.C. (2005). Twenty years of evolutionary multi- objective optimisation: a historical view of the field. *Computational Intelligence Magazine*, 1 (1), 28-36.
- DeVon, H. A., Block, M. E., Moyle-Wright, P., Ernst, D. M., Hayden, S. J., Lazzara, D. J. et al. (2007). A psychometric toolbox for testing validity and reliability. *Journal of Nursing scholarship*, 39 (2), 155-164
- Djamila, H. (2018). Review on Koppen-Geiger system for indoor thermal comfort review on Koppen-Geiger system for indoor thermal comfort. *International Journal of Engineering Innovation and Research*, 7, 220–225
- George, D. & Mallery, M. (2010). *SPSS for Windows Step by Step: A Simple Guide and Reference*, 17.0 update (10a536 ed.). Boston: Pearson, USA
- Goel, S., Rosenberg, M., Athalye, R., Xie., Y., Wang, W., Hart, R., & Mendon, V. (2014). *Enhancements to ASHRAE standard 90.1 prototype building models*. U.S. Pacific Northwest.
- Haladyna, T. (1999). *Developing and Validating multiple-choice test items*. Lawrence Erlbaum.
- Hassan, A.S. (2022). Study On Single Loaded and Double Loaded Corridor, Retrieved from <https://www.scribd.com/document/557155723/STUDY-ON-SINGLE-LOADED-AND-DOUBLE-LOADED-CORRIDER>
- ISO 7730, (2005). *Ergonomics of the thermal environment: Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*. ISO, Geneva, Switzerland
- Kandar, M. Z., et al., (2011). Investigating daylight quality in Malaysian government office buildings through daylight factor and surface luminance. *International Journal of Civil and Environmental Engineering*, 5(11), 589-594
- Kim J., de Dear R., Candido C., Zhang H. & Arens E. (2013). Gender differences in office occupant perception of indoor environmental quality (IEQ). *Build Environ*, 70, 245-256.
- Kivunja, C. (2018). Distinguishing between theory, theoretical framework, and conceptual framework: A Systematic review of lessons from the Field. *International Journal of Higher Education*, 7(6), 44-53.
- Koenigsberger, O.H., Ingersoll, T.G., Mayhew, A. & Szokolay S.V. (1973, e-edition, 2013). *Manual of Tropical Housing and Building Climatic Design*. Universities Press London, UK
- Makela,E.J., Williamson, J.L. & Makela, E.B. (2011). *Comparison of standard 90.1-2010 and the 2012 IECC with respect to commercial buildings*. Pacific Northwest National Laboratory Richland, USA.
- McGee, C., (2013). *Australia's guide to environmentally sustainable home*. [https://www.yourhome.gov.au/passive design/orientation](https://www.yourhome.gov.au/passive-design/orientation)
- Mobolade, T.D., & Pourvahidi, P. (2020). Bioclimatic Approach for Climate Classification of Nigeria. *Sustainability*, MDPI, 12(10), 1-23.
- Musa (2022). *A Framework for Enhancing Passive Indoor Thermal and Visual Comfort in Multi-Storey Office Buildings in the Temperate Dry Climate of Nigeria*. Unpublished PhD Thesis, Department of Architecture, Ahmadu Bello University Zaria Nigeria.

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

Musa (2023). Influence of Building Spatial Layout on Passive Indoor Thermal and Visual Comfort in Midrise-Office Building in Temperate Dry Climate of Nigeria. in: Proceedings of the *III. International Architecture Symposium*, Dicle University, Diyarbakır, Türkiye, pp 184-191. tr.iksadkongre.com/dumimarliksempozyumu3

National Laboratory Richland, USA ICC (2014). *2015 International Energy Conservation Code. International Code*. Available at <http://codes.iccsafe.org/>

Ochedi, E.T. & Taki, A. (2022). A framework approach to the design of energy efficient residential buildings in Nigeria. *Energy and Built Environment*, 3(3), 384-397

Odufa, K.M., Nnakwe, C.J., & Odufa, V.O. (2018). Building Energy Efficiency in Nigeria Major Climatic Zones. *Journal of Building Construction and Planning Research*, 6(4), 22-33.

Prasetya, A.B., Ho A.D & Kubota, T., (2023). Classification of typical layout design for Indonesian apartment buildings. *E3S Web of Conferences* **396**, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339604010>

Rafferty, J., P. (2016). *Classification of major climatic types according to the modified Köppen-Geiger scheme Table 598 revised and updated*. <https://www.britannica.com/topic/classification-1703397>

Ravitch, S. M. & Riggan, M. (2017). How conceptual frameworks guide research. *Sage*, 32-61

Ritter, M. (2019). *Climate Classification*. https://www.earthonlinemedia.com/ebooks/tpe_3e/climate_systems/climate_classification.html

Shebl, S.S. (n.d). *Effect of window to wall ratio and different climate conditions on energy consumption for Residential and Commercial Buildings in Egypt*. https://www.researchgate.net/publication/242261931_EFFECT_OF_WINDOW_TO_WALL_RATIO_AND_DIFFERENT_CLIMATE_CONDITIONS_ON_ENERGY_CONSUMPTION_FOR_RESIDENTIAL_AND_COMMERCIAL_BUILDINGS_IN_EGYPT

SOLID GREEN (2017). *Building Energy Efficiency Code (BEEC) of Nigeria*. Federal Ministry of Power, Works and Housing (Housing Sector), Abuja, Nigeria. PDF documents of Government which is freely available.

Szokolay, V.S. (2008). *Introduction to architectural science; The Basis of sustainable design*. Elsevier Oxford, UK.

Sukreet, S., & Kensek, K. (2014). *Early design analysis using optimisation techniques in design/practice*. ASHRAE/IBPSA, USA.

Tereci, A., Ozkan, S.T.E. & Eicker, U. (2013). Energy benchmarking for residential buildings. *Energy Build*, 60, 92–99. doi: 10.1016/j.enbuild.2012.12.004

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF CHROMIUM SUBSTITUTED COPPER GALLIUM OXIDE NANOPARTICLES FOR PHOTOVOLTAIC APPLICATIONS

Kinza Zulfiqar¹, Hafeez Anwar^{1,}*

¹Department of Physics, University of Agriculture, Faisalabad, Pakistan

ABSTRACT

Before fully deploying inorganic materials as HTM for PSCs, one efficient way to increase the device's reliability and performance is to modify devices using inorganic oxidants that have the capacity to operate as inorganic hole carriers. Our research was suggest that efficient device layout along with appropriate inorganic HTM doping may be an efficient strategy for producing stable PSCs. Doping with different metals like Mg, Zn, Co, and other has been tried in an effort to increase the hole mobility of unmodified CuGaO₂ and CuCrO₂. Here a variety of solid solution of CuGaO₂ and CuCrO₂ were create by hydrothermal process in order to get the ideal composition that result in reliable size control and high hole conductivity that employed for surface passivation at the perovskite contact. The composition range of CuGaO₂ doped with Cr³⁺ was CuGa_{1-x}Cr_xO₂ (0 ≤ x ≤ 1, CuGaO₂). XRD patterns were obtained for the particles of various compositions, these (006), (012), (104) and (024) having 2θ values 33.23°, 36.48°, 43.43°, and 50.43° peaks were identified without the appearance of any impurity peaks. The samples XRD peaks are intense indicating the produce nanocrystals are crystalline. The optical properties of nanoparticles were studied using UV-visible spectroscopy that showing the bandgap of CuGaO₂ was decrease from 3.32 eV to 3.05 eV by adding different concentration of Cr³⁺ atoms and having maximum absorption of 0.97 at 282.6 nm. The chemical properties of nanoparticles were studied by using Fourier transform infrared spectroscopy that indicates the presence of metal oxide groups of bending and stretching vibrations. J-V curves of perovskite solar cell devices were applied, the altered system achieve a PCE of 16.9%, when the concentration of Cr³⁺ was added in CuGaO₂ is 30%. This research opened up a fresh path for the logical design of extremely stable and effective PSCs.

Key Words: Perovskite solar cell, Cr³⁺ doped CuGaO₂, Inorganic Hole Transport Material, and Power Conversion Efficiency

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

WATER MANAGEMENT IN COMMUNES IN POLAND

*Zbigniew Grzymała*¹

ORCID ID: 0000-0001-8861-8486

Prof. Dr., SGH-Warsaw School of Economics, Department of Management and Finance, Warsaw, Poland

*Agnieszka Wójcik-Czerniawska*²

ORCID ID: 0000-0002-9612-1952

Assoc.Prof., PhD, MBASGH-Warsaw School of Economics, Department of Management and Finance, Warsaw, Poland

ABSTRACT

Water management in communes in Poland belongs to the commune's own tasks. As part of this task, the commune is obliged to organize the supply of water to residents, as well as the disposal of sewage. Regardless of the legal form of the water supplying entity, until 2018 the level of tariffs was ultimately controlled by the commune council, which approved the level proposed by the said production entity. From 2018, in Poland, this function was taken away from municipalities and the State Water Holding Polish Waters was established, which took over the function of the central controller of the water fee tariff.

Many local government officials question the need for such a deep interference in the tariff policy for water and sewage disposal of the central authorities in Poland. In this way, it is accused of reducing the independence and self-government of communes and, from the point of view of social costs, their unnecessary increase due to the additional entity included in the system of production and supply of water to residents.

The aim of the article is to assess the legitimacy of centralizing the tariff policy for water supply and sewage disposal in Poland. Although a similar system of central approval exists in relation to electricity prices and is implemented by the Energy Regulatory Office, in relation to the good of water, this may be a debatable matter.

Keywords: tariff policy, water and sewage, regulation

DESIGN AND SIMULATION OF A POINT ABSORBER BASED ON POWER INVERTER AND MAGNETIC LEAD SCREW

Prof. Karim Negadi

Faculty of Applied Science, University of Tiaret, Algeria

ORCID NO: <https://orcid.org/0000-0002-3377-0402>

Ikram Nouari

Faculty of Applied Science, University of Tiaret, Algeria

Prof. Fabrizio Marignetti

Department of Electrical and Information Engineering, University of Cassino, Italy

ORCID NO: <https://orcid.org/0000-0001-8776-4561>

ABSTRACT

This study introduces a novel point absorber system that combines power inverter technology with a magnetic lead screw mechanism. Point absorbers are promising for wave energy harvesting, but face challenges in motion conversion and power generation. The design process involves meticulous consideration of the system's mechanical and electrical components, as well as their integration for optimal performance. The proposed solution integrates a power inverter and magnetic lead screw for precise motion conversion. Through simulations, we evaluate the system's performance under different wave patterns and loads, demonstrating its efficiency and reliability. This research advances wave energy conversion by offering a practical solution for point absorber devices. The results demonstrate the effectiveness of the proposed design in harnessing wave energy and converting it into usable electrical power. Moreover, the integration of the power inverter and magnetic lead screw enhances the system's reliability, scalability, and adaptability to varying environmental conditions.

Keywords: Point absorber, wave energy conversion, power grid, Renewable energy, Advanced Control.

Description of the proposed study:

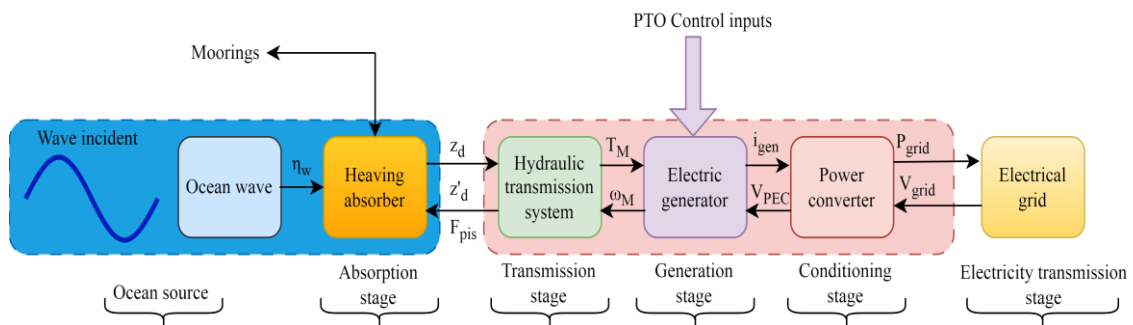


Figure 1. The many subsystems involved in producing wave energy and its interconnection



Figure 2. A common example of self-reacting a-body PAs is the OPT Power Buoy gadget [12].

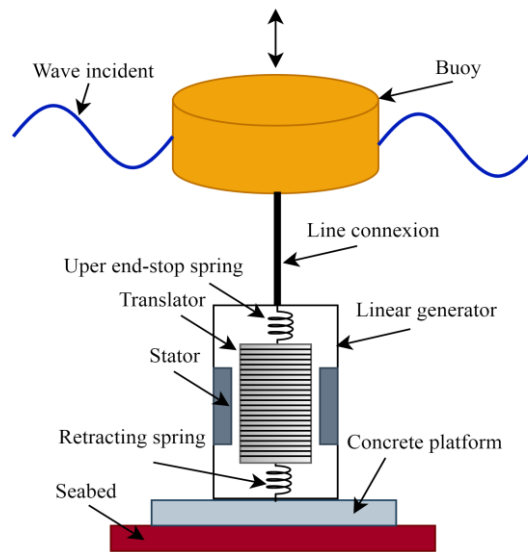


Figure 3. Principle and design of the WEC in a sketch

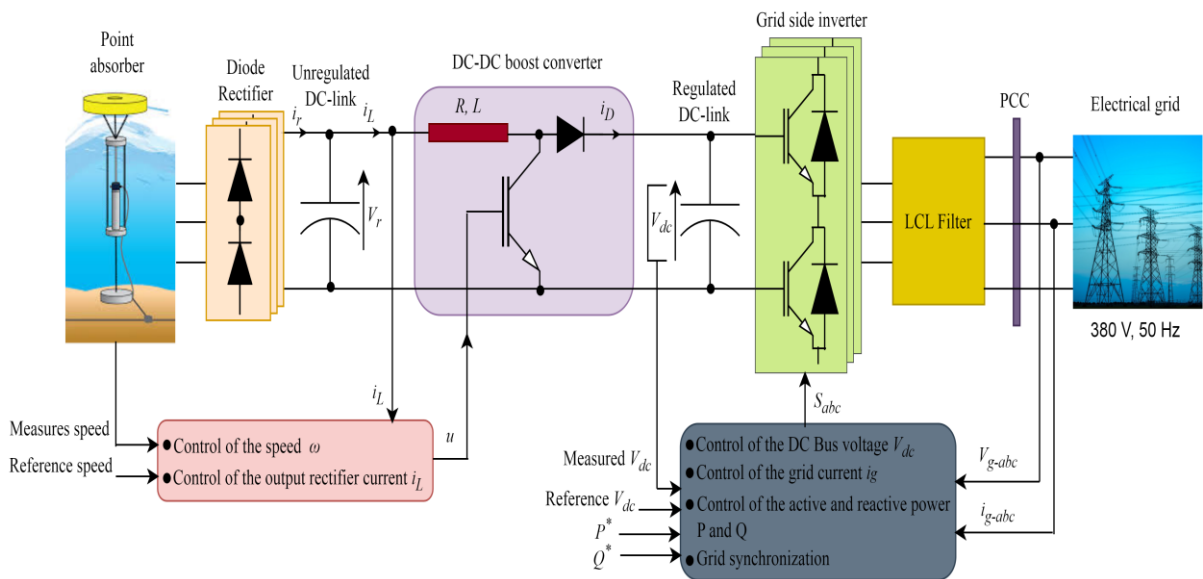


Figure 4. LPMSG-based wave energy system along with its controller

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK İLKESİNİN TÜRKİYE DIŞ TİCARETİNDEKİ ÖNEMİ

THE IMPORTANCE OF THE RENEWABLE ENERGY RESOURCES AND THE SUSTAINABILITY PRINCIPLE IN TÜRKİYE'S FOREIGN TRADE

Aynur ÖNÜR ASLAN

Öğr. Gör. Dr., İstanbul Üniversitesi- Cerrahpaşa, Sosyal Bilimler MYO, Dış Ticaret Bölümü, İstanbul, Türkiye.

¹ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5797-0516>

ÖZET

Günümüzde uluslararası ticarete küreselleşme hareketleri hız kazandıkça, ülkeler aldıkları ulusal ve uluslararası kararlarla dış ticaretin önündeki engelleri en az seviyeye indirmek için çalışmaktadırlar. Gerek bölgesel gerekse küresel ekonomik entegrasyonlar tarafından dış ticarete, keskin etkiler yaratan ticaret politikası önlemleri yerine tarife araçlarıyla müdahale edilmesi uygun görülmüştür. Birlik ilkeleri ve kararları bu doğrultuda belirlenmiştir. İlgili gelişmeler ve uygulamalar ışığında artan dış ticaret, tüketimi, uluslararası rekabet gücünü, ürünlerin kalitesini, yurt dışı pazarlara erişme fırsatı bulan tüketiciler sayesinde yaşam standartlarını artırmıştır. Talepte yaşanan nicel ve nitel yükselmeler sektörde daha fazla üretimin ve buna paralel daha fazla enerji tüketiminin gerçekleşmesine sebep olmuştur. Dış ticaret sadece artan dünya nüfusu paralelinde artan talep sebebiyle değil uluslararası ekonomik entegrasyonlar, gümrük birlikleri ve uluslararası ticarete standardizasyonlar düzenleyerek ticareti geliştiren ve kolaylaştıran karar ve ilkeler sebebiyle de hızla gelişmiştir. Dolayısıyla sektörde artan enerji ihtiyacı sonucu uluslararası ve bölgesel ekonomik birliklerin anlaşmalarına eklenen ve bazı dönemlerde anlaşmaların ilk maddelerinde yer verilen “çevre koruma” ilkeleri ile “sürdürülebilirlik” ilkesine dair kararların kapsamı gün geçtikçe geliştirilmiştir. Uluslararası ticarete küreselleştiren ve birlik kurucusu rolündeki gelişmiş ülkeler tarafından sürekli olarak fosil yakıtların azaltılması, emisyon hacimlerinin azaltılması ve yenilenebilir enerji kaynakları üretiminin artırılmasına ilişkin ilkeler benimsenmiş ve bazı birlikler tarafından üye ülkelere sağlanan finansal destekler ile de çevre koruma uygulamaları teşvik edilmiştir. Avrupa Birliği’nde bölgesel gelişmişlik farklarını artıran başlıca ülkelere verilen çevre uyum fonu bu kapsamda örnek olarak verilebilir. Diğer taraftan Türkiye’nin de dahil olduğu Kyoto Protokolü çerçevesinde çevre koruma sorumluluğu ve çevre koruma faaliyetlerinde finansal destek sağlama konularında ülkeler iki gruba ayrılmıştır. Bu kapsamda belirlenen destekler de çevre koruma uygulamalarına örnek gösterilebilir. Devamında Paris Anlaşması’nda da ilk kez küresel boyutta tüm ülkeler emisyon hacmi azaltılmasına ilişkin taahhütte bulunmuştur. Türkiye dış ticaretinde lokomotif sektörlerden olan otomotiv, beyaz eşya ve tekstil sektörlerinde fosil yakıt tüketimi son derece fazladır. Buradan hareketle çalışmada Türkiye dış ticaretinde ilk sırayı alan otomotiv sektörü açısından yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi araştırılmıştır. Otomotiv sektörü ihracatının önemli kısmı dahilde işleme rejimi ile gerçekleştirildiği için de rejim kapsamında yeni teknoloji girişi oldukça fazladır. Dolayısıyla Türkiye dış ticaretini ayakta tutan otomotiv sektörü için sürdürülebilirlik ilkesi hayati önem taşımaktadır. Otomotiv sektörünü besleyen yakıtlar içinde başta doğalgaz önemli bir payla tüketilen fosil yakıtların başında gelmektedir. Sonrasında elektrik enerjisi ve diğer enerji türleri tüketimi sözkonusudur. Dolayısıyla Türkiye sektörel ihracat sıralamasında zirvede olan otomotiv sektörü için yenilenebilir enerji kaynakları son derece önemli yer tutmaktadır. İhracatta önemli paya sahip özel firmalar için bu kapsamda çevre koruma politika ve ilkeleri doğrultusunda sorumluluk ve çabalarının artırılması son derece elzemdir. Birleşmiş Milletler tahminlerine göre hızla artmaya devam edecek dünya nüfusu ile birlikte 2050 yılına kadar zaman içinde fosil yakıt üretim açığı da hızla artacaktır. Bu sebeple dış ticarete ulusal mevzuatın uluslararası çevre koruma kararlarına uyumlu hale getirilmesi son derece önemlidir. Türkiye ulusal mevzuatını, AB’nin çevre koruma ve “sürdürülebilirlik” ilkelerine başarılı bir şekilde uyumlu hale getirmiştir. Böylelikle AB ile Gümrük Birliği devamında da gelişmiş dış ticaret ilişkileri kurmuştur ve hala ihracattaki en büyük partnerlerinden biri AB ülkeleridir. Ancak Türkiye gelişmekte olan bir ülke olduğu için ve yerli sanayi için kalkınma önceliğinde korumacı bir

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

yaklaşımı seçmiş ve özel sektörde çevre koruma uygulamalarını aynı AB ile benzer uyumla hayata geçirememiş, çevreye zarar veren firmalara AB'deki benzer yaptırımlar uygulanamamıştır. Bu sebeple ihracatımızı her yıl daha da büyüyerek geliştiren otomotiv sektöründe sürdürülebilirliğinin sağlanması için ilgili alternatif enerji kaynakları üretimi ve daha güçlü çevre koruma uygulamalarının önemi çalışmada ele alınmıştır. Günümüzde hızla gelişen güneş enerji sistemleri ve rüzgar tribünleri otomotiv sektörünü ve tüm imalatçı ihracat sektörlerini üretim süreçlerinde besleyecektir. Diğer taraftan Türkiye'de ithalatı artan güneş enerji sistemi panelleri ve rüzgar tribünleri ülkeye yeni teknolojinin de getirilmesine hizmet etmiştir. Böylelikle yenilenebilir enerji teknolojilerinin dış ticaretin hem girdisi hem de çıktısı olarak tüm üretim süreçlerini doğrudan ve dolaylı olarak beslemiştir. Literatürde Türkiye dış ticaretinde yenilenebilir enerji kaynaklarının önemine vurgu yapan çalışmalar olsa da otomotiv sektöründeki önemine değinen yeterli çalışmanın olmaması bu çalışmanın motivasyonunda önemli itici güç olmuştur. Bu kapsamda çalışmanın; dış ticaret ve otomotiv sektöründe yenilenebilir enerji kaynaklarıyla ilgili yapılacak araştırmalar, önlem ve uygulamalar için durum tespiti oluşturması ve katkı sağlaması hedeflenmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları üretimi ve sürdürülebilirlik ilkesi kapsamındaki çalışmaların geliştirilmesi, başta otomotiv sektörü olmak üzere Türkiye dış ticaretinin lokomotif sektörleri açısından büyük önem taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Dış Ticaret, Yenilenebilir Enerji, İhracat, İthalat, Sürdürülebilirlik, Çevre Koruma, Otomotiv.

ABSTRACT

Today, as globalization movements in international trade gain momentum, countries are working to minimize the obstacles to foreign trade with the national and international decisions they take. It has been deemed appropriate for both regional and global economic integrations to intervene in foreign trade with tariff instruments instead of trade policy measures that create sharp effects. The principles and decisions of the Union have been determined accordingly. In the light of relevant developments and practices, increasing foreign trade has increased consumption, international competitiveness, quality of products, and living standards thanks to consumers who have the opportunity to access foreign markets. Quantitative and qualitative increases in demand have led to more production in the sector and, accordingly, more energy consumption. Foreign trade has developed rapidly not only due to increasing demand in parallel with the increasing world population, but also due to international economic integrations, customs unions and decisions and principles that develop and facilitate trade by arranging standardizations in international trade. Therefore, as a result of the increasing energy need in the sector, the scope of the decisions regarding the principles of "environmental protection" and the principle of "sustainability", which were added to the agreements of international and regional economic unions and included in the first articles of the agreements in some periods, has been developed day by day. The principles of reducing fossil fuels, reducing emission volumes and increasing the production of renewable energy resources have been constantly adopted by developed countries, which play the role of globalizing and establishing unions in international trade, and environmental protection practices have been encouraged with the financial support provided to member countries by some unions. The environmental adaptation fund given to the main countries that increase regional development differences in the European Union can be given as an example in this context. On the other hand, within the framework of the Kyoto Protocol, in which Türkiye takes part, countries are divided into two groups regarding environmental protection responsibility and providing financial support for environmental protection activities. The supports determined in this context can be cited as examples of environmental protection practices. Subsequently, in the Paris Agreement, for the first time, all countries on a global scale made a commitment to reduce emission volumes. Fossil fuel consumption is extremely high in the automotive, white goods and textile sectors, which are among the leading sectors in Türkiye's foreign trade. Based on this, the study investigated the importance of renewable energy sources for the automotive sector, which ranks first in Türkiye's foreign trade. Since a significant part of the automotive sector's exports are carried out with the inward processing regime, there is a lot of new technology entry within the scope of the regime. Therefore, the principle of sustainability is of vital importance for the automotive industry, which keeps Türkiye's foreign trade afloat. Among the fuels that feed the automotive industry, natural gas is one of the fossil fuels consumed with a significant share. Afterwards,

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

there is consumption of electrical energy and other types of energy. Therefore, renewable energy sources are extremely important for the automotive industry, which is at the top of Turkey's sectoral export rankings. In this context, it is extremely essential for private companies with a significant share in exports to increase their responsibilities and efforts in line with environmental protection policies and principles. According to United Nations estimates, with the world population continuing to increase rapidly, the fossil fuel production gap will also increase rapidly over time until 2050. For this reason, it is extremely important to harmonize national legislation with international environmental protection decisions in foreign trade. Türkiye has successfully aligned its national legislation with the EU's environmental protection and "sustainability" principles. Thus, it has established advanced foreign trade relations following the Customs Union with the EU, and EU countries are still one of its biggest partners in exports. However, since Türkiye is a developing country and has chosen a protectionist approach as a development priority for the domestic industry, it has not been able to implement environmental protection practices in the private sector in similar harmony with the EU, and similar sanctions in the EU have not been applied to companies that harm the environment. For this reason, the importance of producing alternative energy sources and stronger environmental protection practices in order to ensure the sustainability of the automotive industry, which grows and develops our exports every year, is discussed in the study. Today's rapidly developing solar energy systems and wind turbines will feed the automotive industry and all manufacturing export sectors in their production processes. On the other hand, increasing imports of solar energy system panels and wind turbines in Türkiye have served to bring new technology to the country. Thus, renewable energy technologies have directly and indirectly fed all production processes as both input and output of foreign trade. Although there are studies in the literature that emphasize the importance of renewable energy resources in Türkiye's foreign trade, the lack of sufficient studies addressing their importance in the automotive industry has been an important driving force in the motivation of this study. In this context, It is aimed to create and contribute to due diligence for research, measures and practices regarding renewable energy resources in the foreign trade and automotive sectors. The production of renewable energy resources and the development of studies within the scope of the sustainability principle are of great importance for the locomotive sectors of Türkiye's foreign trade, especially the automotive sector.

Key Words: Foreign Trade, Renewable Energy, Export, Import, Sustainability, Environment Protection, Automotive

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

A COMPARATIVE STUDY BETWEEN SPWM AND SHE-PWM MODULATION TECHNIQUES FOR A SINGLE-PHASE INVERTER

Ramzi EL IDRISSE¹

¹*LPMAT Laboratory, Hassan II University, Faculty of Sciences Ain Chok (FSAC), Department of Physics, Casablanca, Morocco.*

Abdelkadir BACHA²

²*LRI Laboratory, Hassan II University, Higher Institute of Maritime Studies (ISEM), Department of Physics, Casablanca, Morocco.*

Fatima LMAI¹

¹*LPMAT Laboratory, Hassan II University, Faculty of Sciences Ain Chok (FSAC), Department of Physics, Casablanca, Morocco.*

ABSTRACT

Inverters play a crucial role in the world of renewable energy and batteries. Acting as the bridge between these sources of power and our everyday devices, inverters convert the direct current (DC) produced by renewable energy sources, such as solar panels or wind turbines, into alternating current (AC). Unfortunately, the operation of these converters often leads to the presence of unwanted harmonic distortion caused by the ON and OFF switching of IGBTs or MOSFETs. To address this issue, various modulation schemes are implemented to efficiently control the on-off switching and effectively minimize these undesirable harmonics. When it comes to modulation methods in the field of DC-AC inverters, Sinusoidal Pulse-Width Modulation (SPWM) and Selective Harmonics Elimination Pulse-Width Modulation (SHE-PWM) are widely recognized. The common parameters between two techniques are modulation index and the number of pulses. The evaluation of results obtained from both techniques relies on the criterion of achieving the lowest possible Total Harmonic Distortion (THD). The THD is a measurement of the harmonic distortion presents in a signal and is defined as the ratio of the root mean square of the harmonic content, including the harmonic components. Maintaining a low level of THD in inverters is important in order to maintain the desired operation. This paper presents a comparative analysis of Sinusoidal Pulse-Width Modulation (SPWM) and Selective Harmonics Elimination Pulse-Width Modulation (SHE-PWM) implemented in a Single-Phase Inverter. In order to evaluate and validate the effectiveness of these techniques, simulation results are obtained using the MATLAB-SIMULINK software.

Keywords: Single-Phase Inverter, Sinusoidal Pulse-Width Modulation, Selective Harmonic Elimination Pulse-Width Modulation, SPWM, SHE-PWM.

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

DFT AND TD-DFT INVESTIGATIONS OF NON-FULLERENE ELECTRON ACCEPTORS BASED ON THIOPHENE DERIVATIVES FOR ORGANIC PHOTOVOLTAICS

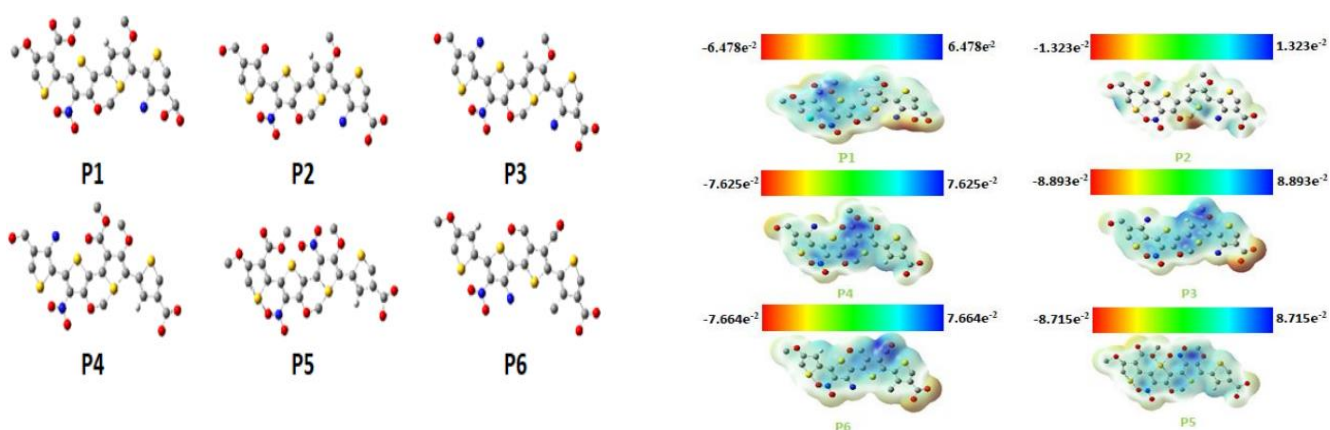
M.K. Atouailaa^{1*}, A. Arif^d, M. Boulghallat¹, M. El idrissi²

¹ Faculty of Sciences and Technologies, Sultan Moulay Slimane University, Mghila, 23000 Beni-Mellal, Morocco

²TCPAM, Polydisciplinary Faculty, Sultan Moulay Slimane University, Mghila, Beni-Mellal 23000, Morocco

ABSTRACT

Here we present a theoretical study of non-fullerene electron acceptor-based thiophene (P1-P6) derivatives for organic solar cells using density functional theory (DFT) and time-dependent density functional theory (TD-DFT) [1]. In particular, we investigate the molecular electrostatic potential, boundary molecular orbitals, global reactivity descriptors and optical characteristics of the designed molecules. We conclude that all designed molecules exhibit low band gaps and excellent optical properties. Using PTB7-Th as an electron donor, we investigate the photovoltaic characteristics of the acceptors. As a result, the designed molecules exhibit high charge conduction capacity and efficient electron transport from PTB7-Th to the designed acceptors. The results obtained encourage researchers to study such compounds in the laboratory, which would improve the efficiency of non-fullerene organic solar cells [2].



INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

BIOPOLYMER-ENCAPSULATED PHASE CHANGE MATERIALS FOR LOW TEMPERATURE HEAT STORAGE

Abdelkoddouss El Majd^{1}, Said Sair², Hanane Ait Ousaleh³, Zohir Younsi⁴, Naoual Belouaggadia⁵, Abdeslam El Bouari¹*

¹*Laboratory of Physical Chemistry, Materials and Catalysis (LCPMC), Faculty of Sciences Ben M'Sik, Hassan II University of Casablanca, Morocco.*

²*MAScIR Foundation, Benguerir, Morocco; ³LIMSET University Mohammed VI Polytechnic, Benguerir, Morocco.*

⁴*Laboratoire de Génie Civil et géo-Environnement (LGCgE), F-62400 Béthune, France.*

⁵*Laboratory of signals, distributed systems and artificial Intelligence, ENSET, Hassan II University, Mohammedia, Morocco.*

ABSTRACT

Since the building sector represents the most energy consuming, thermal energy storage appeared as one the most promising solutions for enhanced energy efficiency. Carboxymethyl cellulose (CMC) and chitosan, encapsulating 1-Dodecanol, as PCM, in a 1:1 core-to-shell ratio through polymerization reaction over PCM's emulsion were examined for use building's thermal regulation. Water contact angle was used to investigate the hydrophobicity of biopolymers, while FT-IR studied its chemical composition. Phase change properties were examined using DSC and TGA. Chitosan film showed the highest tensile strength (17.33 MPa). Wettability tests revealed that the chitosan film possesses the highest hydrophobicity due to acetyl groups on the biopolymer' surface, with superior WVP capacity. The highest phase change enthalpies were, recorded for DO@Chitosan, 116.2 and 114.8 for melting and solidification, respectively. Also, TGA proved PCM capsules thermal reliability up to 80°C. These findings suggest that the developed encapsulated PCM is a potential candidate for use in building's thermal management.

Keywords: Thermal Energy Storage; Phase Change Materials; Biopolymers; Encapsulation.

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

CHEMICAL SYNTHESIS, CHARACTERIZATION AND INVITRO ANTIBACTERIAL STUDIES OF IRON OXIDE NANOPARTICLES

Abdullahi Ahmad Muhammad, Muhammadu Marwana Yusuf

Department of Pure and Industrial chemistry, Umaru Musa Yaradua university, P.M.B 2218 , Katsina, Nigeria.

ABSTRACT

In the past decade, nanomaterials have attracted much attention due to their physical properties and technological applications. In this work, iron oxide nanoparticles were first synthesized via a simple co-precipitation method Using Ferrous sulphate (iron (II) Sulphate) and Ferric chloride (iron (III) chloride) as precursor and ammonia solution as precipitator. The samples were then characterized by X-ray diffraction (XRD) and Scanning electron microscope and Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR). XRD pattern showed that the iron oxide nanoparticles exhibited Fe₂O₃(hematite) structure in nanocrystals. The Fe₂O₃ nano-powders with uniform size were prepared when the samples calcined at 300 °C, and the lowest particle size was found to be 30 nm by XRD technique. The surface morphological studies from SEM depicted sphere-like shaped particles without formation of clusters by increasing annealing temperature. The EDS spectrum showed peaks of iron and oxygen free of impurity with many elements. The antibacterial activity of chemically synthesized IONPs was assessed against pathogenic bacteria of Staphylococcus aureus and Salmonella typhi, as higher antibacterial activity was observed in staphylococcus aureus (Gram positive bacteria) taking ciprofloxacin as the control. No activity detected in S.aureus at lower concentrations. By altering the concentrations, an increase of the antibacterial activity was observed in both S.aureus and salmonella typhi.

Keywords: Synthesis, Iron oxide Nanoparticles, co-precipitation and Antibacterial analysis

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

MAN, ENERGY, ENVIRONMENT AND VISION FOR THE FUTURE

Farhad Pirmohammadi Alishah¹, Mehdi Mohammadrezaei²

¹*Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Shabestar Branch, Islamic Azad University, Shabestar, Iran*

²*Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Tasuj Branch, Islamic Azad University, Tasuj, Iran*

ABSTRACT

The future of research and its applications in the global dimensions during the past two decades has found a lot of growth and expansion in the developed countries of the world, which resulted in the gathering of experts and thinkers in the form of different working groups in order to determine perspectives and strategic plans. Also, in the passage of time from the past periods until now, many factors have played a role in the evolution of human life on this earth, if we want to mention only three main elements. Man, energy and environment will definitely be in the first ranks. The purpose of this article is to analyze the trends of changes in the fields of energy, environment, natural disasters, population, water, food and security, according to the three aforementioned factors and referring to the documents in the statistical reports of international organizations. Each of these elements should be presented over time and the mutual effects of these components on each other should be studied. After that, an estimate of the state of the world in the near future has been presented, and some points of view have been stated in relation to the challenges, anomalies and possible dangers. In the final part of the article, the efforts of international organizations to provide a stable, balanced and tolerable future have been examined and criticized, and in the summary, quality and inevitable solutions have been presented.

Key words: environment, fossil resources, sustainable development, future research

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

CARBAZOLE-BASED D-A-II-A DYES FOR DYE SENSITIZED SOLAR CELLS

Omar Britel^{1}, Asmae Fitri¹, Adil Touimi Benjelloun¹, Mohammed Benzakour¹, Mohammed Mcharfi¹*

¹ LIMAS, Faculty of Sciences Dhar El Mahraz, Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Fez, Morocco.

ABSTRACT

New series of organic dyes D_i ($i = 2-8$) derived from D_1 have been investigated by using density functional theory (DFT) and time-dependent density functional theory (TD-DFT) methods, to find out the effect of different π -spacer groups on their efficiency in DSSCs. The geometries, electronic structures, absorption spectra, dipole moments, and molecular electrostatic potential of these studied dyes were investigated and discussed. Besides, some quantify parameters influencing the power conversion efficiency (PCE) such as light-harvesting efficiency (LHE), electron injection driving force (ΔG_{inject}) and regeneration driving force (ΔG_{reg}) were also calculated to examine the most appropriate organic dyes for DSSC applications. Theoretical results indicated that all designed dyes exhibit a significant decrease in the gap energy with increasing dipole moments, and red-shifted absorption spectra compared to D_1 (reference dye), which revealed that these designed dyes are promising candidates for DSSC applications. Accordingly, the introduction of new π -spacer group in D-A- π -A structure may be the best strategy for improving the photovoltaic performances.

Keywords: Solar cells DSSCs; Organic dyes; DFT TD-DFT; Optoelectronic properties; Carbazole.

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

DEVELOPMENT AND CHARACTERIZATION OF NEW MATERIALS WITH COMPLEX STRUCTURES, AND STUDY OF THEIR ELECTRICAL, MAGNETIC AND OPTICAL PROPERTIES

Doha Doughri^{1}, Boubker Mehdaoui¹, Abdeslam El Bouari¹*

¹University Hassan II of Casablanca, Faculty of Sciences Ben M'Sik, Chemistry Department. Laboratory of Physical-Chemistry, Materials and Catalysis, Department of Chemistry, Casablanca, Morocco.

ABSTRACT

Due to their large capacity, Li-rich materials have attracted considerable attention as the next generation of Li-ion batteries [1-3]. In this work, we report the structural and electric properties of Li_4MSbO_6 oxide. Li_4MSbO_6 was prepared by the simple solid phase method, and further characterized by X-ray diffraction and dielectric measurements. The X-ray diffraction results show a pure phase of $\text{Li}_4\text{FeSbO}_6$ with monoclinic crystal structure and space group $C2/m$, and the lattice parameters are: $a=5.1706(5)$ Å, $b=8.9382(5)$ Å, $c=5.1635(2)$ Å. Temperature-dependent conductivity has been studied and analyzed within complex formalisms of dielectric permittivity and complex electrical modulus. The evolution of permittivity, impedance and complex modulus as a function of frequency and temperature have been studied. Several important parameters such as activation energy have been determined.

Keywords: Structure, X-ray diffraction, Dielectric, magnetic, optical.

Références

- [1] L. Nong, X. Cao, C. Li, L. Liu, L. Fang, et J. Khaliq, *J. Eur. Ceram. Soc.*, vol. 41, n° 15, p. 7683-7688, déc. 2021, doi: 10.1016/j.jeurceramsoc.2021.08.040.
- [2] A. P. Surzhikov, A. V. Malyshev, E. N. Lysenko, V. A. Vlasov, et A. N. Sokolovskiy, *Ceram. Int.*, vol. 43, n° 13, p. 9778-9782, sept. 2017, doi: 10.1016/j.ceramint.2017.04.155.
- [3] M. Jia, H. Wang, H. Wang, Y. Chen, C. Guo, et L. Gan. *J. Solid State Chem.*, vol. 254, p. 132-137, oct. 2017, doi: 10.1016/j.jssc.2017.06.023.

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

THE SYNTHESIS AND COMPREHENSIVE ANALYSIS OF Sr_2FeWO_6 COMPOUND: A STUDY OF ITS PROPERTIES AND CHARACTERISTICS

Chaimaa Moukhfi^{1*}, Hamza Ouachtouk¹, Youssef Ghandi¹, Soufiane Zerraf¹, Mohammed Elalaoui Belghit^{1,2}, S. Belaouad¹

¹Laboratory of Chemistry-Physics of Materials, Faculty of Sciences, Ben M'Sick B. P. 7955, Hassan II University of Casablanca, Casablanca, Morocco.

²Laboratory of Nernst Technology, 163 Wellington Street, Sherbrook, J1H5C7, Quebec, Canada

ABSTRACT

The synthesis of nanomaterials and especially nanoparticles has been of increasing interest in the last decades¹⁻². The purpose of this work is to develop, by citrate state, structural and morphological characterization of Sr_2FeWO_6 . This method involves the reaction of metallic chlorides and tungstynes using citric acid as a complexing agent. The Sr_2FeWO_6 can be indexed within the I4/mmm space group indicating a tetragonal distortion³. The analysis by DRX, FTIR of double Sr_2FeWO_6 indicate the presence of a single phase. The powder particles obtained have a heterogeneity of microstructure.

Keywords: Citrate pathway, Characterization; Sr_2FeWO_6 ; Morphology.

References:

- 1: Z. Tang, N. Kong, J. Ouyang, C. Feng, N.Y. Kim, X. Ji, C. Wang, O.C. Farokhzad, H. Zhang, W. Tao, Matter.
- 2: (2020) 297–322. <https://doi.org/10.1016/j.matt.2019.12.007>. 2 S.B. Somvanshi, P.B. Kharat, T.S. Saraf, S.B. Somvanshi, S.B. Shejul, K.M. Jadhav, Mater. Res. Innov. 25 (2021) 169–174. <https://doi.org/10.1080/14328917.2020.1769350>
- 3 : Alaoui El Belghiti, A.; Boukhari, A.; Holt, E.M. (1992). Crystal chemistry of $\text{Cd}_2\text{P}_2\text{O}_7$ — $\text{A}_2\text{P}_2\text{O}_7$ phosphates; A = Sr, Pb, Mg, Co and Ni. Journal of Alloys and Compounds, 188(), 128–132. doi:10.1016/0925-8388(92)90659-W

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

ECONOMICALLY ANALYSIS OF HEAT TRANSFER IN BUILDING WALL INTEGRATION WITH PHASE CHANGE MATERIAL AND THERMAL INSULATION

Humam Kareem Jalghaf^{1,2,3}, Endre Kovács²

¹*Department of Fluid and Heat Engineering, University of Miskolc, 3515 Miskolc, Hungary*

²*Institute of Physics and Electrical Engineering, University of Miskolc, 3515 Miskolc, Hungary*

³*Department of Mechanical Engineering, University of Technology-Iraq, 10066 Baghdad, Iraq*

ABSTRACT

This study presents a comprehensive analysis of transient heat transfer in sustainability building walls with a focus on optimizing the thickness and position of phase change material (PCM) and insulator for enhancing the thermal performance of building walls. The investigation employs advanced numerical simulation techniques to get accurate and efficient analysis. We applied Dirichlet Boundary conditions on both sides of the wall for one year with considering the heat transfer by convection and radiation to represent the realistic boundary and with a range of PCM and insulator thickness with different scenarios. The research aims to identify the optimal thickness that offers the most efficient thermal regulation within the enclosed space. The results of the study are presented in terms of annual energy load, annual energy storage, annual energy cost, annual cost saving, net life saving, and energy saving percentage %. The selection of optimal scenario combinations was based on higher net life savings and higher energy saving percentages. For brick-based solutions, the optimal combinations included Scenario 5 which is (10 cm PCM), Scenario 6 which is (12 cm insulator), Scenario 18 which is (11cm insulator+1cm PCM), and Scenario 3 which is (2cm PCM+1cm insulator). These combinations yielded respective net life savings of 164.896, 290.368, 278.2339, and 213.5339, with energy saving percentages of 71.861%, 93.829%, 96.598%, and 77.624%, respectively. Similarly, for concrete-based solutions, the optimal combinations were Scenario 6 which is (12 cm PCM), Scenario 10 which is (20 cm insulator), Scenario 15 which is (12cm insulator+1cm PCM), and Scenario 3 which is (2cm PCM+1cm insulator), which yielded respective net life savings of 571.066, 714.971, 698.5729, and 622.3892, with energy saving percentages of 87.545%, 98.330%, 98.626%, and 88.776%, respectively. The results offer valuable insights into designing environmentally sustainable building walls with improved thermal performance, emphasizing the strategic integration of PCM and insulator for optimal energy efficiency.

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

STRUCTURAL AND DYNAMICAL PROPERTIES OF LITHIUM ALUMINUM PHOSPHATE GLASSES: A MOLECULAR DYNAMICS STUDY

Othman El Kssiria, Sara Aqdimb, Abdellah Tahiria, Mohammed Filalia, Mohamed Najia

aFaculty of Sciences Dhar El Mahraz, Laboratory of Applied Physics, Informatics and Statistics (LPAIS), University of Sidi Mohamed Ben Abdellah, Fez- Sais 30003, Morocco

bFaculty of Sciences Ben M'sik, Laboratory of Physical-Chemistry,

Materials and Catalysis (LCPMC), University Hassan II of Casablanca, Casablanca, Morocco

ABSTRACT

In this study, we employed molecular dynamics simulations to explore the structural and dynamical characteristics of $50\%Li_2O-xAl_2O_3-(50-x)P_2O_5$ glasses. Analysis of the radial distribution function provided critical insights into the structure and dynamics of these materials. The coordination number for lithium was consistently found to be 3.56. Aluminum predominantly exhibited a tetrahedral coordination, indicating its role as a network-forming ion. Although the presence of Non-Bridging Oxygens (NBOs) decreased slightly with increasing aluminum content, the overall connectivity of the glass network remained unchanged. Our connectivity analysis demonstrated a noticeably increase in P-O-Al linkages as x increased from 0 to 5, signifying the complete integration of aluminum into the phosphate network. The distribution of P^n , Al^n and P^n_m (n represent number bridging oxygen atoms, n' and m represent the number of phosphor and aluminum linked to phosphor respectively) showed a consistent pattern, with 50% of P^n units being P^2 and remains constant with the addition of aluminum. Investigation into Li-Li pairs showed a constant distance across all compositions studied, with a slight increase in the number of lithium atoms surrounding each lithium ion noted. The introduction of aluminum resulted in the formation of new P-O-Al units, such as P^1_{Al} and P^2_{Al} , significantly altering the lithium environment. Predominantly, aluminum was fully integrated with phosphorus, forming $Al(OP)_4$ units. This structural rearrangement suggests that lithium becomes more delocalized and approaches closer to phosphorus, potentially explaining the improved ionic conductivity observed.

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

COMPUTATIONAL AND EXPERIMENTAL STUDIES ON THE CORROSION INHIBITION PERFORMANCE OF PEANUT SHELL EXTRACT ON THE ACIDIC CORROSION OF CARBON STEEL

Youssef ADNAN^{[a]}, Nouredine IDLAHOUSSEINE^[a], Brahim EL IBRAHIMI^[a,b],
Nada Kheira SEBBAR^[b,c], Hassan OUACHTAK^[a,b], Abdelaziz AIT ADDI^[a]*

^a *Laboratory of Organic and Physical Chemistry, Faculty of Science, Ibn Zohr University, Agadir, Morocco*

^b *Faculty of Applied Sciences, Ait melloul, Ibn Zohr University, Agadir, Morocco*

^c *Laboratory of Heterocyclic Organic Chemistry, Faculty of Sciences, Mohammed V University in Rabat, Morocco*

ABSTRACT

In this investigation, the effectiveness of peanut shell waste extract as a corrosion inhibitor for carbon steel immersed in a 1.0 M HCl solution was examined through electrochemical assessments, and surface characterization techniques. The electrochemical findings indicate a notable improvement in the corrosion resistance of carbon steel when treated with peanut shell waste extract. To comprehensively assess the inhibitor's stability and adsorption capacity on the steel surface, experiments were conducted at various concentrations and temperatures, both with and without the presence of the extract. The outcomes consistently demonstrate the remarkable inhibitory performance of peanut shell waste under diverse experimental conditions. The peanut shell waste extract functioned as a mixed-type inhibitor, and its corrosion inhibition on carbon steel was analyzed using the Langmuir isotherm model. Thermodynamic parameters related to adsorption were calculated and interpreted. Additionally, Energy Dispersive Spectroscopy (EDS) analysis and surface morphology observations confirmed the formation of a protective film on the surface of carbon steel. The experimental results underscored the significant ability of peanut shell waste extract to adsorb onto the Carbon steel surface, exhibiting strong corrosion inhibition efficacy across all concentrations tested, particularly at elevated temperatures.

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

ADSORPTIVE REMOVAL OF REACTIVE BLACK-5 DYE FROM AQUEOUS SOLUTIONS USING BACTERIA-MEDIATED SILVER NANOPARTICLES: A KINETIC STUDY

Akeem Adebayo Jimoh^a, Samsudeen Olanrewaju Azeez^a, Mojeed Olalekan Bello^b, and Nasiru AbdusSalam^b

^aDepartment of Chemistry and Industrial Chemistry, Kwara State University, Malete, P.M.B. 1530, Ilorin 240001, Nigeria.

^bDepartment of Chemistry, University of Ilorin, P. M. B. 1515, Ilorin 240003, Nigeria.

ABSTRACT

This study focuses on the characterization of titanium dioxide (TiO₂) and silver nanoparticles (NPs) synthesized through a green synthesis method and their effectiveness in the removal of Methylene Blue (MB) from aqueous solutions. Various analytical techniques including UV-vis spectroscopy, XRD analysis, SEM-EDX analysis, Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), and Transform Electron Microscopy (TEM) were employed to characterize the synthesized nanoparticles. UV-vis analysis confirmed the formation of silver and TiO₂ NPs, with peaks observed at 419 nm and 398 nm respectively. XRD analysis revealed the crystalline nature of both silver and TiO₂ NPs, with peaks corresponding to face-centered cubic structure. SEM-EDX analysis confirmed the successful synthesis of silver and titanium dioxide nanoparticles with predominant presence of silver and titanium dioxide, respectively. FTIR analysis identified functional groups responsible for MB adsorption on the nanoparticles.

Adsorption experiments were conducted to evaluate the effectiveness of the synthesized nanoparticles in MB removal. Factors such as initial dye concentration, adsorbent dosage, contact time, solution pH, and temperature were investigated. Results indicated that the quantity adsorbed increased with increasing initial dye concentration and adsorbent dosage, reaching maximum adsorption capacity at certain concentrations. The effect of contact time revealed that equilibrium was reached at 90 minutes. Solution pH significantly influenced adsorption efficiency, with higher efficiency observed at acidic pH values. Temperature optimization showed enhanced adsorption capacity at 45 °C.

Kinetics studies adopted pseudo-first order and pseudo-second order models demonstrated good fitting with the pseudo-second order model showing the best fit. Isotherm models including Langmuir and Freundlich isotherms were applied, with Langmuir indicating favourable adsorption. Thermodynamic studies revealed an endothermic adsorption process with positive entropy change and negative Gibbs free energy values, indicating the spontaneity and feasibility of the adsorption system.

The synthesized nanoparticles exhibited promising potential for the removal of MB from aqueous solutions, highlighting their suitability for environmental remediation applications.

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

STRUCTURAL, VIBRATIONAL, MAGNETIC, AND ELECTRONIC PROPERTIES OF La_2MMnO_6 DOUBLE PEROVSKITES WITH $M = \text{Ni, Co, and Zn}$

Hamza Ouachtouk¹, Amine Harbi¹, Chaimaa Moukhfi¹, Said Azerblou¹, Youssef Naimi¹, El Mostafa Tace¹

¹ *Laboratory of Chemistry-Physics of Materials, Faculty of Sciences Ben M'Sick B. P. 7955, University Hassan II of Casablanca, Morocco.*

ABSTRACT

This study investigates the structural, vibrational, magnetic, and electronic properties of La_2MMnO_6 double perovskites, where M represents Ni, Co, and Zn. Double perovskite oxides are noted for their flexible ionic placement within the A and B sub-lattices, prompting widespread interest due to their broad spectrum of physical properties including multiferroic behavior, colossal magnetoresistance, and ferroelectric/piezoelectric functionalities. These materials are also crucial in energy-related applications such as solid oxide fuel cells and water-splitting catalysis due to their effective oxygen ion transport and storage. Specific attention is given to the phases $\text{La}_2\text{NiMnO}_6$ and $\text{La}_2\text{CoMnO}_6$, renowned for their unique magnetic, electric, and multiferroic properties. The current research expands the scope by incorporating $\text{La}_2\text{ZnMnO}_6$, synthesized through high-temperature solid-state chemistry, to explore how zinc substitution influences these materials. Structural analyses via X-ray diffraction confirmed a monoclinic structure within the $\text{P2}_1/\text{n}$ space group. Detailed vibrational studies through infrared and Raman spectroscopy, combined with further XRD investigations, delineate the dynamic and electronic behaviors of these compounds, emphasizing the role of the chemical composition in tuning their functional properties. This comprehensive analysis not only reinforces the understanding of La_2MMnO_6 's physical characteristics but also underscores its potential in advanced technological applications.

Keywords: Double Perovskites, Structural Analysis, Vibrational Spectroscopy, Magnetic Properties, Electronic Properties, High-Temperature Solid-State Chemistry, La_2MMnO_6 , Monoclinic Structure, X-ray Diffraction.

References

- Harbi, H. Moutaabbid, Y. Li, C. Renero-Lecuna, M. Fialin, Y. Le Godec, S. Benmokhtar, M. Moutaabbid, The effect of cation disorder on magnetic properties of new double perovskites $\text{La}_2\text{Ni}_x\text{Co}_{1-x}\text{MnO}_6$ ($x = 0.2-0.8$), *J. Alloys Compd.* 778 (2019) 105–114.
- I.O. Troyanchuk, A.P. Sazonov, H. Szymczak, D.M. Többens, H. Gamari-Seale, Phase separation in $\text{La}_{2-x}\text{AxCoMnO}_6$ ($A = \text{Ca and Sr}$) perovskites, *J. Exp. Theor. Phys.* 99 (2004) 363–369.
- L.F. Viera Valencia, D. Garcia Giraldo, Structural, Electrical, and Magnetic Properties of $\text{La}_2\text{Ni}_{1.5}\text{Mn}_{0.5}\text{O}_6$ double perovskites, *Angew. Chemie Int. Ed.* 6(11), 951–952. 2 (2019) 5–9.

SYNTHESIS, CHARACTERIZATION AND CATALYTIC PERFORMANCE OF CADMIUM MOLYBDATE CdMoO_4

Yusra Taoudi¹, Hicham Oudghiri Hassani¹, and Mohammed Lachkar¹

1 Engineering Laboratory of Organometallic, Molecular Materials and Environment (LIMOME), Faculty of Sciences, Chemistry Department, Sidi Mohamed Ben Abdellah University, 30000 Fez, Morocco

ABSTRACT

In current years, molybdates are materials that have involved the benefit of many researchers because of their broad potential to industrial application involving optic fiber, humidity sensor and catalysts [1-2].

In this work, we present to synthesize Cadmium Molybdate by a new method of synthesis solid state, for use in the oxidation reaction of methylene blue with hydrogen peroxide. The oxalate precursor was analyzed by Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) and thermal gravimetric analysis (TGA). The as-synthesized cadmium molybdate was characterized by X-ray diffraction (XRD), Scanning electron microscopy (SEM), and Energy dispersive X-ray spectroscopy (EDX). The results obtained from the experimental part reveals that the cadmium molybdate exhibits exceptionally high catalytic performance of the oxidation of methylene blue dye.

Image/ Figure

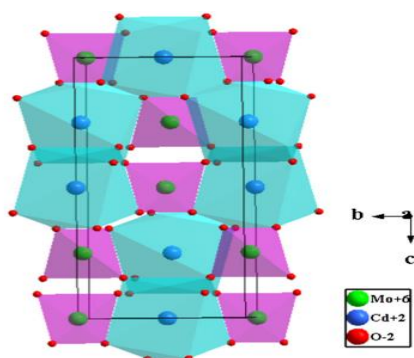


Fig. 1 Crystal structure of CdMoO_4 at orthogonal to the c-axis direction [3].

Recent References

1. Golestaneh, M. Degradation of organic pollutant in waste water via CdMoO_4 nanostructures as an effective photocatalyst; ultrasound-assisted preparation and characterization. *Journal of Nanostructures*, 9(4), 623-629 (2019).
2. Jeseentharani, V., Dayalan, A., & Nagaraja, K. S. (2018). Nanocrystalline composites of transition metal molybdate ($\text{Ni}_{1-x}\text{Co}_x\text{MoO}_4$; $x= 0, 0.3, 0.5, 0.7, 1$) synthesized by a co-precipitation method as humidity sensors and their photoluminescence properties. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 115, 75-83. (2018).
3. Fuks, H., Typek, J., Berkowski, M., Głowacki, M., & Tomaszewicz, E. EPR study of RE^{3+} (RE= Nd, Gd, Dy) doped CdMoO_4 single crystal. *Materials Chemistry and Physics*, 221, 156-167. (2019).

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

QUINAZOLINE DERIVATIVES AS POTENTIAL EGFR INHIBITORS: 2D and 3D-QSAR, MOLECULAR DOCKING, DRUGLIKENESS, AND MD SIMULATIONS

Hassan BADAOUI¹, Mohamed OUABANE^{1,2}, Mohamed ELBOUHI¹, M'barek CHOUKRAD¹, Chakib SEKKATE², Tahar LAKHLIFI¹, and Mohammed BOUACHRINE^{1*}

¹ Molecular Chemistry and Natural Substances Laboratory, department of chemistry, Faculty of Science, My Ismail University, Meknes, Morocco.

² Chemistry-Biology Applied to the Environment URL CNRT 13, department of chemistry, Faculty of Science, My Ismail University, Meknes, Morocco.

ABSTRACT

Inhibitors of the epidermal growth factor receptor (EGFR) are increasingly recognized as promising candidates for the treatment of breast cancer. However, despite these advancements, drug resistance and undesirable side effects persist in many patients. This study aims to assess the inhibitory efficacy of substituted quinazoline derivatives, well-known EGFR inhibitors, using computational modeling methods including 2D QSAR, 3D QSAR, molecular docking, and molecular dynamics simulation. The QSAR models demonstrated strong predictive capability, with Q^2 values of 0.979, 0.874, and 0.944 for HQSAR, CoMFA, and CoMSIA, respectively [1]. Building drug candidates based on these findings, four new molecules (Q₁-Q₄) with improved inhibitory activity were proposed. Molecular docking showed a good docking score for these compounds, and molecular dynamic simulations confirmed the stability of these molecules within the EGFR active site. Further, the frontrunner compounds exhibited favorable pharmacokinetic and pharmacodynamic properties, except for Q₄, which showed mild toxicity [2]. These results provide significant insights into the potential of quinazoline-based compounds as drugs for the MCF-7 cell line, thereby inspiring new avenues for experimental and clinical research.

Keywords: EGFR, HQSAR, CoMFA, CoMSIA, MD simulations, ADMET/Tox.

[1] H. Badaoui, Y. Koubi, Y. Moukhliiss, and K. El Khatabi, "Cytotoxic activity of new thioglycosides of the arylamino-1, 3, 4-thiadiazole and glycosyl-1, 3, 4-thiadiazole-triazole conjugates against *Escherichia coli*: QSAR study," no. August, 2022, doi: 10.33435/tcandtc.1093987.

[2] M. Ouabane, H. Hajji, and A. Belhassan, "RHAZES: Green and Applied Chemistry molecules in pectin gels of different concentration," *RHAZES: Green and Applied Chemistry*, no. January, 2022, doi: 10.48419/IMIST.PRSM/rhazes-v14.31151.

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF AN ENERGY MANAGEMENT SYSTEM BASED ON POWER HYBRID SOLAR, WIND, AND BATTERY

Ikram NOUARI¹, Karim NEGADI², Mostefa KOULALI³

^{1,2,3} Laboratory of L2GEGI, Department of Electrical Engineering, Faculty of Applied Sciences, University of Tiaret, BP78 Zaaroura 14000 Tiaret, Algeria

ABSTRACT

This work examines a hybrid system that uses three energy sources: batteries, photovoltaic power sources, and wind energy. To deliver energy with the highest efficiency possible, each of the three energy sources is managed. The system employed a multilevel inverter to enhance the energy quality injected into the AC load. To provide the highest possible power to a DC bus voltage, fuzzy logic control is employed. To meet load requirements, a management system is made to control the flow of electricity among its components. The analysis's findings show that, in several case, electricity generated via the national grid is still less expensive than power generated from renewable resources. On the other hand, as compared to the present emissions from the classical power system, the use of renewable energy sources reduces overall CO₂ emissions by up to 10 times less. Additional investigation reveals that load aggregation may improve system performance.

Keywords: Wind Energy, Photovoltaic PV, Battery, Hybrid System, MPPT tracking, Three Level Inverter, Fuzzy Logic Control (FLC), CO₂ emission.

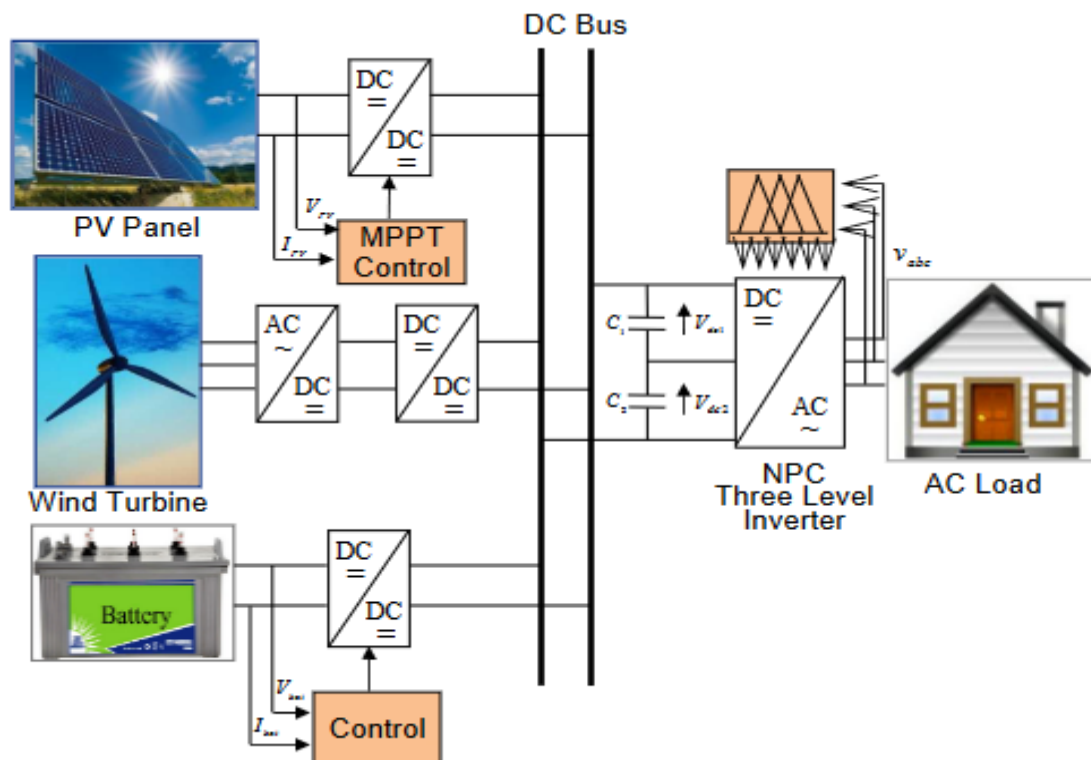


Figure 1. Proposed configuration of hybrid system with battery

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

STUDY OF STRUCTURAL, ELECTRONIC, MAGNETIC AND OPTICAL PROPERTIES OF $BaAlO_3$ COMPOUND WITH USING GGA APPROACHES

Aman Kumar¹ and Anuj Kumar²

¹*Department of Physics, Faculty of Science, Swami Vivekanand Subharti University, Meerut, Uttar Pradesh, India.*

²*Department of Physics, Mahamaya Government Degree College, Sherkot, Bijnore, Uttar Pradesh, India.*

ABSTRACT

A comprehensive investigation of the structural, electronic, magnetic, and optical characteristics of the cubic perovskite $BaAlO_3$ has been conducted using the full-potential linear muffin-tin orbital (FP-LMTO) approach, employing the local spin density approximation (LSDA). The determined equilibrium lattice constant of $BaAlO_3$ is in excellent concordance with the existing theoretical findings. The $BaAlO_3$ compound is used to determine the independent bulk modulus B and its pressure derivatives B' . Based on the examination of the bulk modulus, it has been determined that $BaAlO_3$ exhibits ductile (brittle) characteristics. The band structures, total and partial densities of states indicate that the orbitals resulting from the Al-O band play a crucial role in determining the electrical characteristics of the compound under investigation. The computed magnetic characteristics indicate that the magnetic moment of aluminum (Al) is significantly greater, whereas the magnetic contribution from the barium (Ba) and oxygen (O) elements is insignificant. Optical properties in terms of dielectric parameter (real and imaginary), absorption coefficient and optical conductivity can be calculated in this paper.

Keywords: Electronic Properties, Perovskite, FPLMTO, Bulk modulus.

INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES

COMPARISON STUDY BETWEEN SLIDING MODE CONTROL AND BACKSTEPPING CONTROL OF A WIND POWER SYSTEM BASED ON THE DFIG GENERATOR

Abdelghafour HERIZI, Riyadh ROUABHI, Al hassan BOUSSAG, Abdesattar DJALAB

*LGE Research Laboratory, Department of Electrical Engineering, Faculty of Technology
University of M'sila, BP 166 Ichbilja 28000, Algeria*

ABSTRACT

In this article we present a comparative study between the two nonlinear controls, sliding mode control and backstepping control applied to the doubly fed asynchronous generator (DFIG). To evaluate the performance of the power control equipped with sliding mode control. We carried out a series of simulations in a MATLAB/Simulink environment. For the tracking test, the controlled quantities follow their reference trajectory, without exceeding the active and reactive powers and without static error in steady state. For the regulation test, we observe very good sensitivity to external disturbances due to sudden speed variations, the active and reactive powers are not affected. To evaluate the performance of direct power control, use the backstepping method. We carried out a series of simulations under the same MATLAB/Simulink environment. For the tracking test, the controlled quantities follow their reference trajectory, without exceeding the active and reactive powers and without static error in steady state. For the regulation test, we observe a low sensitivity to external disturbances due to sudden variations in the speed of the wind turbine, the active and reactive powers are affected with a low static error..

Keywords: doubly fed induction generator; sliding mode control; backstepping control; power control; performance; MATLAB/Simulink

International Congress on Advanced Energy Studies

İlgili makama;

Uluslararası İleri Enerji Çalışmaları Kongresi 1-3 Haziran 2024 tarihleri arasında New York'ta 13 farklı ülkenin akademisyen/araştırmacılarının katılımıyla gerçekleşmiştir. Kongre kapsamında sunumu yapılan 34 bildirinin 12 adeti Türkiye'den katılımcılar tarafından; 22 bildiri ise 13 ülkeden katılımcılar tarafından sunulmuştur. Kongre 16 Ocak 2020 Akademik Teşvik Ödeneği Yönetmeliğine getirilen "Tebliğlerin sunulduğu yurt içinde veya yurt dışındaki etkinliğin uluslararası olarak nitelendirilebilmesi için Türkiye dışında en az beş farklı ülkeden sözlü tebliğ sunan konuşmacının katılım sağlaması ve tebliğlerin yarından fazlasının Türkiye dışından katılımcılar tarafından sunulması esastır." değişikliğine uygun düzenlenmiştir.

Bilgilerinize arz edilir,

Saygılarımla,



Dr. Mariam S. OLSSON
Organizing Committee Member



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Müdürlüğü



Sayı : E-54826478-000-2400149394
Konu : Akademisyen Temsilcisi

07.05.2024

İLGİLİ MAKAMA

01-03 Haziran 2024 tarihleri arasında gerçekleştirilecek olan **International Congress on Advanced Energy Studies Kongresinin** Bilim ve Düzenleme Komitesinde, akademisyen temsilcisi olarak Yüksekokulumuz Eczane Hizmetleri Bölümü öğretim üyesi Doç. Dr. Melvüt ALBAYRAK'ın görev alması Yüksekokul Müdürlüğünce uygun görülmüştür.

Bilgilerinizi arz/rica ederim

Prof.Dr. Necati UTLU
Meslek Yüksekokulu Müdürü

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Doğrulama Kodu: 49aecedf-efb8-4dc9-ba50-ed70f3d67eb8
Atatürk Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu
25240 Erzurum
Tel: +90 442 2315857
Elektronik Adres: <http://www.atauni.edu.tr/#!/birim=saglik-hizmetleri-meslek-yuksekokulu>
Kep Adresi: atauni@hs01.kep.tr

Doğrulama Adresi: <https://www.turkiye.gov.tr/aturk-universitesi-ebys>

Bilgi: Salih ÇAVU OĞLU
Faks: +90 442 2315891
E-Posta: shmyo@atauni.edu.tr

