

Teknik Bilimler Dergisi

e-ISSN: 3023-591X

Journal of Technical Sciences



EDİTÖR KURULU (EDITORIAL BOARD)

Baş Editör (Editor in Chief)

Dr. Ali Etem GÜREL, Düzce Üniversitesi, Türkiye

Editör Yardımcıları (Editors)

Dr. Gökhan YILDIZ, Düzce Üniversitesi, Türkiye

Dr. Ümit AĞBULUT, Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye

Yayın Danışma Kurulu (Editorial Advisory Board)

Dr. Adnan SÖZEN, Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Türkiye

Dr. Ahmet Selim DALKILIÇ, Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye

Dr. Ali Naci ÇELİK, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Türkiye

Dr. Asif AFZAL, PA College of Engineering, India

Dr. B. DEEPANRAJ, Prince Mohammad Bin Fahd University, Saudi Arabia

Dr. Bülent YEŞİLATA, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Türkiye

Dr. Elif ÖĞÜT, Kocaeli Üniversitesi, Türkiye

Dr. Engin ÖZDEMİR, Kocaeli Üniversitesi, Türkiye

Dr. Fayaz HUSSAİN, Universiti Malaya, Malaysia

Dr. Günnur KOÇAR, Ege Üniversitesi, Türkiye

Dr. Hakan Fehmi ÖZTOP, Fırat Üniversitesi, Türkiye

Dr. Hitesh PANCHAL, Government Engineering College, India

Dr. Hüsnü GERENGİ, Düzce Üniversitesi, Türkiye

Dr. İlhan CEYLAN, Karabük Üniversitesi, Türkiye

Dr. İsmail EKMEKÇİ, İstanbul Ticaret Üniversitesi, Türkiye

Dr. Lütfullah KUDDUSİ, İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye

Dr. M.S. GAD, Fayoum University, Egypt

Dr. Mehmet Murat TOPAÇ, Dokuz Eylül Üniversitesi, Türkiye

Dr. Mustafa AKTAŞ, Gazi Üniversitesi, Türkiye

Dr. Olusegun David SAMUEL, Federal University of Petroleum Resources, Nigeria

Dr. Onuralp ULUER, Gazi Üniversitesi, Türkiye

Dr. Prabhakar SHARMA, Delhi Skill and Entrepreneurship University, India

Dr. Resul KARA, Düzce Üniversitesi, Türkiye

Dr. Suat SARIDEMİR, Düzce Üniversitesi, Türkiye

Dr. T. N. VERMA, Maulana Azad National Institute of Technology Bhopal, India

Dr. Tahir Çetin AKINCI, University of California, USA

Alan Editörleri (Section Editors)

Dr. Akif KETEN, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Dr. Ali AKPEK, Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye
Dr. Alper Ergün, Karabük Üniversitesi, Türkiye
Dr. Cüneyt UYSAL, Karabük Üniversitesi, Türkiye
Dr. Engin NAS, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Dr. Enver KÜÇÜKKÜLAHLI, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Dr. Erman ZURNACI, Kastamonu Üniversitesi, Türkiye
Dr. Ferzan KATIRCIOĞLU, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Dr. Filiz Dursun, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Dr. Halil YILMAZ, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Türkiye
Dr. Hüseyin BAKIR, Doğu Üniversitesi, Türkiye
Dr. İsmail İsa ATABEY, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Türkiye
Dr. Melike ERDOĞAN, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Dr. Muhammet Sinan BAŞARSLAN, İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Türkiye
Dr. Murat Kadir YEŞİLYURT, Bozok Üniversitesi, Türkiye
Dr. Murat KARABACAK, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Türkiye
Dr. Mustafa KARAGÖZ, Karabük Üniversitesi, Türkiye
Dr. Sait Eser KARLIK, Bursa Uludağ Üniversitesi, Türkiye
Dr. Şenol ŞİRİN, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Dr. Ümit YURT, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Dr. Yunus BİÇEN, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Dr. Zafer CİNGİZ, Düzce Üniversitesi, Türkiye

Teknik Editörler (Technical Editors)

Dr. Seymen ÇİFTÇİ, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Öğr. Gör. Ünal KAYA, Karabük Üniversitesi, Türkiye
Arş. Gör. Beyzanur YAVUZ, Düzce Üniversitesi, Türkiye

GENEL BİLGİLER (GENERAL INFORMATION)

Yayıncı (Publisher)

Düzce Üniversitesi/Düzce University

Web Sayfası (Web Page)

<https://dergipark.org.tr/en/pub/duted>

Cilt (Volume)

2

Sayı (Issue)

2

Yıl (Year)

2024

Basım Tarihi (Date of Publication)

Aralık 2024/December 2024

Yayın Dili (Language)

Türkçe ve İngilizce/Turkish and English

Yayın Periyodu (Publication Period)

Yılda iki kez yayımlanır/Published two times in a year

Yayın Türü (Type of Publication)

Sürekli Yayın/Periodical

e-ISSN

3023-591X

Yazışma Adresi (Correspondence Address)

Düzce Meslek Yüksekokulu, Uzunmustafa Mahallesi, 81010, Merkez/Düzce

+90 380 524 00 98



duted@duzce.edu.tr

İÇİNDEKİLER

Sayfa	Araştırma Makalesi (Research Article)
1-13	Bibliometric Analysis of International Studies on the Use of Nanotechnology in Historical Wooden Structures and Their Surroundings Özlem Özkan ÖNÜR ve Eda KAYA
14-25	Modeling of PV System Supported Intelligent Irrigation System in Iraq-Mosul Region Karam Wadhah Hameed ALHİLO ve Metin KAYA
26-46	Rüzgâr ve Güneş Enerji Santrallerinin Şebeke Entegrasyonu için Esnek Alternatif Akım İletim Sistemli Elektrik Güç Sistemi Çözümlerinin Digsilent ile İncelenmesi Kumru BAYRAK ve Mustafa DURSUN

Research Article

Bibliometric Analysis of International Studies on the Use of Nanotechnology in Historical Wooden Structures and Their Surroundings

 **Özlem Özkan Önür^{a,*}**,  **Eda Kaya^b**

^aNişantaşı University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Architecture, İstanbul, Türkiye.

^bDüzce University, Faculty of Forestry, Department of Landscape Architecture, Düzce, Türkiye.

*Corresponding Author: ozlem.onur@nisantasi.edu.tr

Article Info:

Received: 28/08/2024, Received in revised form: 04/10/2024, Accepted: 18/10/2024.

DOI: 10.70081/duted.1538335

ABSTRACT

In recent years, innovative solutions offered by nanotechnology for the preservation and restoration of historic wooden structures have become the focus of scientific research and international cooperation. This development is of great importance for the preservation of cultural heritage and its transmission to future generations. Nanotechnology, revolutionizing materials science and engineering, provides innovative solutions in many sectors, and these solutions are finding increasing application in the field of preserving historical structures. In this study, a comprehensive bibliometric analysis of international scientific studies has been conducted, addressing the use of nanotechnology in historic wooden structures and their surroundings. By examining key criteria such as the development of studies over time, international cooperation networks, most cited publications, scientific publications, authors, number of publications, locations and years, and identifying prominent research themes, the study aimed to gain a deeper understanding of nanotechnology's role in preserving historic wooden structures. In conclusion, the bibliometric analysis presented in this study will provide strategic guidance for future research, allowing for a broader perspective in evaluating the potential effects of nanotechnology on historical structures.

Keywords: *Bibliometric Analysis, Historic Wooden Structures, Nanotechnology, VOSviewer.*

Tarihi Ahşap Yapılar ve Çevresinde Nanoteknolojinin Kullanımı Üzerine Uluslararası Çalışmaların Bibliyometrik Analizi

ÖZET

Son yıllarda, tarihi ahşap yapıların korunması ve restorasyonu konusunda nanoteknolojinin sunduğu yenilikçi çözümler, bilimsel araştırmaların ve uluslararası iş birliğinin odak noktası haline gelmiştir. Bu gelişme, kültürel mirasın korunması ve gelecek nesillere aktarılması açısından büyük önem taşımaktadır. Nanoteknoloji, malzeme bilimi ve mühendislik alanında devrim yaratarak birçok sektörde yenilikçi çözümler sunmakta, bu çözümler tarihi yapıların korunması alanında da giderek daha fazla uygulama alanı bulmaktadır. Çalışmada, tarihi ahşap yapılar ve çevresinde nanoteknolojinin kullanımı ele alınarak uluslararası bilimsel çalışmaların kapsamlı bir bibliyometrik analizi yapılmıştır. Çalışmaların zaman içerisindeki gelişimi, ülkeler arası iş birliği ağları, en çok atıf alan yayınlar, bilimsel yayınlar, yazarlar, yayın sayıları, yerleri ve yılları gibi temel ölçütleri incelenerek ve öne çıkan araştırma temaları belirlenerek nanoteknolojinin tarihi ahşap yapıların korunmasındaki rolünün daha derinlemesine anlaşılması hedeflenmiştir. Sonuç olarak, bu çalışmanın sunduğu bibliyometrik analiz, gelecekteki

araştırmalar için stratejik yönlendirmeler sağlayarak nanoteknolojinin tarihi yapılar üzerindeki potansiyel etkilerinin daha geniş bir perspektiften değerlendirilmesine olanak tanıyacaktır.

Anahtar Kelimeler: *Bibliyometrik Analiz, Nanoteknoloji, Tarihi Ahşap Yapılar, VOSviewer.*

I. INTRODUCTION

Wood, due to its natural structure, has a complex structure at the micro and nano scale. This structure consists of natural nanotubes or nanofibrils. This characteristic makes wood an ideal material for nanotechnology applications. Nanotechnology offers unique opportunities to improve the usability and structural performance of wood materials. This technology allows for precise control of the bonding and interlocking processes of fibers at the micro scale. Additionally, it enables the development of innovative features such as the creation of different nanofiber connections. As a result, the mechanical properties, durability, and functionality of wood materials can be significantly enhanced.

Applications of nanomaterials in wood are leading to revolutionary developments in the wood industry. For example, self-cleaning wood surfaces have begun to be created using nanocatalysts. These innovative surfaces increase the aesthetic value and lifespan of wood while reducing maintenance needs. In addition, early detection of problems such as decay, mold formation, and termite infestation in wooden structures has become possible through nanosensors. These developments provide significant advantages in the protection and maintenance of wooden structures. Thanks to nanomaterials, wood materials are becoming much more functional, which expands the areas of use for wood (Niroumand, Zain and Jamil, 2013).

Nanomaterials play a critical role in addressing the natural limitations of wood and wood-based composites. These materials can be applied in a wide range of ways to enhance various properties of wood. For example, nano-sized protectors that provide resistance against fire hazards can significantly increase the fire-retardant properties of wood. Nanominerals that enhance biological resistance strengthen wood's durability against insect and fungal attacks. When integrated into wood, nanoparticles increase the material's resistance to water and moisture, resulting in structures that are longer-lasting and require less maintenance. These developments allow wood to go beyond its traditional uses and become a preferred material even in more challenging environmental conditions (Verma and Yadav, 2021).

In the literature, there is a very limited number of studies on the combined use of nanotechnology in and around wooden structures. This situation indicates that the field in question has not yet been sufficiently explored and offers potential research opportunities. In this study, the current state of this field will be examined and evaluated in detail using the bibliometric analysis method. This evaluation will help identify gaps, trends, and future research directions in the field.

Bibliometric analysis is a method that provides researchers with access to accurate, reliable, and comprehensive information through data mining and classification techniques, alongside rapid advancements and developments in information technologies (Zeren and Kaya, 2020). This method offers valuable and multifaceted findings on scientific communication by deeply analyzing various characteristics of academic studies. These characteristics include many parameters such as the subject of studies, publication year, institutional affiliations, keywords, number of authors, citations received, co-citations, collaborations between authors, and publication languages (Çiçek and Kozak, 2012). This allows for obtaining a holistic perspective on the historical development, current state, and potential future trends of a research field.

Comprehensive and reliable academic databases such as Web of Science, Scopus, and Science Direct enable the effective acquisition of rich and detailed data necessary for bibliometric analyses (Kurutkan and Orhan, 2018). These databases contain millions of academic publications and are continuously updated. Thus, researchers can access the most current and relevant information.

Bibliometrics is defined as the examination of scientific studies through numerical analysis and statistics (Al, Sezen and Soydal, 2019). The bibliometric analysis method is widely used to reveal the current state and trends of research conducted in various fields. This method provides a quantitative

approach for identifying, evaluating, and monitoring publications (Zupic and Čater, 2015). Bibliometric analysis includes qualitative and quantitative methods used to assess the impact of individual researchers, research groups, countries, institutions, or journals (Krauskopf, 2018). It provides researchers with the opportunity to explore the literature, identify the most influential studies, and guide their work, while also revealing factors such as how many articles a study has produced and its impact on subsequent research. These methods allow researchers to collaborate and share ideas by basing their findings on the bibliographic data of other scientists (Zupic and Čater, 2015). The bibliometric analysis method is used for performance analysis and science mapping. While performance analysis evaluates the research of individuals and institutions, science mapping reveals the structure and dynamics of a field. Bibliometric studies can be conducted with three different focuses: focusing on a narrow research question, dynamic analysis according to time intervals, and structural focus. While structural focus examines the relationships between institutions, authors, and publications, science mapping analyzes the connections between disciplines, fields, and articles through classification and visualization (Durieux and Gevenois, 2010).

Citation analysis may fall short in determining connections between academics while evaluating the impact of publications (Zupic and Čater, 2015). This analysis measures the impact of an article by examining how much it influences other articles, its citation frequency, and patterns (Al, Sezen and Soydal, 2019; Zan, 2013). Bibliographic coupling, on the other hand, measures similarity by using the number of references shared by two documents, increasing the strength of the connection between two articles as their bibliographic overlap increases (Al, Sezen and Soydal, 2019; Zan, 2013; Durieux and Gevenois, 2010).

Raw data is typically collected from databases such as Web of Science (WOS), Scopus, or Dimension for the application of bibliometric methods. In this study, the WOS Core Collection, used as the primary source, is a large and high-quality database containing more than 20,000 peer-reviewed journals, books, and articles worldwide from over 250 scientific, social sciences, and humanities disciplines. This database serves as a highly valuable and comprehensive resource for bibliometric analyses (Kurutkan and Orhan, 2018). The data obtained from these databases is visualized and used in analyses using software programs such as Citespace, Vivo, Gephi, Histcite, Bibexcel, Ucinet, Pajek, Vantage Point, Scimat, and VOSviewer (Şeref, and Karagöz, 2019). Table 1 summarizes the types of VOSviewer analyses used in the study (Table 1).

Table 1. Types of VOSviewer Analysis Used in the Study (Alkılıç and Palabıyık, 2023).

Citation	Documents
	Sources
	Authors
	Organizations
	Countries
Bibliographic coupling	Documents
	Sources
	Authors
	Organizations
	Countries

VOSviewer is a software used for structuring bibliometric networks. This software typically employs analysis methods such as citation analysis, co-citation, and bibliographic coupling. In this study, in addition to these analyses, text mining analysis was also conducted (Burmaoğlu, Kidak, Sur and Demir, 2016).

The study is organized in five stages:

- In the first stage, general information and objectives were presented.
- In the second stage, the fundamental concepts have been defined.

- In the third stage, the materials and methods used have been explained.
- In the fourth stage, the findings were presented.
- In the fifth stage, the findings were discussed, results were evaluated, and recommendations for the future were made.

II. MATERIAL AND METHOD

The use of nanotechnology in historic wooden structures and their surroundings promises significant innovation in both preservation and renovation processes. This innovative approach allows for more effective conservation of cultural heritage by combining traditional restoration techniques with modern technological advancements. Nanotechnology offers the potential to increase the durability of wooden structures, slow down deterioration processes, and preserve the characteristic features of the original material. However, international studies addressing these two fields together are limited, and there are few bibliometric analyses in the literature that examine this topic in depth. This situation makes it difficult to systematically evaluate the accumulated knowledge in the field and determine future research directions.

The main questions of the study are as follows;

- In which countries and regions are such studies concentrated?
- What topics and themes are prominent in these studies?
- Which research methods and technological applications are widely used
- What challenges and opportunities have been identified regarding the use of nanotechnology in the preservation of historic wooden structures?

The aim of this study is to examine the international academic literature on the integration of historical wooden structures and nanotechnology using bibliometric analysis method to reveal current trends and gaps in the literature. This comprehensive analysis aims to systematically evaluate the existing knowledge in the field, identify research trends, and define potential research areas for future studies. The study aims to systematically review the scientific literature to understand current developments in the combination of historical wooden structures and nanotechnology and to contribute to research in this field.

A. Methods

In the methodology of the study, VOSviewer software was used for bibliometric analysis, which enables systematic review of scientific literature. The current state in the relevant field was evaluated in detail using the VOSviewer program, which is frequently preferred for visual representation of data and offers free access to researchers. VOSviewer is essentially a powerful software that visualizes similarities. Thanks to this feature, it can effectively reveal relationships between scientific studies, co-authorship networks, co-occurrence of keywords, and citation patterns. VOSviewer provides great convenience to researchers and offers in-depth insights, especially in the analysis and visualization of data obtained from comprehensive academic databases such as Web of Science.

As a result of the search conducted with the selected keywords, it was observed that studies on this topic were carried out in the Web of Science (WOS) database in 2013, 2017, and 2021. Only 3 studies were found within these years, indicating that a limited number of research was conducted related to these keywords during this period. In the bibliometric analysis performed, indicators such as citation analysis, keyword frequencies, and publication trends were used. This analysis aims to determine the general trends in the literature of the field and to identify the prominent elements.

A.1. Stages of the Nanotechnology Process for Historic Wooden Structures

The process of using nanotechnology in historic wooden structures consists of three stages: Planning, implementation, and reporting. In the planning stage, goals for the integration of these two fields are set and strategies are developed. In the implementation stage, the determined strategies are applied, and the preservation of historic wooden structures is ensured using nanotechnology. In the reporting stage, process results are collected, analyzed, and shared with stakeholders. Effective management of these

stages ensures efficient use of nanotechnology in the preservation of historic wooden structures and contributes to sustainable preservation solutions.

A.2. Planning Results Phase in the Planning Process of Historical Wooden Structures and Nanotechnology

Bibliometric analysis is a method used for the quantitative examination of scientific literature and evaluation of relationships (McBurney and Novak, 2002). In this study, works published from 2013 to the present and included in major bibliographic databases have been examined. Web of Science (WOS) was chosen as a comprehensive and reliable source for such analyses due to its wide range of disciplines and high-impact publications (Thomson Reuters, 2017). Other databases were not included in this study (Donthu et al., 2021).

A.3. Execution Phase of Results

The search operations were conducted using relevant keywords for the concepts of "historical wooden structures" and "nanotechnology". As a result of the literature review, it was observed that bibliometric analyses regarding the integration of historical wooden structures with nanotechnology are limited in number. The keyword search results are summarized in Table 2.

Table 2. Search results for keywords on August 8, 2024.

<i>Combination of Words</i>	<i>Result</i>
<i>Use of Nanotechnology in Historical Wooden Structures and Their Surroundings</i>	3
<i>TITLE-ABS-KEY (Nanotechnology and Historical Wooden)</i>	

III. RESULTS AND DISCUSSIONS

In the search conducted in the Web of Science database, the distributions of studies that jointly address the concepts of "Historical Wooden Structures" and "Nanotechnology" are presented below. These distributions have been examined according to years, authors, publication subjects, publishing institutions, countries of publication, and sources. Figure 1 shows the distribution by year of studies in which the concepts of "Historical Wooden Structures" and "Nanotechnology" are used together, based on data obtained from the Web of Science database.

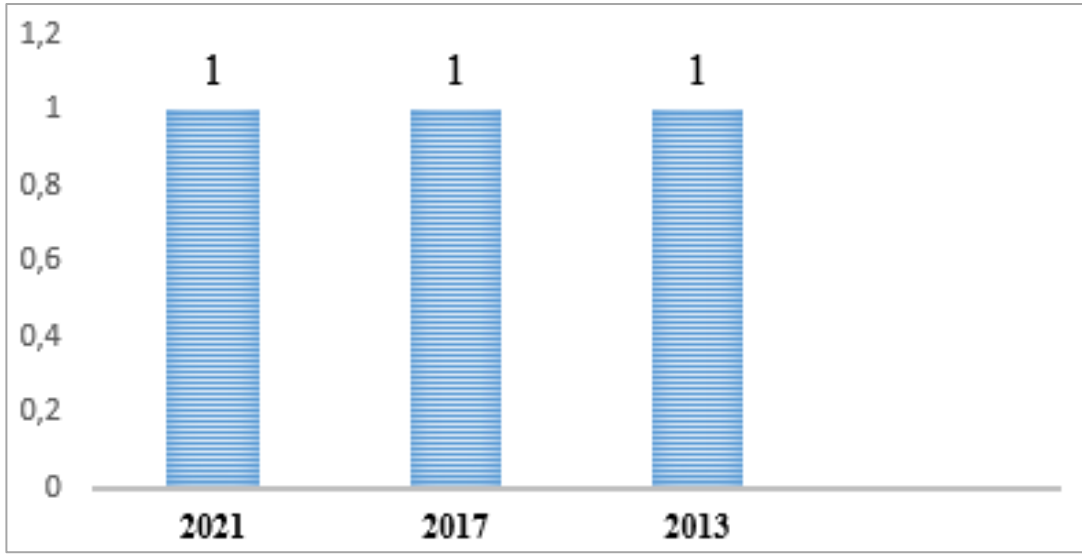


Figure 1. Distribution of publications by year (2013-2017-2021 from Web of Science).

Figure 1 shows the distribution of studies on "Historical Wooden Structures and Nanotechnology" by year. The first publication was made in 2013. In 2017 and 2021, with only one publication each, no significant increase was observed in this field.

As a result of evaluating studies that address historical wooden structures and nanotechnology concepts together based on the number of publications, a list of authors with the most publications has been presented. The distribution of publications by authors is given in Figure 2.

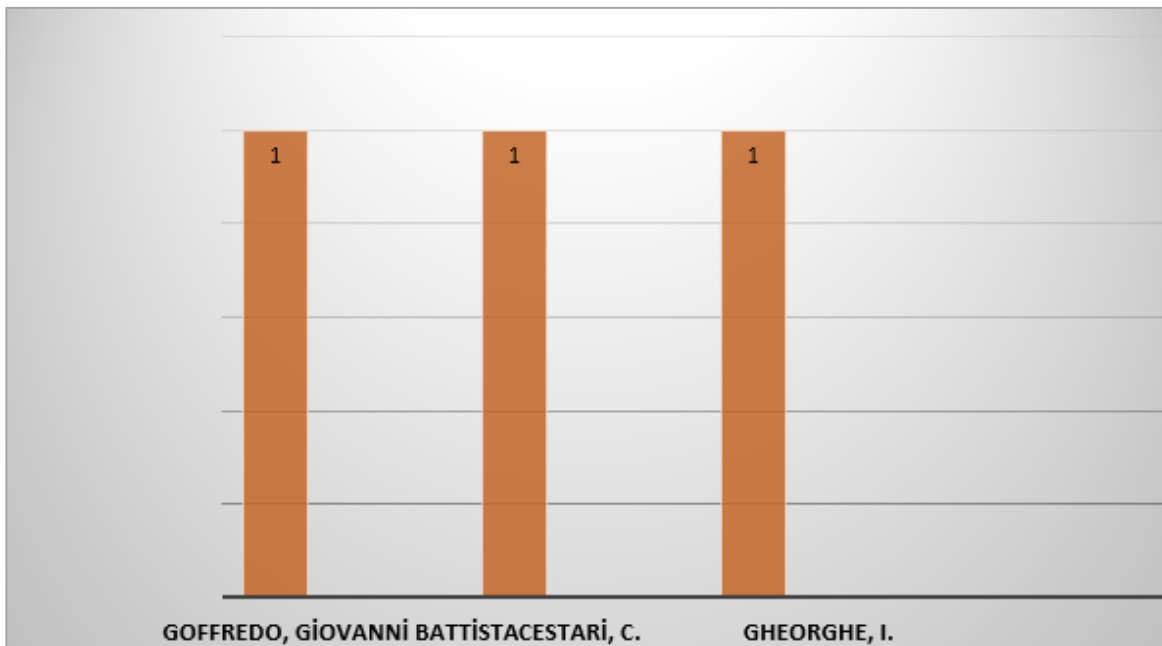


Figure 2. Distribution of publications by authors (Web of Science, 2013,2017,2021).

In the graph in Figure 2, studies that jointly address the concepts of historical wooden structures and nanotechnology are evaluated according to the number of publications. The graph lists authors, each of whom has one publication, accounting for 33% of the total. In three articles published in 2017, 2013, and 2021, various researchers conducted significant studies on nanotechnology and biodeterioration. Goffredo et al. (2017) examined the protective effectiveness of photocatalytic nanocoatings applied to wooden surfaces against fungi such as *Aspergillus niger*. Cestari and colleagues (2013) investigated the

reinforcement capacity of carbon nanocomposites to enhance the durability of ancient wooden joints. Gheorghe and team (2021) evaluated the effect of MgB₂ powders against fungal biological deterioration, developing new nanotechnology-based methods for protecting cultural heritage structures. These studies emphasize the importance of nanotechnology in both preserving cultural heritage and combating biological deterioration.

Data obtained from indexes scanned in the Web of Science database are ranked according to the research areas of studies that use the concepts of "Historical Wooden Structures and Nanotechnology" together. Figure 3 shows the distribution of publications using these concepts together based on subject matter. The results show that studies in this field were limited to only one publication each in the years 2013, 2017 and 2021. There has been no significant increase outside of these years. Although the number of studies is limited, these three publications were carried out with the participation of many different authors. According to the analyses conducted, the publication topics have spread across various scientific fields. 33 % of the publications belong to the fields of Archaeology, Art, Analytical Chemistry, Multidisciplinary Geosciences, and Mechanics. The field with the most publications is Materials Science (Multidisciplinary) with two publications (67%). Additionally, one publication related to Spectroscopy is also included at a rate of 33%. This distribution reveals that the relevant studies are published across a wide range of disciplines and are present in various scientific fields.

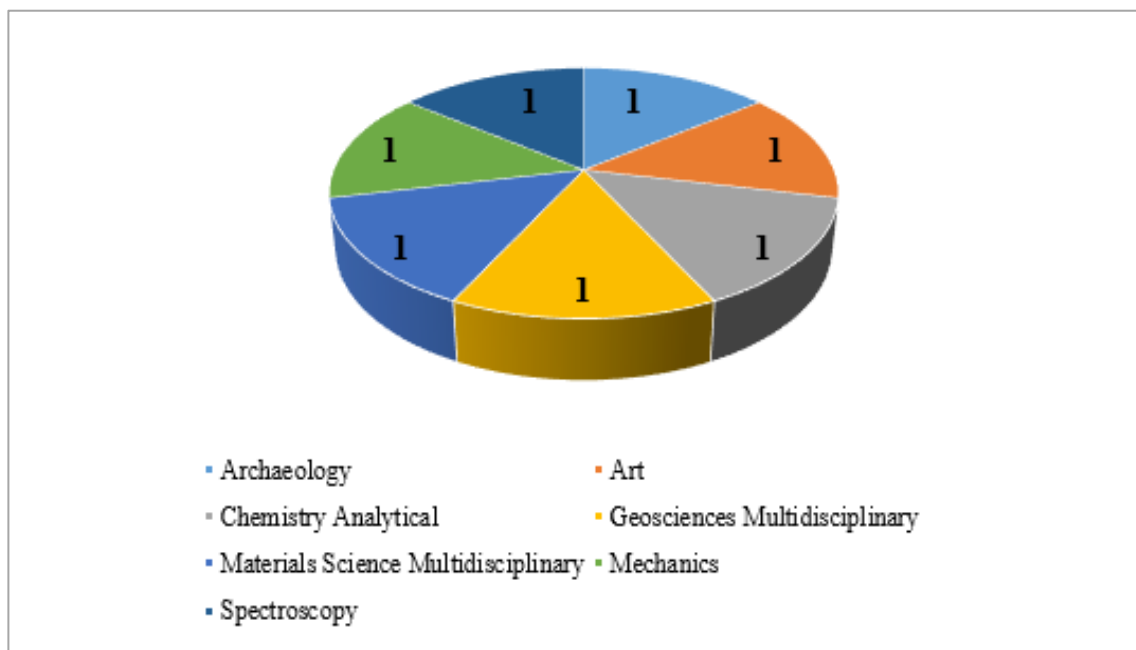


Figure 3. Distribution of publications by subject (Web of Science, 2012-2024).

Figure 4 presents the distribution of publications that jointly address the concepts of "Historical Wooden Structures and Nanotechnology" according to the publishing institutions, based on data obtained from indexes scanned in the Web of Science database. In the ranking of institutions associated with the publications, the Department of Applied Science and Technology and the Department of Architecture and Design at Politecnico di Torino are equally positioned with one publication each. The Department of Life and Environmental Sciences and the Faculty of Sciences at Politecnico University of Marche are also included in the ranking with one publication each. Additionally, the Research Institute, Faculty of Biology, and Faculty of History at the University of Bucharest have each contributed to this field with one publication. This distribution reflects the scientific studies of various academic and research institutions related to the subject. The studies conducted at these three institutions have investigated the protective potential of nanotechnology on historical wooden structures and its effectiveness against biological deterioration. The Department of Applied Science and Technology and the Department of Architecture and Design at Politecnico di Torino focused on increasing structural durability by examining the role of

carbon nanocomposites in strengthening old wooden connections (Cestari et al., 2013). The Department of Life and Environmental Sciences at Politecnico University of Marche studied the effectiveness of photocatalytic nanocoatings against fungal-induced biological deterioration on wooden surfaces (Goffredo et al., 2017). Researchers from the Research Institute, Faculty of Biology, and Faculty of History at the University of Bucharest evaluated the potential use of MgB₂ powders in protecting cultural heritage structures against biological deterioration caused by fungi (Gheorghe et al., 2021). These institutions have made significant contributions to developing innovative solutions for the preservation of cultural heritage using nanotechnology.

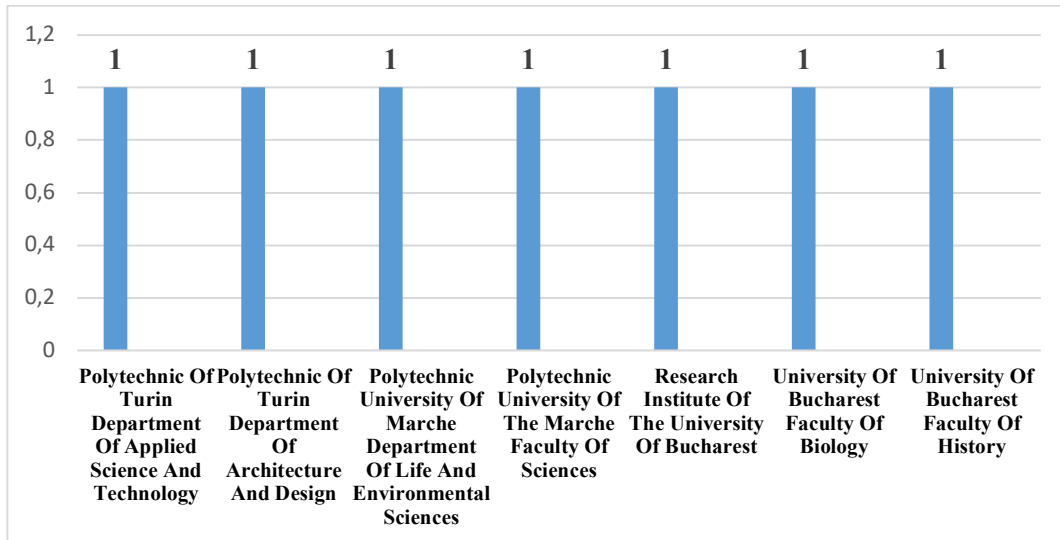


Figure 4. Distribution of publications by institutions (Web of Science, 2012-2024).

Figure 5 shows the two countries with the highest number of publications on Historical Wooden Structures and Nanotechnology. According to the data, the majority of studies come from Italy 2 studies, 67%. Romania ranks second with 1 study 33%. This distribution reflects the scientific contributions and concentrations of countries conducting research in the relevant field.

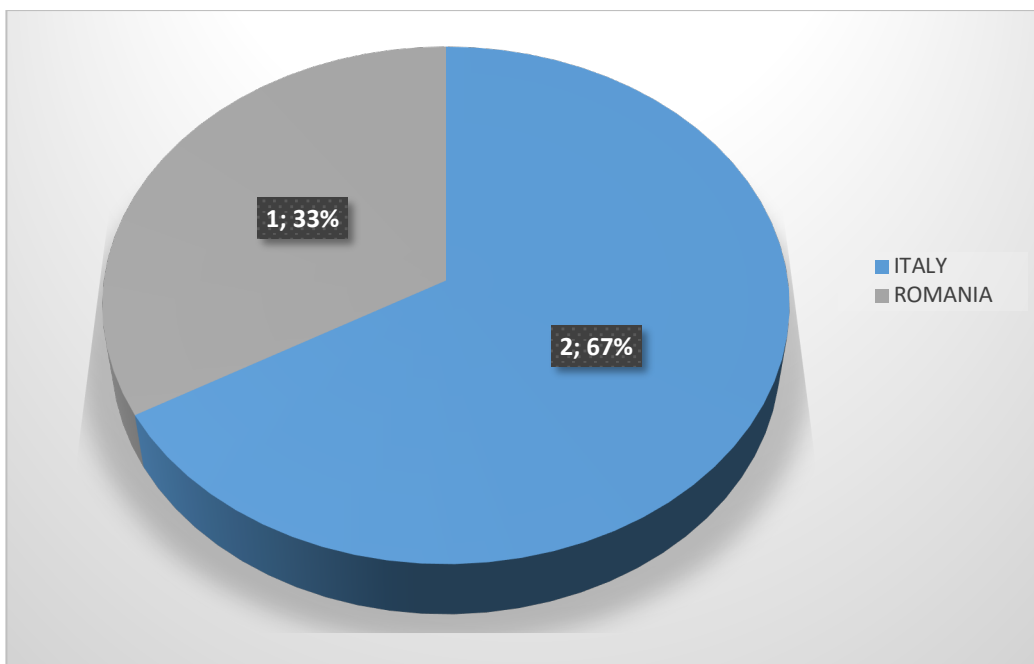


Figure 5. Distribution of publications by country of publication (Web of Science, 2013-2017-2021).

Figure 6 shows the distribution of publishers in publications on Historical Wooden Structures and Nanotechnology. Elsevier, Frontiers Media SA, and Springer Nature publishers are equally represented. Each accounts for 33% of total publications. This indicates that these three publishers make a significant contribution to the relevant topics and constitute a large portion of academic publications in this field.

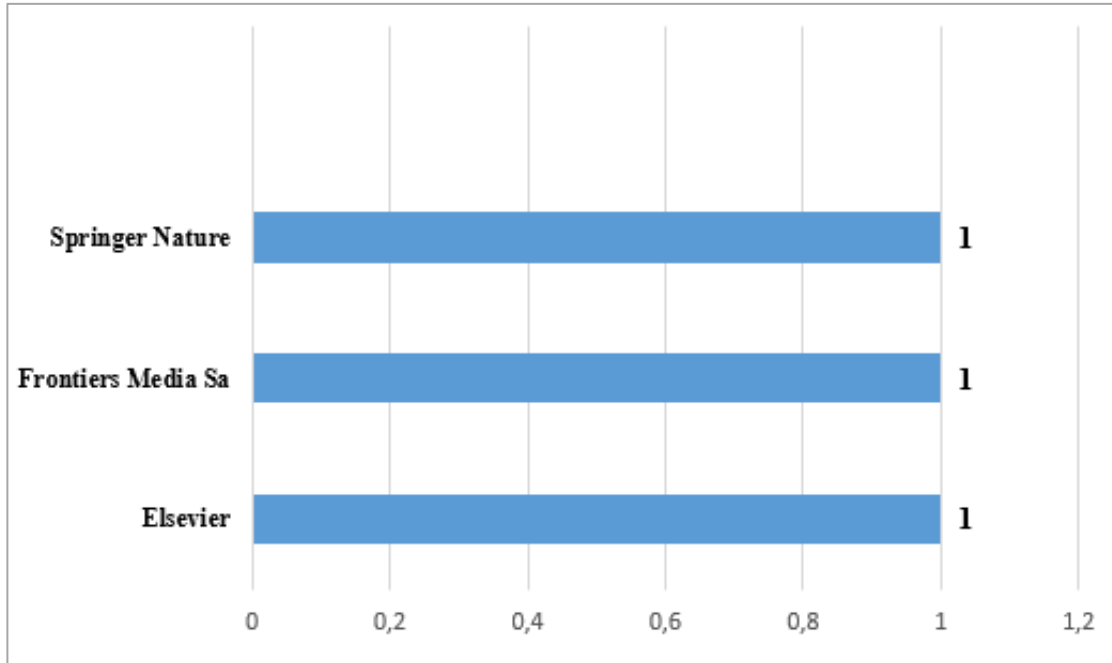


Figure 6. Distribution of publications by publishers (Web of Science, 2013, 2017, 2021)

This distribution reflects the diversity and frequency of contributions made by publishers to the academic field over a specific period. This variation among publishers provides an important indicator for understanding research on a particular subject or scientific discipline and evaluating the impact of publishers in academic literature. This data helps in assessing publishers' contributions to the subject and their roles within the scientific community.

A. Visualization of Studies on "Historical Wooden Structures" and "Nanotechnology" in the Web of Science Database Using the Vosviewer Mapping Technique

Within the scope of the Bibliometric Analysis on international studies regarding the combined use of historical wooden structures and nanotechnology, it is aimed to examine the studies in the Web of Science database and visualize these studies using the VOSviewer mapping technique. This technique visually presents the trends and connections in scientific literature by analyzing the distribution of research on the subject by years, the most published authors, fields of study, and countries. This method helps us better understand the place of studies that address nanotechnology and historical wooden structures together in the literature. Using the VOSviewer program, the relationships between 34 authors who have worked on Historical Wooden Structures and Nanotechnology are visualized in Figure 7 and Figure 8. This analysis covers not only the three identified studies but also authors from different studies based on a broader literature review. In this analysis conducted using the VOSviewer program, criteria such as an author having at least two studies and these studies receiving at least two citations were used. The works of 24 authors meeting these criteria were evaluated, and 276 connections were identified. On the map, all authors are visualized within a single network, with the sizes of the representative circles determined according to the number of publications. Additionally, authors involved in the same projects are shown in the same color, while the lines between authors represent their mutual relationships. Therefore, the 34 authors are part of a broader collaboration network that encompasses not only the three identified

studies but also different works. This has allowed for the analysis of research intensity in the field and collaboration among authors from a wider perspective.

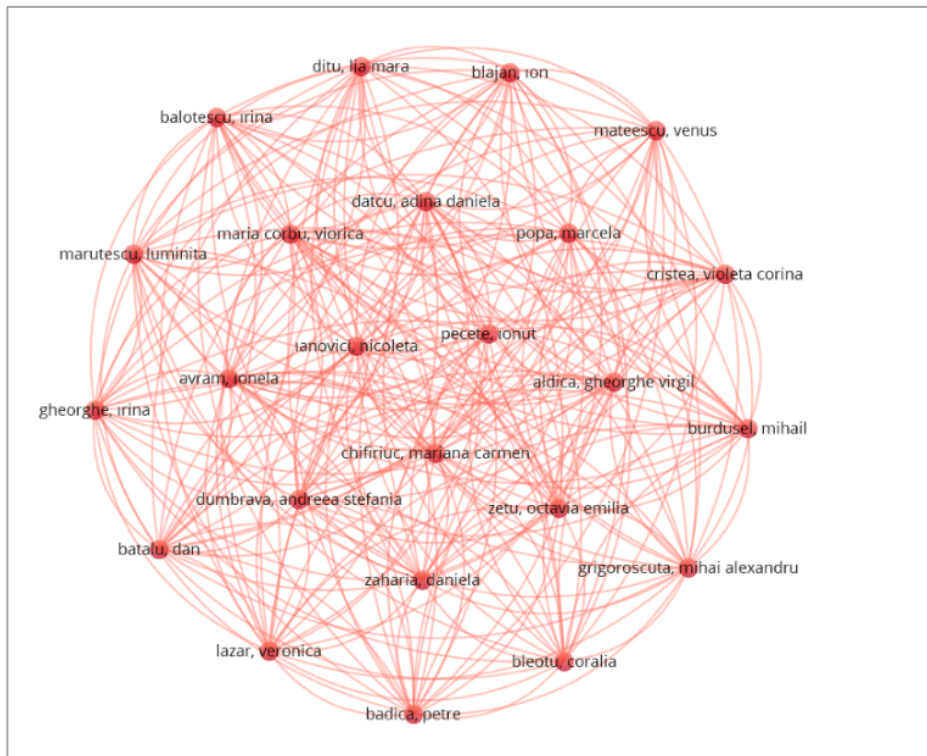


Figure 7. Bibliometric network analysis of research on historical wooden structures and nanotechnology based on author distribution.

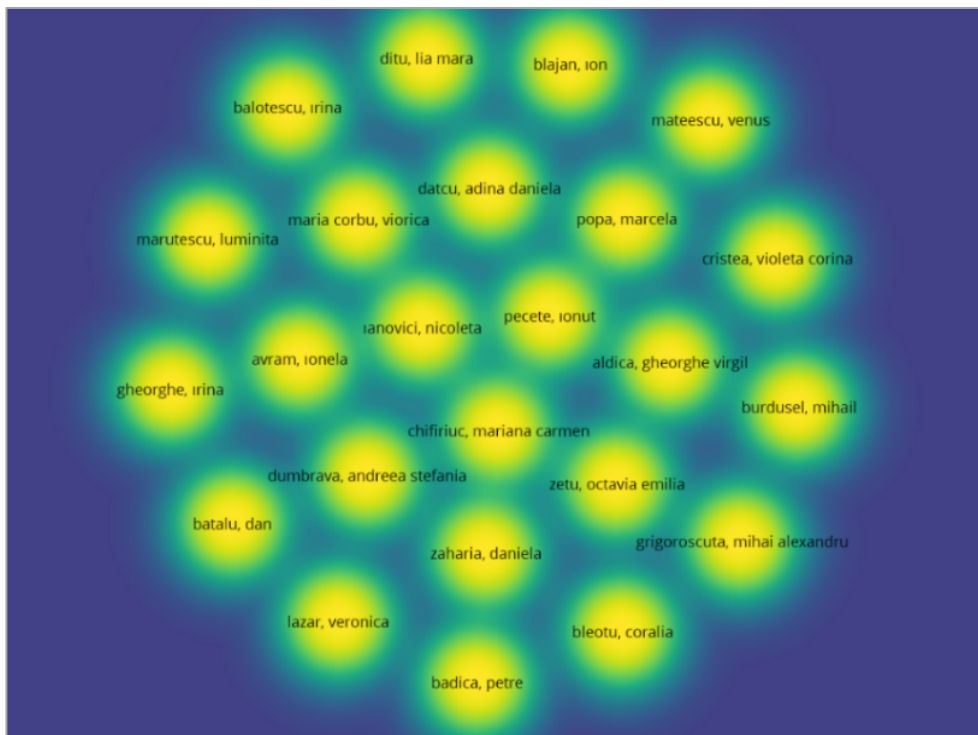


Figure 8. Bibliometric network analysis of research on historical wooden structures and nanotechnology based on author distribution.

The map has been created based on the criteria of an author having at least 2 works and receiving a minimum of 2 citations for their works. In this analysis, the works of 24 authors have been evaluated and 276 connections have been identified among them. The map displays all authors in a single network, as 1 cluster. The sizes of the circles are determined according to the number of publications by the authors. While the circles of authors working on the same projects are shown in the same color, the lines between them represent their mutual relationships.

In the analysis conducted using VOSviewer, a visualization was created considering 6 out of 16 keywords used in the topics of "Historical Wooden Structures and Nanotechnology". In this analysis, a total of 15 connections were identified among the selected 6 keywords (items). These keywords are grouped into a single cluster, indicating that they are highly related to each other. The number of connections within the cluster reveals the frequency of co-occurrence of these terms and the strength of their relationships. As a result, this visualization clearly presents which keywords the research in the field of historical wooden structures and nanotechnology is concentrated around and how these terms are interconnected. Figure 9 shows the co-occurrence network of keywords generated with the help of VOSviewer software.

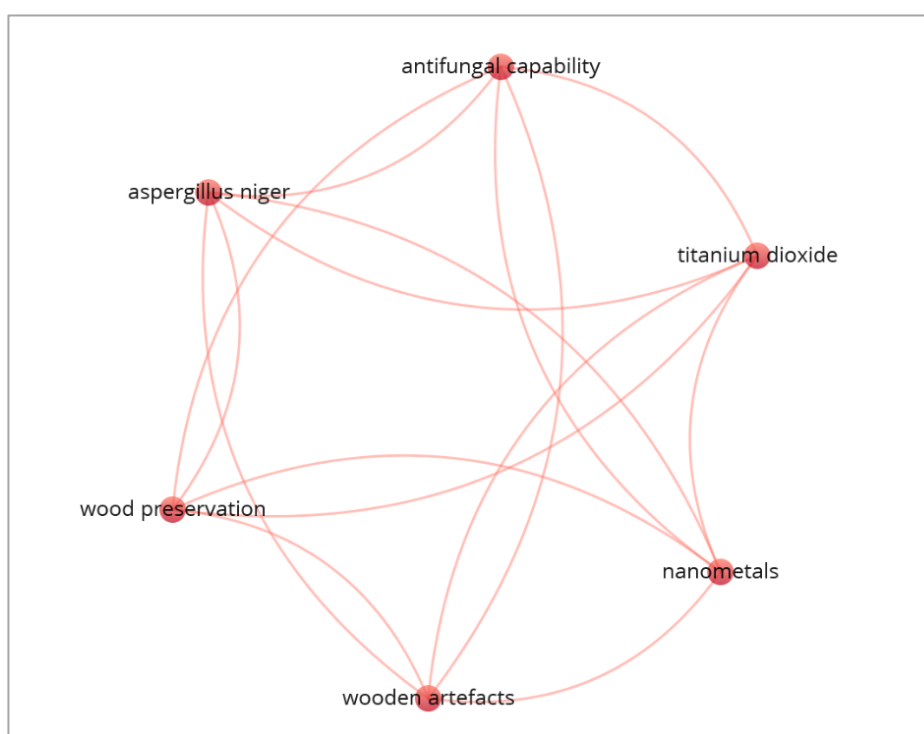


Figure 9. Bibliometric network analysis based on the distribution of keywords in research on historical wooden structures and nanotechnology.

The lack of a sufficient number of countries in this research depends on a specific minimum dataset for the validity and generalizability of research results in bibliometric analyses. Especially in international studies, it is important to have at least three different countries on a particular topic. This ensures the diversity and comparability of data from different geographical regions and scientific communities.

When an insufficient number of countries are represented, the data may be specific to a particular region or country and may not accurately reflect global trends. Therefore, it is critical to include at least three countries in the analysis to maintain the validity of the results in a broader scientific context. This diversity is also important for understanding how the study is received in different scientific cultures and research environments.

Figure 5 shows the two countries with the most publications on historical wooden structures and nanotechnology. According to the data, most of the studies come from Italy (2 studies, 67%), while

Romania ranks second with 1 study (33%). However, as mentioned earlier, at least three different countries should be included in such analyses.

This situation is important in terms of being able to address studies from a broader perspective in a global context and compare scientific contributions from different geographical regions. Although this analysis, which includes two countries, reflects the trends in the existing literature, it demonstrates that more countries need to be included for a more comprehensive global understanding. This is a critical necessity to understand how the subject is addressed at an international level and how it resonates in different scientific communities.

IV. CONCLUSIONS

In this study, a comprehensive bibliometric analysis of international scientific studies has been conducted, focusing on the use of nanotechnology in and around historical wooden structures. International research on historical wooden structures and nanotechnology has been examined using bibliometric analysis methods, with data obtained from the Web of Science database and visualized through VOSviewer software. The bibliometric analyses show that most of the relevant studies come from only a few countries, which does not provide a broad perspective in a global context. The analyses emphasize that the representation of at least three countries is a significant shortcoming. It has been observed that Italy has the highest number of publications with two studies, while Romania has one. This situation reveals the need for a wider geographical coverage to fully reflect global trends and international collaborations.

The bibliometric and VOSviewer analysis conducted in this study yielded three main conclusions. Firstly, it was determined that the number of publications on Historical Wooden Structures and Nanotechnology is limited, with only one publication each in 2013, 2017, and 2021. This situation indicates that research in this field has not yet been explored in sufficient depth and presents a significant research gap for future studies. Secondly, it was observed that the analyzed keywords are highly correlated and clustered within a single group. This reveals that certain concepts and terminology are tightly linked among studies in this field, suggesting that researchers can conduct more effective and comprehensive studies using these keywords. Thirdly, the fact that a large portion of the research has been limited to specific countries, with Italy and Romania having the highest number of publications, emphasizes the importance of international collaboration and multidisciplinary approaches. This finding suggests that future studies require more collaboration among researchers from different geographical regions and that increasing knowledge sharing in this field could accelerate developments in Historical Wooden Structures and Nanotechnology. These results provide a guiding framework for future research and demonstrate that this field needs more attention from both academic and practical perspectives.

In the future, research in the fields of Historic Wooden Structures and Nanotechnology can be further deepened in light of the fundamental references provided by current studies. The present analysis indicates that strong connections between key words will promote interdisciplinary interaction and allow for the enrichment of this field. In particular, the integration of these two areas may increase the applicability of nanotechnological innovations in the processes of preservation and restoration of historic structures. Therefore, future studies can provide significant contributions at both academic and practical levels, paving the way for the development of new methods for the sustainability and preservation of historic structures. In this context, researching this topic not only contributes to academic literature but also carries the potential to develop concrete applications for the preservation of cultural heritage.



In conclusion, it has been determined that research on historical wooden structures and nanotechnology needs to be expanded. This expansion aims to develop a more comprehensive understanding in the global scientific context and to increase the diversity of data from different geographical regions by including more countries and various international collaborations. This approach is critical both for improving research quality and for better representation of the global scientific community. To increase the generalizability of study results and make them more meaningful in an international context, participation of more countries in such research should be encouraged.

REFERENCES

- Al, U., Sezen, U., & Soydal, İ. (2019). Türkiye'nin bilimsel yayınlarının sosyal ağ analizi yöntemiyle değerlendirilmesi .Hacettepe Üniversitesi Proje Raporları No: 110K044, Ankara.
- Alkılıç, E., & Palabıyık, S. (2023). Bibliyometrik analiz yöntemi üzerinden yer seçimi ile ilgili karar destek sistemi yöntemlerinin incelenmesi. *International Journal Of Social Humanities Sciences Research*, 10(98), 2016-2026.
- Burmaoğlu, S., Kıdak, L. B., Sur H., & Demir, H. (2016). Sistem yaklaşımı ve sağlık alanında sistem dinamikleri uygulamaları: Current bibliyometrik bir analiz. *Hacettepe Sağlık İdaresi Dergisi*, 19(4), 443-463.
- Cobo, M. J., Jürgens, B., Herrero-Solana, V., Martinez, M. A., & Herrera-Viedma, E. (2018). Endüstri 4.0: bibliyometrik analize dayalı bir bakış açısı. *Procedia Bilgisayar Bilimi*, 139, 364-371.
- Çiçek, D., & Kozak, N. (2012). Anatolia: turizm araştırmaları dergisi'nde yayımlanan hakem denetimli makalelerin bibliyometrik profili. *Türk Kütüphaneciliği*, 26(4), 734-756.
- Demir, H., & Erigüç, G. (2018). Bibliyometrik bir analiz ile yönetim düşünce sisteminin incelenmesi. *İş ve İnsan Dergisi*, 5(2), 91-114.
- Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 133(20), 285-296.
- Dos Santos, B. S., Steiner, M. T. A., Fenerich, A. T., & Lima, R. H. P. (2019). Data mining and machine learning techniques applied to public health problems: A bibliometric analysis from 2009 to 2018. *Computers & Industrial Engineering*, 138, 106120.
- Durieux, V., & Gevenois, P. A. (2010). Bibliometric indicators: quality measurements of scientific publication. *Radiology*, 255(2), 342-351.
- Kaya, E., & Uzun, O. (2024). Kentsel Açık ve Yeşil Alan Planlamasında Katılımcılık Görüşlerini Birlikte Kullanan Uluslararası Çalışmaların Bibliyometrik Analizi, *Kent Akademisi Dergisi*, 17(3), 1060-1085.
- Kurutkan, M. N., & Orhan, F. (2018). Kalite Prensiplerinin Görsel Haritalama Tekniğine Göre Bibliyometrik Analizi. Sageya Yayınevi. Ankara.
- Knani, M., Echchakoui, S., & Ladhari, R. (2022). Artificial intelligence in tourism and hospitality: Bibliometric analysis and research agenda. *International Journal of Hospitality Management*, 107, 103317.
- Krauskopf, E. (2018). A bibliometric analysis of the Journal of Infection and Public Health: 2008–2016. *Journal of Infection and Public Health*, 11(2), 224-229.
- McBurney, M. K., & Novak, P. L. (2002). What is bibliometrics and why should you care. In Proceedings. IEEE international professional communication conference, 108-114.
- Niroumand, H., Zain, M., & Jamil, M. (2013). The Role of Nanotechnology in Architecture and Built Environment. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 89, 10-15.
- Palabıyık, S., & Demircan, D. (2020). Mimarlıkta hesaplamalı tasarım yöntemlerine ait potansiyellerin yaşam döngüsü modeli üzerinden değerlendirilmesi. *Uluslararası Hakemli Tasarım ve Mimarlık Dergisi*, 21, 91-123.
- Reuters, T. (2017). Bilgi Ağı- Gerçek Gerçekler- IP ve Bilim- Thomson Reuters. Online Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Web_of_Science#cite_note-Web_of_Science-2014-12.
- Şeref, İ., & Karagöz, B. (2019). Türkçe eğitimi akademik alanına ilişkin bir değerlendirme: Web of Science veri tabanına dayalı bibliyometrik inceleme. *Dil Eğitimi ve Araştırmaları Dergisi*, 5(2), 213-231.
- Verma, A., & Yadav, M. (2021). Application of nanomaterials in architecture – An overview. *Materialstoday: Proceedings*, 43 (5), 2921.
- Zan, B. U. (2013). Türkiye'de bilim dallarında karşılaştırmalı bibliyometrik analiz çalışması. Yayınlanmamış Yüksek lisans tezi, Ankara.
- Zeren, D., & Kaya, N. (2020). Dijital pazarlama: ulusal yazının bibliyometrik analizi. *Çağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 17(1), 35-52.
- Zupic, I., & Čater, T. (2015). Bibliometric methods in management and organization. *Organizational Research Methods*, 18(3), 429-472.

Research Article

Modeling of PV System Supported Intelligent Irrigation System in Iraq-Mosul Region

 *Karam Wadhah Hameed Alhilo*^{a,*},  *Metin Kaya*^a

^aDepartment of Energy Systems Engineering, Faculty of Technology, Karabük University, Karabük, Türkiye.

*Corresponding Author: 2128132021@ogrenci.karabuk.edu.tr

Article Info:

Received: 27/09/2024, Received in revised form: 11/12/2024, Accepted: 16/12/2024.

DOI: 10.70081/duted.1557201

ABSTRACT

In this study, Matlab/Simulink software was used to create a smart irrigation system that utilizes the electricity produced by photovoltaic cells. The system setup will be carried out considering that the farm needs 90,000 liters of water during its periodic irrigation period. The designed irrigation system will be installed in the rural area of Mosul, Iraq. According to our calculations, a submersible pump compatible with a 1400 W power BLDC model and capable of a 200 m water lifting height is sufficient. It has been observed that using a smart irrigation system is more efficient and economical compared to traditional irrigation systems. Approximately 36% savings were achieved from the design of the 1400 W power BLDC model submersible pump and about 67% savings from the design of the photovoltaic array. Due to its location, Iraq is one of the countries with high annual solar radiation values. We believe that using smart irrigation system models in regions with high electricity energy needs but low coverage rates will contribute positively to national economies.

Keywords: *BLDC Motor, DC-DC Boost Converter, MPPT Technique, PV array, Smart Irrigation, Water Flow.*

Irak-Musul Bölgesinde PV sistem Destekli Akıllı Sulama Sisteminin Modellenmesi

ÖZET

Bu çalışmada, fotovoltaik hücrelerin ürettiği elektriği kullanan akıllı bir sulama sistemi oluşturmak için Matlab/Simulink programı kullanılmıştır. Çiftliğin periyodik sulama döneminde 90.000 litre su ihtiyacı olduğu düşünülerek sistem kurulumu gerçekleştirilecektir. Tasarımı gerçekleştirilecek olan sulama sistemi Irak'ın Musul kırsal kesiminde kurulumu gerçekleştirilecektir. Yapmış olduğumuz hesaplamalara göre 1400 W gücünde BLDC model fotovoltaik sisteme uyumlu, 200 m su basma yüksekliğine sahip dalgıç pompa yeterli olmaktadır. Akıllı sulama sistemi kullanılmasının geleneksel sulama sistemlerine göre daha verimli ve ekonomik olduğu gözlemlenmiştir. 1400 W gücünde BLDC model dalgıç pompa tasarımından yaklaşık %36, fotovoltaik dizi tasarımından %67'lik bir tasarruf sağlanmıştır. Irak, konumu gereği yıllık güneş ışınım değeri yüksek olan ülkelerden biridir. Biz bu çalışmamızda elektrik enerji ihtiyacı fazla olan fakat ihtiyacı karşılama oranı düşük olan bölgeler için akıllı sulama sistem modelinin kullanılmasının ülke ekonomilerine katkı sağlayacağını düşünüyoruz.

Anahtar Kelimeler: *Akıllı sulama, BLDC Motor, DA-DA Dönüştürücü, MPPT tekniği, PV dizi, Sulama.*

I. INTRODUCTION

This study aims to develop an intelligent irrigation system that utilizes a photovoltaic power system to extract power efficiently. The proposed PV system comprises a pumping system, a tank, a Photovoltaic Array (PV array), a sensing system, and a DC-to-DC converter with an incremental conductance MPPT control algorithm.

The primary objective of this study is to create a sustainable irrigation system using solar power instead of diesel-powered pumps. This approach will eliminate fuel costs and reduce the carbon emissions these engines produce.

A secondary objective is to manage groundwater withdrawal and consumption more effectively. Irregular and inefficient drainage depletes groundwater resources and can damage wheat plants by oversaturating them, even though they require a specific amount of water. Thus, controlling drainage practices will enhance and improve agricultural production.

Solar-powered irrigation systems ought to emphasize efficiency, optimizing the use of the solar energy provided by the panels. PVSyst result was used to get optimal results, followed by Matlab to verify these outcomes.

II. MATERIAL AND METHOD

A. Irrigation System Description

The irrigation system consists of PV array MPPT (Maximum Power Point Tracking) boost converter, two DC pumps (one for pumping water from the well to the tank and the other one for pumping water from the tank to the farm), tank, piping net, solenoid valves, sprinklers and control system (solar radiation sensor, moisture sensors, water level sensors for water level of the well and the tank and controller) as shown in Figure 1

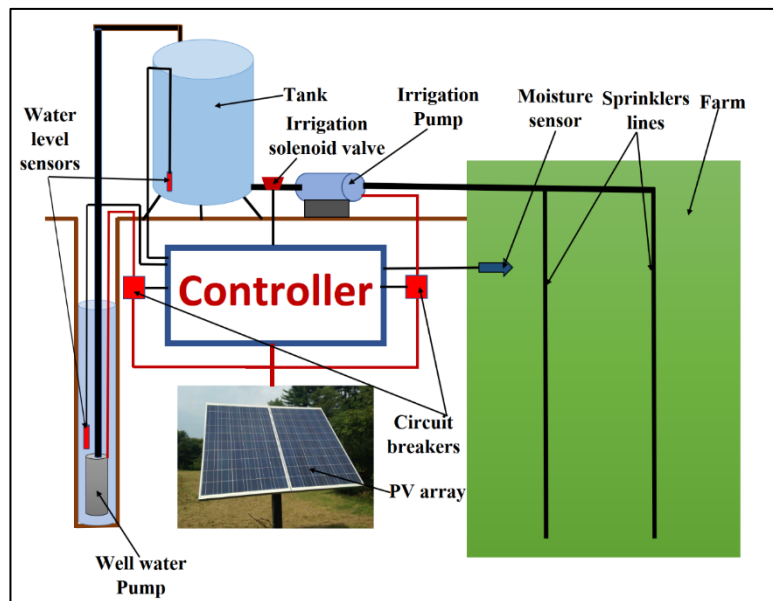


Figure 1. Intelligent irrigation system.

B. Theoretical Calculations of the System

The size of the irrigation system is primarily determined by the monthly energy output of the PV system and the daily water requirements. The monthly energy output of a 1 kWp PV system at the Al-Ayadiya location is shown in Figure 2 (Europa, 2024).

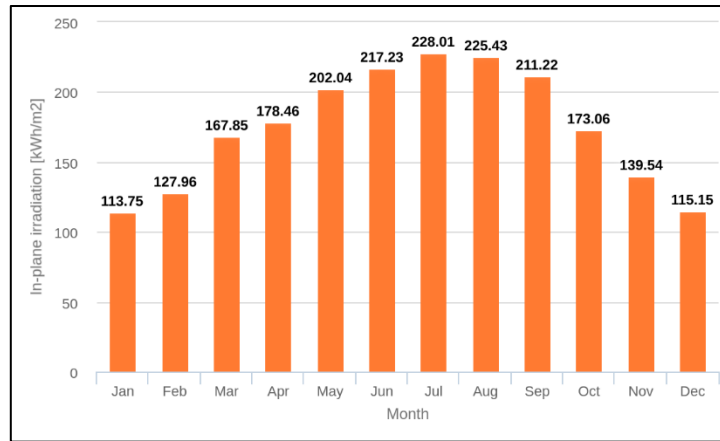


Figure 2 The monthly energy output

Using the Peak Sun Hour (PSH) principle in conjunction with a simple deterministic algorithm, one can quickly determine the size of a PV system. In such cases, the PSH value from the Global Sun Map can be used, as this approach is effective in locations where daily solar radiation data is unavailable. PSH represents the number of hours a day when the average solar energy is 1,000 W/m². As shown in Table 1. (Al Riza et al., 2024; Markvart and Castañer, 2003; Al Riza, 2011; Sen, 2008), the Peak Sun Hour (PSH) is calculated by dividing the monthly average irradiation by the number of days.

Table 1 Irradiation and Peak Sun Hours

Month	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Irradiation kW/m ²	113.75	127.96	167.85	178.46	202.04	217.23	228.01	225.43	211.22	173.06	139.54	11.15
PSH	3.67	4.47	5.41	5.95	6.52	7.24	7.36	7.27	7.04	5.85	4.65	3.74
Average PSH	5.0325											

The average depth of wells in the area ranges from 30 to 50 meters; therefore, the deepest well was used for this study. A 10-acre wheat farm requires 90,000 liters of water per irrigation period, which occurs six times a month, based on data gathered from farmers. The average water requirement of the crop is calculated as follows:

$$\text{Daily water requirement} = \frac{\text{Monthly water requirement}}{\text{month days}} = 18 \text{ m}^3/\text{day} \quad (1)$$

Equation (2) is used to calculate the flow rate in cubic meters per hour (m³/h) based on the PSH and daily water needs.

$$\text{Flow rate} = \frac{\text{Daily water requirement}}{\text{PSH}} = \frac{18}{5.0325} = 3.576 \quad (2)$$

Since the system is intended to operate during the winter and spring, the tilt angle in Mosul is typically selected to be between 14 and 60 degrees. The plane tilt was adjusted to 55 degrees, which corresponds to minimal loss concerning the optimal angle (Hassan et al., 2021; Ali, 2018; Morad et al., 2018).

For the solar PV water pumping system, the following calculations are part of the theoretical analysis: hydraulic power, PV array sizing, motor sizing, and system efficiency.

a. Hydraulic power requirement

Equation (3) is used to determine the system’s hydraulic power requirements (Sharma et al., 2020):

$$P_H(kW) = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{3.6 \cdot 10^6 \cdot \eta} \quad (3)$$

where

Water density = 1000 kg/m³,

g: Acceleration due to gravity (9.81 m/s²),

Q: Water discharge = 3.576 (m³/h)

H: Head = 50 m

η: Pump efficiency

$$P_H \text{ (kW)} = 1.2 \text{ kW}$$

b. Sizing of Motor

The pump is driven by a DC motor. The motor's power consumption is determined by the efficiency of the pump (Sharma et al., 2020; Yahyaoui et al., 2015):

$$\text{Power required by motor} = \frac{\text{Hydraulic power required by pump}}{\text{Efficiency of motor}} \quad (4)$$

$$\text{Power required by motor} = 1.5 \text{ kW}$$

c. Sizing of PV Array

The size of the PV array is determined by the power requirements of the system. The system's efficiency affects the overall power requirements (Sen, 2008):

$$\text{Total power required from PV array} = \frac{\text{Power required by motor}}{\text{Efficiency of the system}} \quad (5)$$

$$\text{Total power required from PV array} = 1.666 \text{ kW}$$

d. System Sizing Calculation

Number of modules required in the PV array:

$$\text{The total no. of modules} = \frac{\text{Power output required from PV array}}{\text{Power rating of the unit module}} \quad (6)$$

$$\text{Total no. of modules} = 2.38 \approx 2 \text{ Modules}$$

C. 4. Matlab/Simulink Modeling

As shown in Figure 3, the solar PV irrigation system consists of a PV array, an MPPT-DC converter, energy storage, and a control system.

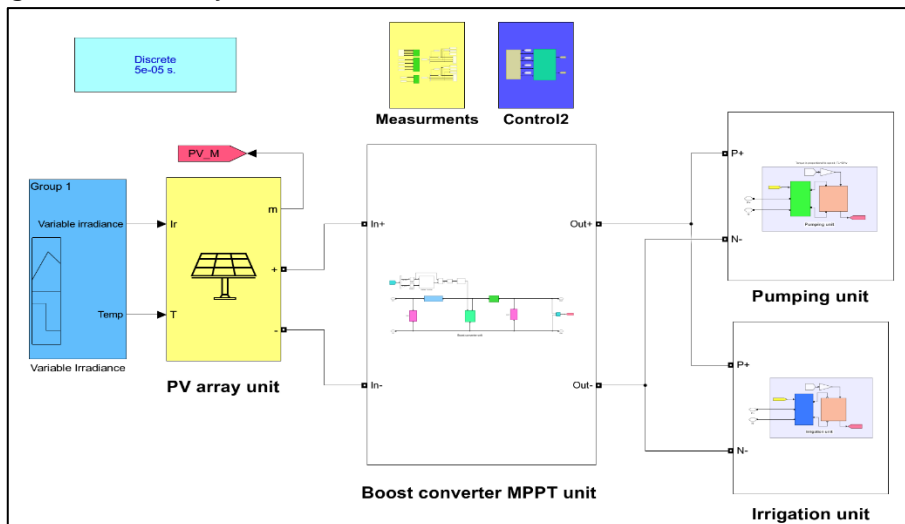


Figure 3. Grid-connected PV power plant

The PV array consists of two 700 Wp Risen modules (Riseenergy, 2024), which are configured as a 2x1 array. These two modules are connected in series to form a 1.4 kW PV array. Additionally, the system includes a 1.4 kW permanent magnet DC motor (BLCD), a 1.4 kW MPPT-DC converter with an incremental conductance MPPT technique (Grundfos, 2024), and a smart control system.

a. PV Array Specifications

The PV array has a Maximum Power Point (MPP) voltage of 83.56 V and an MPP current of 16.77 A at Standard Test Conditions (STC). These values represent the input voltage and current for the MPPT-DC converter, based on the electrical data of the module and the pump requirements.

b. MPPT Modeling

The control technique employed in this solar power system is the incremental conductance MPPT (Maximum Power Point Tracking) method, implemented using Matlab code. This control approach adjusts and monitors the operating point to maximize power output from the PV array. The Matlab function utilized in this approach optimizes PV power production by continuously tracking the maximum power point.

The incremental conductance MPPT control method is detailed in Figure 4, which shows the simulation model. In this model, the PV current and voltage serve as the input signals, while the PWM triggering signal is the output.

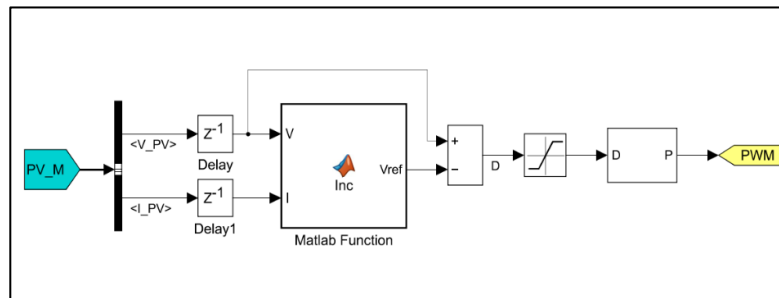


Figure 4. Incremental conductance MPPT control model

c. MPPT-DC Converter

An incremental conductance boost converter is used to achieve a fixed output voltage at maximum power. The Incremental Conductance (IC) MPPT approach was applied to this end. The simulation model of the boost converter is illustrated in Figure 5.

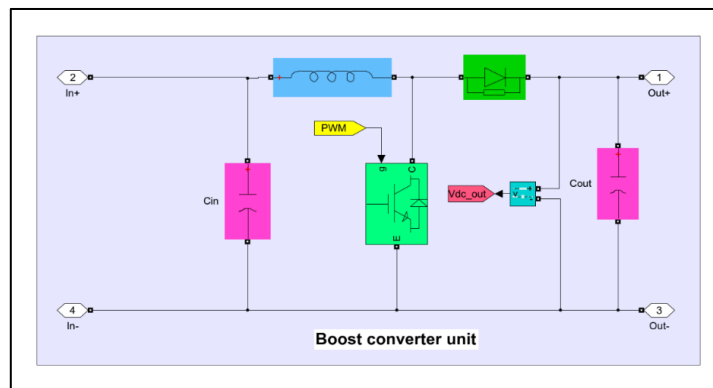


Figure 5. Boost converter model

The parameters of the boost (Sen, 2008);

The parameters of the boost converter were calculated as follows (Hasaneen and Mohammed, 2008; Shaikh et al., 2023; Rashid, 2017):

$$P = 700 \times 2 = 1400 \text{ W.}$$

The input voltage is the PV array at maximum power point

$$V_{in} = 41.77 \times 2 = 83.56 \text{ V.}$$

The switching frequency was 5000 Hz.

The motor nominal voltage which is the boost converter output voltage is 170 V.

$$V_{out} = 170 \text{ V.}$$

The maximum output current is the maximum motor current which is calculated as follows;

$$I_{out_{max}} = \frac{P}{V_{out}} = 8.235 \text{ A} \quad (7)$$

The maximum current ripple is calculated as follows;

$$\Delta I_L = 0.01 \times I_{out_{max}} \times \frac{V_{out}}{V_{in}} = 0.167 \text{ A} \quad (8)$$

The maximum voltage ripple is calculated as follows;

$$\Delta V_{out} = 0.01 \times V_{out} = 1.7 \text{ V} \quad (9)$$

The Inductor value is calculated as follows;

$$L = \frac{V_{in} \times (V_{out} - V_{in})}{\Delta I_L \times F_s \times V_{out}} = 51 \text{ mH} \quad (10)$$

The Capacitor value is calculated as follows;

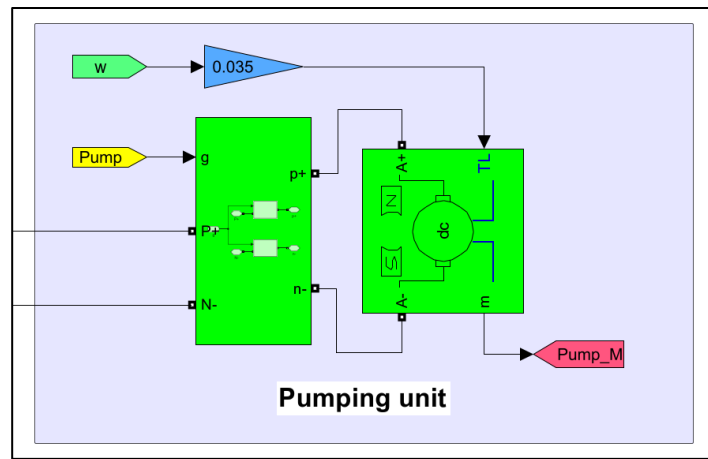
$$C = \frac{I_{out_{max}} \times \frac{V_{in}}{V_{out}}}{F_s \times \Delta V_{out}} = 493 \mu\text{H} \quad (11)$$

The duty cycle is calculated as follows;

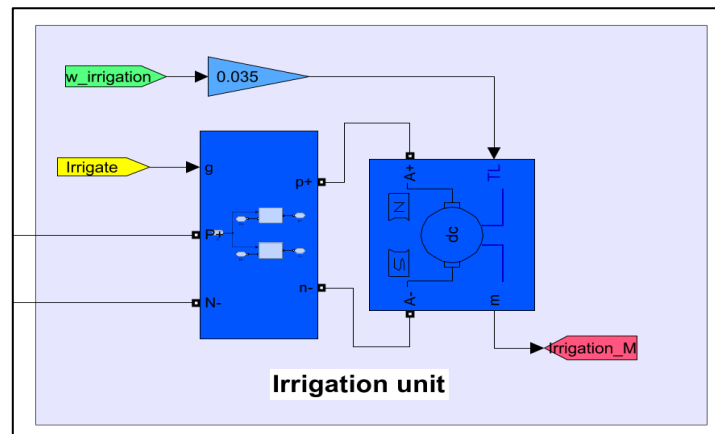
$$\text{Duty cycle} = \frac{V_{out} - V_{in}}{V_{out}} = 0.51 \quad (12)$$

d. Pump Modeling

A 1.4 kW permanent magnet DC motor (BLCD), which serves as the pump, is connected to the boost converter via a circuit breaker. The input torque of the motor has been calibrated based on the nominal head and flow rate. As shown in Figure 6, the smart irrigation system control manages the circuit breaker to connect or disconnect the pump as needed.



a)



b)

Figure 6. a) Pumping unit & b) Irrigation unit

D. Operation Strategy

The operation strategy is determined by four parameters: radiation level, soil moisture content, water level in the tank, and water level in the well. The flowchart in Figure 7 illustrates this process. The controller will activate the irrigation pump when radiation is available, the soil moisture level is below the minimum threshold, and the water level in the tank is above the minimum threshold. Additionally, if the water level in the well is above the minimum threshold, the controller will turn on the pumping pump.

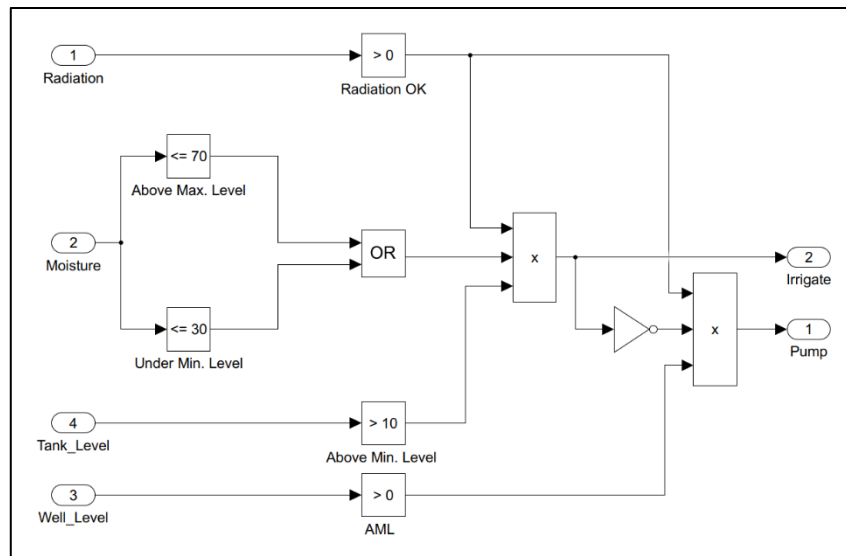


Figure 7 Matlab/Simulink control circuit.

The flowchart of the system is shown in Figure 8

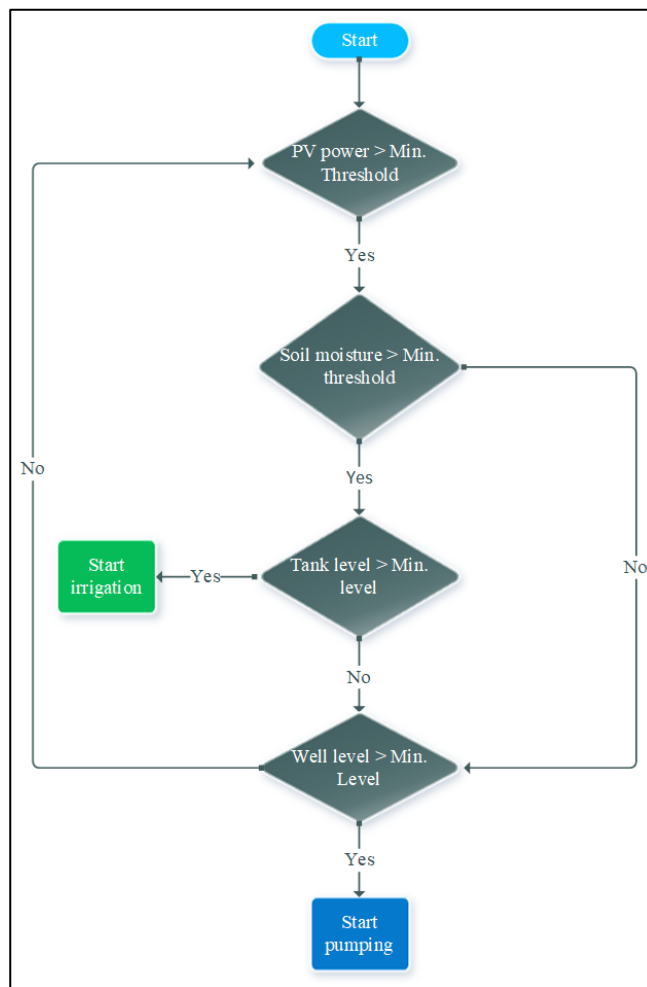


Figure 8. Operation strategy flowchart

III. RESULTS AND DISCUSSIONS

A. Matlab/Simulink Simulation

The 1.4 kWp nominal capacity PV array designed using PVsyst software consists of two 700 W solar panels, an incremental conductance MPPT DC-DC converter, and two permanent magnet DC motors—one for pumping water from the well to the tank and the other for pumping water from the tank to the farm. The two panels are connected in series to form a 2x1 array, as depicted by the PVsyst system, and this configuration serves as the basis for the MATLAB design.

As shown in Figure 9, various radiation and temperature levels were used to cover all possible climatic scenarios.

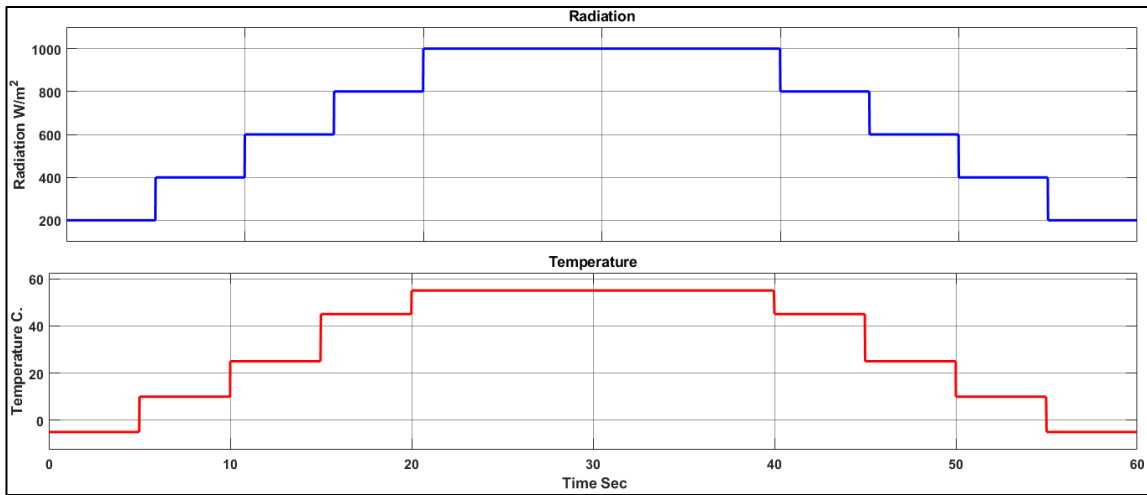


Figure 9. Different Irradiances and Temperature Levels

The chart displays a range of temperatures from -5 to 55 degrees Celsius and irradiance levels from 200 to 1000 W/m².

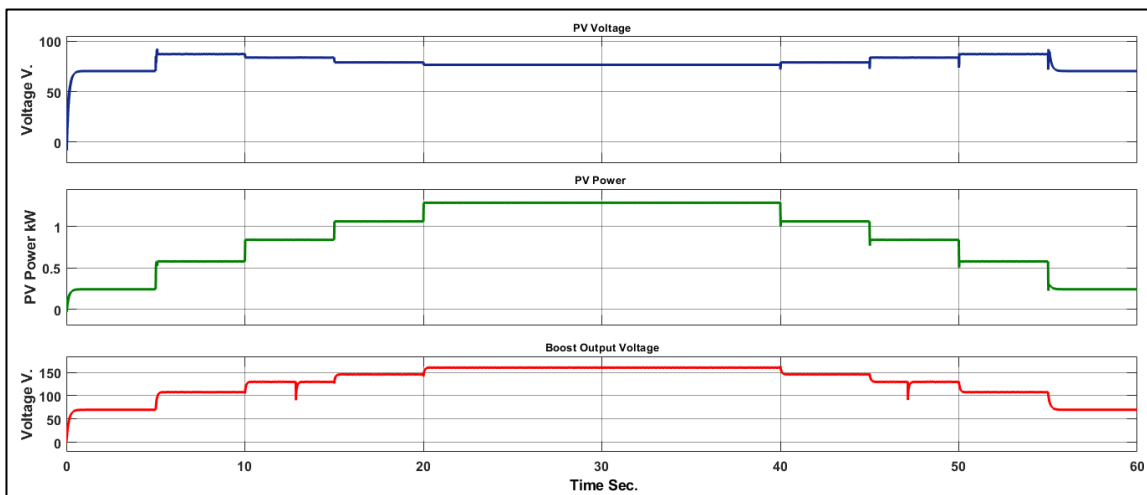


Figure 10. System voltages and power.

The graphic demonstrates that while voltage and power increase with rising radiation levels, voltage decreases due to the effect of increasing temperatures.

The process of pumping water from the well to the tank or from the tank to the farm depends on the availability of PV power, soil moisture, and the water levels in the tank and well. To test the system's operation, these parameters were simulated. The priority is irrigation. If PV power is available and the tank level is above the minimum level, the irrigation pump will start. If not, the pumping pump will start

if PV power is available, the well level is above the minimum level, and the tank level is below the maximum level.

The following conditions were replicated:

- PV power is zero, no pumping and no irrigation.
- PV power > minimum threshold, moisture < minimum level, well level is normal and tank < minimum level, start pumping and no irrigation.
- PV power > minimum threshold, moisture < minimum threshold, well level is normal and tank is full, no pumping and start irrigation.
- PV power > minimum threshold, moisture < minimum threshold, well level is under minimum level and tank is normal, no pumping and start irrigation.
- PV power > minimum threshold, moisture > minimum threshold, well level is normal and tank < minimum level, start pumping and no irrigation.
- PV power > minimum threshold, moisture > minimum threshold, well level < minimum level and tank is full, no pumping and no irrigation.
- PV power > minimum threshold, moisture > minimum threshold, well level is normal and tank level is normal, start pumping and no irrigation.
- PV power > minimum threshold, moisture > minimum threshold, well level is normal and tank is full, no pumping and no irrigation.

Figure 11 shows the system control signals for the system parameters.

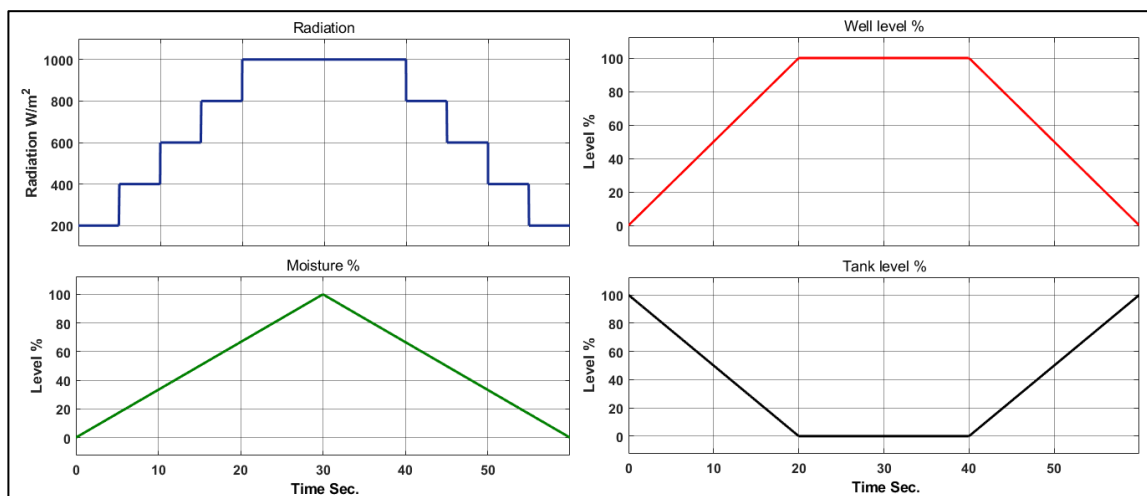


Figure 11. PV System control signals.

The system was operated according to the control signals. As illustrated in Figure 12, when the moisture level falls below the minimum threshold and the water level in the tank is above the minimum level, irrigation takes precedence. If the water level in the well is above the minimum level, the pump will run to fill the water tank.

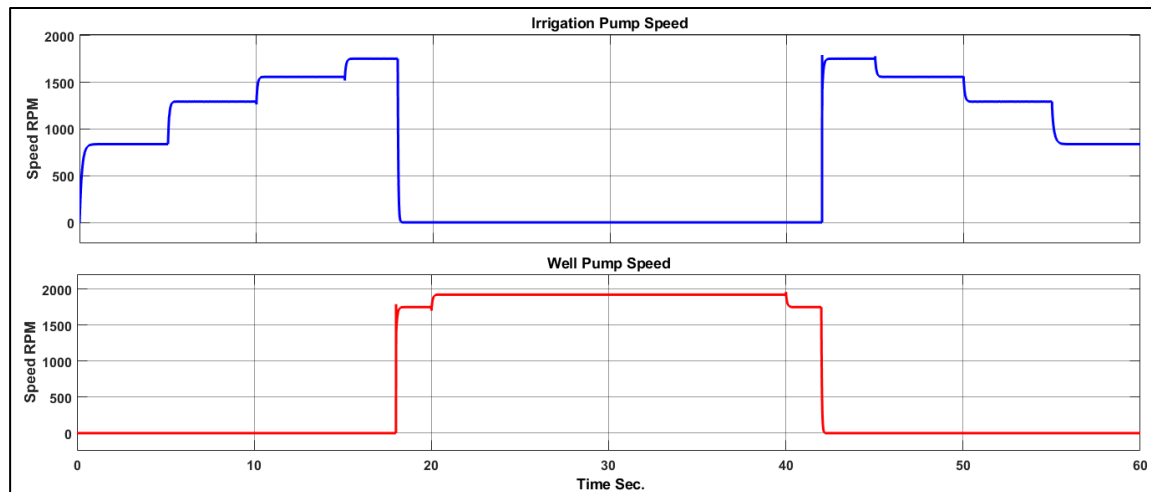


Figure 12. System operation.

The operation of the irrigation pump is illustrated in the figure above. When the radiation level was higher than zero, the motor's speed increased in accordance with the radiation level. The irrigation pump continued to operate until the moisture level reached its maximum value at eighteen seconds. At this point, the irrigation pump stopped, and the well pump began transferring water from the well to the tank. The well pump ceased operation when the moisture level fell below the minimum threshold at forty-two seconds, and the irrigation pump restarted.

IV. CONCLUSIONS

The simulation performance of the proposed smart irrigation system demonstrates that the theoretical calculations and Matlab/Simulink results align reasonably well. Farmers, especially those in the agriculture sector, will ultimately benefit from the implementation of this system. By monitoring soil and weather conditions on the farm, this method provides an alternative means of controlling overwatering and underwatering issues during the irrigation process.

However, due to the occurrence of rainfall during the rainy season, the smart irrigation system cannot prevent overwatering on its own. To address this, the soil moisture level should be continuously measured to adjust the irrigation schedule accordingly. High soil moisture levels can inhibit the irrigation mechanism, thereby preventing unnecessary irrigation.

Overall, the smart irrigation system can significantly conserve resources such as money, labor, and water usage by automating the irrigation process with an effective schedule. It is expected that this system will substantially transform the agriculture sector. For future work, incorporating a weather forecasting system could help predict the onset of the rainy season and further optimize irrigation management.

REFERENCES

- Al Riza, D. F. (2011). *Sizing optimization of standalone photovoltaic system for residential lighting*. Doctoral dissertation, Mechanical Engineering Department, Universiti Teknologi Petronas.
- Al Riza, D. F., & Gilani, S. I. H. (2014). Standalone photovoltaic system sizing using peak sun hour method and evaluation by TRNSYS simulation. *International Journal of Renewable Energy Research*, 4(1), 109-114.
- Ali, F. A. (2018). Optimum tilt angle of photovoltaic panels for some Iraq cities. *Journal of University of Babylon for Engineering Sciences*, 26(1), 155-163.
- Europa. (2024). Photovoltaic geographical information system. [Online]. Available: https://re.jrc.ec.Eur opa.eu/pvg_tools/en/
- Grundfos. (2024). [Online]. Available: <https://api.grundfos.com/literature/Grundfosliterature-1806.pdf>
- Hasaneen, B. M., & Mohammed, A. A. E. (2008). Design and simulation of DC/DC boost converter. In *2008 12th International Middle-East Power System Conference* (pp. 335-340). IEEE.

- Hassan, Q., Abbas, M. K., Abdulateef, A. M., Abdulateef, J., & Mohamad, A. (2021). Assessment the potential solar energy with the models for optimum tilt angles of maximum solar irradiance for Iraq. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 4, 100140.
- Markvart, T., & Castañer, L. (Eds.). (2003). *Practical handbook of photovoltaics: Fundamentals and applications*. Elsevier.
- Morad, A. M. A., Al-Sayyab, A. K. S., & Abdulwahid, M. A. (2018). Optimisation of tilted angles of a photovoltaic cell to determine the maximum generated electric power: A case study of some Iraqi cities. *Case studies in Thermal Engineering*, 12, 484-488.
- Rashid, M. H. (Ed.). (2017). *Power electronics handbook*. Butterworth-heinemann.
- Riseenergy. (2024). 700-725 Wp 0~+3% Hyper-link Interconnection. [Online]. Available: <https://risenergy.com.au/storage/RSM132-8-700-725BHDG-IEC1500V-33mm-2024H1-1-EN.pdf>
- Sen, Z. (2008). *Solar energy fundamentals and modeling techniques: atmosphere, environment, climate change and renewable energy*. Springer Science & Business Media.
- Shaikh, A. M., Shaikh, M. F., Shaikh, S. A., Krichen, M., Rahimoon, R. A., & Qadir, A. (2023). Comparative analysis of different MPPT techniques using boost converter for photovoltaic systems under dynamic shading conditions. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 57, 103259.
- Sharma, R., Sharma, S., & Tiwari, S. (2020). Design optimization of solar PV water pumping system. *Materials Today: Proceedings*, 21, 1673-1679.
- Yahyaoui, I., Tina, G., Chaabene, M., & Tadeo, F. (2015). Design and evaluation of a renewable water pumping system. *IFAC-PapersOnLine*, 48(30), 462-467.

Araştırma Makalesi

Rüzgâr ve Güneş Enerji Santrallerinin Şebeke Entegrasyonu için Esnek Alternatif Akım İletim Sistemli Elektrik Güç Sistemi Çözümlerinin Digsilent ile İncelenmesi

 Kumru Bayrak^{a,*},  Mustafa Dursun^a

^aDüzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Düzce/Türkiye.

*Sorumlu Yazar: kumru.bayrak@hotmail.com.tr

Makale Bilgileri:

Geliş: 25/04/2024, Revizyon: 03/09/2024, Kabul: 09/09/2024.

DOI: 10.70081/duted.1473732

ÖZET

Günümüzde nüfus artışı ve teknolojik gelişmeler enerji tüketimini artırmıştır. Tüketim oranını korumak için yeterli miktarlarda üretilmeyen, yenilenemeyen veya yeniden kullanılmayan doğal kaynakların miktarı genellikle sabittir ve doğanın yenilenme yeteneğinden çok daha hızlı tükenir. Bu sınırlı kaynaklar dünyadaki ülkelerin ekonomisini, politikasını ve çevresini etkilemektedir. Bu bağlamda yenilenebilir enerji, fosil yakıtlara ve nükleer enerjiye güçlü bir alternatif olup ekonomik, politik ve çevresel sorunları en aza indirme potansiyeline sahiptir. Rüzgâr ve güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları çevre dostu olmaları ve sürdürülebilir enerji üretimine katkı sağlamaları nedeniyle önemlidir. Son yıllarda değişen talep yükleri ve artan güç sistemi karmaşıklığı gibi faktörler nedeniyle yüksek güçlü enerji santrallerinin kurulumu hız kazanmıştır. Ancak bu yüksek güçlü enerji kaynaklarının dağıtım şebekesine entegre edilmesi bazı zorlukları da beraberinde getiriyor. Bu makalede, esnek bir alternatif akım (AA) iletim sistemine sahip bir dağıtım şebekesindeki rüzgâr ve güneş enerjisi santrallerinin şebeke entegrasyonu Digsilent yazılımı kullanılarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Analiz, Dağıtım Şebekesi, Enerji Santralleri, Yük Akışı.

Investigation of Electrical Power System Solutions with Flexible Alternating Current Transmission System for Grid Integration of Wind and Solar Power Plants with Digsilent

ABSTRACT

Today, population growth and technological development are driving up energy consumption. Natural resources that cannot be produced at a level commensurate with the rate of consumption, cannot be regenerated or reused are usually limited and are consumed much faster than nature can renew them. Due to their limited nature, these resources have economic, political and environmental impacts on countries. In this context, renewable energy is a powerful alternative to fossil fuels and nuclear energy and offers great potential to minimize economic, political and environmental problems. Renewable energy sources such as wind and solar are essential due to their environmental benefits and their contribution to sustainable energy production. In recent years, power systems have become increasingly complex due to the constant fluctuations in demand, accelerating the construction of large-capacity power plants. However, the integration of these high-capacity energy sources into distribution networks presents several challenges. This paper will provide an evaluation of the integration of wind and solar

power plants into electrical distribution networks, using flexible alternating current (AC) transmission systems (FACTS) within the Digsilent software.

Keywords: *Analysis, Distribution Grid, Energy Plants, FACTS Devices, Load Flow.*

I. GİRİŞ

Teknolojinin ve insan popülasyonunun hızlı artışıyla enerjiye, özellikle de elektrik enerjisine olan ihtiyaç sürekli olarak artmaktadır. Fosil yakıtların enerji üretiminde kullanılması ve bu yakıtların azalması sebebiyle yeni enerji kaynakları arayışına başlanmıştır. Sürdürülebilir olmayan yakıtların yeniden kullanım fırsatının bulunmaması ve tüketim talebini karşılayamaması, yeni enerji kaynaklarına yönelimi artırmıştır. Bu arayış, doğaya zarar vermeyen, üretim kirliliği ve sera gazı emisyonlarına neden olmayan, gelecekte önemli rol oynayacak yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmiştir.

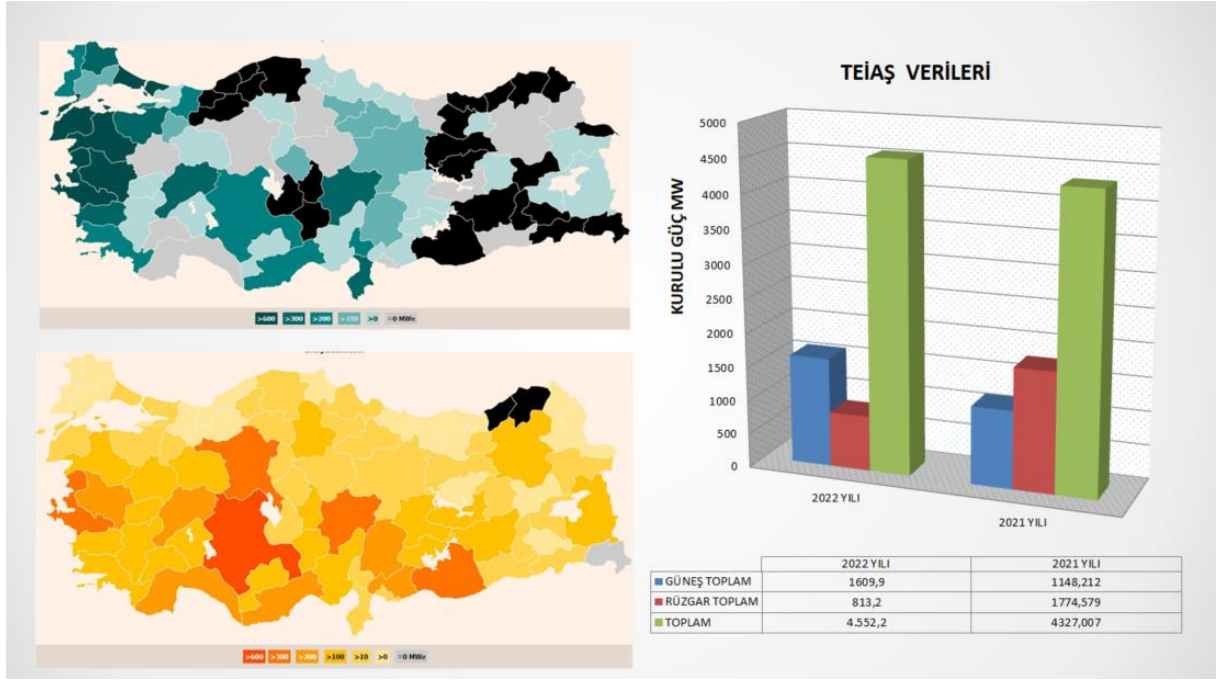
Yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş ve rüzgâr enerjisi öne çıkmaktadır. Türkiye’de bulunan güneş enerji santrallerinin toplam kurulu gücü 8.335 MW’dır. 2021 yılında bu santraller aracılığıyla 13.294.280.970 kWh elektrik üretilmiştir (<https://www.enerjiatlası.com/gunes/>). Sürdürülebilirlik ve karbon azaltımı açısından çevre dostu olmaları, istenilen alanlarda kurulabilmeleri ve özellikle çatılara yerleştirilebilmeleri nedeniyle gelecekte en önemli enerji kaynakları arasında yer almaktadır. Anlı yük veya rüzgar profili için bugüne kadar gerçekleştirilen optimizasyon çalışmaları, gün geçtikçe gelişen ve büyüyen elektrik şebekeleri için gelecekte gerekli olan performansı karşılamayacaktır. Bundan dolayı, bu etkilerin incelenmesi için gerekli olan optimizasyon yöntemlerinin saptanması güncel bir araştırma konusudur (Ersavaş, 2013).

İlk zamanlarda küçük güçlerde imal edilen rüzgâr santralleri, müstakil yapıların enerji ihtiyacını karşılamak için kullanılıyordu. Ancak artan nüfus ve güç sistemlerinin karmaşık hale gelmesi, talep edilen yükün sürekli değişmesi gibi nedenlerle, büyük kapasiteli rüzgâr enerji santrallerinin üretimi büyük önem kazanmıştır (Döşoğlu, 2010). Dünyada rüzgâr enerjisi ile elektrik üretimi yapan 100’den fazla ülke bulunmaktadır. Rüzgâr enerjisi kurulu gücü açısından en yüksek kapasiteli ülkeler arasında Çin, Amerika Birleşik Devletleri ve Almanya uzun zamandır ilk üç sırada yer almaktadır. Türkiye ise rüzgâr enerji santrali kurulu gücü bakımından Avrupa’da 7. ve dünyada 13. sırada bulunmaktadır.

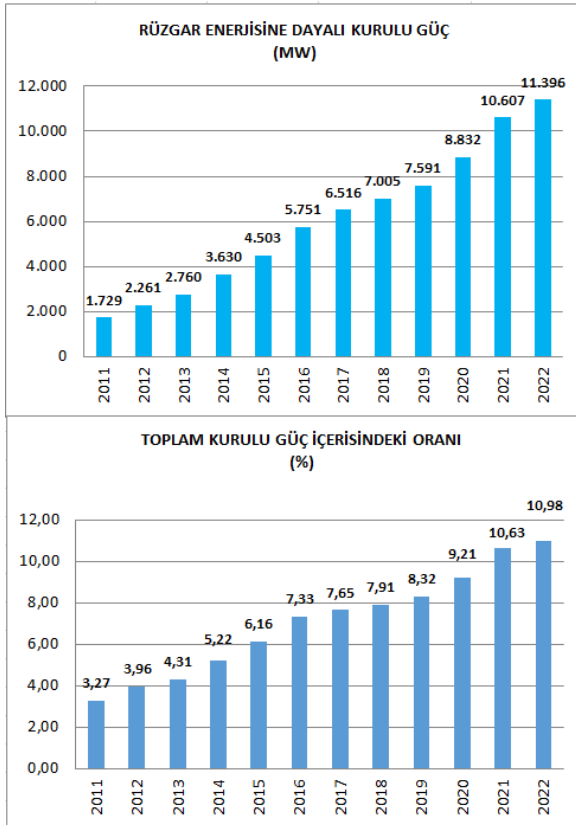
Haziran 2022 sonu itibarıyla, rüzgâr enerji santrallerindeki üretimin kurulu güç ve toplam güç arasındaki oran incelendiğinde, rüzgâr enerjisine dayalı elektrik üretiminin kurulu gücünün 10.976 MW olduğu ve bu gücün toplam kurulu güce oranının %10,81 olduğu belirlenmiştir (Türkiye Elektrik Üretim ve İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ)2022/2021 İstatistikleri).

Dünyanın hemen hemen tüm ülkelerinde güneş enerjisi ile az ya da çok elektrik üretimi yapılmaktadır. Şebeke bağlantılı sistemlerin ülkelere dağılımına bakıldığında, Çin 78 GW’yi aşan kurulu gücü ile lider konumdadır. Türkiye, güneş enerji santrali kurulu gücü bakımından 14. sıradadır (Enerji Atlası, 2024. <https://www.enerjiatlası.com/ruzgar/>).

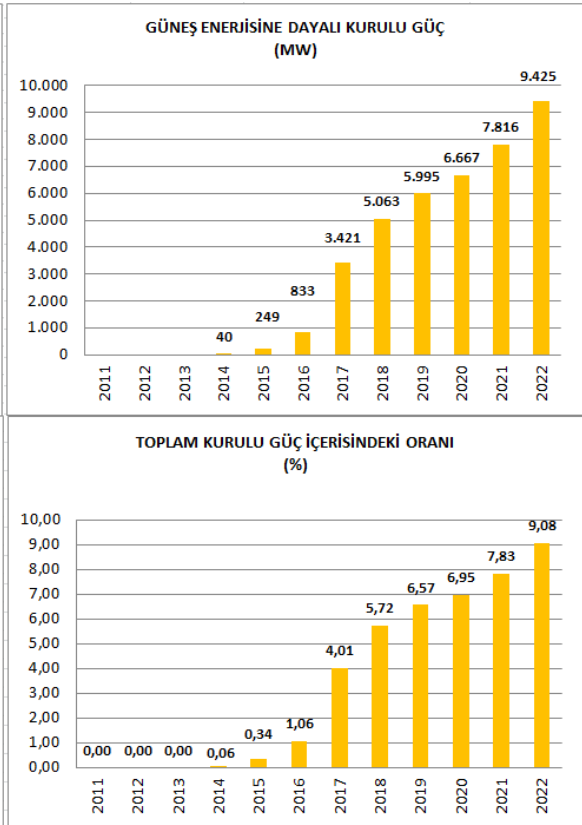
Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası’na (GEPA) göre, ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2.7 saat olup, ortalama yıllık toplam ışınım değeri 1.527,46 kWh/m² olarak hesaplanmıştır. Haziran 2022 itibarıyla güneş enerjisi kurulu gücümüz 8.479 MW olup, toplam kurulu güce oranı %8,35’tir. Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Atlası (REPA-V1) tarafından 2006 yılında yapılan araştırma sonucunda, kilometrekare başına 5 MW gücünde rüzgâr santralinin tesis edilebileceği kabul edilmiştir. Bu araştırma doğrultusunda, Türkiye’de 47.849,44 MW kapasitede rüzgâr enerji santralleri kurulabileceği öngörülmüştür.



Şekil 1. Türkiye'de Rüzgar ve Güneş Enerji Tesislerinin Bölgelere göre dağılımı ve 2 yıllık değişimi



Şekil 2. Yıllara Göre RES Kurulu Güç Değişikliği



Şekil 3. Yıllara Göre GES Kurulu Güç Değişikliği

Şekil 1, Şekil 2, Şekil 3'te belirtilen verilerde TEİAŞ raporuna göre, rüzgâr ve güneş enerji santrallerinin sayısında ve buna bağlı olarak elektrik üretiminde bir artış olduğu görülmektedir. Ancak, güneş ve rüzgâr santrallerinin kullanımının artması, güç sistemlerinde bazı problemleri de beraberinde getirmiştir. Elektrik enerjisinin tüketicilere daha kaliteli, kesintisiz ve düşük maliyetle sunulması önem

arz etmektedir. Elektrik enerjisinin üretiminden son tüketiciye kadar ulaşırken, sabit şebeke frekansında, sinüzoidal biçimli dalga şeklinde ve belirgin bir gerilim seviyesinde olması istenmektedir. Ancak, bu ideal koşullar gerçekte tam olarak sağlanamamaktadır (Tabak ve Yalçın, 2004).

Enerji kalitesi kavramı, dağıtım sisteminden çekilen akımdaki dalga şekli bozukluklarını ve dağıtım sisteminin frekansı ile geriliminde oluşabilecek değişimleri incelemek için kullanılmaktadır (Özdemir, 2007). Enerji kalitesinin bilinen temel sorunlarından biri, gerilim/akım dalga şeklindeki sapmalardır. Bu sapmalar, ideal sinüs düzleminden uzaklaşmayı ifade eder (Tekin ve ark., 2016).

Güç kalitesi, enerji sistemlerinden çekilen akım ve gerilim dalga şeklindeki sinüzoidal özelliklerin korunmasını ifade eder. Dağıtım sistemlerinde frekans değeri 50 Hz olarak kabul edilmektedir ve bu frekans değeri, güç kalitesinin bir parçası olarak kabul edilmelidir (Gencer, 2018). Dağıtım sisteminde talep edilen güç ile sistemden tüketiciler tarafından çekilen güç arasında bir eşitsizlik olduğunda, dağıtım sistemlerinde arızalar, kesintiler, üretim yoğunluğunun artması ve ani akım değişiklikleri nedeniyle gerilim dengesizlikleri meydana gelebilir (Yeşilbudak ve ark., 2016).

Güç kalitesi, belirli standartlara uygun olarak besleme gerilimini korumayı amaçlar. Ancak, ideal durumda sağlanan gerilimin her zaman sabit bir büyüklükte ve frekansta mükemmel bir sinüs dalgası olması ve sonraki akımın bu gerilimi takip etmesi nadiren mümkündür. Bu tür bozukluklar güç kalitesini düşürebilir. Güç kalitesi problemlerinin bazı yaygın türleri kısaca ele alınmıştır (Bayraktar, 2021):

- **Gerilim Geçişleri:** Kısa süreli ve yüksek gerilim dalgalanmalarıdır. Transformatörler ve motorlar gibi cihazlar için zararlı olabilir (Edvard, 2014).
- **Gerilim Düşmeleri ve Yükselmeleri:** Ani gerilim düşüşleri ve artışlarıdır. Bu durumlar sistem arızaları veya ağır yük değişiklikleri ile ilişkilendirilebilir ve elektronik ekipmanı etkileyebilir (Edvard, 2014).
- **Düşük ve Aşırı Gerilimler:** Uzun süreli düşük veya yüksek gerilimlerdir. Aşırı yüklenmiş devreler veya şebeke beslemesi bu sorunlara yol açabilir ve ciddi hasarlara neden olabilir (Edvard, 2014).
- **Kesintiler:** Birkaç milisaniyeden birkaç saate kadar sürebilen tam güç kaybıdır. Hava koşulları veya ekipman arızaları gibi nedenlerden kaynaklanabilir ve işletmeleri önemli ölçüde etkileyebilir (Edvard, 2014).

Asenkron makinalar yapılarının basit, kontrollerinin kolay ve maliyetlerinin düşük olması sebebiyle rüzgar türbinlerinde sıklıkla tercih edilmektedir (Wu ve ark., 2007). Asenkron motor kullanımı ile birlikte, güç sistemlerinde aktif güç, reaktif güç, empedans ve gerilim kontrolünün sağlanabilmesi için güç elektroniği tabanlı Esnek AA İletim Sistemleri (FACTS) kullanımında hız kazandırılmıştır.

Rüzgâr enerji santrallerinden (RES) elde edilen güçlerdeki belirsizlikler ve kullanılan asenkron makinaların kararsız çalışma durumlarını düzenlemek ve kontrol etmek için FACT cihazları kullanılmaktadır (Kumar ve Gokulakrishnan, 2011). Bu cihazlar hakkında, gerilim profilinin düzenlenmesi ve reaktif güç kompanzasyonu gibi konularda pek çok çalışma yapılmıştır (Kehrli ve Ross, 2003; Qiao ve ark., 2008).

FACTS cihazlarının iki ana amacı vardır:

- İletim sistemlerinin güç transfer kapasitesini artırmak
- Tanımlanan iletim rotaları üzerinde güç akışının kontrolünü sağlamak

Güç sistemlerinin karmaşık doğası, sürekli değişen talepler ve çeşitli dış etkenler nedeniyle kararlılık problemi büyük önem taşır. Kararlılık, rotor açısı, frekans ve gerilim olmak üzere üç ana kategoride incelenir. Gerilim kararlılığı, güç sistemlerindeki herhangi bir bozucu etkiye maruz kaldığında, tüm baraların kabul edilebilir bir gerilim seviyesinde kalabilmesi olarak tanımlanır. Kararlılığı etkileyen faktörler arasında transformatör kademe değişimi, jeneratör arızaları, aşırı yüklenme ve hat kopmaları gibi çeşitli durumlar yer alır. Ayrıca, gerilim kararlılığı uzun ve kısa dönem olarak da sınıflandırılmıştır. Bu sınıflama, çözüm stratejilerinin belirlenmesini kolaylaştırır ve güç sistemlerinin karmaşık yapısını anlamak için önemli bir araçtır (Uzun, 2022).

Amacımız, sistem üzerindeki güç akışının gerçek zamanlı ve uygun kontrolü yoluyla sistem kararlılığını korumaktır. İkinci amaç ise belirlenen hat üzerinde akım kontrolü yaparak güç akışını

istenilen iletim koridorlarına yönlendirmektir. Birincil güç akışı, sistem arızaları durumunda sistemden talep edilen tüm gücü iletmek için hızlı bir şekilde kullanılabilir; bu amaçla ikinci bir güzergâh tespit edilerek değiştirilebilir. Bu amaçların verimli şekilde gerçekleştirilmesi, iletim sistemlerinin kullanımını artıracak, mevcut hatlarda yıpranmayı minimuma indirecek ve yeni iletim hatları için gereksinimleri azaltarak özelleştirmeyi kolaylaştıracaktır (Vural, 2001). Güç elektroniği teknolojisindeki gelişmeler, FACTS cihazlarının ilgi odağı olmasına zemin hazırlamıştır. Bu cihazlar, gerilim regülasyonu, iletim kapasitesi ve güç akış kontrolü artırımı gibi kontrol sorunlarının çözülmesi amacıyla kullanılmaktadır. Güç sistemlerinde meydana gelen dalgalanmaların sönümlenmesi ve sistemlerin kararlılığını artırmada FACTS cihazlarının kullanımı incelenmiştir (Abido, 2008).

FACTS cihazlarının konfigürasyonu şönt ve seri olarak kategorize edilebilir. Güç akışı kontrolü geleneksel olarak jeneratör çıkışlarına ve gerilim düzenlemesine dayanır. Geleneksel ağ çalışmalarında, faz kaydırma ve tap değiştirme transformatörleri, reaktif güç kompanzasyonu yaparak gerilim büyüklüğünü ve faz açılarını değiştirerek güç akışını düzenler. Seri reaktörler ve kapasitörler, iletim hatlarının elektriksel parametrelerini değiştirerek güç akışını değiştirebilir. Ayrıca, güç aktarımını aşırı yüklemeye maksimum yüklenme koşullarında seri kapasitif kompanzasyon kullanımı avantajlıdır (Acha ve ark., 2004). Operasyonel açıdan, SVC (Static Var Compensator), gerilim büyüklüğünü düzenlemek için reaktif gücü ayarlayan bir şönt bağlı değişken reaktans olarak hareket eder. AA ağlarında, SVC geniş ölçüde hızlı reaktif güç desteği ve gerilim düzenlemesi için kullanılır (Becerik Mir, 2022).

Elektrik enerjisi iletimi ve son kullanıcıların karşılaştığı en büyük problem olan harmonikler, şebeke güç kalitesinin bozulmasına neden olurlar. Çeşitli FACTS cihazları ve kontrolörler, güç kalitesi sorunlarının iyileştirilmesinde ve azaltılmasında önemli bir rol oynamıştır (Darabian ve Jalilvand, 2017). Son yıllarda, verimli enerji kullanımı, arz-talep kontrolü, gerilim salınım dengeleme, güç kalitesi iyileştirme, güç faktörü düzeltilmesi ve harmonik bozulma azaltma konularında FACTS teknolojisi kontrolörlerinin kullanımı artmıştır (Barrios-Martínez ve Ángeles-Camacho, 2017).

Bu çalışmada, TEİAŞ'tan çıkan gerçek bir fider kullanılarak bu ve bu fiderin beslediği ilgili dağıtım şebekesi üzerinde birden fazla tüketim ve üretim tesisinin (güneş enerji santralleri ve rüzgâr enerji santralleri) dağıtım şebekesine entegrasyonu ve anlık olarak gerilim/akım dalga şeklinin bozulmasına neden olan anlık yüklerin DIGSILENT POWER FACTORY kullanılarak FACTS cihazları ile yük akış analizlerinin takip edilmesi amaçlanmıştır. Gerçek zamanlı ve gerçek verilerle şebeke DIGSILENT POWER FACTORY'de modellenen ve sistemin anlık yük durumlarında kararlılığı incelenecektir.

II. MATERYAL METOT

Yapılacak çalışmada, sistemde aşırı yük ve zaman dilimlerinde sürekli değişen yük miktarlarının güç kalitesini etkileyebileceği göz önüne alınacaktır. Sisteme giren yüklerin ve üretim tesislerinin enerji kalitesinde değişiklikler yaratacağı, dağıtım sisteminden çekilen aşırı akımın gerilim değişimlerine ve şebeke frekansının dalga şeklindeki bozulmalara neden olacağı öngörülmektedir. Bu tür değişikliklerin en kısa sürede kararlı hale getirilmesi, dağıtım tesisinin ekonomik ömrünü uzatmakta ve tüketicilere kesintisiz ve kaliteli enerji sunulmasını sağlamaktadır. Sistemin eski haline hızlı bir şekilde dönmesi sağlanmalıdır; yani sistem kararlılığı kısa sürede gerçekleşmelidir. Gerilim kararlılığını sağlamak, güç sistemlerini güvenli ve istikrarlı sınırlar içinde çalıştırmak ve elektrik enerjisi arzını kaliteli, kesintisiz ve yeterli bir şekilde sağlamak için güç sistemlerinin planlama ve işletme aşamalarında yüklenebilirlik, arz-talep dengesi, güç akışı ve kararlılık gibi faktörler dikkatlice incelenmeli ve analizler doğru bir şekilde yapılmalıdır. Gerekli önlemler alınmalıdır (İşin, 2022).

FACTS cihazları, iletim hatlarının reaktif güç kompanzasyonunu reaktör veya kapasitör gruplarına ihtiyaç duymadan, anahtarlamalı konvertör devreleri kullanarak reaktif güç üretebilir ve tüketebilirler. Modern kompanzasyon yöntemleri sayesinde FACTS cihazlarının, kısa sürede tepki verip, her fazın ayrı ayrı kontrol edilebilmesi, dengesiz yükleri kompanzasyonunda bu cihazların kullanımını oldukça önemli kılmaktadır (Carlak ve Kayar, 2019). Literatürde yapılan benzetim çalışmaları, sistemde farklı zamanlarda değişken yüklerin girmesiyle FACTS cihazlarının yük barasındaki reaktif güç, gerilim ve aktif güç değerlerini minimum sürede kararlı hale getirdiğini göstermektedir. Reaktif ve aktif yük değerlerinin

artış ve azalışının yol açtığı salınımlar, FACTS cihazlarının kullanımı ile ortadan kaldırılmıştır. Bu durum, sistemin daha güvenli bir şekilde çalışmasını sağlamıştır (Döşoğlu, 2010).

Sistem tasarımında SVC (Static Var Compensator) kontrolörleri kullanılacaktır. Bu kontrolörler, gerilim gibi güç sistemi parametrelerini kontrol etmek için güç sisteminin kararlılık durumuna göre reaktif güç üreten veya tüketen FACTS cihazları ailesinin bir parçasıdır. Temel amacı, sisteme hızlı, etkili, hassas ve kontrol edilebilir sürekli reaktif güç üretmek veya tüketmektir. SVC kontrolörleri yüksek tepki süresine sahip, geniş bir aralıkta çalışan, güvenli ve operasyonel esnekliği olan cihazlardır (Gyugyi, 2000). İletim sistemi sınırlamaları şu karakteristikleri içerebilir: sürekli durum güç transfer limiti, gerilim kararlılık limiti, dinamik kararlılık, işletme gerilim limiti, geçici kararlılık limiti, güç sistemi dalgalanma sönümlenme limiti, termal limit ve kısa devre akım limiti. Her bir iletim engeli ve bölgesel kısıtlama, bir veya daha fazla sistem seviyesinde probleme yol açabilir (Acha ve ark., 2004). Güç sisteminin karakteristikleri, yük büyüdükçe ve üretim arttıkça zamanla değişir. Enerji iletim şebekesi sistem iyileştirmeleri yeterli şekilde geliştirilip işletilmezse, güç sistemi sürekli durum ve geçici durum problemlerine karşı kararlılık sınırları daralır (Habur ve O'Leary, 2004).

SVC kontrolörleri, büyük endüstriyel tesislerde reaktif güce olan talep yüksek olduğunda, dinamik güç faktörü düzeltilmesi için kullanılır. SVC kontrolörleri, tesisin güç faktörünü artırır, tesis girişindeki gerilim dalgalanmalarını en aza indirir ve işletme maliyetlerini azaltır. Gerilim kontrolü ve sistem stabilitesinin artırılması için SVC kontrolörleri güç sistemlerinde kullanılmaktadır.

Modelleme çalışması, Digsilent yazılımı kullanılarak yapılacaktır. Bu yazılım, tek bir program ile pilot TM üzerinde bulunan tüm dağıtım şebekesinin fonksiyonlarının gerçek zamanlı simülasyonunu yürütmeyi mümkün kılacaktır. DigSilent programı, iletim, dağıtım ve endüstriyel elektrik sistemlerinin analizi için kullanılan ve elektrik güç sistemi planlamasında ve işletilmesinde optimizasyon hedeflerine ulaşmak için geliştirilmiş entegre bir mühendislik aracıdır (Samancıoğlu, 2014).

Bu program ile:

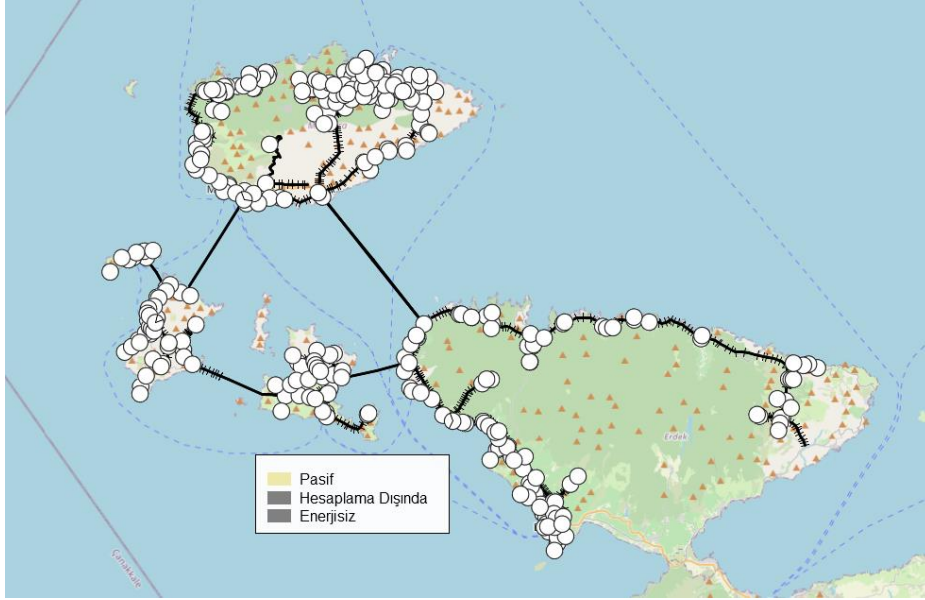
1. Güç Akış Analizi
2. Üretim Yeterliliği Analizi
3. Optimal Güç Akış Analizi
4. Model Parametre Tanımlama
5. Güç Sistemlerinin Dinamik Simülasyonu
6. Harmonik Analizi
7. Dağıtım Şebekesi Analizi
8. Rüzgâr ve Güneş Santrallerinin Modellenmesi
9. Sistem Kararlılık Analizi (FACTS Cihazları ile)

Belirtilen hususlar üç farklı durum için kontrol edilecek ve grafikler oluşturularak analizler yapılacaktır. Sistemin modellenmesi tamamen kullanıcının tercihine kalmakla birlikte, model içinde kullanılan veriler tamamen sahadan alınan değerlerdir. Gerilim kararlılığı, FACTS cihazlarının maliyeti ve güç kayıpları matematiksel olarak modellenmiştir (Singh ve ark., 2010). Literatürde yapılan modellemeler örnek alınarak, modelleme sürecinde tercih edilen güneş santrali ve rüzgar santrali değerleri belirlenen periyot aralığında enerji analizöründen alınacak ve sistemde aktif olan yükler OSOS ile maksimum yükün olduğu zaman diliminde incelenecektir.

Coğrafi bilgi sisteminden alınan veriler DigSilent'a işlenmiş olup, üretim tesislerinin maksimum üretim periyotları, anlık yüklerin devreye giriş çıkış süreleri ve anlık güç durumları OSOS üzerinden alınarak TM bara gerilimleri, fider gerilim profilleri ve en yüklü fidere bağlanacak FACTS cihazı ile gerilim değerlerindeki değişiklikler tespit edilecektir.

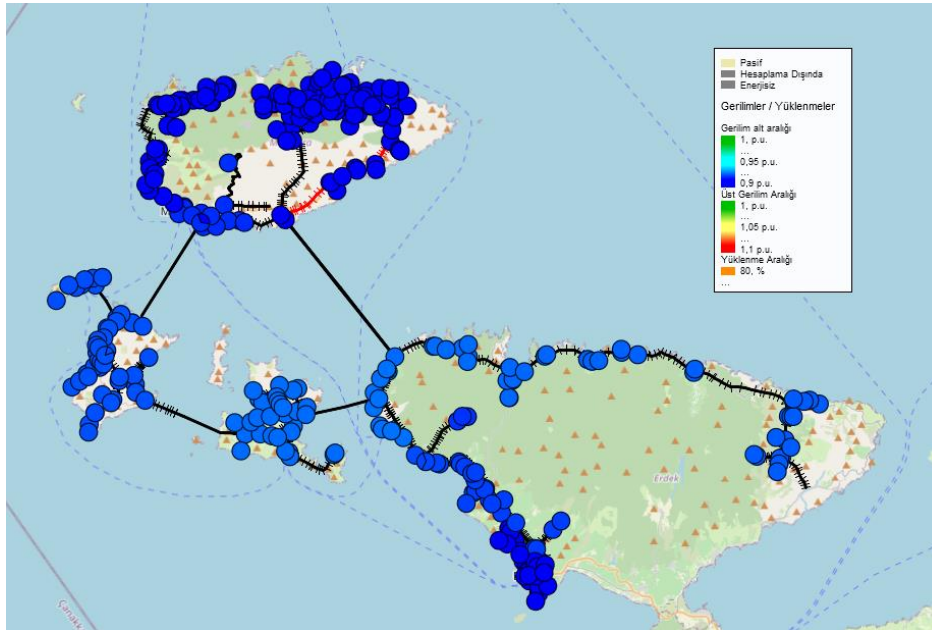
A. Digsilent Power Factory İle Mevcut Şebekenin Modellemesi

Program üzerinde veriler, çizim ve istenilen bilgiler kullanıcı tarafından girilerek düzenlenir. Bu programda, pilot TM üzerinde üretim santralleri ve tüketim noktaları coğrafi bilgi sistemi üzerinden alınarak şebeke modellemesi yapılmıştır. Modelleme sürecinde kullanılan yükler ve değerler, gerçek veriler olup, bu veriler OSOS aracılığıyla sistemden çekilmiştir.



Şekil 4. Coğrafi Bilgi Sisteminden Alınan Pilot TM Şebeke Modellemesi

Şekil 4'te belirtilen sistemin çalıştığı durumu Şekil 4.1'de görebilirsiniz. Bu şekil, yük akış analizinin başlatıldığı sistemin görüntüsünü göstermektedir. Gerilimler ve yüklenmeler, alt aralık, üst aralık ve yüklenme aralığı dikkate alınarak renk kodlaması ile belirtilmiştir.

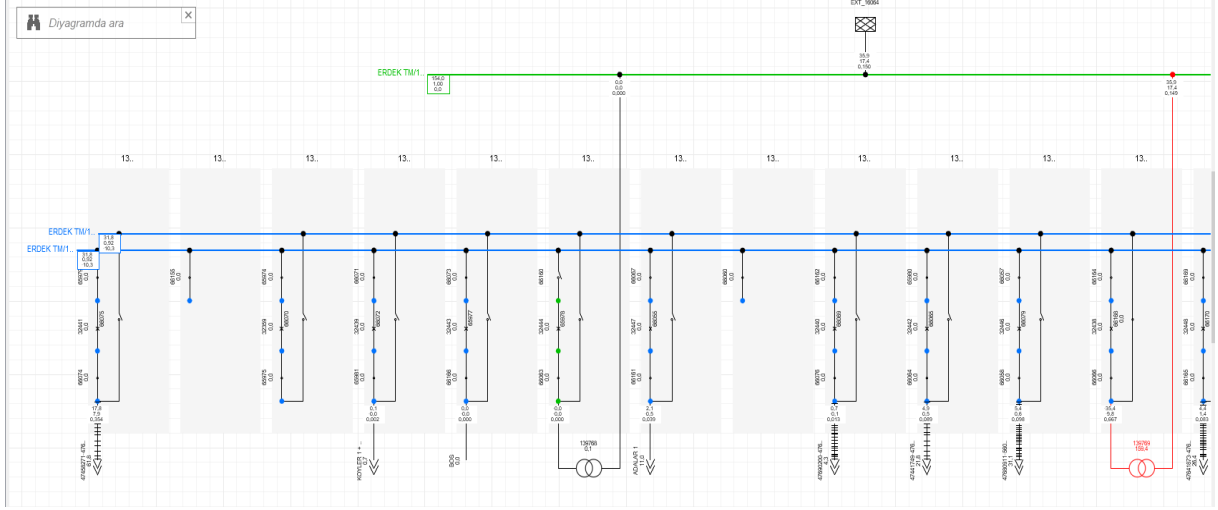


Şekil 4.1 Pilot TM'nin Yük Akış Analizinin Çalıştırılmış Hali

Şebeke yönetimi karşılaşılan temel zorlukların başında güç sistemlerindeki yük belirsizlikleri gelmektedir. Bu nedenle, yük akış analizlerine yük modellerinin dâhil edilmesi çok büyük önem arz etmektedir (Haghifam ve Malik, 2007). Yapılan analizler, çıkış fiderlerinin tamamında 0,9 p.u. gerilim

düşüşü yaşandığını göstermektedir. Adalara giden fider çıkışlarında, maden ocaklarının yoğunluğu gerilim düşüşlerinin ana nedeni olarak belirlenmiştir. Hesaplamalar, kış ayları dikkate alınarak üretimin ve tüketimin minimum olduğu zaman dilimlerine göre yapılmıştır.

Şekil 4.2'de, pilot TM'ye ait yük akış analizinin çalıştırılmasıyla fider çıkışlarındaki bara gerilimleri ve gerilim düşüşlerinin p.u. değerleri gösterilmiştir.



Şekil 4.2 Pilot TM içerisindeki Fiderlerin Gerilim Değerleri

Güç sistemlerinin analizi, program sayesinde yük akışı hesapları yapılarak kararlı sistem koşulları altında incelenmektedir. Dağıtım şebekesinin mevcut işletme durumu ve planlama durumu için analizler gerçekleştirilir. Yük akış analizi çalıştırıldığında, reaktif ve aktif güç değerleri, hatların ve trafoların yüklenme durumu, akım değerleri ve mevcut sistemin gerilim değerleri görüntülenir. Şekil 4.2'de ise tüm baralar ve çıkışların değerleri, sistemin çalışır durumda olduğu haliyle gösterilmiştir.

Gerilimin 1 p.u. nominal değerinde olması istenmektedir. Ancak, çoğu zaman gerilim değeri nominal değerde tutulamaz. Bu nedenle, fider çıkışlarındaki 154 kV ve 34,5 kV baralardaki gerilim değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Bu değerler, sistem limitleri dâhilindedir.

Tablo 1. Pilot TM'deki baraların gerilim değerleri

Ad	umin p.u.	umax p.u.	Maksimum Gerilim kV	Maksimum Gerilim (Faz-Faz) kV	Minimum Gerilim kV	Minimum Gerilim (Faz-Faz) kV
ERDEK TM	0,769	1,000	88,9	154,0	0,2	0,3
ERDEK TM_ADALAR 1	0,905	0,922	0,2	0,4	0,2	0,4
ERDEK TM_ADALAR 2	0,863	0,921	18,3	31,8	0,2	0,3
ERDEK TM_ADALAR 3	0,769	0,913	18,2	31,5	0,2	0,3
ERDEK TM_BOS	0,000	-1,000	0,0	0,0	0,0	0,0
ERDEK TM_ERDEK 1	0,875	0,914	18,2	31,5	0,2	0,3
ERDEK TM_ERDEK 2	0,899	0,915	18,2	31,6	0,2	0,4
ERDEK TM_KOYLER 1 + ILHANLAR	0,914	0,922	18,4	31,8	0,2	0,4
ERDEK TM_KOYLER 2	0,906	0,921	18,4	31,8	0,2	0,4

Tablo 2. Pilot TM baraların maksimum yüklenme durumları

Ad	Maks. Yüklenme %	umax p.u.
ERDEK TM	159,4	1,000
ERDEK TM_ADALAR 1	30,0	0,922
ERDEK TM_ADALAR 2	89,8	0,921
ERDEK TM_ADALAR 3	101,2	0,913
ERDEK TM_BOS	0,0	-1,000
ERDEK TM_ERDEK 1	54,2	0,914
ERDEK TM_ERDEK 2	30,1	0,915
ERDEK TM_KOYLER 1 + ILHANLAR	29,6	0,922
ERDEK TM_KOYLER 2	30,0	0,921

Yenilenebilir enerji kaynaklarının sisteme olan etkisini incelemek amacıyla mevcut sistemde bağlı olan yaklaşık 9 adet RES santrali bulunmaktadır. Bu santrallerin statik jeneratörleri ve bunlara bağlı yükler Tablo 3 ve Tablo 4'te belirtilmiştir.

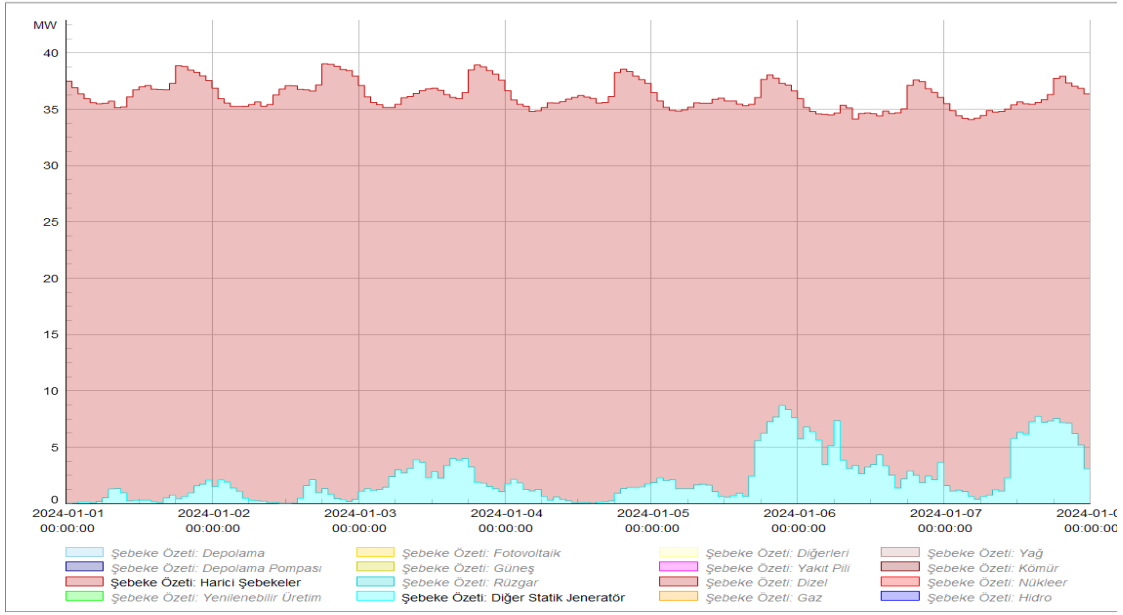
Tablo 3. RES'lere ait statik generatör güçleri

Ad	Klas...	Şebeke	Enerji (Aktif Güç) MWh	Aktif Güç, Maks. MW
1.res	TR- ...	ERDEK TM	23,0	0,8
2.res	TR- ...	ERDEK TM	31,4	0,8
3.res	TR- ...	ERDEK TM	90,6	2,0
4.res	AD...	ERDEK TM	90,6	2,0
5.res	TR- ...	ERDEK TM	17,7	0,7
6.res	TR- ...	ERDEK TM	30,3	0,8
7.res	RK ...	ERDEK TM	29,7	0,8
8.res	TR- ...	ERDEK TM	27,2	0,8
9.res	TR- ...	ERDEK TM	28,2	0,8

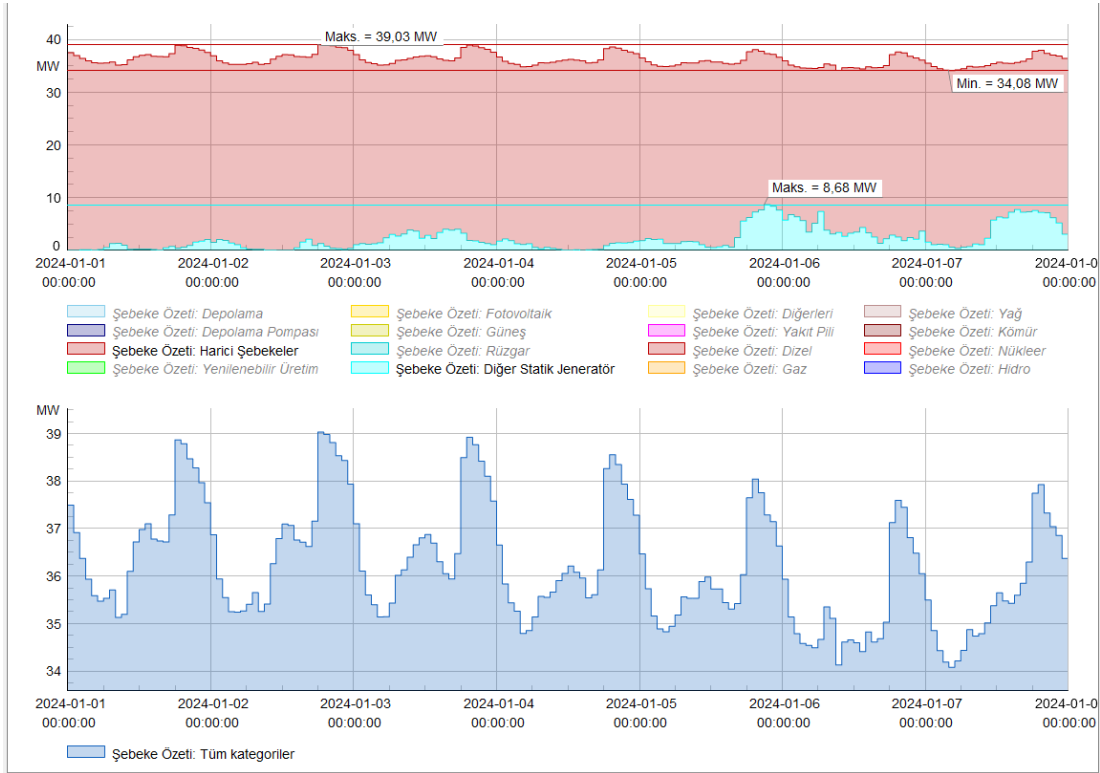
Tablo 4. Pilot TM baralara bağlı yük durumları

Ad	Klas...	Şebeke	Terminal Bara	u, Büyükl... p.u.	Aktif Güç MW	Reaktif Güç Mvar	Görünür G... MVA	Güç Faktörü
54302782_Load	TR- ...	ERDEK TM	54302782_LV	0,875	0,8	0,3	0,9	0,928
55200116_Load	TR- ...	ERDEK TM	55200116_LV	0,875	0,6	0,2	0,7	0,928
55200273_Load	AD...	ERDEK TM	55200273_LV	0,875	0,6	0,2	0,7	0,928
55222013_Load	TR- ...	ERDEK TM	55222013_LV	0,912	0,0	0,0	0,0	0,928
57379876_Load	MA...	ERDEK TM	57379876_LV	0,901	0,0	0,0	0,0	0,928
57380163_Load	MA...	ERDEK TM	57380163_LV	0,899	1,3	0,5	1,4	0,928
57380300_Load	MA...	ERDEK TM	57380300_LV	0,899	1,3	0,5	1,4	0,928

Modellemede mevcut sistemde toplamda 9 adet RES bulunmaktadır. Bu RES'lerin toplam gücü 9,5 MW'dır; bunlardan 7 tanesine yük bağlı olup, 2 tanesinde yük bulunmamaktadır. Sisteme sonradan dâhil edilecek 4 adet lisanssız GES için senaryo oluşturulmuş ve bu GES'lerin toplam gücü 2,9 MW olarak belirlenmiştir. Bu GES'lere yük bağlanmamış ve sadece enerji sağlayacak şekilde modellemeye dâhil edilmiştir. Modelleme sonrasında yarı dinamik simülasyon zaman bağımlı olarak çalıştırılmış ve ekil 5'teki grafik elde edilmiştir.

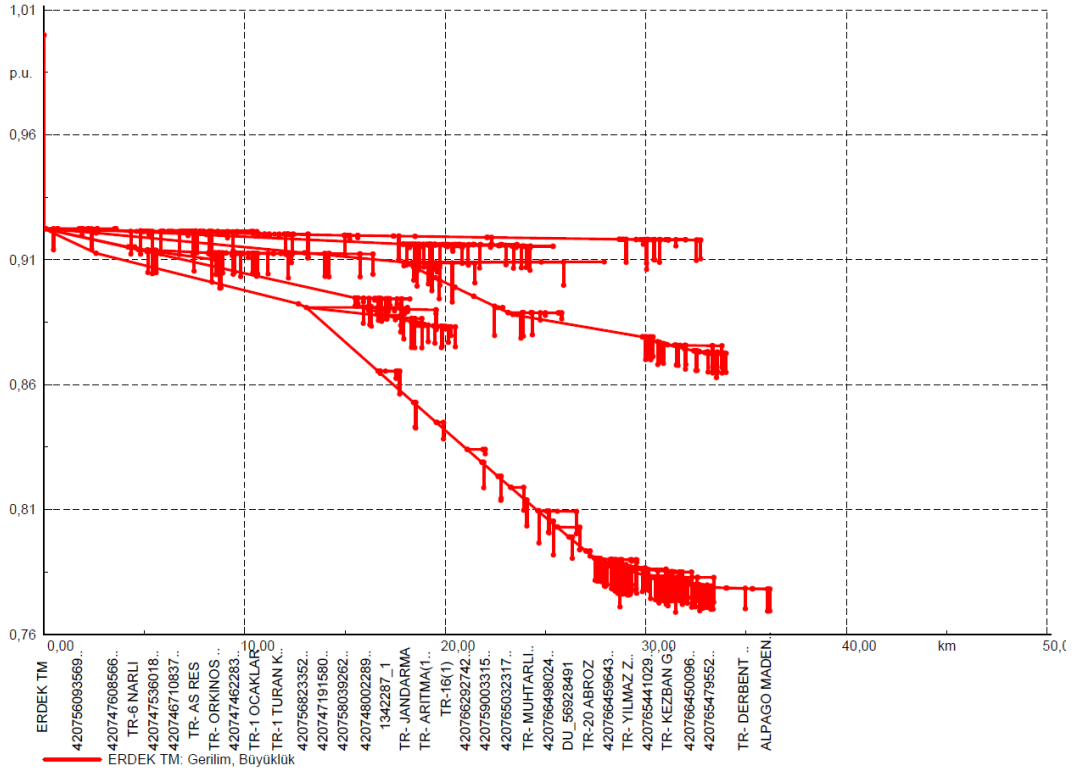


Şekil 5. Zamana bağlı çalıştırılan Yarı Dinamik Simülasyon Santral Kategorisi Grafiği

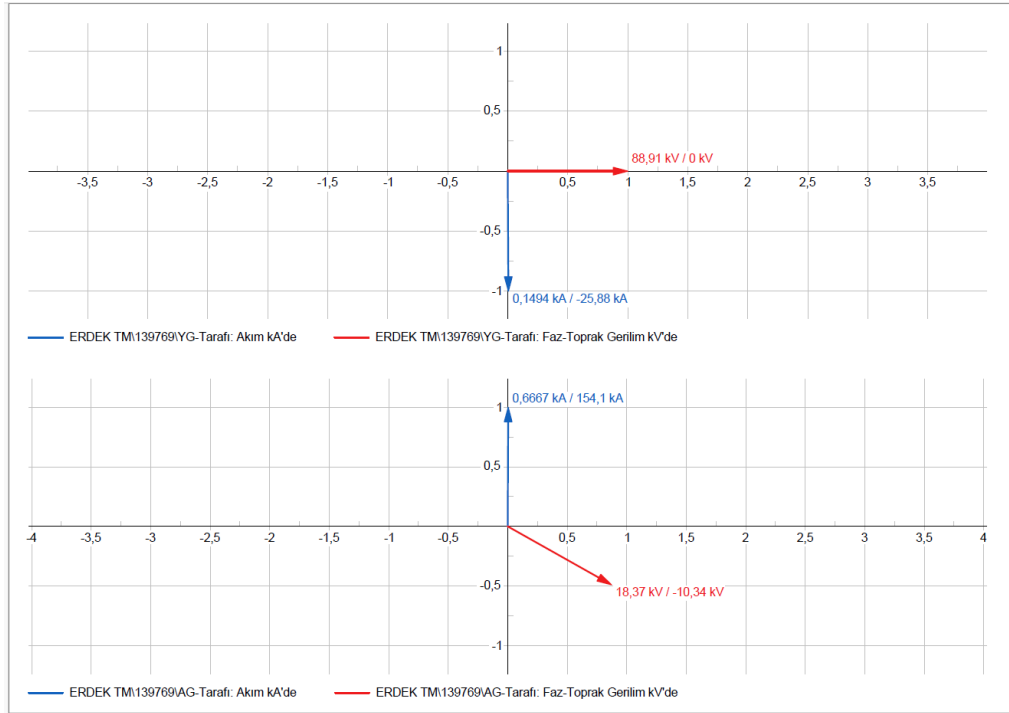


Şekil 6. Şebeke Özeti

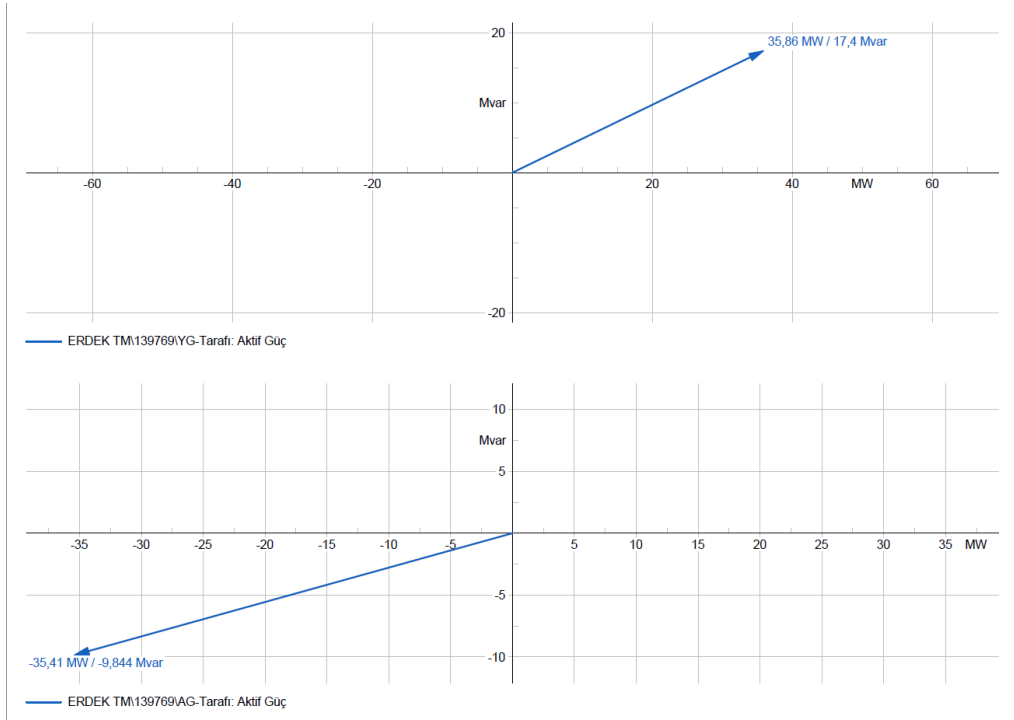
Sisteme FACTS cihazı bağlantısı yapılmadan önce sistemden alınan akım, gerilim ve güç değerlerine ilişkin veriler Şekil 7, Şekil 8 ve Şekil 9 da gösterilmiştir.



Şekil 7. Pilot Fider Gerilim Profili



Şekil 8. Akım-Gerilim Vektör Diyagramı



Şekil 9. Aktif-Reaktif Güç Vektör Diyagramı

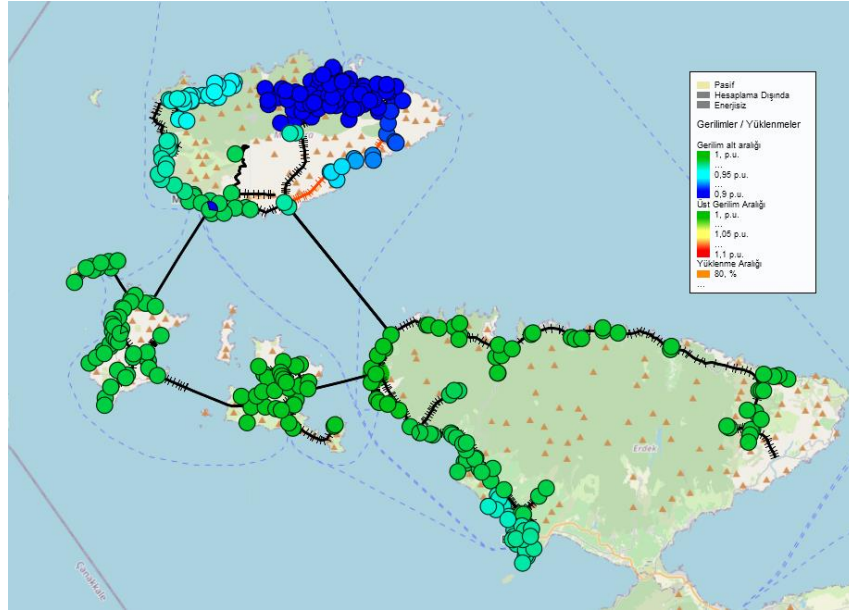
Modellemede FACTS Cihazı bağlanmadan önceki durumu toplam dış besleme 865.246 MWh, toplam üretim 15.101 MWh toplam yük = 805.970 MWh toplam kayıp = 74.377 MWh olarak hesaplanmıştır.

B. Şebeke Modellemesinin Facts Cihazı İle Tasarlanarak Yük Akış Analizinin Yapılması

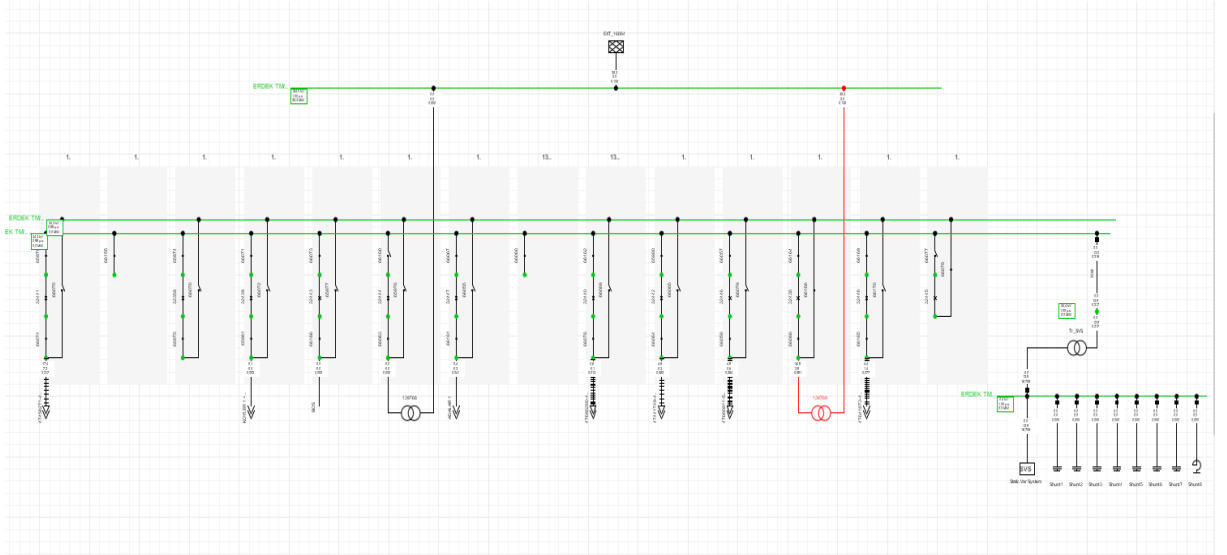
Bu bölümde, P-Q barasında gerilim, aktif güç ve reaktif güç değişimleri Statik Var Kompanzator kullanılarak DigSilent Power Factory ortamında modellenerek incelenmiştir. SVC, aktif gücü ve gerilimi kontrol etmek için kullanılan en temel FACTS cihazıdır ve güç sisteminde bağlı olduğu baradaki gerilim değerini, reaktif güç değerine göre kontrol edebilme yeteneğine sahiptir. Bu nedenle, sisteme bağlantısı yapılmıştır (Sundareswaran, 2010).

Bu cihazların çalışma aralığı -14 Mvar ile 14 Mvar arasındadır. Endüktif karakteristikte çalışma durumunda güç değeri negatif olmaktadır ve reaktif güç çekildiğini göstermektedir. Kapasitif karakteristikte ise güç değeri pozitifdir ve reaktif güç bastığını göstermektedir. Negatif veya pozitif değerler, modelleme açısından kolaylık sağlar. Bu çalışmada, SVC, güç sistemine paralel bağlanan ve hızlı bir şekilde kontrol edilebilen ideal bir reaktif güç kompansemanı olarak modellenmiştir.

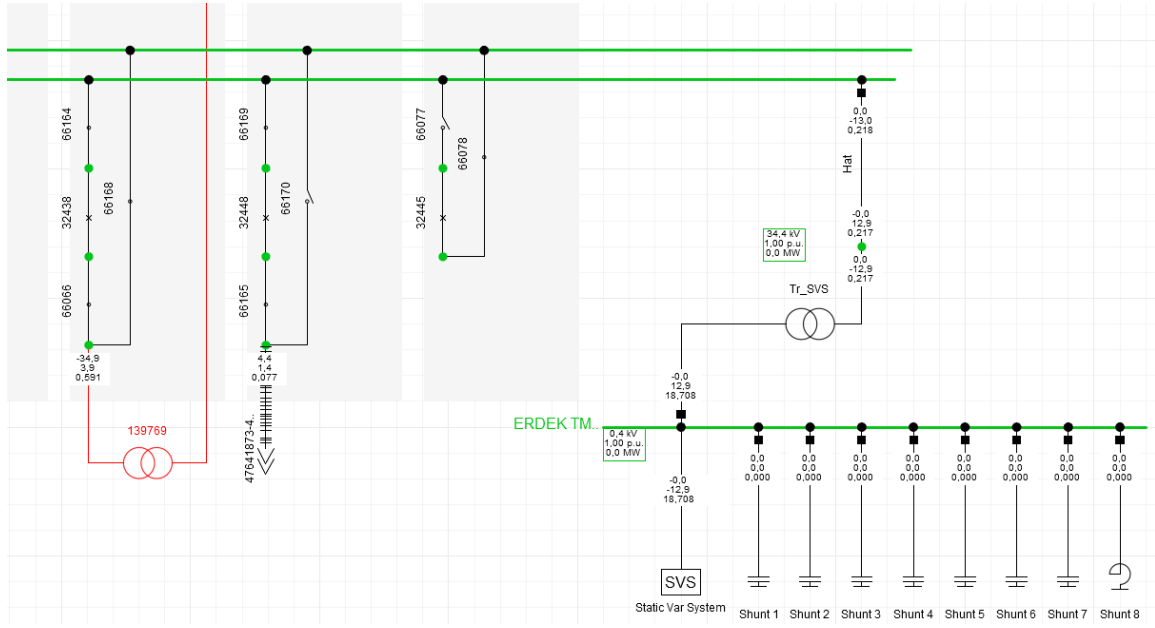
Sisteme paralel olarak bağlantısı yapılan SVC sonrası gerilim değişimleri Şekil 10, Şekil 10.1 ve Şekil 10.2'de gösterilmiştir. Şekil 10'da coğrafi bilgi sistemi üzerindeki modelleme yer almaktadır. Şekil 10.1 ve Şekil 10.2'de ise gerilimler ve gerilim düşümleri p.u. cinsinden etiketlerde belirtilmiştir.



Şekil 10. Pilot TM'ye SVC bağlanarak Yük Akış Analizinin Çalştırılmış Halı



Şekil 10.1. Pilot TM içerisindeki Fiderlerin SVC'den sonrası Gerilim Değerleri



Şekil 10.2. Pilot TM içerisindeki Fiderlerin SVC'den sonrası Gerilim Değerleri

Pilot TM modellenmesinde gerçekte sahada kurulu bulunan rüzgâr santralleri ve ilave olarak güneş enerji santralleri kullanılmıştır. Bu sistemde 9 tane 9,5 MW'lık rüzgâr santrali, 5 tane 5 MW'lık güneş enerji santrali kullanılmıştır. Santraller reaktif gücün belli kısmını şebekeden ve kapasitör gruplarından karşılamaktadır. Bundan dolayı sisteme 14 MVAR'lık Statik Var Sistemi grubu kullanılmıştır.

Tablo 6. Pilot TM'deki baraların gerilim değerleri

Ad	umax p.u.	umin p.u.	Maksimum Gerilim kV	Maksimum Gerilim (Faz-Faz) kV	Minimum Gerilim (Faz-Faz) kV	Minimum Gerilim kV
ERDEK TM	1,000	0,858	88,9	154,0	0,3	0,2
ERDEK TM_ADALAR 1	1,000	0,979	0,2	0,4	0,4	0,2
ERDEK TM_ADALAR 2	0,994	0,941	19,8	34,3	0,4	0,2
ERDEK TM_ADALAR 3	0,987	0,858	19,7	34,0	0,3	0,2
ERDEK TM_BOS	-1,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0
ERDEK TM_ERDEK 1	0,988	0,952	19,7	34,1	0,4	0,2
ERDEK TM_ERDEK 2	0,988	0,973	19,7	34,1	0,4	0,2
ERDEK TM_KOYLER 1 + ILHANLAR	0,995	0,987	19,8	34,3	0,4	0,2
ERDEK TM_KOYLER 2	0,994	0,979	19,8	34,3	0,4	0,2

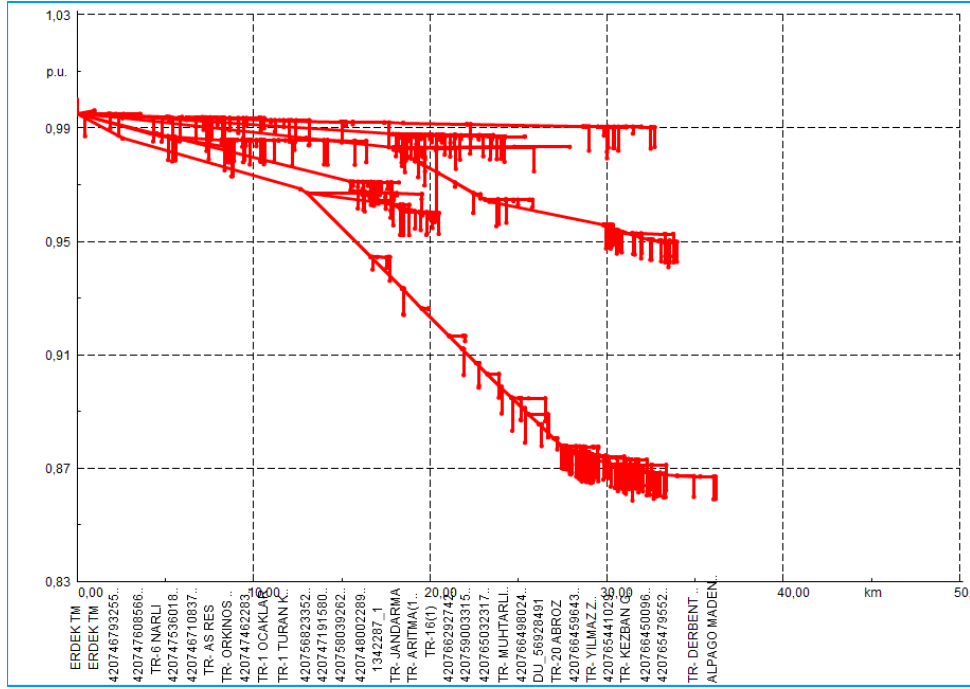
Tablo 7. Pilot TM baraların maksimum yüklenme durumları

Ad	Maks. Yüklenme %	umax p.u.
ERDEK TM	100000,0	1,000
ERDEK TM_ADALAR 1	69,0	1,000
ERDEK TM_ADALAR 2	94,3	0,994
ERDEK TM_ADALAR 3	91,3	0,987
ERDEK TM_BOS	0,0	-1,000
ERDEK TM_ERDEK 1	52,2	0,988
ERDEK TM_ERDEK 2	27,8	0,988
ERDEK TM_KOYLER 1 + ILHANLAR	27,4	0,995
ERDEK TM_KOYLER 2	32,5	0,994

Gerilim yerel bir büyüklüktür ve gerilim kontrolüne ilişkin tedbirler dengesizliğin yakınında devreye sokulmalıdır. Özel cihazlar (generatörler, kapasitörler, reaktörler gibi) ve güç tesisleri reaktif gücün kontrol edilmesini sağlamaktadır. Gerilim kontrolünün sağlanması için sistemdeki bozunumlar sırasında sistem içerisinde reaktif rezervler bulunmalıdır. Rezervler, bozulmalar sırasında güç sistemlerinin gerilim seviyesini istenilen değerdeki kararlı hale getirebilmesi için temel rezerv olarak kullanılmaktadır.

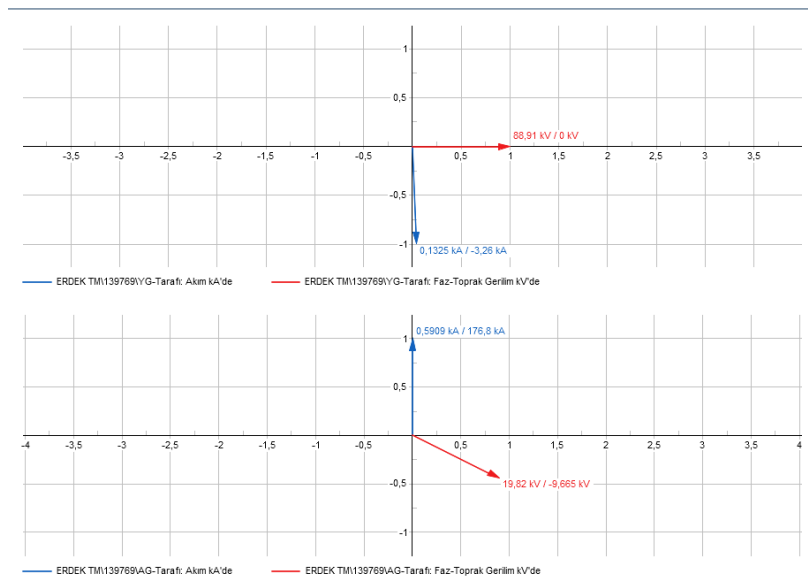
Farklı gerilim seviyelerinin dönüşümü, kademe değiştircili güç transformatörleri ile ayarlanabilir. Bu da farklı gerilim seviyeleri arasında reaktif güç akışını sağlar (Samancıoğlu, 2014).

Bu çalışmada, yükü modellerken birbirinden bağımsız rastgele değerler kullanılmıştır. Sistemdeki orijinal yük değerleri, ortalama yük değerleri olarak seçilmiştir. Test sonuçlarına göre SVC cihazının doğruluğu izlenmiştir. Şebekenin aşırı yüklenme durumlarında seviye transformatörleri kullanılmadan, SVC cihazı gerilim kontrolünü sınırları içerisinde sağlayabilmektedir. SVC'nin 1 nolu baraya paralel bağlanması ile TM'den gerilim profili alınmıştır.

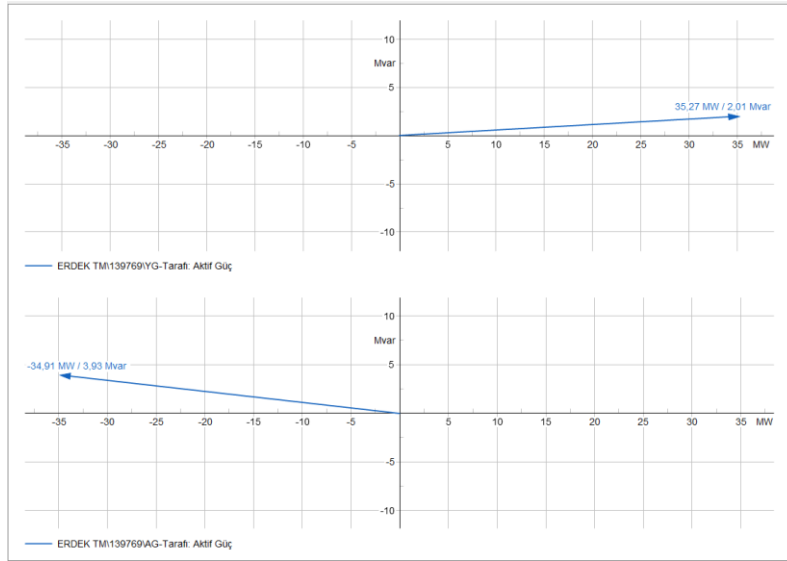


Şekil 11. Pilot Fider Gerilim Profili

Şekil 12 ve Şekil 13'te SVC bağlandıktan sonra Akım-Gerilim ve aktif ve reaktif güç değerindeki değişimlerin vektör diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 12. Akım-Gerilim Vektör Diyagramı



Şekil 13. Aktif-Reaktif Güç Vektör Diyagramı

Modellemede FACTS Cihazı bağlandıktan sonraki durumu Toplam Dış Besleme 852,323 MWh Toplam Üretim 15.101 MWh Toplam Yük = 805.970 MWh Toplam Kayıp = 61,454 MWh olarak hesaplanmıştır.

III. SONUÇLAR

Oluşturulan modellemede, üretim santrallerinin şebekeye bağlanması durumunda gerilim bozulması sırasında sistemde yeterli reaktif rezerv bulunması gerekmektedir. Ancak, bu rezervlerin sistemden çekilmesi aynı zamanda sistem kararlılığını da bozmaktadır.

Bilimsel araştırmalar, FACTS cihazlarının elektrik güç sistemine optimum yerleşiminin karmaşık ve önemli bir problem olduğunu göstermiştir. Elektrik güç akış denklemleri lineer olmadığı için çözümler iteratif yöntemlerle yapılmaktadır. FACTS cihazlarının entegrasyonunda, optimizasyon metotları ve amaç fonksiyonları belirlemek zor olabilir. Güç kayıpları, gerilim dalgalanmaları ve maliyet gibi faktörler farklı sonuçlara yol açabilir. DigSilent Power Factory programı, FACTS cihazlarının güç sistemi kontrolünü iyileştirdiğini ortaya koymuştur. (Agüero ve ark., 2014).

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırmak ve sistem gereksinimlerini karşılamak için FACTS cihazlarının yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretiminde daha önemli bir rol oynamaktadır (Mahela ve ark., 2015). Yapılan araştırmalar, FACTS cihazlarının yenilenebilir enerji sistemlerinde ve akıllı şebekelerde etkili olduğunu, bu cihazların enerji üretimini artırdığını ve güç sistemlerinde daha fazla güvenilirlik sağladığını göstermiştir. (Crow, 2004; Suresh ve Sreejith 2017). Ayrıca, dağıtık üretim ve değişken arz-talep durumları için yapılan dinamik yük akış analizleri, FACTS cihazlarının gerilim ve güç faktörü kararlılığı üzerindeki olumlu etkilerini ortaya koymuştur. (Sadaiappan ve ark., 2010).

Kalair ve ark., (2017) tarafından değişken arz talep durumları ve dağıtık üretim durumları için gün içi dinamik yük akış analizi yapılmış, değişken arz ve talep durumları, güç parametre değerlerinin saatlik değişimleri hesaplanmış ve incelenmiştir. Sonuç olarak üretim süreksizliği gösteren generatörlerden oluşan dağıtık üretimin, gerilim ve güç faktörü kararlılığı üzerindeki etkileri değişen arz ve talepleri üzerine analiz edilmiştir (Kalair ve ark., 2017).

Gerilimleri değişken olan trafo merkezleri ve bara sistemlerine yönelik optimizasyon teknikleri kullanılarak bağlantı noktaları belirlenmiş ve FACTS cihazları bağlanarak sistemin güç hesaplamaları, yük akışı analizi ve gerilim düşümü kontrolleri gerçekleştirilmiştir. FACTS kontrolörlerinden SVC kontrolörü, paralel bağlandığı için ek bir sanal baraya ihtiyaç duyulmamıştır.

Çalışmada, mevcut şebekede yüklerin yoğun olduğu bölgelerde üretim santrallerinin devrede olması nispeten şebekedeki yük yoğunluğunu azaltmaktadır. Bu azaltımların yanında sistemde reaktif güç etkisi oluşturarak aktif gücün akım-gerilim değerlerini değiştirmektedir. Modellemede alt ve üst sınır değerleri,

400 kV gerilim seviyesi için 1p.u. gerilim alt aralığı 0.95-1.0p.u. ve üst gerilim aralığı 1-1.05p.u. olarak belirlenmiş olup, hem endüktif hem de kapasitif karakteristikte çalışabilmektedir.

1. Şekil 7 ve Şekil 11'de, TM içerisinde bulunan trafoya ait gerilim profili oluşturulmuştur. FACTS cihazı bağlandıktan sonra sistem kararlılığı artmış ve gerilim düşümleri azalmıştır.
2. Şekil 8 ve Şekil 12 karşılaştırıldığında, YG tarafında akım 0,1494 kA/-25,88 kA iken AG tarafında 0,6667 kA/154,1 kA, gerilim ise YG tarafında 88,91 kV iken AG tarafında 18,37 kV/-10,34 kV'dir. FACTS cihazı bağlandıktan sonra sistemde akım 0,1325 kA/-3,26 kA iken AG tarafında 0,5909 kA/176,6 kA, gerilim ise YG tarafında 88,91 kV iken AG tarafında 19,82 kV/-9,665 kV'dir.
3. Şekil 9'da, üretim santralleri devrede iken YG tarafında aktif-reaktif güç 35,86 MW/17,4 MVar, AG tarafında ise -35,91 MW/-9,844 MVar'dır. Şekil 13'te, FACTS cihazı devreye alındıktan sonra YG tarafında aktif-reaktif güç 35,27 MW/2,01 MVar, AG tarafında ise -34,91 MW/3,93 MVar'dır.
4. Şekil 4.1 ile Şekil 10 incelendiğinde, FACTS cihazı bağlantısından sonra modellenmenin $\frac{3}{4}$ 'ünde gerilim düşümünün azaldığı ve sistemin gerilim değerlerinin 34,5/36 kV değerlerine yaklaştığı görülmektedir. Şekil 4.2 ve Şekil 10.1'de baralarda bulunan etiket bilgilerinden gerilimde iyileşmeler vardır.
5. FACTS cihazları bağlı değilken 7 günlük yük profili altında FACTS cihazları bağlıken bulunan ihlaller karşılaştırılmıştır. Şekil 4.1'de artan FACTS cihazı sayısı ile sorunlu durumlarda azalma görülmüştür. Eğer haftalık yük belirsizliği modelinde FACTS cihazları tercih edilmezse, bara gerilimleri ve hat ihlallerinin sonuçları yük modeline bağlıdır. Optimizasyonun amacı, uzun süreli yük değişimlerine göre bara gerilimindeki ve hatlardaki güç ihlallerini minimum seviyeye indirmektir.

Farklı yük karakteristiklerine sahip bir enerji iletim sisteminde FACTS elemanlarının gerilim kararsızlığını nasıl etkilediği incelenmiştir. Şönt ekipmanlar sürekli devrede iken, en kötü acil durum senaryosu olarak üretim barasının kısa devre durumu ele alınmış ve bu durumda bara gerilimlerinin ortalama 0.86 p.u. seviyelerine düştüğü, kararlı hale geçişin daha uzun sürdüğü gözlemlenmiştir. FACTS cihazlarının devrede olduğu durumlarda ise gerilimlerin 0.95 p.u. işletme limit değerleri içinde tutulduğu belirlenmiştir.

Yapılan analizler, mevcut enerji iletim sisteminde bara gerilimlerinin işletme limit değerlerine yakın olduğunu ve sistem arızalarında kritik noktalarda gerilim çökmelerinin yaşandığını göstermiştir. FACTS cihazlarının elektrik güç sistemlerine entegre edilmesinin, sistemlerin kararlılığını ve maksimum yüklenme aralıklarını artırdığı ve gerilim değerlerini alt ve üst limitler arasında koruduğu ortaya konulmuştur. Sonuç olarak, enerji iletim sistemlerinde gerilim kararlılığının sağlanmasında en etkin yöntemlerden birinin sisteme uygun noktalardan FACTS cihazlarının entegre edilmesi olduğu vurgulanmıştır.

SVC (Statik Var Kompanzatorü) sistemlerinin, dinamik güç sistemlerinde reaktif güç yönetimini nasıl sağladığı ve sisteme olan faydaları ele alınmıştır. SVC sistemlerinin, anlık ihtiyaçlara bağlı olarak hızlı bir şekilde reaktif güç basıp çekebildiği, geniş bir aralıkta çalışabildiği, güvenli ve işletme esnekliğine sahip olduğu belirtilmiştir. Gerçekleştirilen maliyet analizi araştırmalarına göre, modellenmesi yapılan pilot bölgede FACTS cihazlarının kendilerini yaklaşık 6-8 yıl içinde amorti edeceği tespit edilmiştir. Ayrıca, bu cihazların ilave iletim hatları ve üretim ünitelerinin tesis edilme gereksinimlerini belirli bir süre öteleyebileceği sonucuna varılmıştır (Değirmenci, 2016).

IV. TARTIŞMA

Şekiller ve tablolarda gösterilen değerler, gerilim değeri, yüklenme kapasitesi ve reaktif-aktif güç değerleri gibi verileri içermektedir. Örneğin, dağıtım sisteminin yüzdesel olarak yüklenme durumu, FACTS cihazı bağlanmadan ve bağlandıktan sonraki halleri tablolarda gösterilmiştir. Bu sonuçlar, güç sistemindeki elektrik üretimi ve tüketiminin her zaman dengede olması gerektiğini göstermektedir. Arz ve talepteki farklılıklar, güç sistemi kararsızlığına veya voltaj dalgalanmalarına neden olarak ciddi arızalara neden olabilir. Beklenmeyen yük değişiklikleri elektrik kesintilerine neden olabilir. Bir güç hattı aşırı yüklendiğinde bara voltajı düşer veya iletim hattı termal kapasitesine ulaşır. Senkron jeneratörlerin ve kontrol yetenekleri sınırlı olan kompanzasyon kaynaklarının mevcut altyapısında yüksek veya düşük gerilim durumları meydana gelebilir. Bu açıdan bakıldığında, doğru şekilde yerleştirilen FACTS ekipmanları mevcut güç altyapısının daha iyi çalışmasını sağlayabilir.

Mevcut sistemde bulunan reaktif güçleri minimize etmek, hem şebeke kararlılığını artırmakta hem de sistemden beslenen üçüncü şahısları gerilim düşümü gibi bozunmalardan koruyarak enerjinin verimli olarak tüketilmesini sağlamaktadır. Kurulacak olan üretim santralının ve sistemde yük barasına (P-Q) bağlantısı yapılacak FACTS cihazının konumlarının yükün fazla olduğu bölgelere göre ayarlanması, ekonomik ve teknik açıdan yapılan değerlendirmelerle birlikte dağıtım sistemine yapılan yatırımların yapılabilir ve finanse edilebilir olmasını sağlayacaktır. Mevcut dağıtım ağında gerilim düşümü olan alanlara ilave trafo tesisleri yapmak veya hatların kesitini artırmak, sistem kararlılığını sağlamayacak olup daha fazla işletme bakım maliyetini artıracak ve mevcut hatlardaki kayıpları sönmülemeyecektir.

Elektriksel kayıpların azaltılması, elektrik enerji sistemlerinin verimliliği açısından oldukça önemlidir. Güç sistemlerinde karşılaşılan teknik kayıpların başında Harmonik Distorsiyon gelmektedir. Harmonik Distorsiyon Elektrik akımındaki bozulmalar, sistemde istenmeyen harmonik frekansta sinyaller oluşturur. Bu kayıpları sırasıyla tüketici yüklerinin yanlış topraklanması, iletim hatlarının aşırı yüklenmesi ve uzunlukları, uzun mesafelerde elektrik enerjisi iletiminde yaşanan gerilim düşüşleri ve kalitesiz veya standart dışı ekipman kullanımı, verimliliği olumsuz etkiler. Son olarakta şebekeden çekilen reaktif güç tüketimi, güç kayıplarını artırabilir. Bu nedenlerle, bu kayıpları minimize etmek, sistem verimliliğini artırmak için önemlidir (Navani ve ark., 2012).

Gerilim düşümünün temel nedenlerinden biri, güç sisteminde yükün aktif ve reaktif güç ihtiyacının aşırı artmasıdır. Bu durum, iletim hatlarında ve jeneratörlerde kayıplara yol açar. Güç sistemlerindeki kayıplar üç ana kategoriye ayrılabilir: üretim, iletim ve dağıtım kayıpları. Elektriksel kayıpların büyük kısmı iletim ve dağıtım sistemlerinde görülür. Üretilen elektrik enerjisinin yaklaşık %8'i iç kayıp ve iç tüketimden kaynaklanmaktadır (Yaşar ve ark., 2010).

Güç sistemlerindeki kayıpların artması, enerji iletim hatlarının kapasitesinin üzerinde çalışmasına neden olur ve bu durum, aktif ve reaktif güç kaynaklarının azalmasına yol açar. İletim hattının sınırlarının aşılması, diğer hatlardaki reaktif güç kaybını artırır ve bu da güç sistemindeki reaktif güç ihtiyacını artırır. Artan yükler nedeniyle yük baralarında belirgin gerilim düşümleri gözlemlenir. Gerilim düşümlerini dengelemek için şönt ekipmanlar ve jeneratörler kullanılarak gerilim eski seviyelere çekilmeye çalışılır, ancak bu süreçte aktif ve reaktif güç kayıpları artar. Sonuç olarak, enerji iletim hattındaki gerilim düşümleri daha büyük olur. Güç kayıplarını minimize etmek için akımın düşürülmesi ve gerilimin artırılması gereklidir. Ayrıca, hat empedansını azaltmak da kayıpları düşürmek için bir yöntemdir.

V. ÇIKARIM

Elektrik enerjisinin tüketicilere kesintisiz, daha az maliyetle ve kaliteli şekilde iletilmesini sağlamak önemlidir. Şebekede uyarımların neden olduğu gerilim dalgalanmalarına sebep olan durumlar sadece tüketiciyi değil, aynı zamanda bu elektriğin dağıtılmasından sorumlu dağıtım şirketlerini ve mevcut şebekeyi olumsuz etkilemektedir. Mevcut şebekede bu dengesizliklerin oluşması, hem şebeke bakım maliyetlerini artırmakta hem de yeni yatırımların yapılması için zorunluluk oluşturmaktadır. Ani oluşan zorunlulukların ve bakım maliyetlerinin minimize edilmesi, ancak gerçek veriler doğrultusunda tahmin edilebilir yüklerin sanal olarak sisteme bağlanması ve oluşabilecek olumsuz olasılıklar için önlem alınması ile mümkündür. Örneğin, yapılacak olan yüksek güçlü üretim santrallerinin yükün en fazla olduğu alanlara kaydırılması ve bu firmaların başka şehirde olsa bile mahsuplaşmasının sağlanması için çalışmalar hızlandırılmalı ve kolaylaştırılmalıdır. Tüketimin az olduğu bölgelere ise üretim santrallerinin kurulmasının önüne geçilmesi gerekmektedir. Bu hususlar dikkate alındığında, şebekenin ömrü ve bakım maliyetleri minimize edilebilir. Bir bölgede üretim santrali kurulması planlanırken, elektrik enerji sisteminin üretim birimleri ve yüklerin tümüne hizmet vermesi sebebiyle elektrik enerji sisteminin bütün olarak ele alınması önem arz etmektedir.

Üretim tesislerinin yakınlarındaki tüketiciler tarafından üretim santrallerince gerçekleştirilen üretimler tüketilmezse, enerji tüketilemeden yeniden ana baraya dönecektir. Bu geri dönüş sistemde gerilim yükselmesine sebep olacaktır. Üretilen bu enerjinin tek bir noktadan çıkış yapılması yerine, sistemde farklı noktalardan dağıtılarak verilmesi gerilimdeki ani değişikliklerin önüne geçilmesinde etkin rol oynayacaktır. Modellemenin yapıldığı bölgede yük yoğunluğunun fazla olması, bölgenin çalışma yapılacak optimum lokasyon olduğunu göstermektedir. RES ve GES'lerin yüksek kurulu güçlerde dağıtım sistemine bağlantı yapılmaya başlanması, özellikle dağıtım sisteminin nispeten zayıf olduğu bölgelerde şebeke kararlılığı açısından hassas bir durum teşkil etmektedir.

Tabii ki, bütün bu çalışmaların yapılabilmesi ve kaliteli enerji sağlanabilmesi için soğuk havanın rüzgâr türbinlerinden enerji üretiminde önemli bir faktör olduğunu ve soğuk bölgelerde kurulum yaparken zorlukların ortaya çıkabileceğini belirtmiştir (Tammelin ve Seifert, 2001). Bu nedenle, kurulumların yapılacağı alanlarda soğuk iklim etkisinin kısa sürmesi önem arz etmektedir. Ayrıca, incelediğimiz çalışmalarda soğuk sıcaklıklardaki operasyonlarla ilgili herhangi bir bilgiye rastlanmamıştır. Ancak, bu çalışmaya katılan uzmanlar anketler aracılığıyla soğuk havanın rüzgâr türbinlerinden enerji üretimindeki önemini ve soğuk bölgelerdeki kurulum zorluklarını vurgulamıştır. Türbinlerin çalışmadığı 5 ila 7 ay süresince kendilerini ısıtmak için enerji harcaması durumunda, üretimin beklenen miktarın yarısı kadar azalacağı ve bu nedenle yüksek rüzgârlı alanlara yatırım yapmanın mantıklı olmayacağı belirtilmiştir. Kanat ısıtma sistemlerinin geliştirilmesi, bu sorunu hafifletebilir. Sonuçlar, mevcut rüzgâr çiftliklerinin donma süresi skalasında 50 derecenin altında yer almadığını ve çoğunun donma süresi haritasına göre en uygun bölgelerde bulunduğunu göstermiştir. Ancak, gelecekte rüzgâr çiftliklerinin sıfırın altındaki daha yüksek bölgelere doğru kayacağı öngörülmektedir. Örneğin, Borusan EnBW, 52,8 MW kurulu kapasiteye sahip olan ve yüksekliği 1600-1693 metre arasında değişen Mut Rüzgar Enerjisi Santrali'ni Mersin'in Gökçetaş ve Medreselik köylerinde kurmuştur. Rüzgâr enerjisinin ülkenin bu kısmına kayması nedeniyle, bu çalışmada sıcaklık kriteri diğer çalışmalara kıyasla karar verme sürecine dâhil edilmiştir.

Elde edilen sonuçlar, sistem güvenilirliğini ve kararlılığını artırmak, hatalar ve donanımsal bozuklukların etkilerini sınırlandırarak tekrar eden enerji kesilmelerini önlemek ve Türkiye'nin enterkonnekte sisteminin gerilim ve güç kontrolünü daha kaliteli ve ekonomik bir şekilde sağlamaya yönelik katkılar sunacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada her türlü desteği veren katkı sağlayan fikirleri ile yön gösteren sayın danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Mustafa DURSUN'a, fikirleri ile makaleme katkı sağlayan Doç. Dr. M. Kenan DÖŞOĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Her türlü bilgi ve birikimi kullanıma sunan UEDAŞ ailesine, ayrıca akademik eğitime verdiği desteklerden dolayı UEDAŞ Yatırım Direktörü Sn. Ahmet BERK'e bu süreçte en büyük destekçim bu çalışmaları yapabilmem için bana fırsat sunan zaman ayıran Yatırım Planlama Müdürü Sn. Hakan ERSOY'a ,manevi desteğini hiç eksik etmeyen Yatırım Planlama Ekip Lideri Hazim ÖZTÜRK'e , Şebeke analiz programının kullanımı için eğitim desteği aldığımız EPRA ENERJİ Sn.Hüseyin Oğuz'a Makalede yaptığım projenin sahadan OSOS verilerinin alınmasında ve her program kullanımında desteklerini esirgemeyen Genel Aydınlatma ve Kayıp Analizi Yönetmeni Sn. Erdi KOCADAĞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Makale hazırlama sürecinde kıymetli vakitlerinden feragat eden beni hep destekleyen annem Selma BAYRAK, eşim Ahmet Serdar BAYRAK ve oğlum Zeki Tuna BAYRAK'a hep arkamda duran hiçbir şeyi esirgemeyen değerli ailem Mukaddes -Servet DİNÇER ve Meryem -Selahattin KAHVECİ'ye minnettarım.

KAYNAKLAR

- Döşoğlu M. K (2010). Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı Haziran 2010 Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Y. Lisans Tezi - Rüzgâr Santralinde Gerilim Ve Güç Kontrolünün Facts Cihazları İle İncelenmesi.
- Abido M. A., (2008). Power System Stability Enhancement Using Facts Controllers: A Review, The Arabian Journal for Science and Engineering, Volume 34, Number 1B,153-172.
- Acha, E., Fuerte-Esquivel, C. R., Ambriz-Perez, H., & Angeles-Camacho, C. (2004). *FACTS: modelling and simulation in power networks*. John Wiley & Sons.
- Agüero, E.D., Cepeda, J.C. and Colomé, D.G. (2014). FACTS models for stability studies in DigSILENT Power Factory. 2014 IEEE PES Transmission & Distribution Conference and Exposition-Latin America (PES T&D-LA), ss. 1-6.
- Barrios-Martínez, E. and Ángeles-Camacho, C. (2017). Technical comparison of FACTS controllers in parallel connection. *Journal of applied research and technology*, 15, (1): 36-44.
- Bayraktar, E. (2021). Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi - Enerji Sistemlerinde Gerilim Kararlılığının Artırılmasında Facts Cihazların Uygulaması.
- Becerik Mir,G. (2022). Dokuz Eylül University Graduate School Of Natural And Applied Sciences, Coordinated Transmission Expansion Planning With Wind Power Generation And Facts Devices.
- Carlak, H. F. and E Kayar, E. (2019). Volt/VAR Regulation in Energy Transmission Systems Using SVC and STATCOM Devices. *Balkan Journal of Electrical and Computer Engineering*. 7(4).
- Crow, M. (2004). Power quality enhancement using custom power devices [Book Review]
- Darabian, M. and Jalilvand, A. (2017). A power control strategy to improve power system stability in the presence of wind farms using FACTS devices and predictive control. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 85, 50-66.
- Değirmenci, S. (2016). Environmental Impact and Capacity analysis of Renewable Energy resources: Case Study of Wind Energy in Turkey. A Thesis Submitted to the Graduate School of Engineering And Sciences of İzmir Institute of Technology in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Environmental Engineering
- Edvard C, (2014). 9 Most Common Power Quality Problems. <https://electrical-engineeringportal.com/9-most-common-power-quality-problems> (Available From: 08.06.2021).
- Ersavaş, C. (2013). Elektrik Şebekelerinde Facts Cihazlarının Optimum Yerleşimi. Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ege Üniversitesi.
- Gencer, E. (2018) Orta gerilim şebekelerinde gerilim sarkmalarına dstatcom etkileri. Yüksek lisans tezi Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim dalı Sakarya 87s.
- Gyugyi, L. (2000). Application characteristics of converter-based FACTS controllers. PowerCon 2000. 2000 International Conference on Power System Technology. Proceedings (Cat. No. 00EX409), ss. 391-396,
- Habur, K. and O'Leary, D. (2004). FACTS-flexible alternating current transmission systems: for cost effective and reliable transmission of electrical energy. *Siemens-World Bank document-Final Draft Report, Erlangen*, 46.

- Haghifam, M.R. and Malik, O.P., (2007). Genetic algorithm-based approach for fixed and switchable capacitor placement in distribution systems with uncertainty and time varying loads, *IET Gener. Transm. Distrib.*, 1(2):244-252 pp.
- İşin, E. (2022). Güneş Enerji Santrallerinde Güç Faktörü Ve Gerilim Kararlılığının Belirlenmesi. Yüksek lisans tezi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya Teknik Üniversitesi.
- Kalair, A., Abas, N., Kalair, A., Saleem, Z. and Khan, N. (2017). Review of harmonic analysis, modeling and mitigation techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 1152-1187.
- Kehrli, A. and Ross, M., (2003). Understanding grid integration issues at wind farms and solutions using voltage source converter FACTS technology, *IEEE Power Engineering Society General Meeting*, 1822-1828 pp.
- Kumar, N.S. and Gokulakrishnan, J., (2011). Impact of FACTS controllers on the stability of power systems connected with doubly fed induction generators, *Electrical Power and Energy Systems*, 33(5):1172-1184 pp.
- Mahela, O.P., Shaik, A.G. and Gupta, N. (2015). A critical review of detection and classification of power quality events. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 495-505.
- Navani, J., Sharma, N. and Sapra, S. (2012). Technical and non-technical losses in power system and its economic consequence in Indian economy. *International Journal of Electronics and Computer Science Engineering*, 1, (2): 757-761.
- Özdemir, E. (2007). Dağılmış Enerji Üretim Sistemleri ve Yardımcı Hizmetler. 12. Elektrik, Elektronik, Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Ulusal Kongresi, 14-18.
- Sadaippan, S., Renuga, P. and Kavitha, D. (2010). Modeling and simulation of series compensator to mitigate power quality problems. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 2, (12): 7385-7394.
- Samancıoğlu, G. (2014). Rüzgar Havza Planlaması Ve Rüzgar Santrallerinin Şebekeye Olan Etkilerinin Digsilent Programı İle Modellenmesi.-Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi.
- Singh, B., Sharma, N.K. and Tiwari, A.N., (2010). A Comprehensive Survey of Optimal Placement and Coordinated Control Techniques of FACTS Controllers in Multi-Machine Power System Environments, *Journal of Electrical Engineering & Technology*, 5(1):79-102 pp.
- Sundareswaran, K. (2010). Optimal Placement of Static VAR Compensator (SVC's) Using Particle Swarm Optimization, *Power, Control and Embedded Systems*, Allahabad, India, 1-4 pp.
- Suresh, V. and Sreejith, S. (2017). Power flow analysis incorporating renewable energy sources and FACTS devices. *International Journal of Renewable Energy Research*, 7 (1): 452-458.
- Tabak, B. and T-Yalçın M.(2004). Elektrik Güç Sistemlerinde Enerji Kalitesi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 8(1).
- Tammelin, B. and Seifert, H. (2001). *Large Wind Turbines Go Into Cold Climate Regions*. *Power*. 20: P. 30.
- Tekin, M., Keçecioglu, Ö.F., Erafşar, Ö., and Şekkeli, M. (2016). Bir hidroelektrik santralının(hes) elektrik şebekesindeki harmonik Oluşumuna Etkisinin İncelenmesi . *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(2),70-77.
- Uzun, U.E (2022). Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Y.Lisans Tezi- Facts Cihazları Kullanılarak Elektrik Güç Sistemlerinin Kararlılık Yapısının İncelenmesi Ve Çoklu Bara Uygulamaları.
- URL-1, www.enerjiatlası.com/gunes/ 2 Mayıs 2024.
- URL-2, www.enerjiatlası.com/ruzgar/ 3 Mayıs 2024.
- URL-3, www.teias.gov.tr/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri, 5 Mayıs 2024.
- Vural, A. (2001). Flexible AC Transmission a Unified Power Flow Controller, Master Thesis, Gaziantep Üniv.
- Wu, F., Zhang, X. P., Godfrey, K. and Ju, P., (2007). Small signal stability analysis and optimal control of a wind turbine with doubly fed induction generator, *IET Gener. Transm. Distrib.*, 1(5):751-760 pp
- Yaşar, C., Aslan, Y. and Biçer, T. (2010). Bir Dağıtım Transformatörü Bölgesindeki Kayıpların İncelenmesi. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, (022): 9-22.
- Yeşilbudak, M., Bayındır, R., and Çetinkaya, Ü.(2016) Güç sistemlerinde Gerilim kararlılığını etkileyen Faktörler; *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Tecnology*, 3(4), 595-602.