



# INTERNATIONAL ENERGY RESEARCH and APPLICATIONS

**Prof. Dr. Alim YILDIZ**  
**Dr. Derya Betül ÜNSAL**

# **INTERNATIONAL ENERGY RESEARCH and APPLICATIONS**

**SİVAS 2022**

**CUMHURİYET UNIVERSITY PUBLICATIONS NO: 259**

This publication was deemed appropriate based on the Decision of the Board of Directors of Sivas Cumhuriyet University, dated 18/11/2022 and numbered 31, and the decision of the Editorial Board of Sivas Cumhuriyet University, dated 28/12/2022 and numbered 40.

**REVIEW COMMISSION:**

Prof. Dr. Serkan Akkoyun

Prof. Dr. Ramazan Bilgin

Assoc. Prof. Dr. Sultan Erkan

Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Science SİVAS

Adana Çukurova University, Faculty of Science ADANA

Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Science SİVAS



SIVAS CUMHURİYET UNIVERSITY

International Energy Research and Applications

ISBN

978-605-7902-91-7

Prof. Dr. Alim Yıldız

Asst. Prof. Dr. Derya Betül Ünsal

Printed in

Sivas Cumhuriyet University Rectorate Printing  
House Certificate Number: 40954

Cover and Layout  
Abdulkadir Kocatürk

Distribution  
Sivas Cumhuriyet University

Sivas 2022

## Önsöz

*Gün geçtikçe değişen yaşam koşullarına adapte olmaya çalışan insanoğlu için “sürdürülebilirlik, enerji, yenilenebilirlik” gibi kavramlar artık eskisinden daha önemli hale gelmiştir.*

*9 Şubat 1974 yılında, İlimizde kurulan Sivas Cumhuriyet Üniversitesinde, 2016 yılında göreve geldiğim ilk günden itibaren, enerji verimliliği ve tasarrufu konusunda çalışmalar başlatılmış, Üniversitemiz kampüsünün “Yeşil Yerleşke” idealine ulaşabilmesi için çeşitli uygulamalar yapılmış ve bu alanda çalışan akademisyenlerimiz teşvik edilerek akademik personelimizin tüm faaliyetleri desteklenmiştir. Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, gün geçtikçe enerji kaynaklarını daha verimli kullanarak, daha tasarruflu uygulamaları kampüs hayatına entegre etmeye devam edecektir.*

*Elinizdeki bu kitap, 2022 yılı içerisinde ve sonrasında yapılması planlanan çalışmalarını uluslararası alanda incelemektedir. Üniversitemizin enerji verimli bir kampüs olma yolunda bilgiler sunan bu çalışma ile; gelecek nesillere sağlıklı bir çevre ve sürdürülebilir bir yaşam alanı bırakma konusunda Sivas Cumhuriyet Üniversitesi adına önemli bir adım daha atılmış olmaktadır.*

*Sürdürülebilirlik için toplumun her bireyinin farklı sorumlulukları vardır. Bu sorumluluklar dâhilinde Üniversitemiz öğrenci ve çalışanlarının bilgilendirilmesi ve camiamızın yeni uygulamalara adapte olabilmesi için çalışmalar yapmaya devam edeceğiz. Herkes için erişilebilir, akıllı, yeni teknolojilere adapte olabilen, kendini yenileyebilen, tasarruflu ve ülkesine faydalı bir yeşil yerleşke haline gelebilmek için hep birlikte çalışmalı, hedeflerimiz doğrultusunda gelişmeye emin adımlarla devam etmeliyiz.*

**Prof. Dr. Alim YILDIZ**

*Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Rektörü*

## FOREWORD

*Concepts such as "sustainability, energy, and renewability" have become more important than ever for human beings who seek to adapt to ever-changing living conditions.*

*Since the first day I took office in 2016 at Sivas Cumhuriyet University, which was founded on February 9, 1974, in our city, various projects on energy efficiency have been initiated, and numerous practices have been introduced so that our university campus may reach the ideal of a "Green Campus." As such, faculty here at Sivas have been encouraged and supported to conduct research in energy efficiency. Sivas Cumhuriyet University will continue to introduce more efficient practices into campus life for increasing energy efficiency.*

*This book in your hands reviews the work that is planned to be carried out in and after 2022 at an international publishing house level. It is an important step for the realization of Sivas Cumhuriyet University's vision of leaving a greener and more sustainable environment for future generations.*

*Each member of our society has different responsibilities for sustainability. In line with these responsibilities, we continue to work to raise the awareness of our students and staff about energy efficiency and to help our community adapt to new practices. In order to become a greener campus, one that is smart, economical, adaptable to new technologies, accessible to everyone, and beneficial to the country, we must work together and take firm steps towards these goals.*

***Prof. Dr. Alim YILDIZ***

*Rector*

*Sivas Cumhuriyet University*

# CONTENTS

## *Chapter 1*

*AGRICULTURAL BIOGAS PRODUCTION, CLIMATE AND ENVIRONMENTAL IMPACTS*

*Arman JALALI*

## *Chapter 2*

*BEHAVIOR-BASED APPROACHES TO ENERGY POLICY*

*Bariş SANLI*

## *Chapter 3*

*ENERGY AGRICULTURE AND BIOMASS ENERGY APPLICATION RESEARCH*

*Nevcihan GÜRSOY*

## *Chapter 4*

*CLEAN ENERGY GENERATION WITH OSMOTIC POWER*

*Berk KÖKER, Meltem SARIOĞLU CEBECİ, Zinnur YILMAZ, Sefa Furkan SELÇUK*

## *Chapter 5*

*RECENT INTERNATIONAL ENERGY RESEARCH EFFECTS ON MULTIDISCIPLINARY SCIENCES*

*Derya Betül ÜNSAL*

## *Chapter 6*

*ENERGY EFFICIENCY AND NATIONAL POLICIES*

*Emrah Berat BİRSEN*

## *Chapter 7*

*SUSTAINABILITY STRUCTURES FOR ENERGY EFFICIENT APPLICATIONS*

*Mehmet Akif ÇELİMLİ, Murat ORAL*

*Chapter 8*

**WASTE TO ENERGY: ANAEROBIC PROCESS AND DIGESTATE MANAGEMENT**

**Meltem SARIOĞLU CEBECİ**

*Chapter 9*

**YÜKSEK EĞİTİM KURUMLARINDA YEŞİL BİLGİ TEKNOLOJİLERİ (GREEN IT)  
UYGULAMALARI**

**Ayhan ÖZDEMİR**

*Chapter 10*

**DETERMINATION OF THE CARBON FOOTPRINT ARISING FROM THERMAL PLANTS  
USING COAL IN TURKEY**

**Ünzile AYDIN, Fuat ÖZYONAR**

*Chapter 11*

**AKILLI ŞEBEKELERDE İLETİŞİM TEKNOLOJİLERİ UYGULAMALARI**

**Zeynep CERAN ÇAMAYAZ**

*Chapter 12*

**FARKLI KAPLAMA MALZEMELERİNİN EGZOZ MANİFOLDU ÜZERİNDE OLUŞAN  
SICAKLIK DAĞILIMINA ETKİSİ**

**Bahadır Erman YÜCE, Serkan ÖZEL**

*Chapter 13*

**PAMUKLU TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIK SUYUNUN KOAGÜLASYON- FLOKÜLASYON İLE  
ÖN ARITIMI VE MEMBRAN PROSES İLE İLERİ ARITIMININ İNCELENMESİ**

**Tayyar TORUN, Meltem SARIOĞLU CEBECİ**

*Chapter 14*

**MİKRO-TÜP KATI OKSİT YAKIT PİLİ**

**Yunus SAYAN**

*Chapter 15*

***ENERGY EFFICIENCY WITH REGENERATIVE ENERGY UTILIZATION METHOD IN RAIL SYSTEM VEHICLES***

*Yağmur ARIKAN YILDIZ*

*Chapter 16*

***TEMPORAL VARIATION ANALYSIS OF PRIMARY ENERGY CONSUMPTION***

*Sefa Furkan SELÇUK, Zinnur YILMAZ, Berk KÖKER, Meltem SARIOĞLU CEBECİ\**

*Chapter 17*

***CURRENT STATUS AND FUTURE TRENDS OF CABLE LOCATORS FOR UNDERGROUND POWER LINES***

*İrem ŞİMŞEK\*, Ahmet UYAROĞLU, Tayfun TURAL, Eren DİLER, Yunis TORUN, Burak SEÇKİN, Bünyamin ÇAM*

*Chapter 18*

***INVESTIGATING ELECTRIC VEHICLE INTEGRATION WITH SMART MICRO GRID APPLICATION***

*Derya Betül UNSAL*



# AGRICULTURAL BIOGAS PRODUCTION – CLIMATE AND ENVIRONMENTAL IMPACTS

Arman Jalali<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Biosystem Engineering Department, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

## ***Abstract***

*Biogas systems are appropriate in remote areas that lack commercial energy sources – such as an electricity or natural gas utility providers. They can also be wonderful supplemental energy sources, limiting the amount of commercial electricity consumed. They are most effective in areas where people depend on traditional energy – such as firewood, kerosene, paraffin, or dried animal waste – for their cooking and heating needs. Biogas systems are well suited for areas with large quantities of organic waste, such as communities with livelihoods centred around farming and raising livestock. Biogas systems are also appropriate in urban and semi-urban areas to generate energy from municipal solid waste (i.e. sewage).*

## **1. INTRODUCTION**

Energy is a fundamental requirement for human's comfort and basic needs of everyday life. A vast majority of countries especially developing countries have energy crises with over reliance on fossil fuels [1, 2]. The national energy drivers of all countries globally are energy security, environmental protection, and economic growth. It is predicted that fossil fuel sources like coal, gas, and oil are headed for depletion within the next 10 decades, hence the need for alternative sources of energy [3]. Additionally, international treaties like Agenda 21 and Kyoto Protocol advocate for a transition to renewable and low carbon sources of energy due to high greenhouse gas emissions associated with fossil fuels and the related climate change caused [4, 5]. Biogas has proved to have significant potential as a renewable energy source for industrial as well as domestic applications and an efficient solution to the global energy crisis [6, 7]. The increasing use of fossil fuels and environmental concerns over greenhouse gas emissions and climate change

has generated interest in biogas as an alternative renewable energy resource [8]. Increasing environmental and policy concerns and measures have generated increasing interest in the use of biomass resources as renewable feedstock for electricity generation, fuel production, chemical processing, and hydrogen production [9]. This has been further compounded by depletion of fossil reserves, growing organic waste production, and global warming threats have combined to increase interest in anaerobic digestion and biogas fuel resources [10]. The main application for biogas is electricity generation, thermal applications like cooking, heating, and lighting, and production of biofuels. Over 7000 MW of electric power is generated from biogas annually [11].

Agriculture is the main economic activity for over two-thirds of the world population besides supplying food to the entire mankind [12]. Additionally, smallholder agriculture and associated sectors constitute the main economic activities for many developing countries, accounting for about 82% of the world's population directly or indirectly [12]. Access to modern energy services is a challenge for most developing countries, for example, in India alone, about 836 million people had no access to modern energy in 2012 [13]. Development and adoption of technologies that conserve resources and income in agriculture are the most valuable tools and strategies for sustainability in food and energy production [12]. Coal, oil, and gas which are fossil fuels contribute about 60% to global electricity, although renewable sources increased their share from 26% to 28% in the first quarter of the year 2020, with variable renewables growing from 8% to 9% over the same period [14]. The average annual growth of renewable energy contribution to global electricity production has been growing at 2% compared to the average growth in electricity demand of 1.8% beginning the year 1990. Of this growth in renewable source generation, biogas is registered the third-fastest annual growth in global capacity at 11.5% behind solar PV with 36.5% followed by wind at 23.0%. As an indicator of the important role of biomass in global electricity generation, biofuels have grown at an average annual rate of 9.7% since 1990 [15]. This shows the important role that biogas can play in the energy transition and hence the need to promote its production and consumption.

Biogas, biomass, and biofuel are all renewable energy sources existing in different phases of the transformation. Biogas can be made from different biomass like poultry droppings, agricultural crop wastes, and cattle manure by controlled anaerobic degradation. Produced biogas can be processed further and concentrated to produce biomethane which can be injected into natural gas pipelines [16]. Biogas which is a byproduct of microbial metabolism can be used in its

raw form for heat and power generation or can be upgraded to biomethane and for production of value-added chemicals for energy and industrial process application [8]. The use of biogas can reduce greenhouse gas emissions as it has huge potential for use as a renewable resource [17–19]. As an example, 0.29% of total energy consumption in Switzerland for the year 2014 was in the form of biogas and it accounted for close to 8% of the total renewable energy production without accounting for hydropower [20]. Biogas can be used to reduce dependence on solid biomass like firewood as cooking fuel. Biogas has the potential to provide clean cooking fuel for about 200 million people by the year 2040, particularly in Africa and Asia. This implies that biogas has a significant role in the realization of the social development goals (SDGs). With upgrade, biogas produces biomethane as a superior fuel to unprocessed biogas [21]. This positions biogas as a reliable energy resource in the energy transition to green and low carbon energy and electricity mix [18, 19, 22, 23].

Biogas is produced by anaerobic digestion (AD) process whose benefits include production of a renewable energy resource while the process can lead to treatment of feedstock during the treatment and also produce digestate which is a useful organic fertilizer that can substitute chemical fertilizers in sustainable agriculture [18, 24]. Biogas has a significant role to play in the global energy transition because of the need to transform the global electricity systems from fossil fuel-based generation to low carbon and renewable energy-based power generation. With huge biomass to biogas conversion potential and many feasible biogas to electricity conversion technologies, biogas will play an extremely important role in the energy transition as a renewable energy fuel resource and feedstock for industrial production of chemical fuels and renewable products [25–29]. Microbially controlled generation of biogas is a significant part of the global carbon cycle where we have a natural anaerobic biodegradation estimated to generate 590–800 million tons of methane into the global atmosphere [30].

Biomass with significant energy potential is produced in increasing quantities by the society globally [22, 26, 31]. Various organic feedstocks can be used to produce biogas through anaerobic digestion which can be processed through enrichment to produce natural gas like biomethane. Biomass waste conversion to biogas provides a sustainable pathway for a more circular economy with benefits like reduced carbon emissions, better and useful organic waste management, and greater resource use efficiency [26, 32]. There are various options for conversion of biogas to electricity, but economic studies favor internal combustion engines and Stirling

engines as the most economical, especially in small-scale power production. Internal combustion engines generate low cost of power per kWh, are available in various sizes, and are more efficient and flexible while operation and maintenance are easier. Gas turbines are preferred for slightly bigger sizes of 3 to 5 MW and more. Microturbines can be connected in series, and hence, as many units as possible can be connected while the fuel quality requirements are not quite as stringent as internal combustion engines [33, 34]. Higher total capital investment costs face both the steam turbine and the gas turbine power systems for biogas to electricity conversion [35–39].

## **2. WHAT IS A BIOGAS SYSTEM?**

Biogas systems rely on the natural interaction between microorganisms and organic wastes – such as manure, sewage, agricultural by-products, and discarded food – to produce a clean and energy-efficient burnable gas. The gas is distributed through a network of pipes and is used for cooking and heating. This is done in the same way that many of us use natural gas from our local utility provider. With the simple strike of a match and turn of a knob, a family has a safe gas stove courtesy of their friendly neighbourhood microorganisms.

The key difference between natural gas and biogas is that biogas is a renewable source. This means that the system can continue running as long as there is organic waste being added. In comparison, natural gas comes from gas deposits underground, and once used, is gone. Another important difference is that biogas also produces a secondary benefit that natural gas cannot: the creation of free, methane-rich fertiliser as a natural by-product. This can either be sold to make an income or used on farm land to improve crop yields.

Finally, biogas systems can save lives and improve the overall health of households. Because of its efficiency, biogas puts off minimal emissions. This means there is no indoor air pollution or smoke. In comparison, other popular cooking and heating sources in rural communities such as firewood, kerosene, paraffin, and dried animal waste can produce extremely harmful emissions. These emissions, in addition to contributing to climate change, can ultimately lead to serious health complications and premature deaths within families.

### 3. WHERE IS A BIOGAS SYSTEM APPROPRIATE?

Assuming we can overcome the problem of biofuels interrupting the food supply (such as growing algae in the ocean), can we overcome the problem of biofuels contributing to global warming? The answer, surprisingly, may be yes.

It is true that biofuels produce carbon dioxide, which is a potent greenhouse gas and the one most often blamed for global warming. However, it is also true that growing plants consumes carbon dioxide. Thus, the equation becomes a simple balancing act. If the plants we grow utilize the same amount of carbon dioxide that we produce, then we will have a net increase of zero and no global warming. How realistic is this view?

It may seem like a simple matter to only produce as much carbon dioxide as plants use. After all, couldn't we only burn biofuels and thus keep the equation balanced? Well, the math actually doesn't quite add up. Research has shown that energy must be invested into producing crops and converting them into biofuels before any energy is obtained. A 2005 study from Cornell University found that producing ethanol from corn used almost 30% more energy than it produced. In other words, you can't produce a perpetual motion machine using biofuels because you lose the energy you invest in creating them in the first place. In fact, you can't even break even.

The other problem that we run into with biofuels is that carbon dioxide is not the only greenhouse gas we have to worry about. Other chemicals, like nitrous oxide, are also greenhouse gases and growing plants using fertilizer produces a lot of nitrous oxide. Basically, fertilizer contains nitrogen, which plants need to grow. However, most plants cannot convert molecular nitrogen into the elemental nitrogen they need. For this process, plants rely on bacteria. As it turns out, bacteria not only produce nitrogen that plants can use, they also produce nitrogen products like nitrous oxide, and probably more than was previously thought. The net result is that we may be balancing the CO<sub>2</sub> equation by using biofuels, but we are unbalancing the N<sub>2</sub>O part of the equation and still causing global warming.

The 2008 edition of FAO's annual flagship publication *State of Food and Agriculture* focuses on prospects, risks and opportunities from biofuels. It raises issues of important interest to forestry – notably questioning the usual assumption that replacement of fossil fuels with fuels generated from biomass will necessarily reduce greenhouse gas emissions.

Greenhouse gases are emitted at many stages in the production of bioenergy crops and biofuels (including in production of agricultural inputs, fertilizer application, chemical processing and transport of biofuels). Moreover, they are emitted by land-use changes directly or indirectly triggered by increased biofuel production, for example when carbon stored in forest or grasslands is released during conversion to crop production. While maize produced for ethanol can generate greenhouse gas savings of about 1.8 tonnes of carbon dioxide per hectare per year, the conversion of forest land to produce these crops can release 600 to 1 000 tonnes per hectare.

One study estimated that the conversion of tropical moist forest, peatland, savannah or grassland to produce ethanol and biodiesel in Brazil, Indonesia, Malaysia or the United States of America releases at least 17 times as much carbon dioxide as those biofuels save annually by replacing fossil fuels.

Another study concluded that in comparison with carbon emissions avoided by growing sugar cane, maize, wheat, sugar beet and rapeseed for ethanol and biodiesel on existing cropland, more carbon would be sequestered over a 30-year period by converting the cropland to forest.

*State of Food and Agriculture 2008* notes that while biofuels are an important option for reducing greenhouse gas emissions, in many cases improving energy efficiency and conservation, increasing carbon sequestration through reforestation or changes in agricultural practices, or using other forms of renewable energy can be more cost-effective.

The recent FAO publication *Forests and energy: key issues*, reviewed on [p. 56](#) of this issue, provides additional perspectives on the complex relations among biofuels, agriculture, forests and climate change.

LUC is an important source of GHG emissions that contributed  $660\pm 290$  Gt CO<sub>2</sub> to the atmospheric CO<sub>2</sub> in the period from 1750 and 2011. The majority of LUC is driven by demand for food, fibre and fuel. Converting natural vegetation or forest to cultivate biofuel feedstocks releases a significant amount of carbon from soil and plant biomass, creating a 'carbon debt' that can take years to repay. Furthermore, cultivation of biofuel feedstocks on land that has high soil carbon content, such as peat land, leads to a considerable increase in GHG emissions. Besides increasing GHG emissions, changes in land use can have other environmental consequences, such as soil erosion, nutrient depletion, water consumption and loss of biodiversity. LUC related to biofuels can occur in two ways: direct (DLUC) or indirect (ILUC). DLUC refers to the direct transformation of previously uncultivated areas (such as grasslands and forests) into croplands for

biofuel feedstock production. ILUC occurs when additional demand for biofuel feedstock induces displacement of food and feed crop production to new land areas previously not used for cultivation. Only 25% of the reviewed LCA studies took LUC into account.

An increasing global demand for biofuels highlighted the potential for the competition for land between cropland and natural ecosystems. Early LCA studies on biofuels, which excluded LUC, concluded that first-generation biofuels, such as corn ethanol, had lower GWP than petrol. However, when attempts were made to account for the LUC effects of the expansion of first-generation biofuels, these findings came under question. Since then, several other studies have cast doubt on the ability of first-generation biofuels to meet mandatory GHG savings targets if LUC is involved.

From an LCA perspective, DLUC is relatively straightforward and easy to include in the assessment, although the uncertainty remains high. However, estimating ILUC related to biofuels remains difficult, complex and highly uncertain. The latter is exemplified by that fact that estimates of GHG emissions from ILUC range widely, from very small to very large.

For instance, a study on the ILUC associated with US corn ethanol found that the ILUC emissions varied from 10 to 340 g CO<sub>2</sub> eq.MJ<sup>-1</sup>. For these reasons, the effects of ILUC and how to account for them in assessing the sustainability of biofuels are key areas requiring further research and consensus building. Part of the challenge is constructing and analysing credible counterfactual scenarios. Another challenge is the economic (equilibrium) models used for consequential modelling and the assumed yield-price elasticities for crops. ILUC models make various assumption to estimate how much indirect change might be induced up to 20 years into the future under prescribed scenarios. Therefore, such estimates would only apply for the assumed conditions and must be interpreted with caution. The lack of transparency in ILUC models, many of which are proprietary, is also problematic.

Land use changes are perhaps the hardest to quantify in terms of impact on the environment. It was originally thought that because of biofuels absorb carbon dioxide as they grow, the carbon dioxide that they release when burned would be offset. This became known as “carbon neutral” fuel production. Unfortunately, these original estimates neglected to consider the impact that deforestation and changes to natural environments would have. Deeper study of the issue can result in what is called a “carbon debt.”

The carbon debt occurs when carbon dioxide is released in the preparation of land for the growth of biofuels. The level of debt acquired depends on the land itself. For instance, converting abandoned agricultural land requires fewer resources and amasses a very small carbon debt. In this case, the reduction in carbon emissions from using biofuels, provided the feedstock has a low requirement for water and energy input, will easily offset the carbon debt in a short period of time. Alternatively, converting native forest or other wild land for growing biofuels can we do a carbon debt as large as 500 years. In other words, the advantages of using biofuels won't offset the carbon death for five centuries.

The GHG emissions for first-generation biodiesel also show a large variation across the LCA studies, with the GWP ranging between 3 and 111 g CO<sub>2</sub> eq.MJ<sup>-1</sup> (electronic supplementary material, figure S2). However, as shown in figure 2, the average GWP of biodiesel from all the feedstocks considered is lower than that of fossil diesel. Nevertheless, only biodiesel from palm oil meets the RED requirement for 60% reduction of the GWP relative to diesel (average value). Rapeseed and soya bean also come close to fulfilling this requirement, but sunflower biodiesel cannot meet even the 35% reduction.

GWP without land-use change. As can be observed in figure 2, the GWP of first-generation bioethanol from different food crops vary considerably, ranging from 3 to 162 g CO<sub>2</sub> eq.MJ<sup>-1</sup> (see electronic supplementary material, figure S2). Figure 2 also shows that the average GWP of bioethanol is lower than that of petrol for all the feedstocks (23–59 versus 94 g CO<sub>2</sub> eq.MJ<sup>-1</sup>). However, only bioethanol from sugarcane can meet the RED requirement of 60% reduction in GHG emissions relative to petrol. The average reductions in emissions from the other four feedstocks—corn, wheat, molasses and sugar beet—are not sufficient to meet this requirement.

The main reasons that bioethanol from sugarcane can meet the 60% reduction requirement a relatively lower inputs of agro-chemicals and higher yields of sugarcane crops as well as the credits for electricity produced as a co-product in a biorefinery.

Biofuel production can affect wild and agricultural biodiversity in some positive ways, such as through the restoration of degraded lands, but many of its impacts will be negative, for example when natural landscapes are converted into energy-crop plantations or peat lands are drained (CBD, 2008). In general, wild biodiversity is threatened by loss of habitat when the area under crop production is expanded, whereas agricultural biodiversity is vulnerable in the case of



large-scale monocropping, which is based on a narrow pool of genetic material and can also lead to reduced use of traditional varieties.

The first pathway for biodiversity loss is habitat loss following land conversion for crop production, for example from forest or grassland. As the CBD (2008) notes, many current biofuel crops are well suited for tropical areas. This increases the economic incentives in countries with biofuel production potential to convert natural ecosystems into feedstock plantations (e.g. oil palm), causing a loss of wild biodiversity in these areas. While oil palm plantations do not need much fertilizer or pesticide, even on poor soils, their expansion can lead to loss of rainforests. Although loss of natural habitats through land conversion for biofuel feedstock production has been reported in some countries (Curran et al., 2004; Soyka, Palmer and Engel, 2007), the data and analysis needed to assess its extent and consequences are still lacking. Nelson and Robertson (2008) examined how rising commodity prices caused by increased biofuel demand could induce land-use change and intensification in Brazil, and found that agricultural expansion driven by higher prices could endanger areas rich in bird species diversity.

The second major pathway is loss of agrobiodiversity, induced by intensification on croplands, in the form of crop genetic uniformity. Most biofuel feedstock plantations are based on a single species. There are also concerns about low levels of genetic diversity in grasses used as feedstocks, such as sugar cane (The Royal Society, 2008), which increases the susceptibility of these crops to new pests and diseases. Conversely, the reverse is true for a crop such as jatropha, which possesses an extremely high degree of genetic diversity, most of which is unimproved, resulting in a broad range of genetic characteristics that undermine its commercial value (IFAD/FAO/ UNF, 2008 International consultation on pro-poor Jatropha development - consultation papers available at [www.ifad.org/events/jatropha](http://www.ifad.org/events/jatropha) ).

With respect to second-generation feedstocks, some of the promoted species are classified as invasive species, raising new concerns over how to manage them and avoid unintended consequences. Moreover, many of the enzymes needed for their conversion are genetically modified to increase their efficiency and would need to be carefully managed within closed industrial production processes (CFC, 2007).

Positive effects on biodiversity have been noted in degraded or marginal areas where new perennial mixed species have been introduced to restore ecosystem functioning and increase biodiversity (CBD, 2008). Experimental data from test plots on degraded and abandoned soils

show that low-input high-diversity mixtures of native grassland perennials – which offer a range of ecosystem services, including wildlife habitat, water filtration and carbon sequestration – also produce higher net energy gains (measured as energy released on combustion), greater greenhouse gas emission reductions and less agrichemical pollution than do maize-ethanol or soybean-biodiesel and that performance increases with the number of species. The authors of this study also found that switchgrass can be highly productive on fertile soils, especially when fertilizer and pesticides are applied, but that its performance on poor soils does not match that of diverse native perennials.

This is the area in which the most care must be taken in how biofuels are produced. If biofuels are produced in the “correct” way, they can greatly reduce GHG emissions. If produced incorrectly, they can increase emissions. Here is how.

First, plants use carbon dioxide, the major GHG of concern, to grow and produce food. So, plants are able to reduce the amount of carbon dioxide in the atmosphere and thus decrease global warming. Biofuels, when grown from plants, can thus offset their CO<sub>2</sub> admissions because they take up the gas during growth that is produced when the fuel is burned. The idea is that if there is a one-to-one relationship, then the gas produced is the same as the gas taken in and there is no net impact on global warming. The problem is that achieving the one-to-one ratio may be impossible.

For starters, energy has to be invested into growing the crop itself. This energy comes in the form of planting seeds, tilling and preparing the ground, and importing water and nutrients. As it turns out, you cannot get something for nothing and so many crops require more energy input than they give out in the end. In other words, if you take into account the GHG emissions that occur just to grow the crop and add that to the GHG emissions from burning the crop, there is more CO<sub>2</sub> produced than taken up and global warming worsens. As of yet, there is no good solution to this problem. Many companies are looking to invest energy in the form of sunlight so that there is no GHG emitted during the production phase. There is still a net energy INPUT, but not GHG is produced. This seems to be most feasible with algae.

The other problem to consider is land use. If land is cleared to grow a biofuel, then the plant life that existed there is eliminated. This problem is considered in more detail in the article on biofuel drawbacks, but the main point is that carbon is produced to clear that land and the benefits of the plants on the land are lost. By some estimates and depending on the type of plant

life removed, the impact could be a carbon debt that can take as long as 500 years to pay back. Again, the solution to this problem may be algae.

If the above technical impediments can be overcome, then the net impact of biofuels on the environment can be limited. In such a scenario, the GHG emissions and impact on global warming will be far lower with biofuels than with fossil fuels. The feasibility of achieving this advantage remains to be seen.

This probably goes without saying and won't be belabored here, but burning biofuels, which are mostly hydrogen and carbon, produces carbon dioxide, which contributes to global warming. So, even though biofuels may be able to help ease our energy needs, they won't solve all of our problems.

Now, it may be true that biofuels produce LESS GHG emissions than fossil fuels, but that can only serve to slow global warming and not to stop or reverse it. Thus, biofuels can only be substitutes for the short term as we invest in other technologies. The key to implementing them is to mitigate environmental impact by being mindful of the drawbacks discussed in this article.

The other important aspect of growing biofuels that must be kept in mind when calculating net environmental benefit, is the amount of energy that must be put into a given crop before energy can be derived from it. As it turns out, the majority of feedstock currently being considered for use in the production of biofuels requires that more energy be put in to production than can ever be derived. In other words, if the economy ran entirely on biofuels, we would slowly but surely run out of energy as the investment in feedstock would be greater than the energy that can be derived from harvesting it.

The problem lies in the fact that even biofuel feedstock require water, fertilizer, pesticides, and land preparation. Crops like corn and soybean require for more energy input as a result of these needs than could ever be derived from them. The only current alternative that appears viable is algae. The reason algae may work is that it can be grown in relatively high density with low needs for fertilizer and pesticide and with most of the energy input been derived from the sun. Of course, the potential for algae is theoretical. Current experimentation has shown that algae still requires more energy input and can be derived from harvesting it. The theoretical potential for algae lies in the assumption that genetic engineering will be able to overcome the limitations that algae currently demonstrate.

To assess the net effect on greenhouse gas emissions of replacing fossil fuels by biofuels, we need to analyze emissions throughout the whole process of producing, transporting and using the fuel. Life-Cycle Analysis is the main tool used to do this. It compares a specific biofuel system with a reference system – in most cases petrol. Greenhouse gas balances differ widely depending on the type of crop, on the location, and on how feedstock production and fuel processing are carried out. Biofuels from some sources can even generate more greenhouse gas emissions than fossil fuels.

A significant factor contributing to greenhouse gas emissions is the amount of fossil energy used for feedstock production and transport, including for fertilizer and pesticide manufacture, for cultivation and harvesting of the crops, and or in the biofuel production plant itself. Emissions of nitrous oxide are another important factor. It is released when nitrogen fertilizers are used and its greenhouse gas effect is about 300 times stronger than that of carbon dioxide. By-products from biofuel production such as proteins for animal feed make a positive contribution to climate change mitigation because they save energy and greenhouse gas emissions that would otherwise have been needed to produce the feed by other means. Most studies have found that producing first generation biofuels usually yields reductions in greenhouse gas emissions of 20 to 60% when fossil fuels are replaced provided the most efficient systems are used and carbon dioxide emissions from changes in land-use are excluded.

However, changes in land use can have dramatic effects on greenhouse gas emissions. When forest or grassland is converted to farmland to produce feedstocks, or to produce crops that have been displaced by feedstock production, carbon stored in the soil is released into the atmosphere. The effects can be so great that they negate the benefits of biofuels. Repaying this ‘carbon debt’ could take decades or even hundreds of years. In some cases it would be more cost-effective to strive for greater fuel efficiency and carbon sequestration through reforestation and forest conservation.

#### **4. CONCLUSION**

Renewable energy is crucial for being able to reduce the amount of CO<sub>2</sub> we are pumping into the atmosphere and oceans to be able to mitigate dangerous levels of climate change. Climate change mitigation is a huge concern for governments around the world and with an ever increasing

energy demand, especially in newly industrialized countries, we need to look for different ways of producing energy that is sustainable for future generations.

## References

- [1] M. Mohammad, W. W. Mohamad Ishak, S. I. Mustapa, and B. V. Ayodele, “Natural gas as a key alternative energy source in sustainable renewable energy transition: a mini review,” *Frontiers in Energy Research*, vol. 9, 2021.
- [2] C. Gürsan and V. de Gooyert, “The systemic impact of a transition fuel: Does natural gas help or hinder the energy transition?” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 138, p. 110552, 2021.
- [3] A. Azam, M. Rafiq, M. Shafique, and J. Yuan, “Renewable electricity generation and economic growth nexus in developing countries: An ARDL approach,” *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, vol. 34, no. 1, pp. 2423–2446, 2021.
- [4] S. Sahota, G. Shah, P. Ghosh et al., “Review of trends in biogas upgradation technologies and future perspectives,” *Bioresource Technology Reports*, vol. 1, pp. 79–88, 2018.
- [5] V. Moreau and F. Vuille, “Decoupling energy use and economic growth: Counter evidence from structural effects and embodied energy in trade,” *Applied Energy*, vol. 215, pp. 54–62, 2022.
- [6] R. Kumar, R. Jilte, and M. H. Ahmadi, “Electricity alternative for e-rickshaws: an approach towards green city,” *International Journal of Intelligent Enterprise (IJIE)*, vol. 5, no. 4, pp. 333–344, 2018.
- [7] S. Achinas, V. Achinas, and G. J. W. Euverink, “A technological overview of biogas production from biowaste,” *Engineering*, vol. 3, no. 3, pp. 299–307, 2017.
- [8] G. Pasternak, “Chapter 9- Electrochemical approach for biogas upgrading,” *Emerging Technologies and Biological Systems for Biogas Upgrading*, Academic Press, pp. 223–254, 2021.
- [9] D. J. Stevens, *Hot gas conditioning: recent progress with larger-scale biomass gasification systems*, National Renewable Energy Lab. (NREL), USA, 2001, <https://www.osti.gov/biblio/786288-hot-gas-conditioning-recent-progress-larger-scale-biomass-gasification-systems-update-summary-recent-progress>.
- [10] R. F. T. Tagne, X. Dong, S. G. Anagho, S. Kaiser, and S. Ulgiati, “Technologies, challenges and perspectives of biogas production within an agricultural context. The case of China and Africa,” *Environment, Development and Sustainability*, vol. 23, no. 10, pp. 14799–14826, 2021, 10.1007/s10668-021-01272-9.
- [11] Ł. Topolewski, “Relationship between Energy Consumption and Economic Growth in European Countries: Evidence from Dynamic Panel Data Analysis,” *Energies*, vol. 14, no. 12, p. 3565, 2021.
- [12] S. Sarkar, M. Skalicky, A. Hossain et al., “Management of crop residues for improving input use efficiency and agricultural sustainability,” *Sustainability*, vol. 12, no. 23, pp. 9808–9824, 2020.
- [13] M. J. B. Kabeyi and A. O. Oludolapo, “Characteristics and applications of geothermal wellhead powerplants in electricity generation,” in *31ST Annual Southern*

- African Institution for Industrial Engineering Conference*, vol. 4422 of *Virtual Event*, South Africa, October 2020.
- [14] International Energy agency, *Renewables information: overview*, International Energy agency, 2020, 2020, <https://www.iea.org/reports/renewables-information-overview>.
- [15] International Energy agency, *Global energy review 2020*, International Energy Agency, 2020.
- [16] S. Abanades, “A critical review of biogas production and usage with legislations framework across the globe,” *International Journal of Environmental Science and Technology*, vol. 19, no. 4, pp. 3377–3400, 2022.
- [17] S. T. Chen, H. I. Kuo, and C. C. Chen, “The relationship between GDP and electricity consumption in 10 Asian countries,” *Energy Policy*, vol. 35, no. 4, pp. 2611–2621, 2007.
- [18] M. J. B. Kabeyi and A. O. Oludolapo, “Optimization of biogas production for optimal abattoir waste treatment with bio-methanation as solution to Nairobi slaughterhouses waste disposal,” in *2nd African International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, Harare, Zimbabwe, 2020,.
- [19] M. J. B. Kabeyi and A. O. Oludolapo, “Development of a biogas plant with electricity generation, heating and fertilizer recovery systems,” in *2nd African International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, IEOM Society International*, Harare, Zimbabwe, 2020, <http://ieomsociety.org/harare2020/papers/82.pdf>.
- [20] C. Holliger, H. Fruteau de Laelos, and G. Hack, “Methane production of full-scale anaerobic digestion plants calculated from substrate’s biomethane potentials compares well with the one measured on-site,” *Frontiers in Energy Research, Original Research*, vol. 5, no. 12, 2017.
- [21] International Energy Agency, *Outlook for biogas and biomethane: prospects for organic growth*, International Energy Agency, Paris, 2020, <https://www.iea.org/reports/outlook-for-biogas-and-biomethane-prospects-for-organic-growth/an-introduction-to-biogas-and-biomethane>.
- [22] M. J. B. Kabeyi and A. O. Oludolapo, “The potential of power generation from municipal solid waste,” in *2nd African International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, Harare, Zimbabwe, 2020, <http://ieomsociety.org/harare2020/papers/81.pdf>.
- [23] M. Tabatabaei, K. Karimi, R. Kumar, and I. S. Horváth, “Renewable energy and alternative fuel technologies,” *BioMed Research International*, vol. 2015, Article ID 245935, pp. 1-2, 2015.
- [24] M. Lebuhn, B. Munk, and M. Effenberger, “Agricultural biogas production in Germany - from practice to microbiology basics,” *Energy, Sustainability and Society*, vol. 4, no. 1, p. 10, 2014.
- [25] P. G. Machado, A. C. R. Teixeira, F. M. A. Collaço, and D. Mouette, “Review of life cycle greenhouse gases, air pollutant emissions and costs of road medium and heavy-duty trucks,” *WIREs Energy and Environment*, vol. 10, no. 4, 2021.
- [26] M. A. Mydeen, M. Venkateshwaran, S. S. S. Velan, C. A. Vigneshwari, and V. Kirubakaran, “Self - Circulating Biogas Generation for Swine Waste,” *Procedia Environmental Sciences*, vol. 35, pp. 795–800, 2016.

- [27] A. Waş, P. Sulewski, V. Krupin et al., “The potential of agricultural biogas production in Ukraine—impact on GHG emissions and energy production,” *Energies*, vol. 13, no. 21, p. 5755, 2020.
- [28] M. J. B. Kabeyi and O. A. Olanrewaju, “Geothermal wellhead technology power plants in grid electricity generation: a review,” *Energy Strategy Reviews*, vol. 39, article 100735, 2022.
- [29] G. Liu and J. Bao, “Evaluation of electricity generation from lignin residue and biogas in cellulosic ethanol production,” *Bioresour Technology*, vol. 243, no. 8, pp. 1232–1236, 2017.
- [30] P. C. Joale, P. F. Ricardo, and T. G. I. Medina, “Sizing of electric power generation systems from biogas through the generator staggering methodology,” *SN Applied Sciences*, vol. 2, no. 2, p. 215, 2011.
- [31] K. Yadavi and A. Sircar, “Fundamentals and developments of compressed biogas in city gas distribution network in India: A review”.
- [32] A. Akbulut, O. Arslan, H. Arat, and O. Erbas, “Important aspects for the planning of biogas energy plants: Malatya case study,” *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 26, p. 101076, 2021.
- [33] A. Barragán-Escandón, J. M. Olmedo Ruiz, J. D. Curillo Tigre, and E. F. Zalamea-León, “Assessment of power generation using biogas from landfills in an equatorial tropical context,” *Sustainability*, vol. 12, no. 7, p. 2669, 2020.
- [34] F. Scholwin and M. Nelles, “Biogas for electricity generationgeneration, hi-tech applications biogas hi-tech applications,” *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology*, NY: Springer New York, New York, pp. 1089–1097, 2012.
- [35] G. U. Megwai and T. Richards, “A techno-economic analysis of biomass power systems using Aspen Plus,” *International Journal of Power and Renewable Energy Systems (IJPRES)*, vol. 3, no. 2, pp. 25–36, 2016.
- [36] M. J. B. Kabeyi, “Corporate governance in manufacturing and management with analysis of governance failures at Enron and Volkswagen Corporations,” *American Journal of Operations Management and Information Systems*, vol. 4, no. 4, pp. 109–123, 2020.
- [37] E. Abokyi, P. A. Konadu, I. Sikayena, and E. F. O. Abayie, “Consumption of Electricity and Industrial Growth in the Case of Ghana,” *Journal of Energy*, vol. 2018, Article ID 8924835, pp. 1–11, 2018.
- [38] T. Karuppiah and V. E. Azariah, “Biomass Pretreatment for Enhancement of Biogas Production,” *Anaerobic Digestion*, IntechOpen, 2019.
- [39] M. J. B. Kabeyi, “Ethical and unethical leadership issues, cases, and dilemmas with case studies,” *International Journal of Applied Research*, vol. 4, no. 7, pp. 373–379, 2018.

# BEHAVIOR-BASED APPROACHES TO ENERGY POLICY

**Bariş SANLI<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Bilkent University Energy Policy Research Center, Ankara, Türkiye

barissanli2@gmail.com

## ***Abstract***

*Not for the first time have behavioural consequences been discovered or explored. In fact, many of them are the subject of debate, and occasionally the impulses of policymakers. Too long has social acceptability been a primary factor in policy creation. This article tries to assemble energy policy-making procedures and instances along the axis of behavioural insight studies, which have been more prevalent in energy research in recent years. Perhaps behavioural insights are not the primary determinants of energy policy. However, the growing attention in recent years brings numerous problems that must be explored. On the sustainability axis, behavioural insights in the formulation and implementation of energy programmes and policies will also give substantial benefits. The author is not an authority on this subject but the objective is to highlight these points.*

## **1. INTRODUCTION**

After the drought in Turkey in 2008, many policies were tried to be developed for the regions where the loss and theft were intense. Since the temperature and evaporation are high during drought periods, both hydraulic resources decrease and the demand for agricultural irrigation and cooling increases incredibly. One of the policies developed was to reduce the leakage to some extent by distributing energy efficient light bulbs in areas where loss and leakage is already concentrated. As a very good target group, these light bulbs were distributed by explaining to the children. In a post-policy news on January 6, 2009, “The state distributed 97 thousand light bulbs



to students to save energy. The students took the light bulbs home, but..." is written in capital letters above the subtitle "They broke the light bulbs because there was a listening device" [1].

### **1.1 First is The Consumer**

The question "what are we consuming?" is among the most popular responses to increases in electricity costs. It is reported that objections do not cause any issues during metre inspections. However, the consumer is entirely correct. Since electricity consumption is not obvious like other home products (bread, fruit, vegetables). Many consumers are unaware of the outcomes and consequences of the electricity consumption produced by the repeated opening of the refrigerator door, appliances left plugged in, intermittent use of hot water devices for 24 hours, and other family members' activities. As a result, people experience feelings of uneasiness and victimisation due to their lack of awareness of their consumption, forms, and particulars. If the identical invoices unexpectedly come in the spring, the victimhood perception fades. However, there is a basic issue. Consumers are unable to fully comprehend the impact of their actions on power use. Due to the purchasing decisions he makes, the devices in his home waste energy in various ways, even while he is watching television, sleeping, or away from home. The consumer receives a bill at the end of the month in which a single number is significant.

### **1.2 Price Modifications**

Lower fuel prices by 2 TL all at once and then increase them by 0.3 TL four times, or increase them by 0.3 TL four times and then reduce them by 2 TL all at once? Perhaps it is more beneficial not to discount at all, but to leave \$1 in pricing flexibility as an insurance against future price fluctuations. Since discounts are viewed as advantageous, it is painful for every consumer to return them. The most fundamental solution is the market's operation. Consequently, does the market address all problems? According to the present "market concept," man makes reasonable decisions. Or, if not, can the market model remain valid? Numerous scholarly works have, for instance, argued that carbon pricing represent an externality that must be accounted for in transactions. It is also possible to claim that carbon pricing will be more effective than ESG (environmental, social, and management) principles [2]. How is a path that is believed to be so evident in logic, economics, and science understood in practise? In France, carbon tax implementation began in 2014 at €7 per tonne and climbed €44 per tonne in 2018. As a result of

the 2018 price increases, a petition was created on the "change.org" website [3]. In a short period of time, 300,000 individuals signed it. On November 17, 2018, the Gilet Jaunes protests began in France. It is debatable if carbon fees were the cause of the action or not. However, a tax hike, including a carbon tax, is inevitable. By the 21st of November, 585 people had been hurt and 2 had perished as a result of the events [4]. It was reported on December 4 that the present tax increases had been halted, but the actions continued. This has been one of the carbon tax's greatest obstacles. The influence of these acts on European policymakers was widespread. Although the issue was not the carbon tax, it was stated that the carbon tax laws reflected the occurrence. In a study about the perception of the carbon pricing mechanism, the results of which were disclosed by scientific research, just 17% of respondents believed that it would be effective against air pollution and climate change, while 66% stated that it would not be effective. 89% of respondents believe that this tax has a significantly larger negative impact on their buying power than it really does. One of the key findings of the study is that "the more people oppose a programme, the more biased they are against it." Belief in a concept is directly related to its acceptance [5]. Typically, individuals decide first and then select their reasons. The trial of Austria's carbon price will begin on 1 July 2022. Austria has learnt from these occurrences and introduced a public incentive. A 100-200€/year environment premium has been introduced to the statute for Austrians, depending on where they reside.

The tax rate, which begins at €35/tonne on 1 July and rises to €55/tonne in 2025 [6], will begin at €35/tonne. There are without a doubt lessons to be learnt from France. However, the episode has become an unambiguous illustration of how "tax legislation, which have received widespread support for climate measures," may have an effect when prices really rise.

### **1.3 Surveys**

In Turkey, the results of the poll titled "Perception of Climate Change and Environmental Problems in Turkey 2021" are likewise rather intriguing. Assuming that the research undertaken with Konda and IklmHaber employs the proper technique, there are a number of intriguing findings. Farmers, agriculturalists, and animal husbandry professionals, for instance, are at the bottom of the list of individuals who believe "the climate issue is a greater threat than the virus." Even though this group is the most susceptible to climate change, 11% of its members believe there is no climate catastrophe. According to the same poll, there is a split along the axis of political

division surrounding forest fires. 64% of the population said "No, I do not approve." 83% of the population is ignorant of this objective [7].

In support of the Paris climate accord, the outcomes are far more intriguing. In Turkey, the number of people who claimed "Global climate change is a very major concern" declined from 74% in 2010 to 37% in 2015, according to a poll done by the Pew Research Center in 2015 [8].

A difficulty with other studies is that respondents are not asked how much carbon tax they are ready to pay, which might be the deciding factor between climate change worry and action.

The results of the "Energy Efficiency Awareness Index" household research are another intriguing study [9]. According to the results of this poll, 94.8% of the participants are knowledgeable about energy saving in lighting, which is the easiest area to implement, but only 51.1% are knowledgeable about energy efficiency in other areas. The survey indicated that sixty percent of homes still utilise standard lighting. It was shown that 84% of the participants knew how to adjust the temperature of a room using a thermostatic valve, which is another economical method, but only 41.5% did so. 33% of respondents indicate that they are familiar with efficient driving practises. However, it is feasible to save 10 to 30 percent by merely depressing the accelerator pedal less forcefully or by driving more slowly.

In the awareness index survey, 8.6% of respondents (who did not want to pay more) were unwilling to pay the price difference, while 57.6% of consumers were unwilling to pay the price difference when asked about "the price difference they are willing to pay for a more efficient product with the same features." More than 1-10% more is willing to pay. In other words, 66.2% of the population would choose an energy-inefficient product that costs more than 10% extra.

#### **1.4 Learning from Social Platform Issue**

With the proliferation of artificial intelligence applications, we have begun to get a series of insights that will help us to go to the source of the problems. The most famous of these instances is "Learning from Netflix," an energy solutions company's informational booklet titled "Learning from Netflix." Artificial intelligence may be viewed as a technology capable of discovering complex patterns in vast data sets with a high processing capability. Although econometric models frequently lack explanatory power, the outcomes are frequently surprising [10].

The fact sheet's heading "User input is noisy [may not reflect reality]" explains why Netflix discontinued its 5-star rating system for programming in 2017. Users may watch a really fine

documentary once and give it five stars, but after viewing ten Adam Sandler comedy, the rating drops to three stars. Netflix is not appropriately directed by people's actual tastes (Adam Sandler) or their professed preferences (documentary preference).

Using only the thumbs up/thumbs down voting mechanism, user votes have grown by 200%. In order to illustrate the distinction between talk and action, Bidgely posed "I did/will do" questions in surveys of electricity consumers. Based on Netflix's personalised service approach, the remainder of the message contains ideas for a more personalised experience with the energy user.

## **2. BEHAVIORS OF DECISION MAKERS**

In the 1970s, Muhammad Ali's fights were televised instead of aired live, which is an intriguing illustration of behavioural energy strategies in Turkey [11]. During the Turkish Energy Authority (TEK) era, Muhammad Ali's boxing contests, which were extremely popular at the time, were held in the morning, which posed a huge challenge for electricity production. Because, during the morning's low demand period, televisions are on for one to two hours and a thermal power plant is projected to cycle on and off for several hours. Consequently, TEK asked that TRT show the battle on tape at a more opportune time rather than live in the morning.

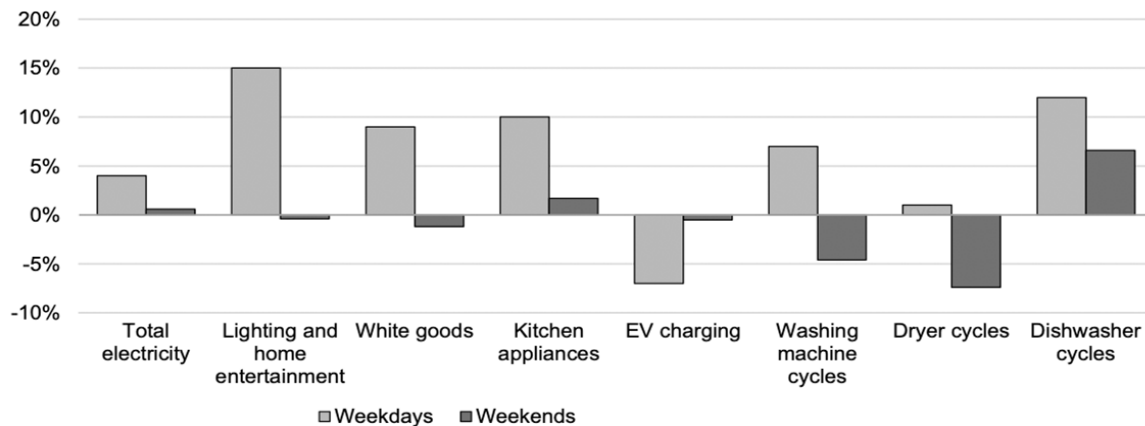
Again, the distinction between realism and politically acceptable methods is obvious among energy policymakers [12]. Behavioral aspect of energy policy, The news about the increase in the price of natural gas in 2010 reveals the challenge that the hike and discount movements provide for decision-makers. Although there were two large decreases in natural gas prices in 2009, it has been noticed at the highest level that nearly no one acknowledges this, although price increases are usually remembered. In other words, from the perspective of decision-makers, the discount does not generate appreciation, yet the price rise generates a substantial amount of criticism. This is the rationale for adopting an asymmetrical pricing movement policy.

The study "Global Commission's proposals for human-based clean energy transition" produced by the IEA provides examples from individual nations pertaining to the IEA's emphasis on increasing behavioural insight [13]. The eleventh title of this report is "Use insights from behavioural science to design effective behaviour change policies".

Examples in this section can be listed as;

- The significance of energy usage data in establishing a positive, trusting connection with consumers.
- Norway offers further incentives, such as free parking, to encourage the use of electric vehicles.
- Different licence plate application for electric vehicles in England.
- Digital payment in Jakarta systems, real-time transportation information, and improving public perception of public transit.

Probably Covid19 is likely one of the events that influences behaviour the most. In this process, as people spend more time at home, their consuming patterns at home have also evolved. For instance, in the Netherlands section of the IEA Energy Efficiency 2020 report, there are a number of observations [14]. Figure 1 compares the energy use of one utility in the Netherlands during lockdown and pre-lockdown periods [14].



IEA 2020. All rights reserved.

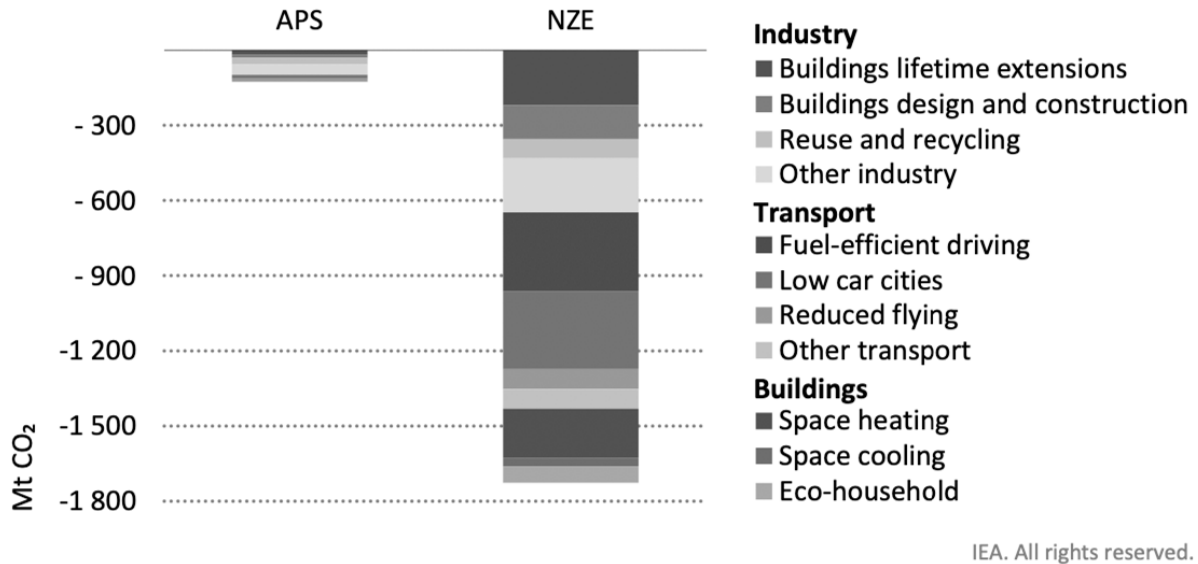
Source: Quby, *What self-quarantine does to household energy usage: while others guess, Quby measures.*

**Figure 1.** The energy use of the Netherlands compare lockdown and pre-lockdown periods [14].

According to the IEA's Energy Efficiency 2021 study, customer input will result in a 10% reduction in energy use in residential and commercial buildings [15]. It is not specified if these reductions will be permanent.

In the World Energy Outlook 2021 report, the IEA has broadened its study on this topic and titled it "Behavioral change." [16]. Changes in behaviour play an essential role in the IEA's net zero scenario NZE. Among these modifications are sub-activities such as recycling, efficient vehicle usage, minimising urban car traffic, and decreasing air travel. The disaggregation of these

consequences for established and emerging economies was an additional significant contribution of the number of paper 160. Figure 2 illustrates the behavioural change scenario for 2030. [16].



**Figure 2.** The change scenario for 2030 [16].

### 3. WHAT IS GREEN ACTION?

Green action or green nudge is the application of behavioural sciences for environmental reasons. These nudges may be roughly classified into three categories. These are examples of green nudges that appeal to people's self-images, societal norm compliance, and realistic choices. People are intrinsically motivated to preserve a favourable self-image, and they want to believe they are typically decent. For this reason, they wish to be perceived as ecologically conscientious, law-abiding individuals (action is a separate issue) [17].

For many individuals, it may be seen "nudge" as a type of manipulation. People are recognised to exhibit "predictable illogical behavioural patterns," according to the fundamental assumptions [18].

The United Nations Environment Program also states that behavioural sciences can impact climate change efforts [19]. These five techniques are as follows:

- Make the default choice the superior option. For example, by default adopting a green tariff Promoting sustainable behaviour through modifying the manner in which preferences are given.
- Eliminating "Unsustainable" possibilities together. For instance, prohibiting plastic straws.
- Removing obstacles. For instance, the selection of vegetarian dishes in aircraft meals needs many procedures.
- Individualizing through taking baby steps For instance, providing additional subgroups with personalised messaging.
- It provides advice as different messages to people who are ecologically or economically conscious.

### **3.1 International Examples**

When look with some distance away, artificial intelligence, data analytics, and the aforementioned technologies comprise applications that target personal and personality characteristics [20].

It is known what the long-term implications of norm-based communications in consumer messages are. Social comparisons and normative attention-getting techniques are more successful in these communications than technical support concepts for altering behaviour. After four months, substantial reductions in water usage were seen in a controlled trial. In an eight-month pilot study, four management methods were evaluated. These include performance monitoring, feedback on performance, goal planning, and prosocial incentives. It was established that performance monitoring and goal planning were the most effective methods for obtaining the desired fuel savings.

In the research, 7,769 tonnes of gasoline were saved at a cost of \$6,1,000,000, 24,472 tonnes of CO2 emissions were averted, and an environmental benefit of between \$500,000 and \$2,000,000 was determined, depending on the carbon price. 79% of the captains who participated in the second survey wanted these behaviours to continue, whereas just 6% desired the pre-work time to be reinstated [21].

### **3.2 Investor Side**

Many of the main parameters used in the green nudge for consumers may be true for investors as well. For example, ·

- Having an environmentally friendly company image is an attractive self-image,
- Following the behavior of other peers stated as "Follow the herd",
- Continuing the "default" processes can be counted as a few examples.

For example, although solar investments for industry in Turkey are much cheaper than grid electricity, industrial companies have stayed away for a long time with deep distrust. After a while, after increasing energy prices, entry into the solar business accelerated with a step-by-step acceptance. Because they may prefer to do the job they know best (industrial production) and stay at a distance in areas they do not know (electricity production) until the cost effect reaches a significant point.

To give a concrete example, the entry of an important athlete into the biodiesel sector in 2005-2006 and then its bankruptcy should also be noted as an investment story with a "herd psychology" [22-23]. While investing here, the arabesque artist declared that he entered after a friend of his said "enter". The concerned athlete said, "I entered without any research. I got into everything very quickly. Now that's why I hit my head a lot. We trusted people." I would say "feasibility", but he immediately cuts off my attack: "What feasibility... HUUUU, walking... I'm getting into business." Decisions taken in this way then affect policy makers through NGO structures. as far as it can go.

## **4. BEHAVIORAL TOOL CLUSTER**

The Users Group (UsersTCP), one of the IEA's technological collaboration projects, contains several real-world recommendations in its "Applying Behavioral Insights to Energy Policies" application [24]. In addition, energy-related examples are provided at each substep of the vehicle's checklist. A brief description, example, and translation of this tool's titles are provided below.

This tool and its subheadings are described in depth to serve as a reminder that, when global examples are evaluated, a variety of tools are available for use in energy policy formulation. The



checklist provides access to several instrument-specific subdetails. The following are the main topics:

- Build and maintain new habits;
- Identify knowledge and opportunity gaps;
- Use positive social influence;
- Simplify administrative processes;
- Increase public acceptance;
- Make energy efficiency appealing;
- Communicate effectively;
- Increase compliance;
- Develop positive behaviours;
- Activate the appropriate motivational tools;
- Support green purchasing;
- Increase loyalty.

Although there are occasionally duplicate titles in the subheadings of each title, the instances provided are distinct.

Removing infrastructural and financial barriers, providing timely reminders and cautions, minimising micro-frictions, and rewarding new behaviours take precedence when forming new habits.

In assessing the knowledge and opportunity gaps, the following recommendations are provided: keeping information simple and brief, simplifying the desired target behaviour, proposing easy and inclusive alternatives, supporting-associating peer groups, and enhancing citizens' self-efficacy.

To provide accurate information to citizens about what others do and believe, to demonstrate that others are engaging in the desired behaviour, to emphasise the increase of positive behavioural tendencies, to use accurate narratives to support policy (personal stories), and to use more effective methods (higher rewards and punishments) to modify behaviour. Correcting the public's assumptions about the application processes, reducing the amount of information required from participants, sending proactive reminders to increase the number of applications, informing about the progress in the application stages, and providing feedback by following it will come to the fore.

To increase public acceptance; Providing balanced information about the effects of the designed programme, providing simple and concise information without jargon, correcting misinformation and disinformation, building a fair and collaborative perception (in carbon taxes), selecting a good ambassador (more local), the current circumstance where the public accepts a policy for the first time. Attempting to comprehend their biases is listed.

Immediately reward energy efficiency behaviours for energy efficiency (mobile phone apps), make these behaviours desirable in society (specific licence plate for electric cars, concession), immediately remove first-degree frictions that impede energy efficiency (making the desired temperature the default in the thermostat), and suggest conditional frontal reward methods (free front driving in bike sharing).

In effective communication, identifying the right channels (change generations' different preferences), highlighting the right ambassadors (Pope's speech on climate change), providing timely reminders, making communication more personal, appealing to cultural desires and values (liberal vs. conservative), and demonstrating that programme participants consider information to be important stand out.

Increasing the visibility of non-compliant behaviour (people must submit their own carbon emission declarations), highlighting the losses of society and businesses (increasing the bill in building efficiency), recording the consequences of non-compliance (notifying high fines paid), and stating that non-compliance will be a conscious choice are all measures designed to increase compliance (not energy efficient device). installation), the observance of the legislation by several additional citizens (as other workplaces have already received their energy efficiency certificates).

While developing positive behaviours; Understanding the target audience and its subgroups (highly concerned, less concerned), demonstrating the positive behaviour of the majority, and highlighting the policy with influential figures (party members), it is important to explain the benefits of the policy to target groups in a variety of ways (free food or environmental gains) to ensure that citizens continue their previous behaviours (past energy efficiency gains).

While activating the right motivational tools; to associate the identity and social values of the target audience with the target behaviour ("switch to the newest technology (innovators) or the most efficient technology (savers)"), to connect with past behaviours ("you were smart metre, now you can switch to green tariff"), incentives (a competition for most efficient use in the group of electric car users) can be utilised to demonstrate that others care about this target behaviour as

well. It is vital to ensure that citizens continue their former behaviour (previous improvements in energy efficiency).

The tools that can be used while supporting green purchasing are; explain current and future costs-benefits (such as 20 years of electricity cost), eliminate past investment costs (replace the old device), frame the loss of inaction (losses are more noticeable than gains), make green technologies the default option, provide simple and clear information (like easy-to-use devices) to get people to make big adjustments in small steps first.

To increase loyalty; increase people's self-confidence ("look how well you did in the past"), use incentives that are limited in time and amount (investment increase before incentive end), use self-promoting tools (like stickk.com, eating meat 2 days a week), showing that others care about the behavior ("other cyclists used this much last week"), increasing it incrementally (distributing recycling stickers first, making a request two weeks later), giving regular feedback by breaking down goals into manageable sub-steps (a lower setting an energy-saving target can bring more savings).

## **5. CONCLUSION**

In classical energy policy proposals, methods such as incentives, reward-punishment and regulation come to the fore. However, lately, the importance of paying attention to artificial intelligence, social media issues and behaviors has come to the fore. Artificial intelligence can reveal many previously unknown human behavior patterns, and it is also claimed that algorithms know people better than themselves.

The importance of behavior in energy policies, especially in the field of energy efficiency, came to the fore in the oil crises of the 1970s. Afterwards, it reminded itself again during the 2007-2008 oil price peaks. Recently, there has been a more tidy and systematic behavioral approach. The main reason for this is the developments in the field of economics and increasing behavioral research.

In the debates on climate change and sustainability, on the other hand, the issue of behavior comes to the fore beyond energy efficiency. Changing behavior with Covid19 has accelerated new ideas at many points. If the share of electricity will increase gradually, the purchase and use of devices will be more important. The increasing emphasis on behavioral methods in the latest reports of the IEA actually underlines these.

On the other hand, with the multiplier effect of social media, the distinction between discourse and action has increased. In an environment where everyone can make their voice heard, the voice of the one who has the most followers or shouts (it doesn't have to be correct) can be thought of as the voice of the general public. For this reason, data becomes even more vital. While everyone thinks that they want a carbon tax increase in France, the formation of the “yellow vests” movement by a group, including the transportation sector employees, who do not take part in social media, has also affected EU policies.

Behavioral methods in energy policies have been systematically gaining momentum lately. There are also ethical discussions here. Are people being manipulated or the Cambridge Analytica scandal and the US election results being affected via Facebook will be on the agenda for many years to come. But combining many examples for green nudging and sustainable policies can push policymakers' behavior set beyond the "carrot-and-stick". In the current situation, some assumptions about people's behavior stand out:

- Desire to be well known (environmentally respectful, non-polluting),
- Compliance with social norms,
- It is uncomfortable to change existing behaviors,
- People find less valuable (limited incentives),
- What others think,
- Information about actions,
- A few examples can be cited as the recognition of achievements that makes positive behaviors permanent.

So what needs to be done to move forward? Although some ideas may not feel right, it may be necessary to approach from a more realistic point of view. These include cultural norms. It is important to investigate them. This is why the household energy efficiency awareness index study report is very important. In carbon tax studies, however, people are still not asked how much they are willing to pay. In the energy efficiency study, it is seen that people have difficulty in finding even 10% expensive products acceptable.

Another issue is how words are understood. The word “saving” has a negative connotation in a consumer society. But in older communities, “saving” is a virtue. The same situation may occur in different age groups in a particular geography.

But more important is the discourse-action distinction. People's words and actions are different. It is very important to design and perceive the questionnaires correctly in the design of energy programs. The choices they make today and the choices they declare may lead the policies to the wrong point.

Big data and digitization are therefore even more important because they more rapidly disclose what people's stated preferences are. While humans perceive ourselves as "harmonious, widely loved, caring for others, listening to everyone's opinion and acting on their own thinking, being inside out, aware of the world," algorithms may have different opinions. The Facebook-Cambridge Analytica scandal exposed the fallacy that many voters make when they believe they are "acting with their own thoughts." Therefore, the fact that there is a grey area here should not be disregarded.

Finally, there is a huge area to explore. Designing invoices filled with numbers, similar to engineering reports, taking into account behavioral insights, using new words and concepts in energy efficiency, emphasizing positive social behaviors, energy, and sustainability of default preferences will increase consumer awareness. Behaviors are not a major gear in energy policy, but consumer self-awareness can move many gears.

## References

- [1] Milliyet.com.tr. (2009, Ocak 6). Dinleme cihazı Var Diye ampulleri kırdılar. Milliyet. May 12, 2022, from <https://www.milliyet.com.tr/gundem/dinleme-cihazı-var-diye-ampulleri-kirdilar-1043658>
- [2] Bloomberg TV [@BloombergTV]. (2022, February 7). "The problem with ESG is that it is a blunt tool," says Jeff Currie, head of commodities at Goldman Sachs [Video attached] [Tweet]. Twitter. <https://twitter.com/bloombergtv/status/1490639305345503233>
- [3] Petition unterschreiben. (n.d.). Change.org. <https://www.change.org/p/pour-une-baisse-des-prix-à-la-pompe-essence-diesel>
- [4] A timeline of the yellow vest movement: From single petition to nationwide protests. (2019, April 2). The London Globalist | An student-run international affairs magazine based at the LSE. <https://thelondonglobalist.org/a-timeline-of-the-yellow-vest-movement-from-single-petition-to-nationwide-protests/>
- [5] Yellow Vests, Carbon Tax Aversion and Biased Belief. (n.d.). PSE - Ecole d'économie de Paris - Paris School of Economics. <https://www.parisschoolofeconomics.eu/docs/douenne-thomas/job-market-paper--yellow-vests,-carbon-tax-aversion,-and-biased-beliefs.pdf>

- [6] Kurmayer, N. J. (2022, January 21). Austria to give out annual €200 'climate bonus'. [www.euractiv.com. https://www.euractiv.com/section/emissions-trading-scheme/news/austria-to-give-out-annual-e200-climate-bonus/](https://www.euractiv.com/section/emissions-trading-scheme/news/austria-to-give-out-annual-e200-climate-bonus/)
- [7] Konda, (2022, February). Türkiye'de İklim Değişikliği ve Çevre Sorunları Algısı 2021. Retrieved May 9, 2022, from <https://www.iklimhaber.org/wp-content/uploads/2022/02/konda-arastirma-rapor-2021-y.pdf>
- [8] 1. Concern about Climate Change and Its Consequences. (n.d.). Pew Research Center's Global Attitudes Project. <https://www.pewresearch.org/global/2015/11/05/1-concern-about-climate-change-and-its-consequences/>
- [9] Enerji Verimliliği Bilinç Endeksi Kantitatif Araştırma Raporu 2020. (2020). Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. <https://enerji.gov.tr//Media/Dizin/EVCED/tr/EnerjiVerimliliği/Bilinçlendirme/EnerjiVerimliliğiBilinçEndeksi/Belgeler/HHEVBER2020.pdf>
- [10] Learning from Netflix. (2018, December). Bidgely. <https://www.bidgely.com/wp-content/uploads/2018/12/Netflix-Bidgely-Parallels.pdf>
- [11] Eski TEK Genel Müdürlerinden Gültekin Türkoğlu ile 2005-6 yılında yapılan şahsi görüşmelerden
- [12] Kilci: Türkiye Enerjisi Kıt Bir Ülke. (2010, January 17). Haberler. <https://www.haberler.com/guncel/kilci-turkiye-enerjisi-kit-bir-ulke-haberi/>
- [13] Recommendations of the Global Commission on People-Centred Clean Energy Transitions – Analysis - IEA. (2021, October). IEA. <https://www.iea.org/reports/recommendations-of-the-global-commission-on-people-centred-clean-energy-transitions>
- [14] Energy Efficiency 2020 – Analysis - IEA. (2020, December). IEA. <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2020>
- [15] Energy Efficiency 2021 – Analysis - IEA. (2021, November). IEA. <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2021>
- [16] World Energy Outlook 2021 – Analysis - IEA. (2021, October). IEA. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021>
- [17] Schubert, C. (2016). Green nudges: Do they work? Are they ethical?EconStor. <https://www.econstor.eu/handle/10419/129284>
- [18] What's a green nudge? - The Behaviouralist. (2020, February 24). The Behaviouralist. <https://thebehaviouralist.com/whats-a-green-nudge/>
- [19] Five ways behavioural science can transform climate change action. (2019, February 13). UNEP. <https://www.unep.org/news-and-stories/story/five-ways-behavioural-science-can-transform-climate-change-action>
- [20] The Persistence of Treatment Effects with Norm-Based Policy Instruments: Evidence from a Randomized Environmental Policy Experiment - American Economic Association. (2011, May). American Economic Association. <https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/aer.101.3.318>
- [21] The impact of management practices on employee productivity, Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment (2019, Mart), <https://www.lse.ac.uk/GranthamInstitute/wp-content/uploads/2017/01/working-paper-262-Gosnell-et-al-March-2019.pdf>

- [22] Anadolu Ajansı. (2006, February 6). Tanju Çolak biyodizel işine girdi. Hürriyet - Haber, Son Dakika Haberler, Güncel Gazete Haberleri. <https://www.hurriyet.com.tr/ekonomi/tanju-colak-biyodizel-isine-girdi-3895821>
- [23] Tanju 5 milyon doları batırdı ! (2006, March 12). Haber3. <https://www.haber3.com/magazin/tanju-5-milyon-dolari-batirdi-haberi-57036>
- [24] Applying behavioural insights to energy policy. (2021). Users TCP. <https://bitoolkit.userstep.org> P. G. Machado, A. C. R. Teixeira, F. M. A. Collaço, and D. Mouette, “Review of life cycle greenhouse gases, air pollutant emissions and costs of road medium and heavy-duty trucks,” *WIREs Energy and Environment*, vol. 10, no. 4, 2021.

# ENERGY AGRICULTURE AND BIOMASS ENERGY APPLICATION RESEARCH

Nevcihan GÜRSOY<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Department of Nanotechnology Engineering, Sivas Cumhuriyet University, Sivas, Turkey

<sup>2</sup>Graduate Institute of Natural and Applied Sciences, Sivas Cumhuriyet University, Sivas, Turkey

## *Abstract*

*Biomass is the solid, liquid, and gaseous fuels obtained from agricultural and forest products and by-products resulting from the processing of these products, including vegetable oil wastes, agricultural harvest residues, and organic wastes, according to the law on the use of Renewable Energy Resources for the generation of electricity. covers. Biomass is seen as a viable and significant energy source due to the fact that it is an unlimited resource, can be cultivated everywhere, and contributes to the socioeconomic development of rural regions in particular. This research studied the utilization of biofuels as an energy source, as well as its efficiency and advantages over fossil fuels.*

## 1.INTRODUCTION

Plant-based energy sources in solid, liquid, and gaseous form that are made from widely distributed agricultural products in nature using various physical, chemical, and biological processes. They have commercial qualities as well as standardized fundamental and specific features. A mass of biologically derived non-fossil organic matter is referred to as biomass. The term "biomass energy sources" refers to any naturally occurring substances of either plant or animal



origin that primarily consist of carbohydrate molecules, as well as the energy produced from these sources. All organic material that can be replenished in fewer than 100 years is referred to as biomass, and this includes waste from the food industry, forest products, and plants that grow on land and in water.

It is described as the non-fossilized living waste and residues that arise as the genesis of all organic substances and living creatures containing carbohydrate compounds, living in the subterranean, above-ground, and aquatic environments over a period of time. Biomass includes trees, agricultural wastes, particularly cultivated plants such as maize, wheat, grasses, seaweeds, algae in the sea, and all organic rubbish including fruit and vegetable remnants from homes, animal dung, fertiliser, and industrial wastes. Examining the worldwide research conducted in recent years reveals that those that may be categorised as energy agriculture have gained pace [1], [2].

Biomass energy is one of the most important sources that may sustainably and non-pollutingly supply the world's rising energy demand due to population increase and industrialization. Biomass energy stands out due to its many advantages [3].

Due to the shortage of decreasing energy supplies such as oil, coal, and natural gas, as well as their environmental degradation, the use of biomass to address the energy crisis is becoming more significant. From biomass, fuel is produced by physical (size reduction-crushing and grinding, drying, filtration, extraction, and bridging) and conversion processes (drying, filtration, extraction, and bridging) (biochemical and thermochemical processes) [4].

Utilizing biomass conversion procedures, biomass resources are transformed into solid, liquid, and gaseous fuels. In addition to the primary product fuels such as biodiesel, biogas, bioethanol, and pyrolytic gas, fertilizer and hydrogen are also produced at the conclusion of the cycle.

Recent causes include rapid industrialization, population expansion, urbanization, and growing living standards have boosted energy demand and accelerated the depletion of energy supplies. Latest researches show that in the last century, the global energy consumption has grown by nearly 17 times [5]–[9]. As a consequence of these factors, global biomass research has been intensified to address the energy imbalance. Considering this enormous potential, as well as the economic and environmental advantages of biomass, there is a growing interest in bioenergy. Biomass is a significant energy source since it is the fourth biggest energy source on the planet.

The world population is projected to expand by 34% from 6.8 billion now to 9.1 billion in 2050, according to the United Nations' most current demographic forecasts shown in Figure 1 [2], [4].

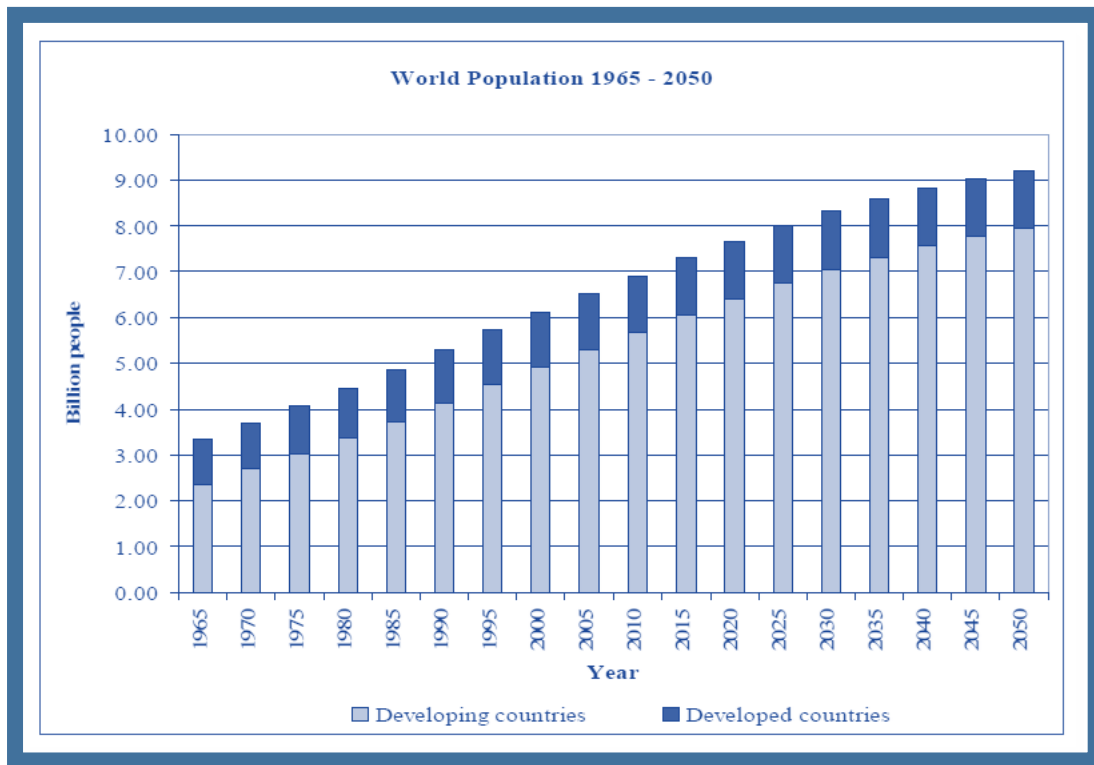


Figure 1. United Nations' population projections [2], [4].

In comparison to the prior 50 years, population growth rates will decrease significantly. However, with a considerably larger starting point, the absolute growth will still be substantial, 2,3 billion additional people. Almost all of this population growth will occur in the region of the globe that now consists of emerging nations. The highest proportional growth, 120 percent, is anticipated among the least developed nations in the world.

According to the United Nations Food and Agriculture Organization (FAO) [10] in order to fulfill the demand of a rising worldwide population, which is predicted to reach 9.6 billion people by 2050, global food production would need to expand by 70% above 2005–2007 levels. An rise in agricultural productivity will be required, leading to an increase in the need for energy, in order for food production to stay up and feed the globe.

A sustainable option to addressing agricultural needs is provided by clean energy services. Farmers may mechanize processes, process raw materials to add value to commodities, and prolong the shelf life of goods via refrigerated storage by using clean energy technology. As a result, they can feed more people while having a less negative effect on the environment.

In addition to FAO's baseline forecasts [11] it should be feasible to fulfill the future food and feed demand of the projected global population in 2050 within reasonable rates for land and water usage expansion and yield growth. However, attaining this will not be easy and will need overcoming substantial obstacles.

Also, the average daily calorie availability per person would grow to 3050 kcal globally, a 10% increase over its level in 2003–2005. Between the average of 2006–2008 and 2050, worldwide grain output would need to grow by 900 million tons, or 40%, on the whole. Depending on energy costs and governmental regulations, the introduction of biofuels has the ability to change all that and increase global demand. Without biofuels, a large portion of the rise in grain demand will go into animal feed to bolster the expanding demand for livestock goods [10], [11]. For instance, the amount of meat consumed per capita will increase from 41 kg to 52 kg by 2050. (from 30 to 44 kg in the developing countries). If this prediction comes true by 2050, the availability of food per capita would still vary greatly across nations, although at greater levels. The average availability in industrialized nations will be close to 3600 kcal/person/day, but in poor nations it may be closer to 3000 kcal [10], [11]

## **2. RECENT DEVELOPMENTS IN BIOMASS**

The use of materials derived from plants as a source of heat or other forms of energy is referred to as biomass. Wood and wood residues, energy crops, agricultural residues, as well as industrial, agricultural, and household waste are examples. Considering that biomass may be burned like any other fuel, some people use the phrase interchangeably (e.g., wood logs). Others combine the two expressions.

The governments of the United States and the European Union define biofuel as a liquid or gaseous fuel used for transportation [12]

The European Union's Joint Research Centre defines solid biofuel as unprocessed or processed organic resources of biological origin that are used for energy, such as firewood, wood chips, and wood pellets [13]. 57 exajoules of energy were generated from biomass in 2019, compared to 190 exajoules from crude oil, 168 exajoules from coal, 144 exajoules from natural gas, 30 exajoules from nuclear, 15 exajoules from hydro, and 13 exajoules from wind, solar, and geothermal combined. 86% of contemporary bioenergy is used for heating purposes, 9% for transportation, and 5% for power production [14], [15]. The majority of the world's bioenergy is derived from

forest resources. Unlike solar or wind farms, power plants that use biomass as a fuel can provide a consistent amount of electricity [15].

In 2017, the International Energy Agency (IEA) identified bioenergy as the most significant renewable energy source [2].

Moreover, the IEA noted that the present pace of bioenergy deployment is well below the levels necessary in future low-carbon scenarios, and that deployment must be expedited immediately [2]. In the IEA's Net Zero by 2050 scenario, traditional bioenergy is phased out by 2030, and the percentage of modern bioenergy in the global energy supply rises from 6.6% in 2020 to 13.1% in 2030 and 18.5% in 2050 [2].

IRENA (International Renewable Energy Agency) predicted a doubling of biomass energy production by 2030, with just a little contribution from conventional bioenergy (6 EJ) [16].

The IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) asserts that bioenergy has a substantial potential for mitigating climate change if implemented properly and The majority of IPCC mitigation strategies contain considerable bioenergy contributions in 2050 [1]. Some academics question the use of bioenergy due to its poor emission reductions, high initial carbon intensities, and/or lengthy waiting periods before favorable climatic effects become evident. [1], [2].

Among the most promising future feedstocks include lignocellulosic (non-edible) biomass (such as coppices and perennial energy crops), agricultural wastes, and biological waste [8]. These feedstocks deliver climate advantages with the least amount of delay. Since the conversion of chemical energy to heat energy is more efficient than the conversion of chemical energy to electrical energy, heat production is typically more "environmentally friendly" than electricity production [17]. Heat from biomass combustion is difficult to replace with heat from other renewable energy sources, which are either more costly or have a maximum steam temperature limitation. Solid biofuel is likely more climate-friendly than liquid biofuel as a result of solid biofuel's more energy-efficient production [9].

As needed, biogas plants can offer dispatchable electricity and heat. In agriculture, co-fermentation of energy crops and manure is a widespread concept [3], [6], [17], [18]. Burning plant-derived biomass releases CO<sub>2</sub>, yet under EU and UN legislation, it is considered a renewable energy source since photosynthesis recycles the CO<sub>2</sub> back into new plants [13], [14]. The manufacturing, transportation, and processing of a fuel have a significant impact on its emissions during its

lifespan. Transporting fuels over long distances and the excessive use of nitrogen fertilisers may reduce the fuel's emissions savings in comparison to natural gas by 15 to 50 percent. Also, renewable biofuels start using in aircraft [13].

According to Law No. 5346 of the Laws of the Republic of Turkey, biomass is defined as municipal waste (including landfill gas), vegetable oil wastes, agricultural wastes with no food and feed value, forest products other than industrial wood, and resources derived from the by-products of the processing of waste tyres, industrial waste sludge, and treatment sludge [19], [20].

Major sources of biomass are mentioned below.

#### 1. Agricultural Biomass Resources

- Oilseed plants (canola, sunflower, soybean etc.) Sugar and starch crops (potato, wheat, maize, sugar beets, etc) (flax, hemp, sorghum, miscanthus, etc.)
- Vegetable residues (branches, stems, straw, roots, bark, etc.) [19], [20].

#### 2. Biomass Resources Obtained from Forestry and Forest Products

- Forest and forestry industry wastes and residues, energy forests, energy crops [19], [20].

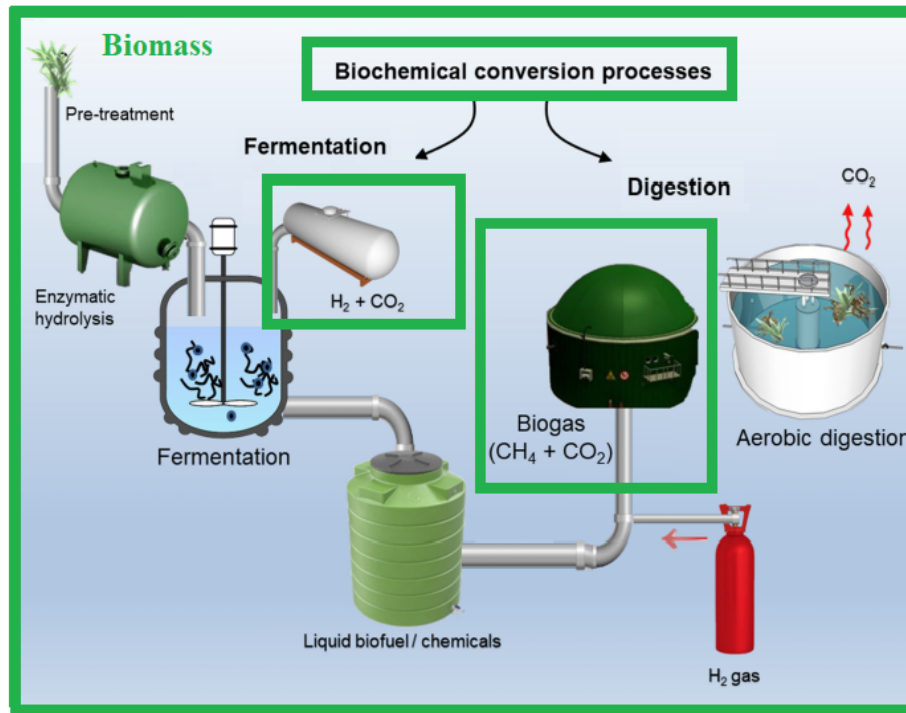
#### 3. Animal Biomass Resources

- Cattle, ovine and poultry feces, slaughterhouse wastes and wastes generated during the processing of animal products [19], [20].

#### 4. Biomass Resources Obtained from Urban and Industrial Wastes

- Industrial waste of biological origin, municipal waste, sewage sludge [19], [20].

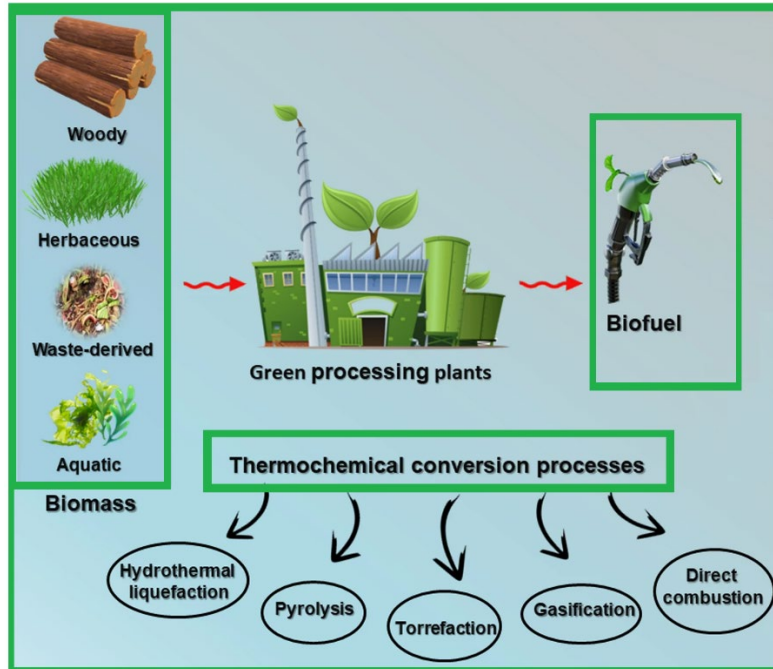
Different fuel types can be produced from biomass sources by applying the conversion methods specified in Figure 2 and Figure 3. Figure 2 illustrates the biochemical cycle processes.



**Figure 2.** Biomass conversion process [9]

Selecting between thermochemical and biochemical biomass conversion relies on the energy needed for the final use, since biomass combustion generates heat and mechanical energy, fermentation and mechanical extraction provide liquid fuels, and gasification produces syngas that may be utilized for transportation [5]. Globally, lignocellulosic biomass (LCB) is the most cost-effective and abundantly renewable natural resource. Ultimately, the development of renewable energy derived from lignocellulosic biomass as a replacement [21].

Despite the fact that LCB, which can use waste products and cellulose-rich plants, has the potential to replace first-generation biofuels, the need for food-grade feedstock has hindered its development [22]. Biorefineries based on cellulosic materials will accept a range of feedstocks, and it is essential to develop methods to integrate process techniques and minimise the cost of enzymes, reactors, and catalysts to increase biofuel output. An increase in biofuels will contribute to sustainable development and reduce greenhouse gas emissions [4], [6]. LCB, which is comprised of agricultural and forest waste, is an inexpensive and abundant source of sugar for biofuel generation. The crystallinity of cellulose, the surface area, and the presence of lignin and hemicellulose on the cellulose are the key drawbacks of cellulosic biomass, all of which diminish the yield of biofuels generated on a large scale [18].



**Figure 3.** Thermochemical conversion process of biomass resources [9].

Pretreatment or purification of biomass is an essential step, since it impacts the effectiveness of future stages by destroying internal structures. Additionally, it is a key step since increasing the quantity of free cellulose optimizes sugar synthesis. Pretreatment is required for efficient delignification because it results in little sugar loss and prevents the creation of inhibitors, hence mitigating the negative effects of biomass hydrolysis [18], [21]. Lignin, which inhibits hydrolysis and needs biomass pretreatment, is a major drawback of biomass structure.

Therefore, substantial research is required for the production of biofuels that are commercially feasible [22]. Pretreatment procedures may be physical, chemical, or biological; nevertheless, no treatment option reaches close to one hundred percent conversion, since undesirable byproducts are always formed, hence raising separation costs and, ultimately, the final cost of biofuels [6]. In a variety of exciting new approaches, combinations of one or more of these techniques have proved successful. Important factors include the selection of a distinct technology, the minimization of undesired byproducts, the use of efficient distillation for biofuel separation, and process control equivalent to that of biomass feedstock [21].

### 3. BIOMASS POTENTIAL IN TURKEY

According to the Biomass Energy statistics compiled by the Ministry of Energy and Natural Resources of the Republic of Turkey to calculate the biomass energy potential, the total economic energy equivalent of our collected wastes is around 3,9 MTEP/year [19], [20]

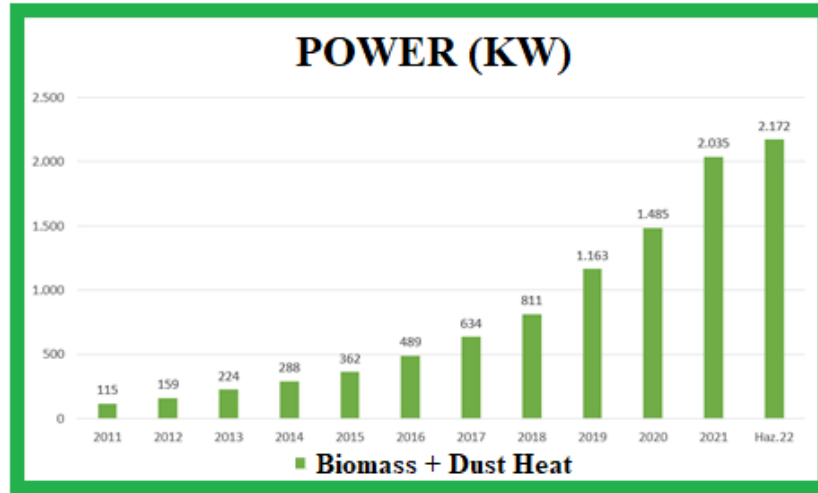


Figure 4. Biomass potential of Turkey [19].

Figure 4 shows the most recent information on biomass and waste heat energy installations as of 2022 [19]. Also, as of the end of June 2022, 2.172 MW, its ratio in the total installed power is 2.14%, and the change in installed power over the years and its ratio in the total installed power are given below in Figure 5.

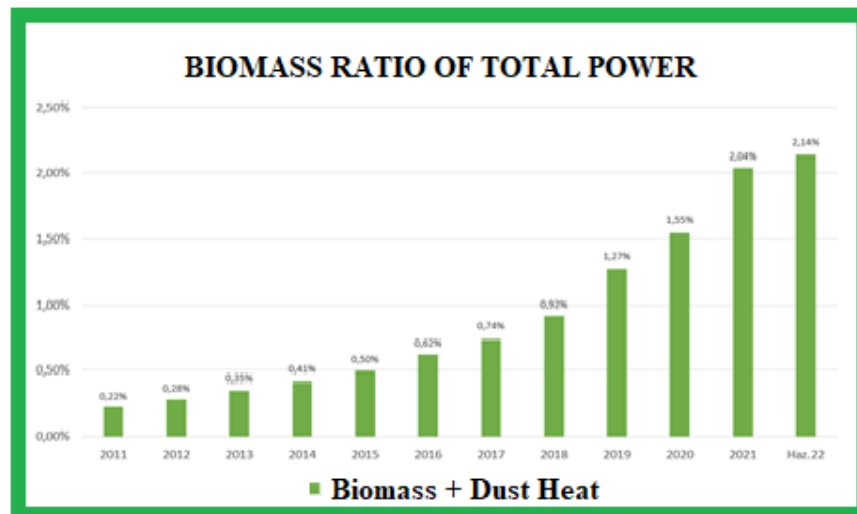


Figure 5. Biomass potential of Turkey [19].



The numerical data of the Biomass energy potential in Turkey as of June 2022 are given in the table below [19].

**Table 1.** Biomass energy potential in Turkey 2022 numerical data [19].

Population:	82.003.882
Number of Animals (pieces):	422.832.374
Amount of Animal Waste (ton/year):	193.878.079
Theoretical Energy Equivalent of Animal Wastes (TEP/year):	4.385.371
Economic Energy Equivalent of Animal Wastes (TEP/year):	1.084.506
Amount of Plant Production (ton/year) :	171.399.002
Vegetable Waste Amount (ton/year):	62.206.754
Theoretical Energy Equivalent of Vegetable Wastes (TEP/year)	25.384.268
Economic Energy Equivalent of Vegetable Wastes (TEP/year):	1.462.159
Amount of Municipal Wastes (ton/year):	32.170.975
Theoretical Energy Equivalents of Municipal Wastes (TEP/year) :	3.373.011
Municipal Wastes Economic Energy Equivalents (TEP/year):	485.858
Forest Asset Residues (ster / year):	3.914.904
Energy Equivalent of Forest Asset Residues (TEP / year):	859.899
Energy Equivalent of Forest Asset Residues (TEP / year):	8
Biodiesel Processing Licensees: Bioethanol Processing Licensees:	5
Biomass Sourced Electricity Production Plants:	199
Total Wastes Energy Equivalent (TEP/year):	34.002.549
Number of Animals (number):	
Bovine Animals:	17.497.113
Ovine Animals:	46.117.399
Poultry :	359.217.862
Animal Waste Amount (ton/year) :	
Bovine Animals :	134.150.417
Ovine Animals :	46.511.866
Poultry :	13.215.796
The Theoretical Energy Equivalent of Animal Waste (TEP/year) :	
Bovine Animals :	975.180
Small Cattle Animals :	105.648
Poultry Animals :	3.304.544
Economic Energy Equivalent of Animal Wastes (TEP/year) ) :	
Bovine Animals:	273.050
Ovine Animals:	8.452
Poultry:	803.004
Amount of Plant Production (ton/year) :	
Field Crops :	119.007.069
Horticulture :	22.359.106
Vegetable Crops :	30.032.827
Amount of Vegetable Waste (ton/year) :	
Field Crops :	46.279.245
Horticulture :	4.038.114
Vegetable Crops :	11.889.396

Theoretical of Vegetable Wastes Energy Equivalent (TEP/year)	
Field Crops	19.480.866
Horticulture	1.754.031
Vegetable Crops	4.149.370
Economic Energy Equivalent of Vegetable Wastes (TEP/year) :	
Field Crops :	1.225.364
Horticulture :	236.794
Amount of Municipal Waste (tons/year) :	
Suitable for Biomethanization :	14.476.939
Suitable for Incineration :	17.694.036
Theoretical Energy Equivalents of Municipal Wastes (TEP/year):	
Suitable for Biomethanization:	466.881
Suitable for Incineration:	2.906.130
Economic Energy Equivalents of Municipal Wastes (TEP/year):	
Suitable for Biomethanization:	93.396
Suitable for Incineration:	392.462
Forest Asset Residues (ster / year) :	
Not Industrially Evaluated :	3.529.319
What can be obtained from Süceyrat :	385.585

Within the context of this statistics, the significance of estimating the potential biomass is evident. Examining the resources holding significant values in comparison to the nations of the globe reveals that although the entire waste from 422 million 832 thousand 374 animals should be 4.385.371 TOE/year, it may be utilised as 1.084.506 TOE/year, or nearly 25% can be used as a source of energy. The same applies to plants. While the potential energy equivalent of vegetable wastes was 25,384,268 TOE, the conversion rate to useable energy remained at 4% with 1,462,159 TOE/year. Similarities between urban and forest wastes may be investigated in depth in the table. It has been shown how Turkey's utilisation potential is vast and appropriate for meeting energy demand.

#### 4. CONCLUSION

Urbanization, deforestation, pollution, and the transformation of wetland habitats endanger biodiversity, an important resource for agriculture and food supply. Due to agricultural development, dietary changes, and population density, the human population is growing.

food supply are dependent on a decreasing level of agricultural biological variety. The gene pool in plant and animal genetic resources and natural environments that breeders need for future selection is quickly depleting. Twelve animal species supply 90 percent of the animal protein eaten worldwide, whereas just four plant species offer 50 percent of the plant-based calories in the human diet [3].

These changes will have more or less severe effects on all aspects of food security, including food production and availability, food supply stability, food access, and food consumption.

Climate change is more than a danger, given the present level of knowledge and the widespread agreement among scientists that climate change is actually occurring. It is difficult to both reduce its effects and adjust to its inescapable consequences via effective action.

The consequences of climate change on agricultural output are highly unevenly distributed regionally. Although nations in the Southern hemisphere are not the primary contributors to climate change, they may bear the brunt of its consequences in the form of diminishing yields and an increase in the frequency of severe weather events (droughts and floods). It has been anticipated that the detrimental effect of climate change on African agricultural production might range between 15 and 30 percent between 2080 and 2100. Positively, in the temperate latitudes, mostly the Northern hemisphere, greater temperatures may be advantageous for agriculture: cropping areas will expand, the duration of the growing season will lengthen, and crop yields may increase.

Population growth is a result of agricultural progress, nutritional changes, and population density. Urbanization, deforestation, pollution, and the alteration of wetland ecosystems threaten biodiversity, an essential agricultural and food supply resource.

The gene pool in plant and animal genetic resources and natural settings, which breeders need for future selection, is dwindling rapidly. The food supply is reliant on a declining amount of biological diversity in agriculture. All areas of food security, including food production and availability, food supply stability, food access, and food consumption, will be affected by these changes to varying degrees.

Given the current state of knowledge and the general consensus among scientists that climate change is happening, climate change is more than a threat. It is challenging to both decrease its impacts and adapt to its inevitable consequences via effective action.

## References

- [1] “IPCC — Intergovernmental Panel on Climate Change.” <https://www.ipcc.ch/> (accessed Nov. 16, 2022).
- [2] “IEA – International Energy Agency.” .
- [3] A. Tavakoli, A. Karimi, and M. Shafie-Khah, “Linearized Stochastic Optimization Framework for Day-Ahead Scheduling of a Biogas-Based Energy Hub under Uncertainty,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 136045–136059, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3116028.
- [4] Population Division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat Report (2007), “Economic and Social Council,” 2007. Accessed: Nov. 16, 2022. [Online]. Available: <https://www.un.org/ecosoc/en/>.
- [5] K. S. Al-Mawali *et al.*, “Life cycle assessment of biodiesel production utilising waste date seed oil and a novel magnetic catalyst: A circular bioeconomy approach,” *Renew. Energy*, vol. 170, pp. 832–846, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.renene.2021.02.027.
- [6] M. Abou Rjeily, C. Gennequin, H. Pron, E. Abi-Aad, and J. H. Randrianalisoa, “Pyrolysis-catalytic upgrading of bio-oil and pyrolysis-catalytic steam reforming of biogas: a review,” *Env. Chem Lett*, vol. 19, no. 4, pp. 2825–2872, Aug. 2021, doi: 10.1007/s10311-021-01190-2.
- [7] A. A. Ahmad, N. A. Zawawi, F. H. Kasim, A. Inayat, and A. Khasri, “Assessing the gasification performance of biomass: a review on biomass gasification process conditions, optimization and economic evaluation,” *Renew Sustain Energy Rev*, vol. 53, pp. 1333–1347, Jan. 2016, doi: 10.1016/j.rser.2015.09.030.
- [8] J. M. Aberilla, A. Gallego-Schmid, and A. Azapagic, “Environmental sustainability of small-scale biomass power technologies for agricultural communities in developing countries,” *Renew. Energy*, vol. 141, pp. 493–506, Oct. 2019, doi: 10.1016/j.renene.2019.04.036.
- [9] A. I. Osman, N. Mehta, A. M. Elgarahy, A. Al-Hinai, A. H. Al-Muhtaseb, and D. W. Rooney, “Conversion of biomass to biofuels and life cycle assessment: a review,” *Environ. Chem. Lett. 2021 196*, vol. 19, no. 6, pp. 4075–4118, Jul. 2021, doi: 10.1007/S10311-021-01273-0.
- [10] OECD-FAO, *OECD-FAO Agricultural Outlook 2021–2030*. 2021.
- [11] “FAO publications catalogue 2022,” FAO, Oct. 2022. doi: 10.4060/CC2323EN.
- [12] J. S. Levine, *Global biomass burning : atmospheric, climatic, and biospheric implications*. MIT Press, 1991.

- [13] “Biomass.” [https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/bioenergy/biomass\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/bioenergy/biomass_en) (accessed Nov. 16, 2022).
- [14] “Joint Research Centre | European Commission.” [https://ec.europa.eu/info/departments/joint-research-centre\\_en](https://ec.europa.eu/info/departments/joint-research-centre_en) (accessed Nov. 16, 2022).
- [15] “Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings.”
- [16] “IRENA – International Renewable Energy Agency.” <https://www.irena.org/> (accessed Nov. 16, 2022).
- [17] K. Aboudi, C. J. Álvarez-Gallego, L. I. Romero-García, and L. A. Fernández-Güelfo, “Biogas, biohydrogen, and polyhydroxyalkanoates production from organic waste in the circular economy context,” *Sustain. Biofuels Oppor. Challenges*, pp. 305–343, Jan. 2021, doi: 10.1016/B978-0-12-820297-5.00002-5.
- [18] F. Xu and Y. Li, “Biomass Digestion,” *Encycl. Sustain. Technol.*, pp. 197–204, Jul. 2017, doi: 10.1016/B978-0-12-409548-9.10108-3.
- [19] “T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı.” <https://enerji.gov.tr/> (accessed Nov. 16, 2022).
- [20] “Biyokütle - T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı.” <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-biyokutle> (accessed Nov. 16, 2022).
- [21] X. Ge *et al.*, “Conversion of Lignocellulosic Biomass Into Platform Chemicals for Biobased Polyurethane Application,” *Adv. Bioenergy*, vol. 3, pp. 161–213, Jan. 2018, doi: 10.1016/bs.aibe.2018.03.002.
- [22] E. Kim *et al.*, “Redox Is a Global Biodevice Information Processing Modality,” *Proc. IEEE*, vol. 107, no. 7, pp. 1402–1424, Jul. 2019, doi: 10.1109/JPROC.2019.2908582.

# Clean Energy Generation with Osmotic Power: Applications of PRO and RED processes

**Berk Köker**

Department of Environmental  
Engineering  
Sivas Cumhuriyet University  
Sivas/Turkey

[berkkoker@cumhuriyet.edu.tr](mailto:berkkoker@cumhuriyet.edu.tr)

ORCID: 0000-0002-0332-7434  
+90 346 487 1298

**Meltem Sarioğlu Cebeci**

Department of Environmental  
Engineering  
Sivas Cumhuriyet University  
Sivas/Turkey

[sarioglu@cumhuriyet.edu.tr](mailto:sarioglu@cumhuriyet.edu.tr)

ORCID: 0000-0002-3636-0388  
+90 346 487 1913

**Zinnur Yılmaz**

Department of Environmental  
Engineering  
Sivas Cumhuriyet University  
Sivas/Turkey

[zinnuryilmaz@cumhuriyet.edu.tr](mailto:zinnuryilmaz@cumhuriyet.edu.tr)

ORCID: 0000-0002-2029-3854  
+90 346 487 2476

**Sefa Furkan Selçuk**

Department of Environmental  
Engineering  
Sivas Cumhuriyet University  
Sivas/Turkey

[sefafurkan.selcuk@gmail.com](mailto:sefafurkan.selcuk@gmail.com)

ORCID: 0000-0002-3700-4377  
+90 346 487 2262

## **Abstract**

*Global energy consumption is increasing every day. However, the reserves of fossil fuels are decreasing and restrictions are increasing due to the environmental problems they cause. The demand for renewable energy sources is increasing significantly around the world. As a completely renewable and sustainable energy source with low operating costs, osmotic energy has gained popularity as a new approach, especially in 10 years. Osmotic energy takes advantage of the free energy released when mixing water flows of different salinities separated by a semi-permeable membrane. Although many countries produce significant amounts of energy from renewable energy sources such as wind, solar etc. it is estimated that osmotic energy technologies can provide more than 10% of the world's current energy demand with its global potential of approximately 1700-2000 TWh/year. Osmotic energy is applied as pressure retarded osmosis (PRO) and reverse electrodialysis (RED) processes. In this study, osmotic energy has been introduced, PRO and RED processes, which are the most used processes in obtaining osmotic energy, have been examined and pilot plants operating around the world have been examined.*

## **I. INTRODUCTION**

With the rapid increase in global energy consumption, the importance of obtaining energy from renewable energy sources is also increasing. It is estimated that global energy consumption will grow by 56% and total energy use will increase to 240 kWh in 2040. But the reserves of conventional fossil fuels are decreasing and greenhouse gas emissions are changing the global climate. In the face of strict environmental regulations and high energy costs, the demand for alternative renewable energy sources is increasing significantly. As a renewable energy source, osmotic pressure gradient energy takes advantage of the free energy released during mixing of water streams of different salinity. This energy can be harvested

for electricity generation using membrane-based technologies such as pressure retarded osmosis (PRO) or reverse electrodialysis (RED) [1].

Among the renewable energy sources, osmotic energy is still under development and has a global potential of approximately 1700-2000 TWh/year. This value shows that it can meet more than 10% of the world's current energy needs [2]–[4]. It is generally accepted that there is an osmotic pressure difference of 23 ATM between river water and sea water. Therefore, in theory, 0.75-14.1 kWh of energy per cubic meter can be obtained, which is equivalent to the energy produced by falling water from a dam with a height of 280 meters [5], [6]. And no greenhouse gases are released to the atmosphere during this process. The process is known as a completely renewable and sustainable energy source with almost no operating cost. In addition, the environmental effects of the system are minimal. For example, the PRO facility, which is established at the junction of a river and sea water, circulates the water resources in it and discharges it from the same point as it is naturally does [7], [8].

Osmotic energy is due to the difference in salt concentration between two aqueous solutions of different salinity, such as river water and sea water. Although there are many approaches based on similar foundations, methods such as pressure-retarded osmosis (pressure-retarded osmosis, PRO) and reverse electrodialysis (RED) have gained importance in recent years [9]. PRO has higher efficiency and higher power density compared to RED and is better suited for powering from high salinity gradients [1]. Although there are still debates about the practical application potentials for seawater-river systems, laboratory-scale trials of PRO, especially using reverse osmosis, have shown that it has the potential to obtain sustainable energy at various salinity ratios and significantly reduces the membrane fouling problem [9], [10].

As mentioned earlier, osmotic pressure gradient energy is utilized in both PRO and RED processes. In a typical PRO process, water spontaneously penetrates from the feed stream separated by a semi-permeable membrane to the pressurized brine stream due to a chemical potential gradient. As a result, volume and hydraulic pressure of the diluted brine increase. Pressurized water is transferred to a hydro-turbine and electricity is produced [1].

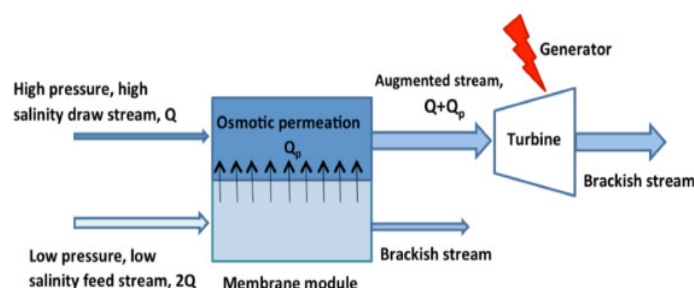


Fig. 1. Diagram of pressure retarded osmosis process for electricity generation [11]

Membrane processes can be operated differently depending on the hydraulic pressure difference ( $\Delta P$ ) and the effective osmotic pressure difference ( $\Delta\pi_{\text{eff}}$ ) applied across a semipermeable membrane. They can be operated in different ways such as reverse osmosis ( $\Delta\pi_{\text{eff}} < \Delta P$ ), pressure retarded osmosis ( $0 < \Delta P < \Delta\pi_{\text{eff}}$ ), forward osmosis ( $\Delta P = 0$ ) and pressure assisted osmosis ( $\Delta P < 0$ ). PRO can be considered the reverse of reverse osmosis. In reverse osmosis and pressure assisted osmosis, a mechanical energy must be applied and energy consumed in order to allow water to pass through the membrane. But in PRO, the process is the opposite. Water permeates against the pressure gradient and passes from the low salinity side to the high salinity pressurized side. It produces electrical energy by using pressurized water to operate a turbine [9].

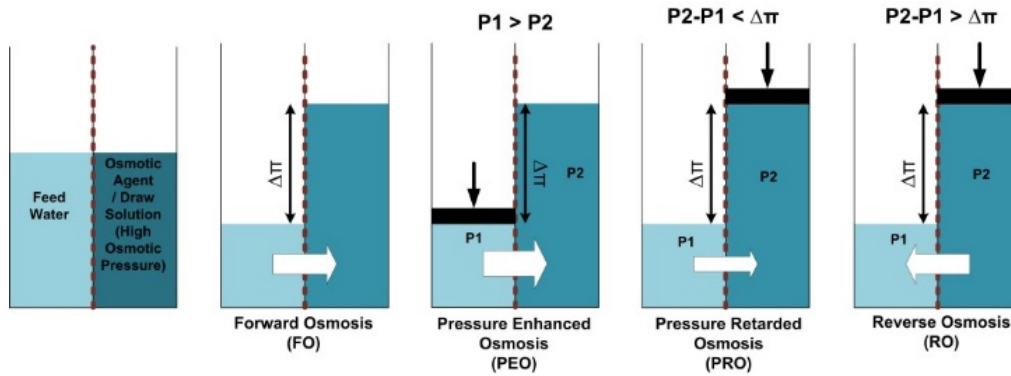


Fig. 2. Demonstration of different osmotic processes [12]

In the RED process, two solutions with high salinity and low salinity are separated by ion exchange membranes. Unlike PRO, ions pass through the membrane in this process. Due to concentration difference between two solutions, oppositely charged ions move to and pass through the membranes. Energy is obtained by the electric current generated during the passage of the ions through the membranes.

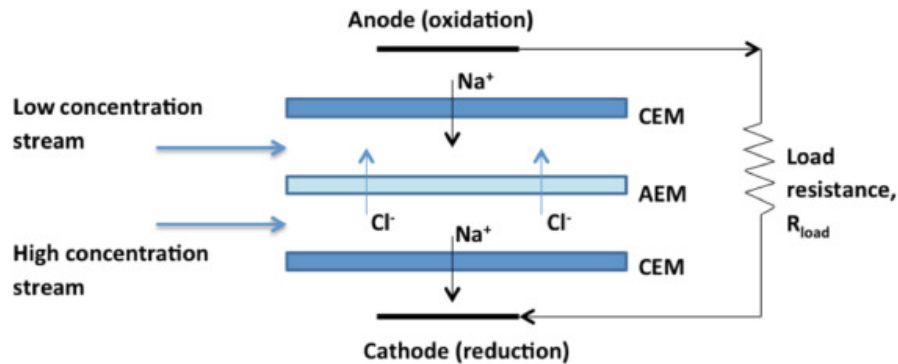


Fig. 3. Diagram of the reverse electro dialysis for electricity generation [11]

Between these two processes, PRO is known to have an advantage over RED. Yip & Elimelech [13] stated that PRO membranes can use the salinity gradient more effectively to ensure water permeability and have less salt leakage. More importantly, it states that PRO has both high efficiency (54-56%) and high power density (2.4-38 W/m<sup>2</sup>). RED's energy efficiency and power density are 18-38% and 0.77-1.2 W/m<sup>2</sup>, respectively.

## II. PRO

The development of the PRO concept goes back to 1970s. In 1974, Norman demonstrated with a diagram that energy could be obtained from the passage of clean water through a semi-permeable membrane to the pressurized seawater cell. Water overflowing from the seawater cell turns a water wheel and drives the generator. In this way, he demonstrated the conversion of chemical potential in water to hydrostatic potential. A year later, Loeb and Norman named the process "pressure retarded osmosis (PRO)" [3]. In 1976, Loeb et al. demonstrated the feasibility of the PRO concept for electricity generation with a U-shaped hollow fiber membrane. However, due to the internal concentration polarization problem, the water flux is constantly decreasing and accordingly the power density is significantly reduced. This situation has limited its application. However, PRO research and development has been revived as a result of the continuous development trend of membrane technology and the reduction of the internal concentration polarization



effect with cellulose acetate membranes designed in accordance with advanced osmosis. Power density for river water/sea water increased from  $1 \text{ W/m}^2$  to  $2.7 \text{ W/m}^2$ . Power density of  $4\text{-}5.1 \text{ W/m}^2$  was obtained in the effluent obtained from the desalination process of sea water [5].

Theoretically, the maximum energy to be obtained when mixing a dilute stream with a saline solution is  $0.75\text{-}14.1 \text{ kWh/m}^3$  [6]. Figure 4 shows a typical PRO process. The filtered dilute water and seawater are pumped into chambers with a semi-permeable membrane between them. The dilute water passes through the membrane to the pressurized seawater side. From here it proceeds to the hydroelectric turbine and generates energy.

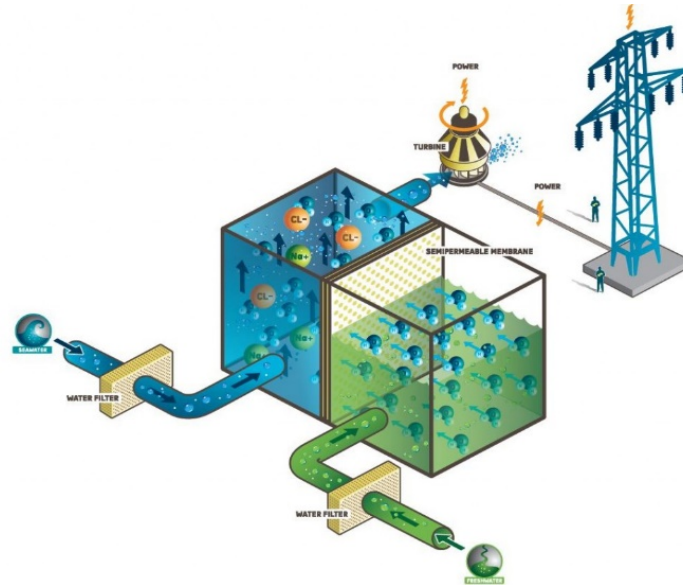


Fig. 4. Schematic representation of the PRO process [14]

Membrane properties are important in controlling salinity gradient energy or osmotic energy. In the past, studies have used commercial reverse osmosis and forward osmosis membranes. However, the fact that reverse osmosis membranes have low power density due to their relatively thick and dense support layers and forward osmosis membranes are deformed under high pressure due to low mechanical strength have shown that they are not suitable for use in systems operating with osmotic pressure. Today, high-performance and process-designed membranes are used for energy production in the PRO process. Major membrane manufacturers produce and develop membranes suitable for PRO and other processes. These membranes are packaged in two basic types: flat sheet membranes and hollow fiber membranes. Flat sheet type membranes are produced as thin films and can be easily cleaned. The modules are easily replaceable and have high package density and mechanical strength. Hollow fiber membranes, on the other hand, are used because of their very high packing density. Both membrane types have high water permeability and salt rejection rate [7], [15].



Fig. 5. Membrane modules used in membrane processes operated by osmotic pressure (a) spirally wound flat sheet, (b) hollow fiber [16], [17]

Like other membrane processes, operating factors such as temperature, pressure, solution concentration and flow rates have a major impact on PRO process efficiency due to their role in transporting salt and water through PRO membranes. For example, Garravand & Mulligan [18], working on the effect of temperature on flat plate and hollow fiber membranes. power densities of 26.3 and 17.1 W/m<sup>2</sup> for flat sheet membrane and 16.8 and 14.2 W/m<sup>2</sup> for hollow fiber membranes were obtained at 35°C and 5°C, respectively. Regardless of the membrane type, decrease in temperature reduces the power density. However, even at the lowest values, they determined that more than 3-5 W/m<sup>2</sup> power density which is economically required to obtain energy from the process was obtained.

One of the biggest obstacles to the process is the supply of advanced osmosis membrane modules. Membrane manufacturers do not produce commercially cheap and large quantities of advanced osmosis membranes optimized for PRO. The improvement of membrane properties is very important in the development of the method, but for membrane manufacturers, there is a situation where the small-size market does not meet the research and development investments that will be spent on membrane development. It is known that some manufacturers such as Nitto Denko/Hydranautics, HTI and Aquaporin conduct commercial membrane studies suitable for the PRO method [15].

### III. RED

RED, or reverse electrodialysis, is a process in which electrical energy is produced by utilizing the salinity gradient difference in a mixed aqueous solution. RED does not create any pollution and is a sustainable technology. The idea of RED was first introduced by Pattle [19] in the 1950s. It is carried out by passing positively or negatively charged ions through selective ion exchange membranes. Cations and anions move from concentrated stream to dilute stream by passing through ion exchange membranes. Ions that pass through the cation exchange membranes and anion exchange membranes and reach the electrodes on both sides of the system are converted into electrical energy by reversible redox reactions. Meanwhile, a redox couple such as Fe<sup>2+</sup>/Fe<sup>3+</sup> in the electrode sections is used to conduct the current. It is less prone to contamination compared to PRO. It requires less mechanical equipment and has advantages such as converting chemical energy directly into electrical energy. RED is similar to normal electrodialysis. The same devices can be used in both systems, but it is essential to optimize the process. While the thickness of the intermediate layers in commercial electrodialysis membranes is 0.3-1 mm, it should be between 0.1-0.3 mm in the RED process. This is necessary for a decrease in electrical resistance and an increase in power density. In large-scale applications, many anion and cation exchange membranes can be found between two electrodes [6], [20].

The ion exchange membranes used in the RED processes are polymeric film-shaped membranes with anionic and cationic exchange groups that allow the passage of oppositely charged ions. Under ideal conditions, only oppositely charged ions can pass through the membrane, while water and co-charged ions cannot pass through the membrane. But in reality this is impossible. Commercially produced electrodialysis membranes are not able to fully meet the needs of the RED process. The most important ion exchange membrane properties in RED applications are high selectivity, low electrical resistance, good mechanical strength and high chemical stability [20], [21].

Avci et al [22] applied the RED process on brackish water and hypersaline brine and obtained a power density of 3.64-3.92 W/m<sup>2</sup> on asymmetrical and dense sulfonated polyethersulfone membranes. Gao et al [23] used sea water and river water in the asymmetric nanofluidic membrane mechanism and obtained a power density of 3.46 W/m<sup>2</sup>. Kim et al [24] produced nanoscale pores using silica and obtained a power density of 7.7 W/m<sup>2</sup> with the KCl electrode.

In recent years, power density and energy efficiency of RED have increased with the development of membrane materials, structures and spacers, and the general advancement of technology. However, it has no real use in applications. It is only studied and developed in laboratories. Especially the high cost of ion exchange membranes is one of the biggest obstacles to this commercialization. Table 1 taken from Jia et al [6] provides some laboratory-scale studies.

Table 1. The power densities obtained in recent RED process studies [6]

Membrane		Membrane Thickness (mm)	Spacer Thickness (mm)	Brine water/Dilute water density (g/L)	Power Density (W/m <sup>2</sup> )
Anion	Cation				
FAD	FKD	0.082	200	30 / 1	0,93
FAD	FKD	0.080	200	30 / 1	1,17
Heterogen.	Heterogen.	0.580	200	30 / 1	0,49
Homogen.	Homogen.	0.250	200	30 / 1	1,05
AMV	CMV	0.130	200	30 / 1	1,18
ACS	CMS	0.130	200	30 / 1	0,60
AMX	CMX	0.130	200	30 / 1	0,65
AMX	CMX	0,150	190	35,4/0,56	0,46
AMH	CMH	0.230–0.250	240	30 / 1	0,80

#### IV. APPLICATIONS IN THE WORLD

The PRO process has great potential in terms of energy production. Considering that many big cities are located on the banks of the rivers, it is possible to use osmotic pressure to obtain energy, and the relatively low transport loss of this energy to the nearby city is seen as one of its most important advantages. Compared to wind and solar energy, osmotic energy can be produced 24 hours a day and is not affected by atmospheric changes.

Statkraft, Europe's largest renewable energy producer and one of the major energy providers in Norway, and SINTEF (Foundation for Scientific and Industrial Research at the Norwegian Institute of Technology) published their studies on PRO plants in the late 2000s. The company reports that the osmotic energy potential is 1600-1700 TWh worldwide and this value is 13 times more than Norway's current hydroelectric production, half of the energy produced by the European Union and 10% of the world's energy production. In the process where two different membranes, thin film composite and asymmetric cellulose acetate, were tested, the power densities of the membranes were determined to be 4-6 W/m<sup>2</sup>. A power generation of 0.1 W/m<sup>2</sup> was obtained in the thin-film composite membrane and a potential of 5 W/m<sup>2</sup> was measured. In the cellulose acetate membrane, approximately 0.5 W/m<sup>2</sup> was obtained and a potential value of 1.3 W/m<sup>2</sup> was measured. [15], [25].

In 2009, the first prototype PRO application was installed in Norway. The layout of the facility is the same as the original configuration. 10 kW of power was produced in this facility. However, the energy production of the unit has decreased to 2-3 kW. Less power is produced than is needed to operate the plant. However, the facility also has several test systems and these systems use some of the energy. These systems will not exist in commercial applications [8].



Fig. 6. Statkraft osmotic power prototype in Norway [8]

However, the facility was closed in 2013 as expectations were not met. The system is reliable, simple and inexpensive to operate, but installation costs are high due to membrane costs. The energy output obtained was below the targeted values and it was reported that it was not economically sufficient [26], [27].

Danish SaltPower company, which works to benefit from the high salt content of geothermal and desalination plant brines, established the first commercial high-salt water-operated PRO plant in 2014. In the report they published in 2020, tests were carried out in 3 different areas: geothermal water, discharge brine and raw brine. Nanofiltration membranes were used from the project. It consists of two stages, high pressure PRO and low pressure PRO. With this system, more than 10 kW of energy was obtained in turbines with 4-5 m<sup>3</sup>/h enriched brine [28].

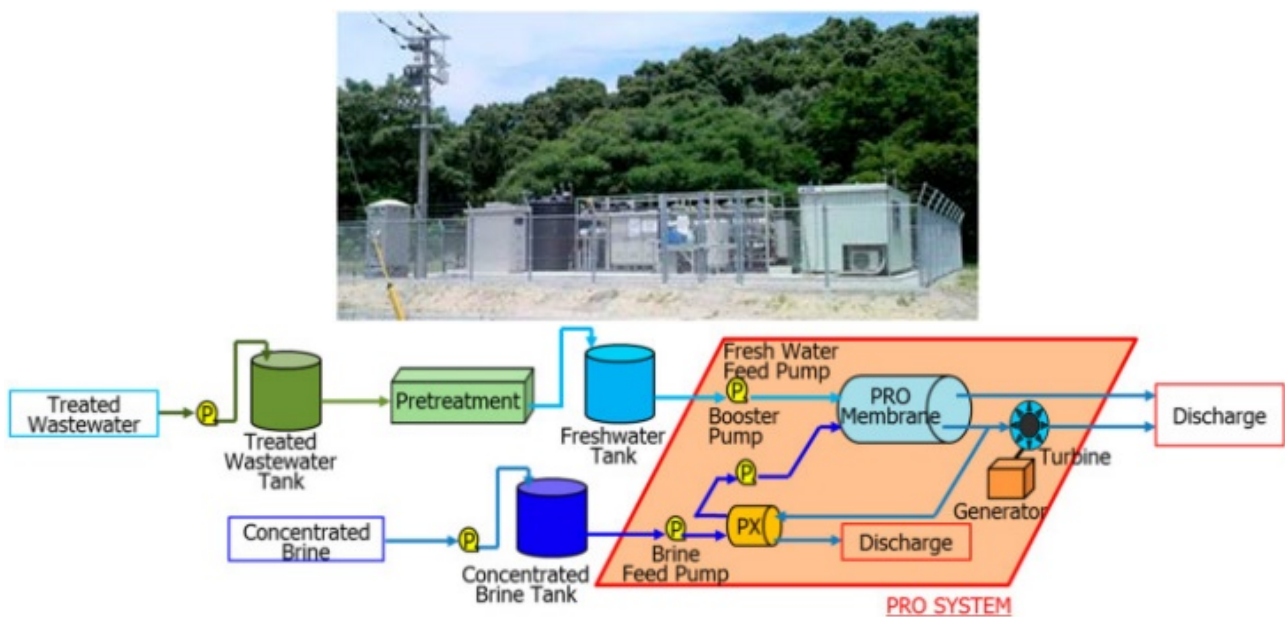


Fig. 7. Kyowakiden Industry PRO facility in Fukuoka [29]

Another application potential is the use together with desalination. There are many desalination plants worldwide. These processes, which produce drinking or utility water by removing salt, minerals and other impurities in the water, consume an average of 3-4 kWh/m<sup>3</sup> of energy. This is a costly process to make water drinkable or usable. However, it is possible to use the effluent from the desalination plant, which is concentrated in terms of salinity, in the PRO process. Thus, some of the energy used in desalination plants can be recovered. In addition, the technology used in both plants, membranes, modules, etc. is the same. Therefore, instead of building as two separate facilities, they can be built and operated in combination with each other [8], [29].

Kyowakiden Industry Co Ltd conducted a PRO trial at their seawater desalination plant in Nagasaki/Japan. In this test, the PRO process was tested using concentrated seawater discharged into the sea from the Fukuoka Desalination Center for over a year. During this test, a large amount of power generation (at an energy density of 13.3 W/m<sup>2</sup> in a 10 inch hollow fiber membrane module) was obtained under different climatic variations (inlet solution temperatures between 1-40°C) [15], [29].

Saudi Arabian SWCC and Japanese NEDO are jointly developing a technology project that will save energy in seawater desalination. In the project, it is aimed to increase the recovery rate from 40% to 65% by developing low pressure reverse osmosis membranes, and to reduce the total energy consumption by 20% and to save 10% energy by using te concentrated water in the PRO process [15].

## V. CONCLUSION

PRO and RED technologies are still in development. It is more costly than solar, wind and other clean energy sources in use today. It costs 36 times more than conventional power plants [8]. The membrane itself is a big factor in this cost. In addition, cleaning the water entering the membrane from particles is also a big part of this cost. However, it is an important renewable energy source because it is not affected by atmospheric events, continues to produce energy for 24 hours, causes minimal damage to the environment, is completely sustainable, and is applicable worldwide and has a high potential. Membrane technology is developing and getting cheaper day by day, increasing the efficiency of the systems and reducing the limitations. In particular, it is a modular system that can work in integration with desalination facilities, treatment facilities and geothermal energy facilities, so that the system can provide additional energy and maintain technology development. It can be used as a sustainable energy at the points where the rivers are discharged to the seas.

## References

- [1] G. Han, S. Zhang, X. Li, ve T.-S. Chung, "Progress in pressure retarded osmosis(PRO) membranes for osmotic power generation", *Progress in Polymer Science*, c. 51, ss. 1-27, Ara. 2015, doi: 10.1016/j.progpolymsci.2015.04.005.
- [2] R. J. Aaberg, "Osmotic power: A new and powerful renewable energy source?", *Refocus*, c. 4, sy 6, ss. 48-50, Kas. 2003, doi: 10.1016/S1471-0846(04)00045-9.
- [3] A. Achilli ve A. E. Childress, "Pressure retarded osmosis: From the vision of Sidney Loeb to the first prototype installation — Review", *Desalination*, c. 261, sy 3, ss. 205-211, Eki. 2010, doi: 10.1016/j.desal.2010.06.017.
- [4] N. El Bassam, "Technologies at the experimental stages", içinde *Distributed Renewable Energies for Off-Grid Communities (Second Edition)*, N. El Bassam, Ed. Boston: Elsevier, 2021, ss. 435-442. doi: 10.1016/B978-0-12-821605-7.00009-X.
- [5] B. E. Logan ve M. Elimelech, "Membrane-based processes for sustainable power generation using water", *Nature*, c. 488, sy 7411, Art. sy 7411, Ağu. 2012, doi: 10.1038/nature11477.
- [6] Z. Jia, B. Wang, S. Song, ve Y. Fan, "Blue energy: Current technologies for sustainable power generation from water salinity gradient", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, c. 31, ss. 91-100, Mar. 2014, doi: 10.1016/j.rser.2013.11.049.
- [7] M. Sharma, P. P. Das, A. Chakraborty, ve M. K. Purkait, "Clean energy from salinity gradients using pressure retarded osmosis and reverse electrodialysis: A review", *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, c. 49, s. 101687, Şub. 2022, doi: 10.1016/j.seta.2021.101687.
- [8] J. Kho, "It's still very early, but interest is growing in technologies to make electricity from osmosis. Osmotic-power technologies capture energy created when salt water and fresh water mix, a process that happens naturally in deltas and estuaries around the world. But can these technologies overcome efficiency, cost and scale-up challenges quickly enough to be commercially viable and make a difference?", s. 18, 2010.
- [9] Y. Shi, M. Zhang, H. Zhang, F. Yang, C. Y. Tang, ve Y. Dong, "Recent development of pressure retarded osmosis membranes for water and energy sustainability: A critical review", *Water Research*, c. 189, s. 116666, Şub. 2021, doi: 10.1016/j.watres.2020.116666.

- [10] T. Thorsen ve T. Holt, "The potential for power production from salinity gradients by pressure retarded osmosis", *Journal of Membrane Science*, c. 335, sy 1, ss. 103-110, Haz. 2009, doi: 10.1016/j.memsci.2009.03.003.
- [11] A. Shadravan, M. Amani, ve A. Jantrania, "Feasibility of thin film nanocomposite membranes for clean energy using pressure retarded osmosis and reverse electro dialysis", *Energy Nexus*, c. 7, s. 100141, Eyl. 2022, doi: 10.1016/j.nexus.2022.100141.
- [12] "Osmotic Process Introduction", *International Forward Osmosis Association*. <https://forwardosmosis.biz/education/osmotic-process-introduction/> (erişim 29 Eylül 2022).
- [13] N. Y. Yip ve M. Elimelech, "Comparison of Energy Efficiency and Power Density in Pressure Retarded Osmosis and Reverse Electro dialysis", *Environ. Sci. Technol.*, c. 48, sy 18, ss. 11002-11012, Eyl. 2014, doi: 10.1021/es5029316.
- [14] "Commercial availability of PRO membranes | ForwardOsmosisTech". <https://www.forwardosmosistech.com/inquiry-about-commercially-available-pro-membranes/> (erişim 29 Eylül 2022).
- [15] C. Lee, S. H. Chae, E. Yang, S. Kim, J. H. Kim, ve I. S. Kim, "A comprehensive review of the feasibility of pressure retarded osmosis: Recent technological advances and industrial efforts towards commercialization", *Desalination*, c. 491, s. 114501, Eki. 2020, doi: 10.1016/j.desal.2020.114501.
- [16] "FO elements needed for FO pilot unit | ForwardOsmosisTech", 16 Haziran 2017. <https://www.forwardosmosistech.com/inquiry-fo-membrane-elements-for-pilot-unit-with-2-to-3-m3h-feed-flow/> (erişim 29 Eylül 2022).
- [17] "Commercially viable PRO & hollow fibers | ForwardOsmosisTech", 06 Temmuz 2017. <https://www.forwardosmosistech.com/according-to-osmosis-energy-pressure-retarded-osmosis-using-hollow-fibers-is-now-a-viable-means-of-energy-production/> (erişim 29 Eylül 2022).
- [18] E. Abbasi-Garravand ve C. N. Mulligan, "Feasibility of Pressure-Retarded Osmosis for Electricity Generation at Low Temperatures", *Membranes*, c. 11, sy 8, Art. sy 8, Ağu. 2021, doi: 10.3390/membranes11080556.
- [19] R. E. Pattle, "Production of Electric Power by mixing Fresh and Salt Water in the Hydroelectric Pile", *Nature*, c. 174, sy 4431, Art. sy 4431, Eki. 1954, doi: 10.1038/174660a0.
- [20] A. Nazif, H. Karkhanechi, E. Saljoughi, S. M. Mousavi, ve H. Matsuyama, "Recent progress in membrane development, affecting parameters, and applications of reverse electro dialysis: A review", *Journal of Water Process Engineering*, c. 47, s. 102706, Haz. 2022, doi: 10.1016/j.jwpe.2022.102706.
- [21] S. Abdu, M. Webling, ve R. G. H. Lammertink, "Interface engineering of ion exchange membranes", Aachen, 2017.
- [22] A. H. Avci vd., "Sulfonated polyethersulfone based cation exchange membranes for reverse electro dialysis under high salinity gradients", *Journal of Membrane Science*, c. 595, s. 117585, Şub. 2020, doi: 10.1016/j.memsci.2019.117585.
- [23] J. Gao, W. Guo, D. Feng, H. Wang, D. Zhao, ve L. Jiang, "High-Performance Ionic Diode Membrane for Salinity Gradient Power Generation", *J. Am. Chem. Soc.*, c. 136, sy 35, ss. 12265-12272, Eyl. 2014, doi: 10.1021/ja503692z.
- [24] D.-K. Kim, C. Duan, Y.-F. Chen, ve A. Majumdar, "Power generation from concentration gradient by reverse electro dialysis in ion-selective nanochannels", *Microfluid Nanofluid*, c. 9, sy 6, ss. 1215-1224, Ara. 2010, doi: 10.1007/s10404-010-0641-0.
- [25] K. Gerstandt, K.-V. Peinemann, S. E. Skilhagen, T. Thorsen, ve T. Holt, "Membrane processes in energy supply for an osmotic power plant", *Desalination*, c. 224, sy 1, ss. 64-70, Nis. 2008, doi: 10.1016/j.desal.2007.02.080.
- [26] "Statkraft osmotic power prototype in Hurum", *Wikipedia*, 04 Mayıs 2022. [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Statkraft\\_osmotic\\_power\\_prototype\\_in\\_Hurum&oldid=1086211277](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Statkraft_osmotic_power_prototype_in_Hurum&oldid=1086211277) (erişim 25 Eylül 2022).
- [27] "Statkraft halts osmotic power investments - Statkraft", 13 Şubat 2014. <https://web.archive.org/web/20140213005850/http://www.statkraft.com/presscentre/news/statkraft-halts-osmotic-power-investments.aspx> (erişim 25 Eylül 2022).
- [28] EUDP REPORT, "Full Scale Osmotic Power Generation from Geothermal Wells", Saltkraft Aps, Aalborg Universitet, Sønderborg Fjernvarme, HGS, Danfoss A/S, Semco Maritime, Toyobo, Experimentarium, Universe, Journalnr. 64017-0596, 2020. Erişim: 25 Eylül 2022. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://energiforskning.dk/sites/energiforskning.dk/files/media/document/Final%20report%20for%20EUDP.pdf>
- [29] R. Makabe, T. Ueyama, H. Sakai, ve A. Tanioka, "Commercial Pressure Retarded Osmosis Systems for Seawater Desalination Plants", *Membranes (Basel)*, c. 11, sy 1, s. 69, Oca. 2021, doi: 10.3390/membranes11010069.

# RECENT INTERNATIONAL ENERGY RESEARCH EFFECTS ON MULTIDISCIPLINARY SCIENCES

**Derya Betül UNSAL<sup>1,2,3</sup>**

ORCID: 0000-0002-7657-7581

1 Cumhuriyet University, Graduate Institute of Natural and Applied Sciences, Department of Energy Science and Technology, Sivas, Türkiye.

2 Cumhuriyet University Renewable Energy Research Center, Sivas, Türkiye.

3 Cumhuriyet University Sustainability Office, Sivas, Türkiye.

## ***Abstract***

*While energy research has been continuing at an increasing pace in recent years, the use of renewable energy resources, which is of great importance in our country and around the world, is progressing with the aim of finding a solution to the energy resource shortage that humanity will face in the future. It seems wise to use self-renewing resources such as the sun and wind, which are provided to us as energy sources in our world, to sustain life. However, although there has not been much research on the cultural reflections of these studies in our country, it is clearly seen that they contain interrogations that will be associated with multidisciplinary sciences in the international arena. One of the main purposes of this study is to explain the concepts of "sustainability" and "energy" and serve as a guide for their use in studies related to Energy.*

## **I. INTRODUCTION**

Accepting the scientific conclusion that energy is not eternal, but rather created after the fact, should be the basis for future research. The term of "energy" studied in this study does not refer to the energy of bioenergy or matter; rather, it refers to the energy demand that humans place on the world in order to survive.

Humanity's current engagement with the problem of climate change has necessitated a fundamental shift in our understanding of energy, climate, and human life. All civilizations throughout human history have utilised energy, and the influence of energy consumption on the environment has always been related [1]. However, the harm caused by energy usage to the environment and humanity has reached an unprecedented degree, necessitating an examination across all disciplines. When the level of carbon dioxide in the atmosphere exceeded 400 ppm for the first time in 2013, 100 ppm over the level reached in the previous one million years, all disciplines realised they needed to bring attention to the energy problem.

As for the current generation, the following can be said: since we are not the first generation of humans to face such a challenge, but we are also the only generation in a position to prevent irreversible damage to our planet and ourselves, work should be continued with the understanding that research in this area should be accelerated.

## **II. ENERGY EFFICIENCY AND SAVING STUDIES IN TURKEY**

In contemporary multidisciplinary studies, several investigations are conducted to bring attention to energy efficiency research. There are two primary strategies to save energy or increase energy efficiency in general [2]:

First, reducing the total electrical load of high energy-demanding electronic elements by replacing them with more energy-efficient equipment, such as drivers, air conditioners, refrigerators, and other electrical equipment; and second, adopting habits that contribute to daylight savings and energy savings. 'Energy Conservation Day' and 'Earth Day' etc. light saving, moving human activity from midnight to early morning with a window of around 3-5 hours each day, so decreasing the overall electrical demand by 20%. It is to save a substantial quantity of energy by reducing the lighting load. In Turkey, summer and winter time practises are an illustration of this phenomenon. In addition to this, the Turkish Ministry of Energy and Natural Resources conducts several research on applications of energy efficiency and energy conservation. The goal is to minimise by at least 20% relative to 2011.

In addition, the first energy efficiency action plan for Turkey, the National Energy Efficiency Action Plan (2017-2023), went into effect on January 2, 2018. It is anticipated that 9 million tonnes of oil equivalent (MTEP) energy will be saved by the implementation of 55 measures in 6 different sectors, a total of 23 with an investment of 10.9 billion USD until 2023.



This amounts to a 14% decrease in primary energy usage for Turkey in 2023. The anticipated savings through 2033 amount to 30,2 billion dollars.

With the aim of increasing efficiency in the use of energy resources and energy by aiming to contribute to the protection of the environment;

- Trainings designed to increase the efficiency of the use of energy resources and energy in an effort to contribute to environmental protection (energy manager trainings, study project trainings and international trainings)
- Studies (industrial facilities, commercial and service buildings, public buildings, residences)
- Authentications (Energy Efficiency Consulting Companies, Universities and Professional Chambers)
- Energy Efficiency Supports (Efficiency Enhancing Project (VAP) and Voluntary Agreements)
- Measurement, Monitoring, and Evaluation
- Audit, Promotion and Sensitisation
- Energy Efficiency Conference and Expo
- National and International Project Development
- Planning and Coordination of Efficiency-Related Activities
- Efficiency, Activity and Training Studies on Greenhouse Gas Emission and Monitoring Shaped ranked activities Energy and Of course resources by the Ministry is being carried out.

In addition to The Ministry of Energy and Natural Resources MENR(ETKB) research, the report issued by the Ministry of Foreign Affairs summarises the international components of the energy studies in Turkey as follows [3]:

“Recent events have once again demonstrated the significance of energy supply security. With the initiatives we have undertaken and the actions we have taken in the energy sector, we are diversifying routes and resources, therefore contributing to the energy supply security of our nation. The TANAP natural gas pipeline running through Turkey is the backbone of the Southern Gas Corridor, Europe's fourth biggest natural gas artery. Azerbaijan's natural gas has begun to reach Europe with the completion of the Trans Adriatic Pipeline-TAP, which is the continuation of

TANAP. Many European nations, including Bulgaria, Serbia, and Hungary, now have access to natural gas as a result of the TurkStream-2 pipeline, a portion of which traverses our country. In the past sixteen years, the Baku-Tbilisi-Ceyhan Crude Oil Pipeline has delivered 3,9 billion barrels of oil from the Caspian Basin to worldwide markets. Strengthening our role as an energy hub in the Middle East and Mediterranean basin will result in significant concrete contributions to regional energy security. We highlight that our nation is the most cost-effective and secure path for developing energy resources in the Eastern Mediterranean and the Middle East, using these resources, and transporting them to Europe. We view energy as a sphere of collaboration and encourage other nations in the region to embrace similar perspective.”

**Table 1.** Energy Savings in Turkey for 2020 [3].

Sector Name, Action Code and Name	Savings [ktoe]	Cumulative Savings [ktoe]
<b>HORIZONTAL ISSUES</b>	<b>11.25</b>	<b>29.80</b>
Y9-Energy Efficiency Audits	11.25	29.80
<b>BUILDINGS AND SERVICES SECTOR</b>	<b>231.41</b>	<b>1,082.046</b>
B3. Set energy saving targets for public buildings	12.88	12.88
B4- Improving Energy Efficiency in Municipal Services	2.70	8.10
B5-Rehabilitate existing buildings and improve energy efficiency	45.15	259.75
B9-Promote Energy Efficiency in New Buildings	141.13	682.33
B11-Scale up the use of renewable energy and cogeneration systems in buildings	29.54	127.56
B12-Allocate funds to buildings of SME category for energy efficiency audit programmes and audits	0.01	0.03
<b>INDUSTRY AND TECHNOLOGY SECTOR</b>	<b>85.00</b>	<b>1,418.80</b>
S3- Improve efficiency in industry (calculated by ODEX methodology)*	85.00	1,418.80
<b>ENERGY SECTOR</b>	<b>22.85</b>	<b>114.07</b>
E8-Improving Efficiency Increases in Electricity Transmission and Distribution Activities	22.85	114.07
<b>TRANSPORT SECTOR</b>	<b>96.40</b>	<b>460.70</b>
Transport Sector (calculated by ODEX methodology)	96.40	460.70
<b>AGRICULTURAL SECTOR</b>	<b>3.60</b>	<b>84.41</b>
T1. Promote the replacement of tractors and harvesters with energy-efficient ones	3.60	3.60
T2- Switch to energy-efficient irrigation methods	0.00	80.52
T3- Support energy efficiency projects in agriculture sector	0.00	0.15
T4- Promote use of renewable energy resources in agricultural production	0.00	0.14
<b>TOTAL</b>	<b>450.51</b>	<b>3,190.23</b>

\*The data will be updated following the publication of the 2020 Energy Balance Sheet.

In addition to The Ministry of Energy and Natural Resources MENR (ETKB) research, the report produced by the Ministry of Foreign Affairs summarizes the foreign components of energy studies in Turkey as shown in Table 1 [3]. The objective of commissioning the first reactor of the Akkuyu Nuclear Power Plant (ANPP) by 2023 being pursued without interruption. In accordance with our aim of resource diversification, we have surpassed 102 gigawatts of installed renewable energy generation and risen to fifth position in Europe and twelfth place in the globe. The worldwide pandemic and post-Ukraine conflict events in the international environment have once again highlighted the strategic significance of uninterrupted transportation. Believing that communication should be enhanced, our nation has executed several big infrastructure projects like as the 1915 Canakkale Bridge, the Yavuz Sultan Selim Bridge, the Marmaray and Eurasia Tunnels, and the Yavuz Sultan Selim Bridge. The Caspian Crossing East-West Central Corridor is supported by the Baku-Tbilisi-Kars Railway Line, which allows nonstop transit between China and Europe with Marmaray. The Middle Corridor, in which demand is growing daily, has become one of the most viable and dependable east-west alternate routes."

In addition, the following summary of worldwide environmental research is included in the connected report [4].

"In 2024, our nation will host the 16th Conference of the Parties (COP 16) of the United Nations Convention on Biological Diversity. Under the aegis of our Presidency and under the direction of TÜBİTAK, we are pursuing the status of an advising party and building a scientific base in Antarctica in accordance with the Antarctic Treaty. In this context, our Sixth National Antarctic Expedition, led by the Polar Research Center of Istanbul Technical University, concluded in March 2022. The topic of water is being debated more frequently at the United Nations and other international forums, and is also linked to climate change, food security, energy, and health issues. In addition to the fact that Goal 6 of the Sustainable Development Agenda (SDG-6) focuses on water."

While worldwide studies for energy unification among Islamic nations continue, the relationship between energy and Islam is one of Turkey's most pressing concerns. One of the primary goals of this study is to fill a need in Turkey, where no similar research has been conducted previously.

### III. ENERGY EFFICIENCY STUDIES IN THE WORLD

Recent international Islamic science studies provide evidence of the outcomes of energy research. Gündodu and Diallo assessed the usage of energy from an Islamic perspective, emphasised the need for the countries of the Islamic Union to collaborate in the energy sector, and evaluated the analogues of the notion of sustainability in Islamic values [3].

There are also comprehensive studies evaluating the impact of sustainability developments and energy use on future generations from an Islamic point of view. [4], [5].

Asian countries was evaluated in [6]. It would be irresponsible to deny the relationship between Islamic culture and green energy sustainability measures. Researches in this field also show that the basic approaches of Islam, such as valuing human beings and preventing waste, are concepts that existed in Islam much earlier than the concept of sustainability, which the human world is just discovering [2], [7]–[9].

However, it is possible to say that the approach to change the self-indulgent lifestyle of humanity in the 21st century is out of their range, as it is contrary to capitalist value systems [6].

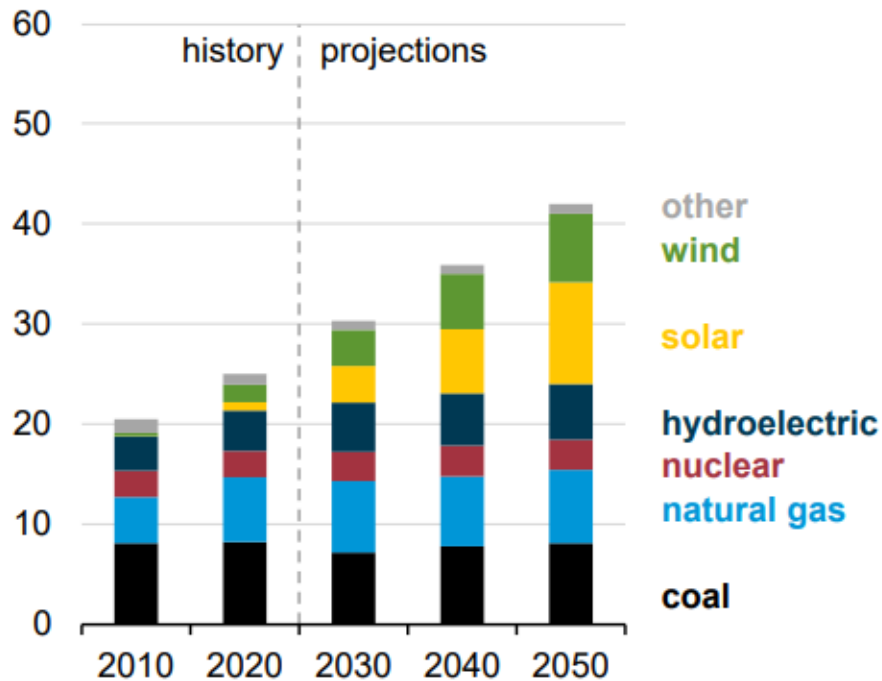


Fig. 1. Energy efficiency report results in the world [10].

The results of the energy efficiency report, explained in detail in the previous section, show that studies in the field of energy and environment continue rapidly in our country. In addition to

these studies, cooperation studies in an Islamic perspective in Turkey are carried out by the Organization of the Islamic Union. [11].

Founded on September 25, 1969 in Jeddah, Saudi Arabia, the Islamic Cooperation Organization has 57 members. Turkey has been a member since its establishment. Member States: Afghanistan, Albania, Azerbaijan, Bahrain, Bangladesh, Benin, United Arab Emirates (UAE), Brunei, Burkina-Faso, Algeria, Djibouti, Chad, Indonesia, Morocco, Ivory Coast, Palestine, Gabon, Gambia, Guinea, Guinea Bissau, Guyana, Iraq, Iran, Cameroon, Qatar, Kazakhstan, Kyrgyzstan, Kornors, Kuwait, Libya, Lebanon, Maldives, Malaysia, Mali, Egypt, Mauritania, Mozambique, Niger, Nigeria, Uzbekistan, Pakistan, Senegal, Sierra Leone, Somalia , Sudan, Suriname, Saudi Arabia, Tajikistan, Togo, Tunisia, Turkey, Turkmenistan, Uganda, Oman, Jordan, Yemen [11].

In his book *Green Deen: What Islam Teaches about Protecting the Planet*, Abdul-Matin explains how the basic teachings of Islam teach us to respect, protect, and preserve God's natural gifts. All creation originally and forever belongs to Allah. Islamic teachings provide a strong understanding of the sacred nature of these gifts from the creator. Islamic property theory is radically different from the currently dominant capitalist theory. It is based on the granting of temporary "ownership" and the use of these resources for beneficial purposes. As servants, we should not misuse these resources that have been temporarily given to us for a test [12].

#### **IV. SUSTAINABILITY OF MULTIDISCIPLINARY ENERGY PERSPECTIVE ASSESSMENT**

Historically, the concept of 'sustainability' got significant attention as a result of worldwide concern over the influence of human actions on our environment, and was first pushed in 1987 by the United Nations World Commission's report titled 'Environment and Development' Typically, this study is known as the Brundtland Commission Report [13]. "The study provided the now-familiar concept of sustainable development: development that satisfies the demands of the present without jeopardising future generations' ability to satisfy their own needs." [13]. "The International Union for Conservation of Nature (IUCN) defines sustainable development more broadly as "increasing the quality of life while living within the carrying capacity of ecosystems." [14].

Modern initiatives for sustainable development are varied, but can be summed up in three points:

(1) Intergenerational sustainability: ensuring that the current generation's development efforts do not undermine the ability of future generations to meet their own requirements.

(2) Environmental sustainability: the prevention of irreversible harm caused by human activities to the Earth and its natural resources;

(3) Social sustainability: the necessity for equitable wealth allocation and the elimination of extreme poverty. The new global Sustainable Development Goals (SDGs) framework, "Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development," adopted by the United Nations (UN) General Assembly in 2016 features these issues prominently.

The predominant approaches to Sustainable Development believe that we can sustain the current system of capitalism, which is focused on rivalry and ambition, and, as a result, lessen the harm done to communities, the environment, and future generations. However, the fundamental Islamic thinking recognises that this is impossible unless humanity abandons this concept. This objective needs numerous aspects of effort. In addition to social, political, and economic structures, it is necessary to reform the hearts of the populace.

Again, without fundamental changes in attitude and love and respect, simply stating a desired outcome is unlikely to produce a positive change in the world order, which is strongly supported by Qur'anic descriptions of rocks, rivers, trees, plants, and animals that have collectively surrendered to God's commands. Real change in this dimension leads to the conclusion that mankind must learn to live a self-sufficient existence in a resource area with restricted access and limited resources. On a globe with finite resources, it is impossible to realise the economic utopia of perpetual development through endless consumption.

The solution to endless consumption, which should be the foundation of sustainability and energy conservation research, is based on the spiritual advancement of mankind. This circumstance, which is also included in studies of intelligent societies, is already the foundation of Islamic doctrine. When mankind learns to manage the unrestricted fulfilment of its wishes, it will have a clearer understanding of its genuine sources of enjoyment [15].

## References

- [1] “Energy Conservation and Islam - AlJumuah Magazine.” <https://www.aljumuah.com/energy-conservation-and-islam/> (accessed Nov. 17, 2022).
- [2] NH Muszaffarsham , MZ Kandar , and EM Husini , “ENERGY EFFICIENCY AWARENESS AND PRACTICES BASED ON ISLAMIC PERSPECTIVES,” *Plan. MALAYSIA* , vol. 20, p. 159–170, Jul. 2022, doi : 10.21837/ PM.V 20I21.1100.
- [3] AT Diallo and AS Gundogdu , “Islamic Approach Toward Energy Sector Infrastructure Development,” *Palgrave Stud. Islam. Banking, Financ. econ.* , pp. 111–128, 2021, doi : 10.1007/978-3-030-67094-8\_7.
- [4] A. Zaman and J. Qadir , “CHAPTER 3 ISLAMIC APPROACHES TO SUSTAINABLE DEVELOPMENT,” 2019.
- [5] MK Elahee , “ Ethics: An Islamic Perspective.” Centre for Research on Islamic Banking & Finance and Business. Vol1. N.12, 21017
- [6] Sam Amkieh , “How Muslims are Changing the Face of Renewable Energy - Brown Political Review,” 2018.
- [7] V. Finlay and M. Palmer, “Faith in Conservation,” *Faith Conserv.* , Aug. 2003, doi : 10.1596/0-8213-5559-7.
- [8] N. Hidayah Abdul Jabar , Z. Ilham , S. Mohd Saifuddeen , N. Naemah Abdul Rahman, and K. Lumpur, “Green Energy towards Sustainability from the Islamic Perspective,” *Int. J. Sustain. futur. hum. Secur. J -Sustain* , vol. 3, no. 2, p. 31–34, 2015, Accessed: Nov. 17, 2022. [Online]. Available: <http://www.j-sustain.com>.
- [9] N. Labanca and P. Bertoldi , “Beyond energy efficiency and individual behaviors : policy insights from social practice theories,” *Energy Policy* , vol. 115, p. 494-502, Apr. 2018, doi : 10.1016/J.ENPOL.2018.01.027.
- [10] [https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/IEO2021\\_ChartLibrary\\_Electricity.pdf](https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/IEO2021_ChartLibrary_Electricity.pdf).
- [11] “Islamic Cooperation Organization ( OIC ) / TR . Foreign affairs Ministry .” <https://www.mfa.gov.tr/islam-isbirligi-teskilati.tr.mfa> (accessed Nov. 17, 2022).
- [12] I. Abdul- Matin and K. Ellison, *Green Deen : What Islam Teaches about Protecting the Planet.* , 1st ed., vol. 1. Berrett -Koehler Publishers, 2010.
- [13] “The Brundtland Report,” 1987. doi : 10.4324/9781912281220.
- [14] “ IUCN Red List of Threatened Species.” <https://www.iucnredlist.org/> (A. Dec. 22, 2022).
- [15] JD Sachs, R. Layard, J. Helliwell , JD Sachs, R. Layard, and J. Helliwell , “World happiness Report 2018,” 2018, Accessed: Dec. 22, 2022. [Online]. Available: <https://econpapers.repec.org/RePEc:ess:wpaper:id:12761>.

# ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE ULUSAL POLİTİKALAR

## ENERGY EFFICIENCY AND NATIONAL POLICIES

**Emrah Berat BİRSEN**

Makine Yüksek Mühendisi

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı

Enerji Verimliliği ve Çevre Dairesi Başkanlığı

### Özet

*Bu çalışma kapsamında, ülkemizin verimlilik çalışmalarında izlediği politikalar, yürütülen verimlilik faaliyetleri, ulusal hibe ve teşvik mekanizmaları konularından bahsedilecektir. Ulusal eylem planında bahsedilen verimlilik çalışmalarının hane halkı ve endüstriyel işletmelerde izlenebilir olması için yapılan çalışmaların dijitalleşmeye doğru yönlendiği çağımızda enerji tasarruflarının öneminden bahsedilerek, izlenecek politikaların gerek ekonomik büyüme ve sosyal kalkınma hedeflerinin sürdürülebilirliği gerekse sera gazı ve iklim değişikliği konularında kilit bir rol üstlenmesi nedeniyle son derece önemli bir parçası olduğu görülmektedir. Enerjide dışa bağımlılık risklerinin azaltılması bakımından da verimlilik çalışmalarında atılacak adımlar ciddi bir öneme haizdir. Bu kapsamda belirlenecek olan stratejilerin ve izlenecek olan politikaların ülke ekonomilerine katkı sağlayacağı da düşünülerek söz konusu çalışmaların kısa-orta-uzun vadede özenli bir şekilde hazırlanması gerekmektedir.*

## I. GİRİŞ

Enerji; başta küresel ekonomiler olmak üzere tüm dünyanın son derece önem verdiği, ülkeler arası çekişmelerin yaşandığı, dünya genelinde her zaman ihtiyaç duyulan ve duyulacak olan, önemini hiçbir zaman yitirmeyecek bir konu olarak ülkelerin sosyo-ekonomik dengelerinin bile etkileneceği son derece önemli bir yapıtaşı olma özelliğine sahiptir. Kaynak



çeşitliliğinin ülke ekonomilerine can verdiği, enerjinin sürdürülebilir ve yeni teknolojilerin kullanılarak yapılmasının ülkeler arası rekabetçi piyasada her ülkenin kendine ön sıralarda yer bulması açısından önem arz ettiği bu temel yapıtaşının derinlemesine incelemeler yapılarak dışa bağımlılıktan kurtulmak için bir çıkış yolu olduğu yadsınamaz bir gerçektir.

Ülkeler arası etkileşimleri, ekonomik üstünlükleri dahi etkileyen bu temel yapıtaşının yeni, yenilenebilir ve sürdürülebilir olması günümüzde önemini gittikçe arttırmış ve farklı çözümlerin üretilmesinde, modernizasyonda ve yeni teknolojilerin ülke kaynaklarına adapte edilmesinde önemli aşamalar kaydedilmiştir.

Diğer taraftan enerjinin sürdürülebilir ve yeni teknolojilerle ülke menfaatlerine katkı sağlaması kadar önemli olan bir konuda enerji verimliliği ve ülkelerin yapmış oldukları tasarruf çalışmalarıdır. Enerji verimliliği, üretimden tüketime her alanda yapılabilecek iyileştirme çalışmalarının tasarruf karşılıklarının görüldüğü, küçük dokunuşlarla büyük etkiler oluşturabilecek geniş bir yelpazeye yayılan çalışmalar olarak değerlendirilebilir.

Endüstriyel işletmelerde kaliteden veya üretimden herhangi bir taviz vermeden birim veya ürün miktarı başına enerji tüketiminin azaltılması, binalarda ise yaşamsal konfor alanlarının standartlarında tüketim miktarlarının azaltılması enerji verimliliği olarak adlandırılmaktadır. Verimlilik çalışmaları yapılırken ulusal bir strateji planı izlenmeli, belirli politikalar, eylem planları ile desteklenmelidir. Tasarruf tedbirleri herkesin rahatlıkla uygulayabileceği düzeyde sade, anlaşılır ve basit dokunuşlarla büyük kazanımlara yol gösterici etkiye sahip olmalıdır.

Enerji verimliliği çalışmaları ülkelerin enerji yönünden dışa bağımlı olduğu günümüzde önemini gittikçe artıran, ekonomik büyüme ve sosyal kalkınma hedeflerinin sürdürülebilir olması açısından kilit rol üstlenen ve ileri ki zamanlarda atılan adımların ülkelerin enerji maliyetlerine doğrudan etki edeceği son derece önemli bir konudur. Bu çalışmaların belirli politikalar izlenerek ülkelerin kendilerine has hazırladıkları eylem planları dahilinde yapılması, ülke ekonomilerine katkı sunacak faaliyetlerin izleme ve değerlendirme süreçlerinin de belirli zamanlarda kontrol edilmesi son derece önemlidir.

Türkiye'nin ulusal düzeyde hazırlanan ilk enerji verimliliği eylem planı olan ve 2017-2023 yıllarını kapsayan "Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı" 02/01/2018 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Bahse konu eylem planı kapsamında 6 farklı sektörde bulunan 55 adet eylemin hayata geçirilmesi planlanmış olup, 2023 yılına kadar yapılacak olan bu faaliyetlerden 10,9 milyar ABD Doları yatırım ile kümülatif olarak 23,9 milyon ton eşdeğer petrol (Mtep) enerji tasarrufu sağlanması beklenmektedir. Yapılacak olan bu çalışmalar 2023 yılında Türkiye'nin birincil enerji tüketiminde %14 oranında bir azalmaya denk gelmektedir. Diğer

tarafından bahse konu çalışmaların 2033 yılına kadar sağlanması beklenen tasarruf karşılığı ise 30,2 milyar Dolar'dır.

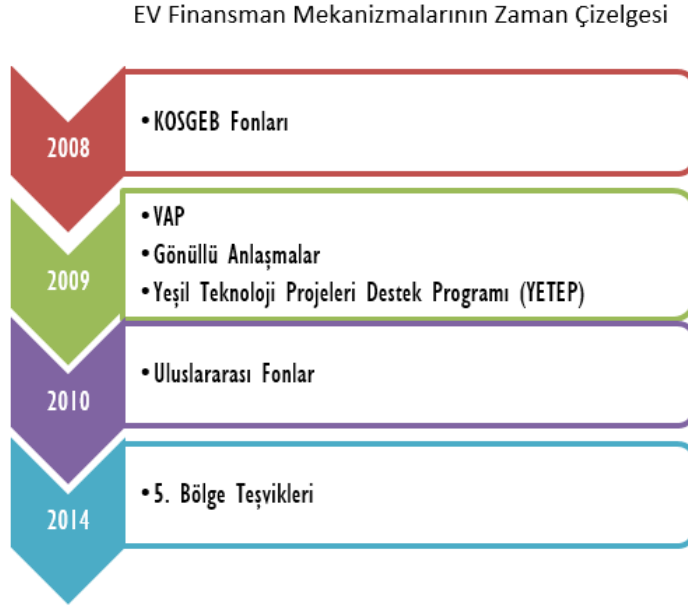
Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı kapsamında belirlenen eylemler çerçevesinde 2021 yılında ülkemizde 1.325 milyon ABD doları enerji verimliliğine yatırım yapılmış, bunun karşılığında 372 milyon ABD doları parasal değeri olan 1 milyon 63 bin tep birincil enerji tasarrufu sağlanmıştır. 2021 yılındaki çalışmalarla toplamda 15,61 milyon ton CO<sub>2</sub> emisyon azaltımı sağlanmış ve 11.948 ilave yeşil istihdam oluşturulmuştur. Ayrıca Plan kapsamında 2017-2021 döneminde enerji verimliliğine toplamda 6.447 milyon ABD doları yatırım yapılmış ve bunun sonucunda kümülatif olarak 1.562 milyon ABD Doları parasal karşılığı olan 4.473 ktep enerji tasarrufu sağlanmıştır. [1]



Şekil 1. Ulusal Eylem Planı Kategorileri [1]

Ulusal eylem planında belirlenen politikaların ülke ekonomisinde karşılık bulabilmesi ve sektörlerin hareketliliğine yön verebilmek adına ülke genelinde bir takım hibe ve teşvik mekanizmalarından da bahsetmek mümkündür. Enerji verimliliği finansman mekanizması modellerinde zaman çizelgesine bakacak olursak; 2008 yılında KOSGEB destekleri ile

başlayan, 2009 yılında verimlilik artırıcı projeler, gönüllü anlaşmalar, yeşil teknolojileri destekleme programı(YETEP) ile devam eden, sonrasında 2010 yılında uluslararası fonlar ve 2014 yılında 5. Bölge teşviklerinin yer aldığı bir akıştan bahsedebiliriz.



**Şekil 2.** Enerji Verimliliği Finans Mekanizmaları Zaman Çizelgesi [1]

Enerji sektöründe enerji verimliliği teşvik mekanizmaları kapsamında Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı bünyesinde verilen hibeleri üç ana başlık altında inceleyebiliriz. Bunlar; verimlilik artırıcı projeler, gönüllü anlaşmalar ve 5. Bölge teşvik mekanizmaları olarak sıralanabilir.

## II. ENERJİ VERİMLİLİĞİ DESTEKLERİ

### Verimlilik Artırıcı Projeler:

Enerji verimli ekipman ve sistem kullanımı, yalıtım, rehabilitasyon ve proses düzenleme gibi yollarla gereksiz enerji kullanımının, atık enerjinin, enerji kayıp ve kaçaklarının önlenmesi veya en aza indirilmesi ile birlikte atık enerjinin geri kazanılması, kojenerasyon sistemleri/ atık ısıdan elektrik üretimi konularındaki çözümleri içine alan ve bileşenler bazında hazırlanan projelerdir.

Bahse konu proje desteği kapsamında yıllık toplam enerji tüketimleri 500 TEP (ton eşdeğer petrol) ve üzeri olan

- ❖ Ticaret ve Sanayi odaları,
- ❖ Ticaret odası veya Sanayi odasına bağılı olarak faaliyet gösteren ve her türlü mal üretimi yapan endüstriyel işletmeler belirlenen kriterleri yerine getirmek şartıyla hibe almak üzere başvuru yapabilmektedir.

#### **Başvuru kriterleri:**

Üç ana kriter bulunmaktadır. Bunlar;

- ❖ Bakanlık portal veri tabanına kayıt
- ❖ Sertifikalı Enerji Yöneticisi görevlendirilmesi
- ❖ ISO 50001 Enerji Yönetimi Belgesi

Bakanlık tarafından sanayi alt sektöründe yetkilendirilmiş Enerji Verimliliği Danışmanlık (EVD) şirketleri tarafından projelerin hazırlanması ve proje sayısının 5 proje ile sınırlılandırılması diğer önemli unsurlardandır [2]

Başvurular elektronik ortamda <https://evdes.enerji.gov.tr/> adresinden alınmaktadır.

2022 yılına kadar yıl içerisinde sürekli alınan başvurular, 2022 yılı özelinde dönemsel başvuru şeklinde bir aylık süre içerisinde alınmış(1-31 Mart 2022 tarihleri arasında) ve bir takım güncellemeler yapılarak belirli projelere desteklerin sağlanması hususu kararlaştırılmış bazı projelere de yeni bir takım kısıtlar getirilmiştir.

Verimlilik artırıcı proje başvurularında; yıllık 1.000 TEP ve üzeri enerji tüketimine sahip endüstriyel işletmeler için 2022 yılı özelinde aşağıda belirlenen kriterler uygulanmaktadır:

1. Ön görülen yatırım bedeli 500.000 TL ve üzeri olan ve geri ödeme süresi iki yıl ile beş yıldan az (2 yıl dahil ve 5 yıl hariç) olan verimlilik artırıcı proje başvuruları kabul edilecektir.

2. Elektrik motorlarının verimliliğiyle değiştirilmesi projelerinde, etiket gücü 11 kW 'ın altında olan motorlar için VAP başvuruları kabul edilmeyecektir. Bir prosesin parçası olup sistem içinde değerlendirilen ve/veya Değişken Hız Sürücüsü(DHS) ile kontrol edilen motorlar için bu koşul aranmaz.

3. Aydınlatma projeleri ve ısı yalıtımı projeleri kabul edilmeyecektir.

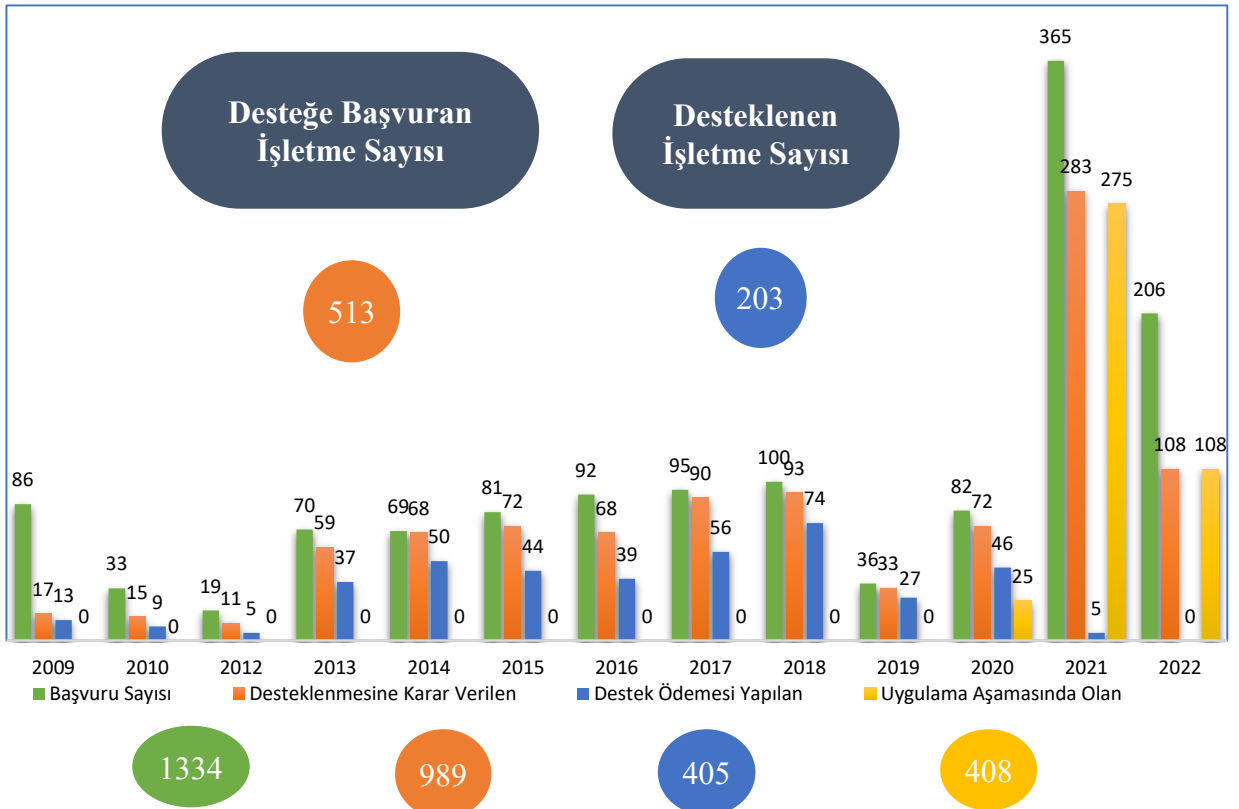
4. Burada belirlenen kriterler, yıllık enerji tüketimi 500 TEP ile 1.000 TEP arasında olan işletmeler için uygulanmayacaktır.

Verimlilik artırıcı projeler kapsamında, KDV hariç proje bedeli en fazla **5 Milyon TL** olan projelere, proje bedelinin **%30**'u destek verilmektedir (Enerji Verimliliği Danışmanlık

Şirketi hizmet bedeli ile yerinde inceleme bedeli dahil). En fazla destek miktarı 1,5 Milyon TL'dir. Bu rakamların ilerleyen dönemlerde artırılması çalışmalarını sürdürülmektedir. Uygulama süreci ise;

- ❖ Proje başvurularının alınması
- ❖ Projelerin dosya üzerinden ve yerinde incelenmesi
- ❖ Eksiklik ve uygunsuzlukların giderilmesi
- ❖ Nihai Değerlendirme ve Onay
- ❖ Proje Başlangıcı ve UYGULAMA
- ❖ **Proje Bitiş** (Uygulama sonrası yerinde inceleme ve uygunluk durumuna göre ödemenin yapılması) şeklindedir.

2009 yılından bu yana yürütülen faaliyetler kapsamında yapılan başvuruların, desteklenmesine karar verilen, destek ödemesi yapılan ve uygulama aşamasında olan projelerle ilgili şema aşağıda yer almaktadır.



**Şekil 3. Verimlilik Artırıcı Projeler Hibe Başvuruları**

Proje destek mekanizmalarının başladığı ilk yıllarda çoğunlukla aynı seviyelerde olan ve belirli bölgelerden alınan başvurular, son yıllarda artan enerji maliyetlerinin ardından

şirketler tarafından daha fazla önemsenmekte ve artış göstermektedir. Şirketler hibe çalışmalarına doğru yönelmekte, teşvik mekanizmalarını araştırmak üzere müstakil olarak sadece verimlilik projeleri üzerine çalışan birimleri bünyesinde oluşturmaktadırlar. Halihazırda şuna kadar yapılan toplam 803 proje başvurusundan, 405 tanesi desteklenmiş, 408 adedinin uygulaması devam etmektedir. Bu projelerin toplam yatırım tutarı 908,4 milyon TL olup, 282,6 milyon TL'lik yatırım desteklenmiştir. Projelerden elde edilen toplam parasal tasarruf miktarının ise yıllık 484,2 milyon TL olması, enerji tasarrufunun da 149,595 TEP/Yıl olması öngörülmektedir. Ağırlık olarak sanayinin fazla olduğu Marmara bölgesi ve Ege Bölgesinden gelen proje başvuruları son yıllarda diğer bölgelerin de aktivasyonunu artırmasıyla bölgesel çeşitlilik göstermektedir [3]. Yapılan destekler ve proje başvuruları ile alakalı bilgileri içeren çizelge şu şekildedir:

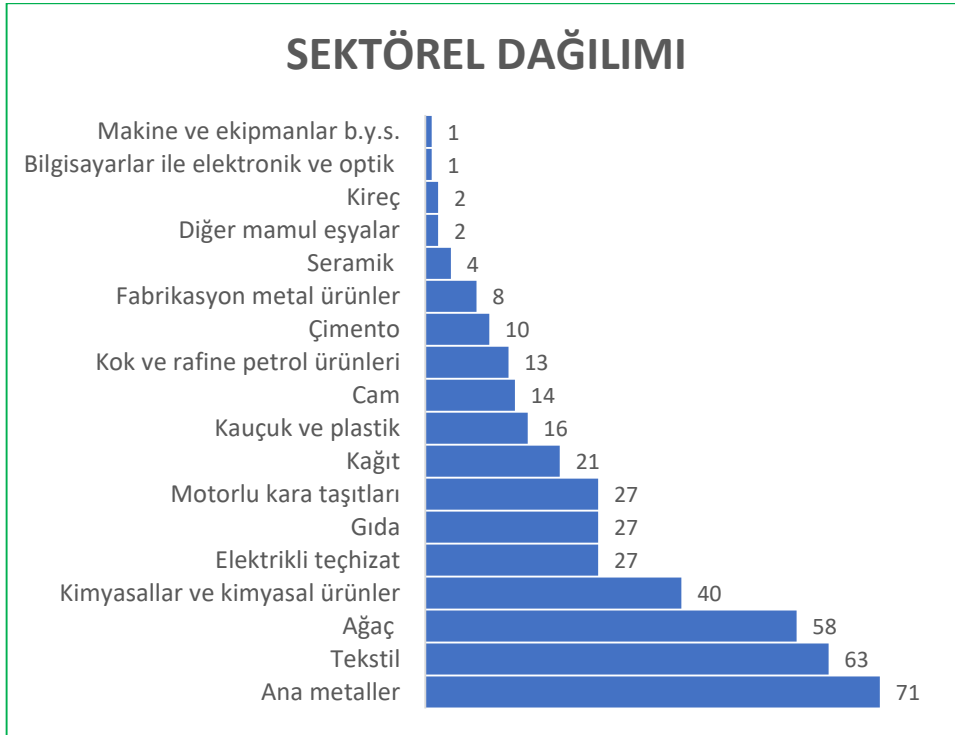
	Proje Sayısı	Yatırım Bedeli (milyon ₺)	Destek Tutarı (milyon ₺)	Parasal Tasarruf (milyon ₺/Yıl)	Enerji Tasarrufu (TEP/Yıl)
Destek Verilen	405	273,3	69,4	210,9	92.203
Uygulaması Devam Eden	408	710,8	213,2	273,3	57.392
<b>TOPLAM</b>	<b>813</b>	<b>984,1</b>	<b>282,6</b>	<b>484,2</b>	<b>149.595</b>

**Şekil 4.** Verimlilik Artırıcı Projeler Genel Bilgilendirme  
(Yatırım Tutarı-Tasarruf Miktarları)

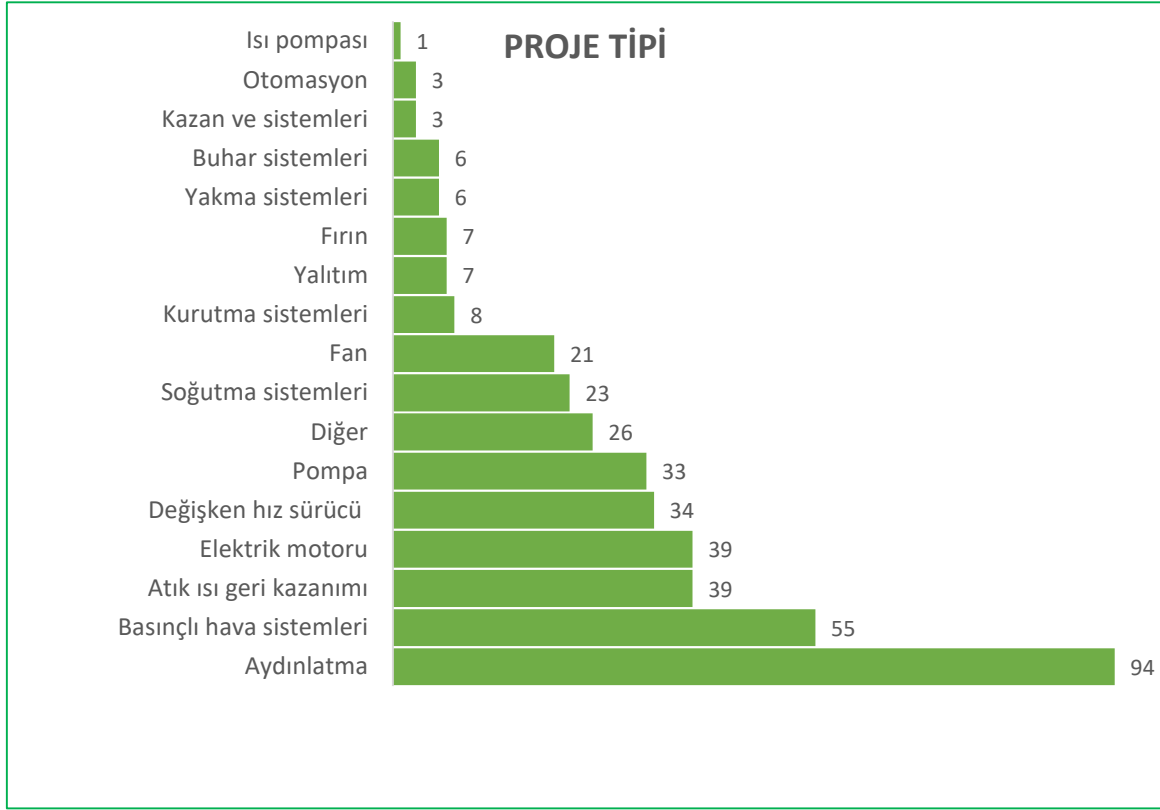


**Şekil 5.** Verimlilik Artırıcı Projeler Bölgesel Dağılım

Verimlilik artırıcı projeleri sektörel olarak inceleyecek olursak başta ana metaller olmak üzere, tekstil, ağaç, kimyasal ve kimyasal ürünler, elektrikli teçhizat, gıda ve motorlu kara taşıtları üzerine çalışan firmaları ilk sıralarda görebiliriz [4]. Projelerin sektörel manada birbiriyle bağlantılı çalışan şirketler arasında örnekleme modeliyle aktarımı ile farklı bölgelerde yer alan şirketlere de hibe alabilme konusunda faydalı olduğu görülmekte ve Win-Win(Kazan Kazan) ilkesi ile diğer iştiraklerine de katkı sağladığı izlenmektedir. Projelerin sektörel olarak dağılımını ve proje tiplerini açıklayan şekil grafikleri aşağıda belirtilmiştir:



**Şekil 6.** Projelerin Sektörel Dağılımı



Şekil 7. Proje Tipleri

### Gönüllü Anlaşmalar

Gönüllü Anlaşma, enerji verimliliği desteklerinin bir diğer modelidir. Bir endüstriyel işletmenin geçmiş beş yıllık referans enerji yoğunluğuna göre anlaşma yapıldıktan sonraki üç yılda enerji yoğunluğunu ortalama olarak en az %10 oranında azaltmayı taahhüt ederek Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ile yaptığı anlaşmayı ifade etmektedir.

**Enerji yoğunluğu;** endüstriyel işletmenin bir birim hasıla üretebilmek için tükettiği enerji miktarıdır. İşletmelerin geçmiş beş yıllık enerji yoğunluklarının ortalaması (referans enerji yoğunluğu) baz alınarak, üç yıllık izleme dönemi sonunda enerji yoğunluğunda **en az % 10** azaltım sağlama kriterlerini yerine getiren işletmeler bahse konu hibeden yararlandırılmaktadır [5].

Gönüllü anlaşma destekleri kapsamında taahhüdünü yerine getiren bir işletmenin anlaşmanın yapıldığı yıla ait enerji giderinin %30'u, 1 milyon Türk Lirasını geçmemek kaydıyla destek mahiyetinde nakdi olarak karşılanır.



Elektrik üretim faaliyeti gösteren lisans sahibi tüzel kişiler dışındaki yıllık toplam enerji tüketimleri 500 TEP ve üzeri olan ticaret ve sanayi odası, ticaret odası veya sanayi odasına bağlı olarak faaliyet gösteren ve her türlü mal üretimi yapan işletmeler Gönüllü Anlaşma desteklerinden yararlanmak için başvuruda bulunabilirler. Şuana kadar toplam 35 gönüllü anlaşma yapılmış olup, 8 tanesinin ödemesi tamamlanmış diğer 27'sinin de izlemesi devam etmektedir. 35 projenin toplamından yıllık 46,5 milyon TL civarında bir parasal tasarruf, 16.642 TEP yıllık enerji tasarrufu öngörülmektedir.



**Şekil 8.** Gönüllü Anlaşma Projeleri (Yatırım Tutarı-Tasarruf Miktarları)

Bakanlık veri tabanına kayıtlı olmak ve enerji yöneticisi atamasının yapılmış olması gibi bir takım kriterler barındıran Gönüllü Anlaşmalar her yıl Mayıs ayında Enerji Verimliliği ve Çevre Dairesi Başkanlığı tarafından kabul edilmektedir.

Proje genel bilgilendirmesine ait akış diyagramı şekilde görülmektedir.



Şekil 9. Gönüllü Anlaşmalar Akış Şeması

### Bölge Teşvik Mekanizmaları

Yıllık enerji tüketimleri 500 TEP ve üzeri imalat sanayi tesisleri;

- Mevcut duruma göre en az yüzde on beş enerji tasarrufu sağlama
- Bakanlık veri tabanına (ENVER Portalı) kayıtlı olma
- Enerji yöneticisi görevlendirme
- TSE EN ISO 50001 Enerji Yönetimi Belgesi sahip olma

şartlarını sağlamak kaydı ile bölgesel teşvik mekanizmasına başvuruda bulunabilirler.

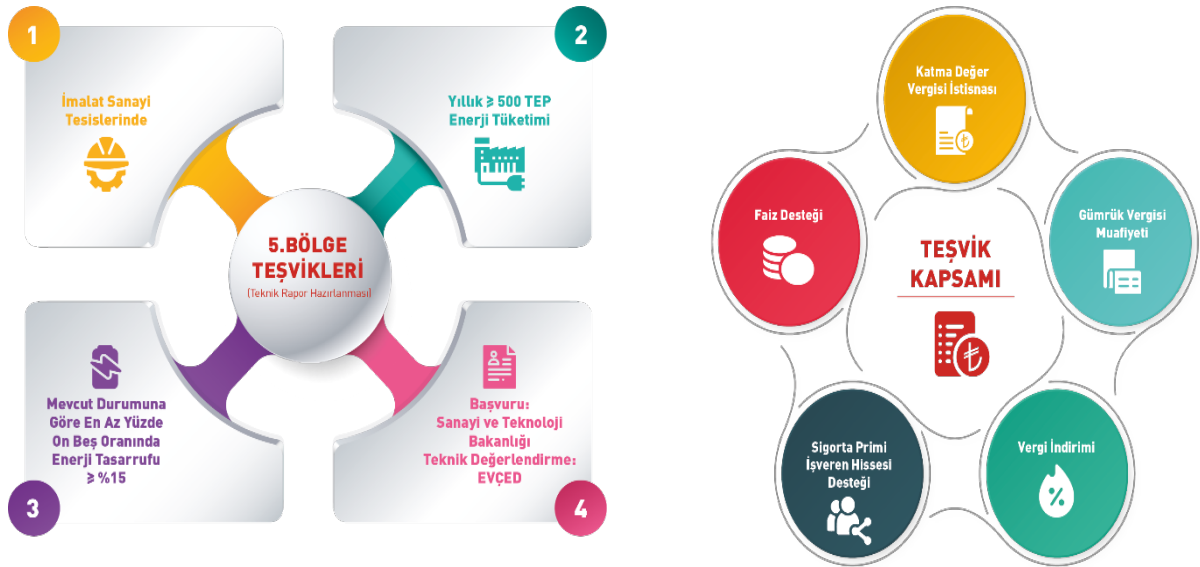
Bahse konu projelerin başvuruları Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'na yapılmakta olup, başvuruların teknik değerlendirmeleri Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yapılmaktadır. Mevcut duruma göre en az %15 oranında enerji tasarrufu sağlayacak şekilde tasarlanan enerji verimliliğine yönelik yatırımlar, yapılacağı bölgeye bakılmaksızın 5. Bölgede yapılacak olan yatırımlara sağlanan teşviklerden yararlandırılmaktadır.

Faydalanılacak teşvikler,

- ❖ Katma değer vergisi istisnası,
- ❖ Gümrük vergisi muafiyeti,
- ❖ Vergi indirimi, sigorta primi işveren hissesi desteği,
- ❖ Faiz desteği,
- ❖ Yatırım yeri tahsis

şeklinde sıralanabilir.

Gümrük vergisi muafiyeti, KDV istisnası, vergi indirimi, sigorta primi işveren hissesi desteği, yatırım yeri tahsis, faiz desteği gibi bölgesel teşviklerden faydalanmak üzere başvuruda bulunan biri kâğıt, diğeri plastik ve ambalaj sektörlerinden olmak üzere 2 endüstriyel işletmenin başvurusu teknik olarak incelenmiştir. İnceleme sonucu, enerji verimliliği kriterlerini karşılayan bir işletmenin “Isıtma ve Soğutma için Parabolik Yansıtıcı Yüzeyle Güneş Kolektörü Kullanımı Projesinin” söz konusu teşviklerden faydalanması için hazırlanan enerji verimliliği raporu Sanayi ve Teknoloji Bakanlığına gönderilmiştir.



Şekil 10. 5.Bölge Teşvikleri

### III. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Ulusal enerji verimliliği eylem planı(2017-2023 yılları) kapsamında bahsedilen 6 sektör ve 55 eylem planı dahil olmak üzere ülkemizde verimlilik çalışmalarına gerekli hassasiyetin gösterilmesi gerekmektedir. Söz konusu eylemlerin sektörel manada izleme ve değerlendirmeleri yapılmakta olup, halihazırda 2024-2030 projeksiyonu için çalıştaylar düzenlenerek (8 farklı il -10 adet çalıştay) sektörün hareketlenmesi adına birtakım tedbirler alınmaktadır. Elbette alınacak olan bu tedbirler tasarrufa giden yolda bizlere bir bakış açısı kazandıracak ve projelerin hibe ve teşvik mekanizmalarının da sektöre canlılık getirmesini sağlayacaktır. Verimlilik artırıcı projeler başta olmak üzere diğer teşvik mekanizmaları için sağlanan hibe desteklerinin, bütçesel manada iyileştirmelerinin yapılmasının rekabetçi piyasa şartlarında sisteme olumlu yönde etki edeceği düşünülmektedir.

#### Kaynaklar

- [1] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı(ETKB) Faaliyet Raporu 2021
- [2] Ulusal Enerji verimliliği Eylem Planı(2017-2023)
- [3] [www.enerji.gov.tr](http://www.enerji.gov.tr) portal.
- [4] ETKB Proje Destekler Daire Başkanlığı Faaliyet Raporları, ETKB Arşivi
- [5] Son On yılda Verimlilik Artırıcı Projeler Kitapçığı, ETKB Arşivi.

# SUSTAINABILITY STRUCTURES FOR ENERGY EFFICIENT APPLICATIONS

Mehmet Akif ÇELİMLİ<sup>1</sup>, Murat ORAL<sup>1</sup>

Konya Technical University, Department of Architecture, Konya, Türkiye

## *Abstract*

*The concept of sustainability can go beyond the technical realm of “Green” design, invention and expertise when viewed as an architect, Thanks to the structures that are tried to be positioned in a wider cultural framework with a focus on the sustainability of human life, the lifespan of both buildings and other living things can be extended. In this context, in this study, the necessary principles for energy efficient and sustainable building design are examined and examples from the world are included. Sustainable materials that can be used in building design and their recycling have been researched. The study of rich multidisciplinary studies in the relationship of man with nature and the environment will expand the relationship of architecture with all units and contribute to the sustainability of human and living life.*

## I. INTRODUCTION

The globe is now engaged in the fight against the third wave of coronavirus. People have observed large-scale setbacks on numerous fronts after two continuous years of living with the virus. These setbacks include a financial crisis, unemployment, and the deterioration of healthcare services. On the other side, it has also pushed to the forefront a number of global challenges, such as the need for sustainable development, global warming, and climate change, amongst others.

As people from all over the world experienced the unpredictability of nature and the precariousness of human existence, they came to understand the need of making little investments in the here and now in order to cultivate a better and more sustainable future. In this piece, we will shed some light on energy-efficient buildings and how they are fast opening a multitude of possibilities with sustainable innovation. In particular, we will focus on how these buildings are helping to reduce greenhouse gas emissions.

Even if the majority of people are familiar with the meaning of the term "sustainable". It can be started with a knowledge of the principles of what makes building or structures sustainable.

## II. SUSTAINABILITY ABOUT ARCHITECTURE

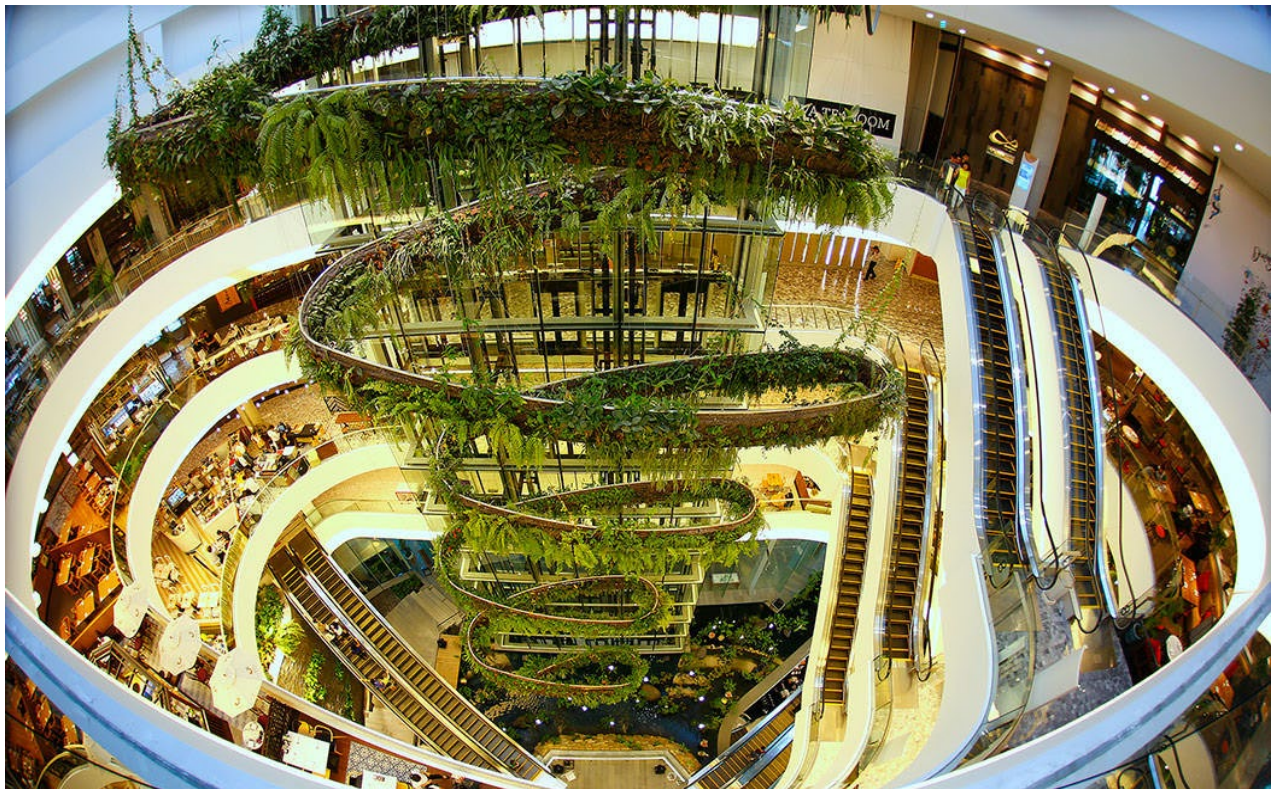
Architecture that is environmentally and socially responsible considers how structures interact with the communities in which they are located. The production of structures that have a low impact on the surrounding environment and a low level of energy consumption is the objective of sustainable design. To give priority to renewable energy sources and to utilize energy efficiently in the region where it is situated is one of the most essential characteristics of sustainable design [1]. This is also one of the most important elements of sustainable architecture. The usage of materials, energy, development space, and the ecosystem in general all have a role in sustainable design, which is architecture that attempts to limit the negative influence that buildings have on the environment. Architecture that is sustainable takes into account and strives to save both energy and the natural environment when designing new buildings and other structures [2].



**Figure 1.** Sustainable building example on Vertical Gardens by Patrick Blanc at the top of One Central Park Tower, Sydney [3].

In many industrialized nations, the construction or structure sector is one of the main energy end-use sectors, accounting for a greater share of overall energy consumption than both industry and transportation. In 2004, the construction industry accounted for 40%, 39%, and 37% of the total PER in the United States, the United Kingdom, and the European Union, respectively [4]. In China, construction stocks accounted for about 24.1% of total national energy consumption in 1996, growing to 27.5% in 2001 and anticipated to reach 35.0% by 2020 [5]. Globally, buildings account for over 40% of the total PER and over 30% of CO<sub>2</sub> emissions [6].

It can be seen clearly in Figure 1 and 2 some sustainable building examples [3]. These sustainable structures aim to acquire a reduced environmental impact in a cost-effective manner, high performance structures are crucial elements of a worldwide energy plan to decrease carbon emissions, fossil fuels depletion, and other related issues. To attain these outcomes, it is necessary to extensively depend on validated models throughout both the design and operating phases [7], [8]. The idea of sustainability, or ecological design, is to ensure that our use of currently available resources does not have detrimental effects on our collective well-being or make it impossible to obtain resources for other applications in the long run [9].



**Figure 2.** Sustainable building example on Rain Forest Chandelier by Patrick Blanc at EmQuartier, Bangkok [3].

On the designs and construction of building envelopes (for example, thermal insulation and reflective coatings [7], sensitivity and optimisation [5], and life-cycle analysis [1]); on the technical and economic analysis of energy-efficient measures for the renovation of existing buildings [10]; Due to the urgency of the global targets, it is vital to promote the expansion of field knowledge by concentrating on the aforementioned factors, since energy-efficient buildings must become standard practice within a short time period. In other words, a "learning from performance" strategy must be used to critically evaluate the outcomes of various design techniques and Technologies [8].

Improving building models make an effort to characterize the influence of a variety of internal and external events (including weather, occupancy, appliances, and so on) using physical

relations (both algebraic and differential). In spite of the fact that the results for each individual component or sub-system can be easily validated, the overall system simulation output can be very different from the measured value in real world applications. This is because all of these relations require the use of a large number of parameters [10], [5], [9].

### III. SUSTAINABLE STRUCTURES DESIGNING MATERIALS

Structures of sustainable building materials can include recycled fiberglass insulation or sustainably harvested wood, volcanic pumice, linoleum (linoleum), sheep's wool, concrete (high and very high performance novel self-healing concrete), panels made of paper scraps, baked earth, compacted earth, clay, vermiculite, linen fabric, sisal, seaweed, expanded clay grains, coconut, wood fiber boards, calcium sandstone and etc.





















Materials types	Examples of output materials and products			
Organic material	 Product: water bottle Material's origin: red algae+water	 Product: lighting Material's origin: cork	 Product: dress Material's origin: mycelium mushroom	 Product: bench upholstery Material's origin: salmon skin
Bio-polymer	 Product: tooth brush Material's origin: plant based plastic	 Product: clock Material's origin: corn starch	 Product: stool Material's origin: spoiled milk	 Product: packaging Material's origin: cassava's root and natural resin
Synthetic-polymer	 Product: bag Material's origin: truck's tarp	 Product: toy Material's origin: flip-flop	 Product: chair Material's origin: pet bottle	 Product: sneaker Material's origin: polyamide gill net
Natural-composite	 Product: sunglass Material's origin: hemp fibre & bio-resin	 Product: plates Material's origin: bamboo & corn	 Product: bowl Material's origin: agar & calcium carbonate	 Product: stool Material's origin: mushroom & wood fibre
Synthetic-composite	 Product: table Material's origin: post industrial denim, clothing scrap and resin	 Product: chair & table Material's origin: cotton yarn & resin	 Product: Sunglass Material's origin: denim offcut & resin	 Product: stool Material's origin: discarded fabric & resin

Figure 3. Sustainable example on materials on designing [11].



It can be shown in Figure 3 adding vegetation or protection to building facades is also beneficial. 100% of paper made from forest wood is recyclable. Thus, it renews and conserves almost all of the forest trees it obtains throughout the manufacturing process [12].

Despite the significance of materials to the overall sustainability of a structure, measuring and evaluating the sustainability of building materials has proven to be challenging. The lack of uniformity in measuring and assessing the sustainability features of materials has resulted in a landscape populated with hundreds of competing, inconsistent, and sometimes inaccurate eco-labels, standards, and certifications. This disparity has resulted in misunderstanding among consumers and business purchasers as well as uneven incorporation of sustainability requirements in bigger building certification schemes such as Leadership in Energy and Environmental Design (LEED). Regarding the rationalization of the standardized sector for sustainable building materials, several ideas have been presented [13].

### **3.1 Sustainable energy usage principles on Structures**

Throughout a building's full life cycle, energy efficiency is the most crucial objective of sustainable design. Architects utilize a variety of passive and active approaches to minimize the energy requirements of buildings and boost their capacity to absorb or create energy on their own. [14] Utilizing site analysis is essential for exploiting local natural resources and affecting energy-related aspects such as sunshine, solar heat gains, and ventilation.

Throughout time, several passive architecture methods have been created. Such methods include the ratio between building heights and street widths for the arrangement of rooms. For example, the size and routing of a building's windows, and the routing of facades and streets for urban planning [15] A well-insulated building is an essential and cost-effective component of an efficient heating, ventilation, and air conditioning (HVAC) system. A more efficient structure uses less energy to create or disperse heat, but may need greater ventilation capacity to remove filthy air from the inside.

In addition, passive solar building design allows structures to effectively use sun energy Without the use of active solar technologies such as photovoltaic cells or solar hot water panel. Passive solar building designs often have a high thermal mass that maintains thermal efficiency and robust insulating materials that prevent heat loss [9], [13], [15]. In order to avoid the sun's heat in the summer and decrease the need for artificial cooling, low-energy designs need the installation of awnings, blinds, or shades. In order to limit heat loss, low-energy buildings often feature a low ratio of surface area to volume. Consequently, sprawling multi-wing building designs (sometimes believed to be "organic") are often abandoned in favor of consolidated buildings. Figure 4 shows solar building designs for sustainable structures.



**Figure 4.** Passive solar structure designing [16].

Also, traditional cold climate structures, such as American colonial architecture, provide as an excellent historical model for small-scale central heating efficiency. The windows must be positioned to optimize heat-generating light while limiting heat loss via glass, which is an inefficient insulator. In the Northern Hemisphere, this involves placing several south-facing windows and restricting the number of north-facing windows somewhat. Certain window types, such as double or triple glass insulated windows with gas-filled cavities and a low-emission (low-E) coating, provide much more insulation than single-pane windows [16], [17].



**Figure 5.** Solar devices usage on designing [16].

Figure 5 shows that using solar shading devices to prevent excessive solar energy gains in the summer is essential for reducing the demand for cooling. Frequently, deciduous trees are placed in front of windows to provide shade in the summer and enable light to flow through in the winter when their leaves have fallen. Shutters or light shelves are built to let light in during the winter (lower sun angle) and block it out during the summer (higher sun angle in the sky).

There are some parameters which make architects attention as; Optimum sun absorption, Structure's design, North side angle, Allocating interior rooms, Window location, Sheltered entrance, Material selection and etc. It can be easily researched detaily in solar passive designing for architectures book [17].

Typically, coniferous or evergreen plants are put to the north of buildings to shield them from the chilly north winds. In cold areas, heating systems are the primary focus of sustainable construction, since they often represent one of the greatest energy drains in buildings.

#### **IV. SOLUTIONS FOR SUSTAINABLE ENERGY EFFICIENT APPLICATIONS**

Building arrangement is a crucial but frequently neglected part of sustainable construction. A clutter-free atmosphere is often detrimental to the environment, despite the fact that it is commonly seen as the perfect green house or workplace. First, such facilities often act as the front lines of suburban growth without intention. Second, it often raises the needed energy value for transportation and causes extra automobile emissions. Ideally, the majority of building should avoid suburban expansion in favor of the New Urbanism's concept of light urban growth. As proposed by the Smart Urbanism Principles, mixed-use zoning, comprising commercial, residential, and light industrial zones, may make it more accessible for individuals going by bicycle or public transportation. Permaculture's comprehensive application may also be of great assistance in the location of buildings that limit energy use and function in harmony with the environment as opposed to being incompatible, particularly in rural and wooded settings.

Simultaneously, opponents of Modernism's reductionism within architectural education have often emphasized that architectural history instruction has been omitted as a causative component. Notable is the fact that major players who turned away from modernism were trained in the 1940s and 1950s at Princeton University's School of Architecture, where utilizing history as a resource remained an integral element of design education. The growing focus on history has had a significant influence on architectural education. Lessons in history have grown more usual and routine. In response to the increased need for teachers with expertise at architectural history, PhD programs in architectural schools have been developed to distinguish them from art history doctoral programs in which architectural historians previously enrolled. In the mid-1970s in the United States, MIT and Cornell were the first universities to be founded, followed by Columbia, Berkeley, and Princeton. Bruno Zevi at the Institute for the History of Architecture in Venice, Stanford Anderson and Henry Millon at MIT, Alexander Tzonis at the Architectural Association, Anthony Vidler at Princeton, Manfredo Tafuri at the University of Venice, and Columbia University are

among the founders of the new architectural history programs. Kenneth Frampton and Werner Oechslin and Kurt Forster at ETH Zurich [18].

Simultaneously, the most recent movements of New Urbanism and New Classical Architecture advocate for a sustainable approach to construction that appreciates and promotes smart expansion, architectural tradition, and classical design. Both developments started in the 1980s [18]. With incentives of this historical developments such as the Driehaus Architecture Prize, the New Urbanism, and the modernist Pritzker Prize, which honours work in New Classical Architecture, sustainability design may be expedited in architectural education.

At least, Building Information Modeling in sustainable structures BIM is used to facilitate sustainable design by allowing architects and engineers to assess and integrate building performance.

## V. CONCLUSIONS

In architecture, the word "sustainability" has mostly been viewed from the standpoint of building technologies and alterations. Thanks to several studies that went beyond the technical sector of "green" design, innovation, and knowledge, the notion of architecture and sustainability started to be positioned in a broader cultural context alongside themes such as the sustainability of life and human lifespan. Adopting this paradigm permits the reconstruction of a rich history of cultural arguments on our relationship to nature and the environment in many historical and geographical settings. With the cascading and rapid availability of consistent and trustworthy project data, building measurement services, including conceptual and topographic modeling, give a fresh viewpoint on green construction. It provides a means. constructing measures, It helps designers to assess the environmental effect of systems and materials in order to make sustainable building design choices. Understanding the components of sustainable constructions may also lead to the creation of innovative designs and materials. Architects may extend the lifespan of our planet by incorporating the notion of sustainability into their designs for greener, more sustainable living.

## References

- [1] R. Yao, B. Li, and K. Steemers, "Energy policy and standard for built environment in China," *Renew. Energy*, vol. 30, no. 13, pp. 1973–1988, Oct.
- [2] L. Yang, H. Yan, and J. C. Lam, "Thermal comfort and building energy consumption implications – A review," *Appl. Energy*, vol. 115, pp. 164–173, Feb. 2014, doi: 10.1016/J.APENERGY.2013.10.062.
- [3] P. K. Singh Rathore, S. K. Shukla, and N. K. Gupta, "Potential of microencapsulated PCM for energy savings in buildings: A critical review," *Sustain. Cities Soc.*, vol. 53, p. 101884, Feb. 2020, doi: 10.1016/J.SCS.2019.101884.

- [4] L. Pérez-Lombard, J. Ortiz, and C. Pout, “A review on buildings energy consumption information,” *Energy Build.*, vol. 40, no. 3, pp. 394–398, Jan. 2008, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2007.03.007.
- [5] E. Mazria and R. H. Ball, *The passive solar energy book : a complete guide to passive solar home, greenhouse, and building design*. Rodale Press, 1979.
- [6] M. Manfren, N. Aste, and R. Moshksar, “Calibration and uncertainty analysis for computer models – A meta-model based approach for integrated building energy simulation,” *Appl. Energy*, vol. 103, pp. 627–641, Mar. 2013, doi: 10.1016/J.APENERGY.2012.10.031.
- [7] M. Jarzombek, “The Disciplinary Dislocations of (Architectural) History,” *J. Soc. Archit. Hist.*, vol. 58, no. 3, pp. 488–493, Sep. 1999, doi: 10.2307/991543.
- [8] V. Gutiérrez González, G. Ramos Ruiz, and C. Fernández Bandera, “Ground characterization of building energy models,” *Energy Build.*, vol. 254, p. 111565, Jan. 2022, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2021.111565.
- [9] E. Giaccardi and E. Karana, “Foundations of materials experience: An approach for HCI,” *Conf. Hum. Factors Comput. Syst. - Proc.*, vol. 2015-April, pp. 2447–2456, Apr. 2015, doi: 10.1145/2702123.2702337.
- [10] A. Crabbe, “Three strategies for sustainable design in the developing world,” *Des. Issues*, vol. 28, no. 2, pp. 6–15, Mar. 2012, doi: 10.1162/DESI\_A\_00139.
- [11] A. Costa, M. M. Keane, J. I. Torrens, and E. Corry, “Building operation and energy performance: Monitoring, analysis and optimisation toolkit,” *Appl.*
- [12] C. Chokwitthaya, Y. Zhu, and S. Mukhopadhyay, “Robustness analysis framework for computations associated with building performance models and immersive virtual experiments,” *Adv. Eng. Informatics*, vol. 50, p. 101401, Oct. 2021, doi: 10.1016/J.AEI.2021.101401.
- [13] F. I. Bahrudin and M. Aurisicchio, “The appraisal of sustainable materials,” *Proc. Int. Des. Conf. Des.*, vol. 6, pp. 2575–2584, 2018, doi: 10.21278/IDC.2018.0455.
- [14] “(PDF) THE APPRAISAL OF SUSTAINABLE MATERIALS.” [https://www.researchgate.net/publication/325603212\\_THE\\_APPRAISAL\\_OF\\_SUSTAINABLE\\_MATERIALS](https://www.researchgate.net/publication/325603212_THE_APPRAISAL_OF_SUSTAINABLE_MATERIALS) (accessed Nov. 15, 2022).
- [15] “Sustainable architecture | Dezeen.” <https://www.dezeen.com/tag/sustainable-architecture/page/5/> (accessed Nov. 15, 2022).
- [16] “Green Infrastructure | US EPA.” <https://www.epa.gov/green-infrastructure> (accessed Nov. 15, 2022).
- [17] “One Central Park, Sydney | Vertical Garden Patrick Blanc.” <https://www.verticalgardenpatrickblanc.com/realisations/sydney/one-central-park-sydney> (accessed Nov. 15, 2022).
- [18] “Sustainable Architecture: Taking Responsibility for the Future - preservada pelo Arquivo.pt.” <https://arquivo.pt/wayback/20160519071458/http://www.doerr>
- [19] “Sustainable Architecture and Simulation Modelling.” <https://web.archive.org/web/20130506035740/http://www.cebe.heacademy.ac.uk/learning/habitat/HABITAT>

# WASTE TO ENERGY: ANAEROBIC PROCESS AND DIGESTATE MANAGEMENT

**Meltem SARIOĞLU CEBECI**

Department of Environmental Engineering  
Sivas Cumhuriyet University  
Sivas/Turkey  
[sarioglu@cumhuriyet.edu.tr](mailto:sarioglu@cumhuriyet.edu.tr)  
ORCID: 0000-0002-3636-0388

## ***Abstract***

*Biodegradable organic wastes such as food waste, sewage sludge, manure, agricultural and municipal solid waste into digestate through the process of anaerobic digestion is becoming increasingly attractive. Sustainability of accumulation of these waste will be very important issue for anaerobic technology and biogas and byproducts (fertiliser) production. The utilisation of anaerobic digestion for biogas (energy) and digestate (fertiliser) and alternative other uses is very important to obtain a circular bioeconomy. The section aims to summarize the environmental management of organic waste using anaerobic digestion in order to understand both one of the renewable energy sources: biogas and the value of digestate as a fertiliser and soil conditioner.*

## **I. INTRODUCTION**

Since the introduction of the Renewable Energy Directive (2009/28/EC) in 2009, the use of renewable energy has increased every year, reaching over 22% in 2020. The Renewable Energy Directive was revised in 2018. (<https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy>) In its current form, the directive targets 32% of the EU's renewable energy in energy consumption by 2030.

Timeline for renewable energy in the EU as Renewable Energy Directive goals to raise target for 2030 to 40% in 2021 and REPowerEU plans to increase its 2030 target to 45% (<https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy>)

Up to now, 80% of the world's energy needs have been met from fossil fuels, resulting in various environmental problems such as air pollution, greenhouse gas emissions, climate change and other public health hazards. [1,2]

Reducing the energy requirement associated with fossil fuels has made anaerobic digestion of biomass a popular option. Energy production (biogas) from organic matter-rich wastes (solid waste, agricultural waste, forest waste, garden waste, fruit and vegetable waste, animal manure, etc.) is one of the important renewable energy sources (wind, sun, biomass etc.). Among these resources, biogas is in an important position both in reducing waste accumulation and in ensuring energy security. Biogas is a product obtained from the anaerobic digestion (AD) of organic wastes and can be used to generate electricity [3].

The process of anaerobic digestion occurs through the breakdown of organic waste by a several strict anaerobic micro-organisms under without oxygen conditions. There are four main steps by which organic waste can be decomposed: hydrolysis, acidogenesis, acetogenesis and methanogenesis, and finally it turns into biogas (mainly  $\text{CH}_4$  and  $\text{CO}_2$ ) [4].

Anaerobic digestion is a microbiological process with degradation of organic, biodegradable wastes and byproduct of methane-rich biogas and nutrient rich. Biogas can be used as a renewable energy source for heat, combined heat and power (CHP) and/or for transportation fuel. Digestate, which contains all the nutrients of the treated materials, can be used as a fertiliser directly or after further studies [5]

Waste-to-biogas conversion as a important example of waste-to-energy (WtE) technology for renewable energy sources. [4], [5]. This section explains waste sources (sludge, agricultural, animal waste etc), use of biomass in energy production (biogas) and overview of waste and waste management issues by product of fertilizer with use of digestate.

## **II.ANAEROBIC DIGESTION**

Anaerobic systems are rapidly developing due to the fact that they are an effective treatment process in the treatment of various wastewaters from domestic wastewaters to industrial wastewaters, and their application area is gradually increasing. Anaerobic digestion (AD) has been successfully established as technology to treat and reduce organic wastes and makes available a renewable energy. Anaerobic processes have been also used for the treatment of concentrated municipal and industrial wastewaters for well over a century.

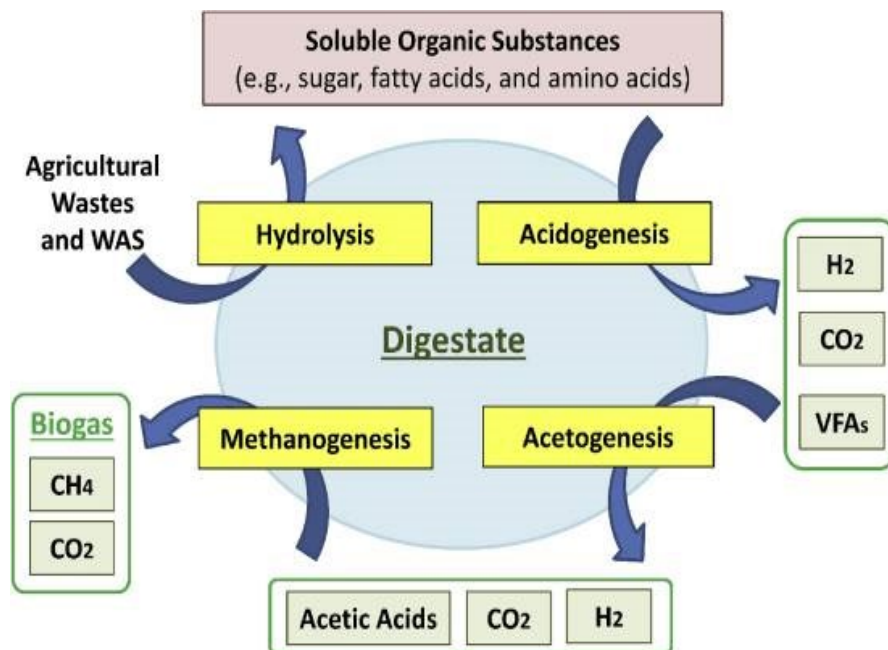
Several types of anaerobic reactors can be used high organic level of wastewater treatment system in order to degrade organic material and finally to produce energy (biogas) such as up flow anaerobic sludge blanket (UASB), completely anaerobic mixed reactor, fluidized bed, upflow anaerobic filter. Among to these reactor types UASB are generally used in Europe because of a lot of advantages of these reactors i.e. not needed sedimentation tank, high quality of effluent standard, compact processes and granule sludge occurs [11].

Anaerobic treatment systems are complex systems because hydrodynamic conditions and operating conditions are difficult to ensure. The acetogenesis phase then breaks down the VFAs into acetate,  $\text{H}_2$ , and

CO<sub>2</sub> [4]. The process of methanogenesis, involves the complex interaction of methanogens and enzymes to convert acetate and H<sub>2</sub> into CH<sub>4</sub> [6, 7]. Anaerobic degradation of biomass with biogas production occurs by distinct bacterial and archaeal consortia. Microbial activity and composition of the biogas depend on the substrate type.

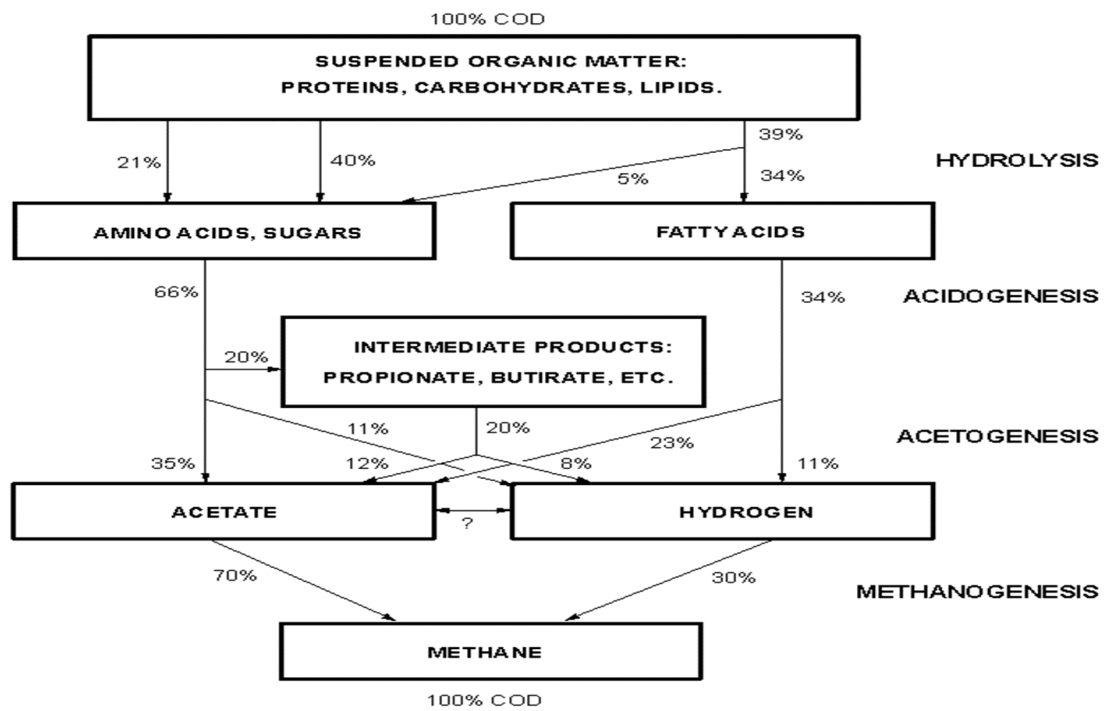
The AD process produces free ammonia-N , volatile fatty acids (VFA), sulfides, sulfates, which are nutrients for bacteria but in some certain concentration of ammonia-N is inhibitor and finally toxic to AD microorganisms. An excess of VFA, sulphates, sulphides also can lead to complete inhibition of the anaerobic process [8,9]

Biogas produced from AD is composed with more than 50% of methane. Energy production cannot be achieved by aerobic digestion. In other words aerobic process consume the energy contrast to anaerobic digestion. AD can protect human and animal health by minimizing the pathogens. AD process can also reduce odors from manure. In general, AD treatment is widely applied for wastewater treatment due to this process can tolerate the higher organic loading (COD >4000 mg/L). In this respect, anaerobic treatment systems are biological processes that must be continuously monitored in terms of biogas production, which is an indicator of biomass activity in the process, as well as basic physicochemical parameters such as pH, temperature, alkalinity and volatile fatty acids. However, since anaerobic treatment systems are easily affected by many process conditions such as input pH value, organic and hydraulic loading rates, toxic substance concentration, shock loadings, the biogas production to be provided from the process is also highly dependent on the applied process conditions and inputs. On the other hand, anaerobic treatment also has negative aspects such as the fact that effluents cannot meet the receiving environment standards and the microorganism's escape from reactors [10].



a) Soluble organic waste and anaerobic degradation products during the degradation stages





b) Degredation of organic waste stages with based on COD ratio

**Figure 1** Anaerobic degradation stages of organic wastes (a, b) [11]

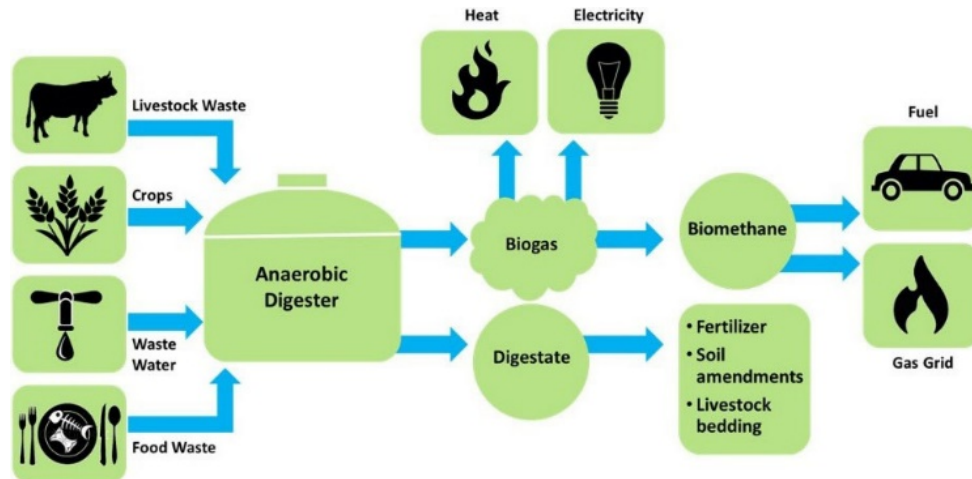
Anaerobic degradation basically takes place in these stages; hydrolysis, acid formation and methane formation. The hydrolysis and acid formation are occurred together. In the hydrolysis stage, complex organic molecules are converted into smaller and simpler molecules by the extracellular enzymes of microorganisms. In example, carbohydrates such as cellulose, lignin and hemicellulose are converted to glucose, pentose, and hexo; proteins are converted to polypeptide and amino acids; fats are converted to alcohols, acids and hydrogen. Dry anaerobic digestion (AD) is appropriate for treatment of organic waste with high TS content. Optimization of C/N ratio, S/I ratio (or organic loading rate), and TS content is important to avoid failure of anaerobic digestion..

AD is one of the most persuasive biological processes for converting the biomass feedstock's into biogas and CO<sub>2</sub>, simultaneously, AD produces valuable digestate as a residue by-product [12,13] (Figure 2).

Solid digestate is as biofertilizer for farmers in order to get nutrient demand for soil and protect groundwater nutrient pollution such as ammonium leaching organic rich wastes like manure .Manure also can be used as a conditioner for soil. The largest groups of animal wastes are slaughterhouse waste and manure. With significant livestock production, the amount of these wastes is large and requires ongoing disposal. Storage of animal waste may pose a direct environmental and healthrisk. Before giving them to environment, characterization of digestate should be achieved according to Legistitaton and Directives. Recently, a global milestone has been achieved as the European Union has acquainted with a new fertilizer

regulation (CE, 2019/1009) that can lead to commercialization of digestate-based products from AD in the global market[13]

Anaerobic co-digestion is together with one or more substrates with complementary properties. In general, this process is more efficient than mono-digestion for methane production potential because of synergic effects of substrates. [11].



**Figure 2.** Anaerobic digestion : Biogas and digestate (<https://www.eesi.org/papers/view/fact-sheet> )

### III. ORGANIC WASTES

Animal waste; it occurs with heterogeneous material by different physical and chemical features. Various animal stocks for feeding to the AD process result in several digestate compositions, and the addition of plant biomass for co-digestion with animal waste is necessary to achieve the reasonable C:N ratio required for effective biogas production. Therefore codigestion of animal waste with others such as agricultural waste, food waste, sewage are very important to improve biogas production and upgrading of AD processes. As a result of prolonged storage of animal waste, the biogas production of the AD process is significantly reduced. [14]

There is potential for recovery of fertilizer nutrients (N, P, K) from anaerobic digestion of animal wastes and by-products. Digestate can be used as a raw material for land applications in agriculture but often requires additional treatment methods.

Food waste ;is an important part of the organic fraction of municipal solid waste. includes kitchen waste, food waste from restaurants,hotels,canteens, waste from the processing of fruit, vegetables, fat, flour, etc. Using food waste as fertilizer can reduce the use of synthetic fertilizers in agriculture. The characteristics of food waste generated during decomposition show greater differences than in conventional manure or agricultural waste digestion. It shows that food wastes contain higher concentrations of

ammonium compared to other organic wastes in anaerobic digestion. Food waste contains abundant organic nitrogen and is often converted to ammonium [15].

Municipal solid waste; stands out as a valuable renewable energy source. Municipal solid waste (MSW) is solid waste generated in people's daily lives and it includes household waste, commercial waste and waste from cleaning.. The generation rate of Municipal Solid Waste is expected to increase to 2.2b ton/year by 2025 worldwide [16]. MSW can be classified into organic and inorganic (paper, plastic, glass, metals, and other) [17]. Municipal solid waste as a valuable renewable energy resource. MSW composition varies from one country to another. The biodegradable MSW fraction has a high potential for energy production. Biogas from anaerobic bio-digestion process can produce heat in a boiler, heat and electricity in CHP or vehicle fuel after upgrading and compressing.

Agricultural waste;is agricultural residues including woody biomass, considerable amounts of byproducts of farming activities and crop residues. Agricultural residues can be referred to as primary or secondary residues. Primary residues are mostly obtained in the fields during harvest and are also called field-based materials. Fruit bunches, soybean straw, palm oil leaves or corn stalks are examples. Secondary residues, on the other hand, arise during processing and are also known as processing residues. Examples of secondary residues include coconut shell, saw dust and palm oil shell.

Lignocellulosic biomass is a major agricultural residue that comprises three main building blocks of cellulose, hemicellulose, and lignin. Extractives such as lipids, resins, fats, terpenes, and flavonoid compounds are also present in smaller quantities. Lignocellulosic biomass typically comprises of cellulose (35–55 wt%), hemicellulose (20–40 wt%) and lignin (10–25 wt%).[5] In order to improve anaerobic digestion using agricultural waste, pretreatment of feedstock is important .Physical, chemical and biological treatment methods can be used in order to achieve degradation of lignocellulosic part of agricultural waste.

Industrial waste; mostly consisting of food and beverage waste as well as waste from sugar, starch and fruit processing, is produced in large quantities. Waste with a high concentration of hydrocarbons, fats and proteins is the most suitable for biodigestion.

#### **IV. BIOGAS**

Biogas production technologies are called as 'wet' and 'dry' techniques. In general, 'wet' anaerobic digestion technologies have been adopted in well-established systems to treat municipal wastewater. The digestion process produces biogas and decontaminated water . 'Dry' anaerobic digestion technologies operate with higher solid content and produce greater heat [18].The production of biogas reduces the amount of waste and, therefore, reduces the amount of waste for disposal in landfills. This biogas is usually used in two ways: to generate electricity and to produce heat in different required processes . The resulting

excess heat can also be used in district heating networks or industrial processes. Purified biogas, known as biomethane, is obtained by upgrading biogas by separating CO<sub>2</sub> from biogas. Thus, the calorific value of the raw biogas is improved.

## V. DIGESTATE

The digestates taken from the AD of organic waste are good at nutrients such as N (up to 21%), P (up to 3.5%) and other macro- and micronutrients, and organic matter, which should be recycled based on sustainability [16,17,9].

Digestate byproducts from AD after produced biogas can be used as fertilizer depends on characterization of it. It can be divided into two parts as solid and liquid. Solid liquid separation is the first step of treatment. The digestate is generally separated with a decanter centrifuge producing liquid and solid fractions of which the liquid fraction was further treated to produce fertilizer products. The solid digestate is considered to be used as in agriculture, Several liquid digestate treatment methods can be used such as ammonia stripping, membrane process (reverse osmosis), precipitation, flocculation-coagulation, composting so on.

## VI. CONCLUSION

Source of waste is very important for energy production efficiency. Biodegradable organic biomass (municipal solid, sewage, food waste, agricultural waste manure) characterization with pretreatment or without pretreatment (the value of total suspended solid, Chemical oxygen demand, etc), operation conditions of anaerobic process affects the methane production yield.

Use of food waste in composts plants and landfills, resulting in increased greenhouse gas emissions, increased water consumption in agriculture. Waste produced in agriculture affects soil pollution, though animal manure was considered a soil conditioning with rich in nutrients and organic matter and helping to maintain physical properties of soil, such as moisture retention and structure. However high level of ammonium nitrogen and other nutrients has harmful effect on ground water.

Excessive use of manure in soil has led to the accumulation of not only macronutrients, such as nitrogen, phosphorous and potassium, but also heavy metals, resulting in a negative impact on the health of animals. Water pollution caused by livestock farming is associated with removal of minerals from the soil, whereas air pollution is caused by more than a hundred gaseous compounds, which are released into the atmosphere by means of ventilation systems. Therefore features of organic material should be known very well and environment must be protected from organic waste accumulation effects.

In this approach overall anaerobic process together with biogas production and use of byproduct digestate as biofertilizer will be economic and sustainable.

## References

- [1] Hosseinzadeh-Bandbafha, H., Tabatabaei, M., Aghbashlo, M., Khanali, M., Demirbas, A. (2018). A comprehensive review on the environmental impacts of diesel/biodiesel additives. *Energy Convers. Manag.* 174, 579–614. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.08.050>.
- [2] Tabatabaei, M., Aghbashlo, M., Valijanian, E., 2020. A comprehensive review on recent biological innovations to improve biogas production, Part 1: upstream strategies. *Renew. Energy* 146, 1204–1220. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.07.037>.
- [3] Z. Jia, B. Wang, S. Song, ve Y. Fan, “Blue energy: Current technologies for sustainable power generation from water salinity gradient”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, c. 31, ss. 91-100, Mar. 2014, doi: 10.1016/j.rser.2013.11.049.
- [4] Zhang, C., Su, H., Baeyens, J., Tan, T., 2014. Reviewing the anaerobic digestion of food waste for biogas production. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 38, 383–392. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.05.038>.
- [5] Hijazi, O., Munro, S., Zerhusen, B., Effenberger, M., 2016. Review of life cycle assessment for biogas production in Europe. February 2016. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 54, pp. 1291-1300
- [6] Patel, V., Pandit, S., Chandrasekhar, K., 2017. Basics of Methanogenesis in Anaerobic Digester, *Microbial Applications*, vol. 2. Springer, pp. 291–314.
- [7] O'Connor, J., Mickan, B. S., Rinklebe, J., Song, H., Siddique, K. H., Wang, H., ... & Bolan, N. S. (2022). Environmental implications, potential value, and future of food-waste anaerobic digestate management: A review. *Journal of Environmental Management*, 318, 115519.
- [8] Zhao, D., Yan, B., Liu, C., Yao, B., Luo, L., Yang, Y., Liu, L., Wu, F., Zhou, Y., 2021. Mitigation of acidogenic product inhibition and elevated mass transfer by biochar during anaerobic digestion of food waste. *Bioresour. Technol.* 338, 125531. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2021.125531>.
- [9] Samoraj, M., Mironiuk, M., Izydorczyk, G., Witek-Krowiak, A., Szopa, D., Moustakas, K., & Chojnacka, K. (2022). The challenges and perspectives for anaerobic digestion of animal waste and fertilizer application of the digestate. *Chemosphere*, 295, 133799.
- [10] Cebeci, M. S., & Gökçek, Ö. B. (2018). Investigation of the treatability of molasses and industrial oily wastewater mixture by an anaerobic membrane hybrid system. *Journal of environmental management*, 224, 298-309.

[11] Bişgin, T. (2019). Sivas Atıksu Aritma Tesisi Aritma Çamurlarının Farklı Ek Besi Maddeleri Kullanılarak Anaerobik Birlikte Çürütülmesinin(Codigestion) Araştırılması. Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

[12] Ghosh, P., Kumar, M., Kapoor, R., Kumar, S.S., Singh, L., Vijay, V., Vijay, V.K., Kumar, V., Thakur, I.S., 2020a. Enhanced biogas production from municipal solid waste via co-digestion with sewage sludge and metabolic pathway analysis. *Bioresour. Technol.* 296, 122275. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122275>.

[13] Agarwal, N. K., Kumar, M., Kumar, S. S., Singh, L., Vijay, V. K., & Kumar, V. (2022). Anaerobic digestion of sugarcane bagasse for biogas production and digestate valorization. *Chemosphere*, 133893.

[14] Purdy, A., Pathare, P.B., Wang, Y., Roskilly, A.P., Huang, Y., 2018. Towards sustainable farming: feasibility study into energy recovery from bio-waste on a small-scale dairy farm. *J. Clean. Prod.* 174, 899–904. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2017.11.018>.

[15] Teglia, C., Tremier, A., Martel, J.L., 2011. Characterization of solid digestates: Part 2, assessment of the quality and suitability for composting of six digested products. *Waste Biomass Valorization* 2, 113–126. <https://doi.org/10.1007/s12649-010-9059-x>.

[16] Maya, D., Aldas, C., Lopez, G. and Kaparaju, P., 2017. Municipal solid waste as a valuable renewable energy resource: a worldwide opportunity of energy recovery by using Waste-ToEnergy Technologies, *Energy Procedia*, 134, 286-295.

[17] S. Ghanimeh, M. El Fadel, and P. Saikaly, 2012. Mixing effect on thermophilic anaerobic digestion of source sorted organ fraction of municipal solid waste, *Bioresource Technology*, 117, 63-71.

[18] F.J., Andriamanohiarisoamanana, N. Matsunami, Yamashiro, M. Iwasaki, I. Ihara, and K. Umetsu, 2017. High-solids anaerobic monodigestion of riverbank grass under thermophilic conditions, *Journal of Environmental Sciences*, 52, pp. 29-38

[19] Barampouti, E.M., Mai, S., Malamis, D., Moustakas, K., Loizidou, M., 2020. Exploring technological alternatives of nutrient recovery from digestate as a secondary resource. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 134, 110379. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2020.110379>.

[20] Czekala, W., Lewicki, A., Pochwatka, P., Czekala, A., Wojcieszak, D., Joźwiakowski, K., Waliszewska, H., 2020. Digestate management in Polish farms as an element of the nutrient cycle. *J. Clean. Prod.* 242, 118454. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.118454>.



# YÜKSEK EĞİTİM KURUMLARINDA YEŞİL BİLGİ TEKNOLOJİLERİ (GREEN IT) UYGULAMALARI

Ayhan ÖZDEMİR

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilgi İşlem Daire Başkanlığı, Sivas, Türkiye

## Özet

*Gelecek nesiller için dünyamızın doğal halini çevresel sorunlardan korumamız gerekiyor. Yapılan hesaplamalarda Bilgi ve İletişim Teknolojilerinin toplam sera gazı salınımının yaklaşık % 2 kadarından sorumlu olduğunu ortaya koymaktadır. Yeşil Bilişim, Yeşil BT (Bilgi Teknolojileri) veya Green IT (Information Technology) ya da daha genel adıyla Yeşil Bilgi ve İletişim Teknolojisi (Yeşil BİT) veya Green ICT (Information and Communications Technology) çevrenin korunması ve sürdürülebilirliği ile ilgili BT kullanımına yönelik bir yaklaşım olup, karbon ayak izini, BT atıklarını en aza indirerek ve enerji tasarrufu sağlayarak kurumsal sosyal sorumluluğu gerçekleştirmeye yönelik uygulamalardan oluşmaktadır. Bu makalede, yüksek oranda bilgi işlem teknolojileri kullanan Yüksek Eğitim Kurumlarında Green ICT'nin uygulanmasına yönelik öneriler ele alınmakta ve Sivas Cumhuriyet Üniversitesinde yapılan uygulamalar anlatılmaktadır.*

## I. GİRİŞ

Dünyadaki endüstriyel faaliyetlerin muazzam büyümesi nedeniyle dünyanın iklimi yavaş yavaş değişmektedir. İklim değişikliği bir başka isimle de anılmaktadır: “Küresel Isınma”. İklim değişikliği günümüzde tüm dünya halkları tarafından hissedilmekte ve oluşan endişe ile birlikte farkındalığın arttığı görülmektedir. Birleşmiş Milletler, ülke yönetimleri ve birçok sivil organizasyon iklim değişikliğini azaltıcı tedbirlere yönelik araştırma yapmakta, politikalar oluşturmaya ve uygulamaya çalışmaktadır. Ancak tüketimin çığınca büyümesi ve buna karşılık üretimin inanılmaz boyutlarda artmasıyla politikaların uygulanması yeterli olmamaktadır.



Küresel ticaretin ve rekabetin baskısı sebebiyle artan üretimle birlikte büyük miktarda ihtiyaç duyulan değerli madenlerin çıkarılması ve kullanılan enerjinin çevreye zararlı etkileri her geçen gün büyümektedir.

Bilim insanları küresel ısınmanın artacağını öngörmektedir ve küresel ısınmaya karşı azaltıcı tedbirlerin alınmaması ya da uygulanan politikaların sıkılaştırılmaması durumunda aşağıda belirtilen feci sonuçlara yol açabileceğini söylemektedirler:

Buzulların erimesi sonucu deniz seviyesi yükselecektir ve kıyı kesimini yaşanmaz hale getirecektir.

Küresel ısınma nedeniyle tarımsal verimlilik büyük ölçüde etkilenebilecektir.

Ozon tabakasının incilmesi sonucunda dünyaya düşen UV ışınlarının artmasına neden olacaktır ve bu da deri kanseri başta olmak üzere, katarakt ve birtakım bağışıklık sistemi hastalıklarına neden olabilecektir. Sadece insanlar üzerinde değil hayvan ve bitki gibi canlı türlerine de doğrudan zararı olacaktır.

Hava sistemlerinde değişiklik, daha fazla kuraklık ve sel ve daha güçlü fırtınalar oluşturabilecektir.

Normal alıştığımız hava koşullarına bağlı olarak kontrol altına alınabilen hastalıklarda artışlar görülebilecek veya yeni hastalıklar ortaya çıkabilecektir.

Küresel ısınmaya yönelik farkındalığın artması, büyük endüstri kurumlarında bir ürünün üretiminden kullanım ömrü sonundaki imhasına kadar ki süreçlerde bir takım tedbirlerin alınmasına vesile olmuştur. Aynı durum tüketiciler için de geçerli olmuş bilinçlenme ile birlikte çevreye daha az zarar verebilecek ürünleri satın almak, kullanımı uzun süreli ürünlere yönelmek ve ömrü dolan ürünün imhasında geri dönüşüm kurallarına uygun davranışlar görülmeye başlanmıştır. Bunlar ümit veren haberler olmasına rağmen dünyadaki toplam nüfusun önemli bir yüzdesi de uygulamalardan habersiz ya da umursamamaktadır.

## **II. BİLGİ VE İLETİŞİM TEKNOLOJİLERİNİN KÜRESEL ISINMAYA ETKİSİ**

Bir analiz kurumu olan Gartner, 2007'de, BT sektörünün küresel karbon emisyonlarının %2'sinden sorumlu olduğu istatistiğini yayınladı (Gartner Inc., 2007). Bu oranın yine Gartner tarafından tüm dünya havacılık sektörünün kullandığı enerji miktarıyla aynı olduğu belirtildi. Gartner bu istatistiğin hesabına, bilgisayarların, sunucuların, soğutmanın, sabit ve mobil telefonun, yerel alan ağının (LAN), ofis telekomünikasyonlarının ve yazıcıların kullandığı aşamasını ve cihazların tasarım, üretim ve dağıtımda kullanılan enerjinin bir tahminini de dâhil etmiştir. Aynı zamanda dünya çapındaki tüm ticari ve resmi bilişim ve telekomünikasyon

altyapısını da içeriyordu. Ancak yukarıda sayılan cihazlar dışındaki tüketici elektroniklerini içermiyordu. Bu nedenle istatistik sonucunun daha büyük olduğu düşünülmektedir. 2007 yılından bu zamana kadar bilişim şirketleri ve bilişim ürünleri katlanarak arttı, yeni teknolojiler tüketicilerin önlerine kondu. Bilişim şirketleri ve ürünler katlanarak artıyorsa, küresel ısınma da giderek daha fazla olacağını öngörmek zor olmasa gerek.

Peki, neden BT ekipmanlarının kullanımı doğaya zarar versin? Bu sorunun cevabını iki nedene bağlayabiliriz.

Birincisi maden kullanımınıdır. BT cihazları üretiminde yoğun şekilde nadir elementler, madenler, petrolden elde edilen ürünler ve zararlı kimyasal bileşikler kullanılmaktadır. Tipik bir bilgisayarda, monitörde, klavyede, devre kartlarında, bilgisayar yongalarında ve daha fazlasında kullanılan 66 ayrı mineral bulunmaktadır (NOLAN, 2020). Silikondioksit, fosfor, antimon, arsenik, bor, indiyum, galyum, bakır, demir, altın, gümüş, tantal, platin, paladyum, kalay, kaolin, bor ve kurşun BT cihazları ve yan malzemelerin üretiminde kullanılan maddelerden bazılarıdır (Minerals in Typical Computers, 2020). Bu maddelerin çıkarılmasından ve kullanılabilir hale gelmesi sürecinde önemli derecede arazi bozulması, ekosistem tahribatı, su kirliliği, toprak kirliliği ve hava kirliliğine yol açılabilmektedir.

İkincisi ise enerjidir. BT kaynaklarının tamamı elektrikle çalışan cihazlardan oluşur bu kaynakların tamamı modern bir ofis binasının elektrik giderlerinin %25'ini oluşturabilmektedir (MINGAY, 2007). Bu oldukça büyük bir orandır ve Gartner analizinde bahsedilen BT kaynaklarının salınım yaptığı karbondioksit oranı tüm dünya karbon salınımının %2 sini oluşmasına neden olmaktadır. Elektrik enerjisine ev ve işyerlerimizdeki prizlerden kolay bir şekilde erişebilmekte ve kullanılabiliriz. Ancak enerjinin elde edilmesi sürecinde çevreye olumsuz etkileri yüksektir. Elektrik enerjisi elde etmenin birçok yolu vardır. Elektrik temel olarak üç istasyon aracılığıyla bizlere ulaştırılıyor. Bu sistemler Termik Santraller, Hidroelektrik Santraller (HES) ve Nükleer Enerji Santralleridir. Çok kabaca açıklayacak olursak, işyeri ve evlerimizde prizlerimize ulaşan elektrik;

- Termik santraller için fosil (petrol, kömür, maden) gibi yakıtların buhar yardımıyla elektrik enerjisine dönüşmesiyle,

- Hidroelektrik santraller için barajlarda biriktirilen suyun potansiyel enerjisinin elektrik enerjisine dönüşmesiyle,

- Nükleer santraller için fisyon tepkimesi ile oluşan yüksek miktardaki enerjinin elektrik enerjisine dönüşmesiyle,

elde edilebilmektedir.

Tüm sistemlerde verim kaybı vardır ve doğaya verilen zarar elde ettiğimiz enerjinin karşılığının çok üzerinde olmaktadır. Örneğin; Termik santrallerin karakteri gereği %30 enerji net elektriğe dönüşmekte, geri kalan ise artık ısı olarak yok olmaktadır (ÖNAL, DOĞAN, & YÜCE , 1992). Görüldüğü üzere prizlerimizde kullandığımız her 1 birim elektrik enerjisi için 3,33 birim enerji harcanmaktadır. Bu sebeple yer altı kaynaklarımızı nasıl acımasızca ve aşırı derecede yok ettiğimizi anımsamak ayrı bir dramı da gözler önüne sermektedir.

Termik santraller fosil kaynakları kullanır. Bu kaynakların sınırlı olmasının yanı sıra hava kirliliği, su kirliliği, toprak kirliliği ve katı atıkları sebebiyle çevresel sorunlar yaratmaktadır. Hidroelektrik santrallerinin taşkın koruma, çevre ziraatını geliştirme, balıkçılığı destekleme, ağaçlandırma ile çevrenin estetik kalitesini ve mansapta su kalitesini yükseltme gibi olumlu etkileri yanı sıra mikroklimatik, hidrolojik ve biyolojik çevre etkileri vardır (Elektrik Enerjisi Özel İhtisas Komisyonu, 2001). Nükleer santraller de katı, sıvı ve gaz atıkları çevresel sorunlar oluşturabilmektedir.

### **III. YEŞİL BİLİŞİM (GREEN IT)**

BT'deki gelişmeler dünya tarafından hızlı ve yaygın olarak benimsenir ve tutkulu bir şekilde kullanılır. Ancak BT, çoğu insanın fark etmediği çevre sorunlarına katkıda bulunmaktadır. Bilgisayarlar ve diğer BT altyapısı, önemli miktarda elektrik tüketerek elektrik şebekelerimize ağır bir yük bindirmekte ve sera gazı emisyonlarına katkıda bulunmaktadır. Ek olarak, BT donanımı hem üretimi hem de bertarafı sırasında ciddi çevresel sorunlar ortaya çıkarmaktadır. BT, bugün karşılaştığımız çevre sorunlarının önemli ve büyüyen bir parçasıdır. Daha sürdürülebilir bir çevre yaratılmasına yardımcı olmak için BT'nin çevresel etkisini mümkün olduğunca en aza indirmek veya ortadan kaldırmak hem yükümlülüğümüz hem de misyonumuz olmalıdır. Bilim insanları bu bilinçle Yeşil Bilişim (Yeşil BT - Green IT) kavramını ortaya çıkarmışlardır. Sorun olan BT, çözümünde bir parçası olabilmesi için birçok standart, uygulama ve davranış biçimlerine yönelik çalışmalar her geçen gün artarak kurumların ve insanların bilgisine sunulmaktadır.

San Murugesan'a göre, Yeşil BT, çevreye duyarlı BT anlamına gelir. Bilgisayarların, sunucuların, monitörlerin, yazıcıların, depolama aygıtlarının, ağ ve iletişim sistemleri gibi ilişkili alt sistemlerin çevreye minimum etkide bulunarak veya hiç etki yaratmadan verimli ve etkili bir şekilde tasarlanması, üretilmesi, kullanılması ve elden çıkarılmasına ilişkin çalışma ve uygulamadır (MURUGESA, 2008).

BT'nin çevresel etkilerini kapsamlı ve etkin bir şekilde ele almak için, aşağıdaki dört tamamlayıcı yol boyunca sorunları ele alan bütünsel bir yaklaşım benimsememiz gerekmektedir (MURUGESA, 2008).

**Yeşil Tasarım (Green Design):** Enerji açısından verimli ve çevreye duyarlı bileşenler, bilgisayarlar, sunucular ve soğutma ekipmanlarının tasarımı.

**Yeşil Üretim (Green Manufacturing):** Elektronik bileşenleri, bilgisayarları ve diğer ilgili alt sistemleri, çevre üzerinde minimum veya hiç etkisi olmadan üretilmesi.

**Yeşil Kullanım (Green Use):** Bilgisayarların ve diğer bilgi sistemlerinin enerji tüketimlerinin azaltılması ve çevreye duyarlı bir şekilde kullanılması.

**Yeşil Bertaraf (Green Disposal):** Eski bilgisayarların kapasitelerini yükselterek (sabit diskten SSD'ye geçmek, bellek büyütmek vb.) yani upgrade yaparak kullanım ömrünü uzatmak ve kullanım ömrü biten bilgisayarları ve diğer elektronik ekipmanları uygun şekilde geri dönüştürmek.

Yeşil Tasarım ve Yeşil Üretim bağlamında Yeşil BT; tehlikeli maddelerin kullanımını azaltmak, ürünün kullanım ömrü boyunca enerji verimliliğini en üst düzeye çıkarmak ve geri dönüştürülebilirliği teşvik etmektir. Bilgisayarların kullanımını mümkün olduğunca enerji verimli hale getirmek ve verimlilikle ilgili bilgisayar teknolojileri için algoritmalar ve sistemler tasarlamak gibi temel alanlarda araştırmalara devam etmektir (AGARWAL & NATH, 2011).

Yeşil Kullanım bağlamında Yeşil BT; ürün ömrünü uzatmak (daha fazla kullanabilmek için gerekli özeni ve teknik yükseltmeleri yapmak), güç yönetimini etkin kullanmak, sunucularda sanallaştırma kullanımı, masaüstü sanallaştırma kullanımı, kağıt kullanımının çevrimiçi sistemlerle değiştirilmesi, kullanıcıların seyahat gereksinimlerini azaltmak için çevrimiçi video konferanslara öncelik vermek, bulut (cloud) kullanmak, ince istemci (terminal) kullanmak, sabit disk yerine katı hal depolama (SSD) aygıtını kullanmak, LED teknolojili LCD ekran kullanmak, işletim sistemini optimize etmek veya daha az enerji harcayan işletim sistemleri kullanmak sayılabilir.

Yeşil Bertaraf bağlamında Yeşil BT; güç ve kapasite gerektiren belirli işlevleri yerine getiremeyen bilgisayar sistemlerini kurumun farklı bir birimine transferi sağlanabilir veya farklı kuruluşlara bağışlanabilir. Eski sistemlerden çalışabilir parçalar sökülebilir ve diğer cihazlarda yeniden kullanılabilir. Tamamen kullanılmayan sistemler ise üreticisine verilebilir, belediye veya özel geri dönüşüm merkezleri aracılığıyla geri dönüşüme gönderilebilir. Bilgisayar ekipmanlarının geri dönüştürülmesi ile kurşun, cıva ve krom gibi zararlı maddeleri çöplüklerden dolayısıyla çevreden uzak tutulabilir.

Yukarıda tanımlanan girişimler ve stratejiler şirketlere, kurumlara, devlete, çevreye ve kullanıcılara maddi ve manevi faydalar sağlayacaktır. Faydalar şu şekilde özetlenebilir:

- Bütçede (Sermayede) tasarruf ve iyileştirme
- Bakımdan tasarruf
- Enerjide tasarruf
- Yerden tasarruf
- Teknik işgücü tasarrufu
- Seyahatlerin azalması ile bütçeden tasarruf
- Seyahatlerin azalması ile çevresel faydalar
- E-Atık miktarında azalması ile çevresel faydalar
- Kirliliğin kontrol altına alınması ile çevresel faydalar
- Doğal kaynakların verimli kullanımı
- Sistemlerde verimliliğin artışı
- BT kaynaklarının verimli kullanımı
- Teknik işgücü ve kullanıcı verimliliğinde artış
- Teknolojik gelişme
- Basit ve güvenilir BT altyapıları

#### IV. YEŞİL BT'DE KULLANILAN YÖNTEMLER

Yeşil Bilişimde kullanılan yöntem ve stratejileri şu şekilde inceleyebiliriz.

**Ürün Ömrünü Artırmak;** Ürün ömrü, bir ürünün tasarımdan ömrünün sonuna kadar olan süreyi kapsar. Bir ürün ne kadar uzun süre kullanımda olursa üretilecek ve imha edilecek ürün sayısı o kadar az olur. Dolayısıyla artan ürün ömrü karbon ayak izini azaltmada önemli bir etkisi olacaktır. Doğal kaynaklar sınırlı ve hızla tükenmektedir. Uzun vadede sürdürülebilirliği sağlamak için üreticilerin daha uzun ömürlü ürünler geliştirmesi zorunludur. Elektronik atık, milyonlarca bilgisayarın çöplüklere atılması ve üretimlerinde kullanılan kurşun, kadmiyum, cıva ve krom gibi birçok zararlı hammaddenin toprağa ve yeraltı suyuna sızması nedeniyle büyüyen küresel bir sorundur. Bu nedenle, uzun ömürlü bir ürün çevreye daha az zararı olacaktır. “Kötünün iyisi olmak” sözü sanırım bu strateji için en uygun deyim olacaktır.

Bir ürün alımı sırasında ürünün modüler ve yükseltilebilirliğine (upgradable) dikkat etmek gerekir. Örneğin; yeni bir PC üretmek, mevcut olanı yükseltmek için bir bellek modülü veya sabit disk üretmekten çok daha büyük bir ekolojik sorun yaratabilmektedir.

Ürün ömrü, üretim sürecindeki karbon ayak izini, hammadde kullanımını azaltacağı için Yeşil BT’de önemlidir.

**Sunucu Sanallaştırma;** Sunucu sayısını azaltmak için sanallaştırma kullanılmalıdır. Geleneksel sunucu yönetiminde belirli işlevi yerine getiren her hizmet yazılımı (service) için bir sunucu kullanılır. Uygunsa belki bir sunucuya birkaç iş verilebilmektedir. Bazı yazılım üreticileri de (örneğin veritabanı üreticileri) geliştirdikleri yazılımları tek bir sunucuda çalıştırmayı önerebilmektedir. Yine bazı yazılım üreticileri de yazılımları ile optimize ettikleri sunucuları (bundle packet) bir arada satabilmektedirler. Tüm bunlar sistem odalarında sunucuların çoğalmasına, güç ve iklimlendirme (sıcaklık ve nem dengesi) gereksinimlerinin artmasına neden olmaktadır. Sunucu parkının genişlemesiyle birlikte, sahip olma maliyeti daha da artarken, bakım ve güncelleme yönetimi de zorlaşmaktadır. Geleneksel kullanımında sunucular çoğunlukla kapasitelerinin altında çalışırlar yani bir iş yapmadan bekleme zamanları iş yapma zamanlarından çok fazla olabilmektedir. Sunucuların bellek, CPU ve disk açısından kapasitelerinin çok altında çalışması ise kaynak israfına yol açmaktadır.

Yeşil BT stratejisinde fiziksel modelden uzaklaşarak mantıksal modeller kullanılmaktadır. Sunucuların tam kapasite ile kullanılmadığı durumlarda, tek bir fiziksel makineyi birkaç sanal sunucuya bölmek için sanallaştırma kullanılabilir. Sanallaştırma marifetiyle sunucu sayısı azaltılır ve sonucunda enerji, klima gereksinimleri de azalacaktır. Dolayısıyla enerji ve bütçeden tasarruf etmenin yanı sıra karbon ayak izini azaltıcı bir etkisi olan sunucu sanallaştırmaya yönelik yatırımlar öncelikli sağlanmalıdır.

**Masaüstü Sanallaştırma;** Masaüstü bilgisayarların sanallaştırılması şu şekilde yapılmaktadır. Kullanıcının önündeki PC kaldırılarak yerine aptal terminal (dumb terminal) cihazlar konur. Aptal terminaller günümüzde ince istemci (thin client) olarak da anılmaktadır. Bu terminaller çok az enerjiyle çalışan, çok az işlem gücü olan, program çalıştıramayan, monitörü ve klavyesi olan bir sistemdir. Tek görevi bir sunucuya bağlanıp sunucudaki çıktıyı (response) kendi monitöründe göstermek ve klavye bilgisini (input) sunucuya iletmektir. Masaüstü sanallaştırmaya geçmek işletmeler için hassas bir konu olabilmektedir. Çünkü önündeki PC’nin kaldırılması ve yerine aptal bir makine verilmesi birçok personelin hoşuna gitmemektedir. Oysaki PC’de çalışan herşey sunucu üzerindeki sanal PC’de de çalışmaya devam edecektir. Ayrıca kullanıcı nereye giderse gitsin ister evinden, ister ofisinden çalışıyor olsun

hatta başka bir şehirden bile uzak erişimleri varsa, sanal bilgisayarlarına herhangi bir yerden bağlanarak işlerini devam ettirme avantajına sahip olacaklardır. Ayrıca sanal PC'deki verilerin yedekleme sorumluluğu sistem yöneticilerinde olacağı için bu vakit alıcı ve riskli durumdan da son kullanıcı kurtarmış olacaktır.

Masaüstü sanallaştırmanın Yeşil BT'de katkısı öncelikle azaltılmış güç tüketiminde yatmaktadır. Aynı zamanda aptal terminaller için bellek, CPU, sabit disk ve bozulan fanların değişimi konuları hiçbir zaman olmayacağı için satın alma ve imha gereksinimleri ciddi oranda azalacaktır. Bu cihazlar neredeyse bakıma hiç ihtiyaç duymazlar. Bu nedenle teknik ekip sayısında da düşüşler sağlanabilmektedir. Masaüstü sanallaştırma da karbon ayak izlerini azaltmada önemli bir faktör olarak seçenekler arasında yer almalıdır.

**Terminal Sunucu Servisleri;** Terminal sunucu servisleri masaüstü sanallaştırmaya çok benzerler. Terminal sunucu servislerinde, istemciler sunucu işletim sistemine kullanıcı bazında erişerek, bellek, disk, CPU gibi sunucu kaynaklarını paylaşmakta orta dizinler (directory) üzerinde bilgi ve belge paylaşımı yapabilmektedirler. Masaüstü sanallaştırma da ise her istemci kendisine ait bir sanal PC'ye erişmektedir. Her sanal PC diğerinden izolelidir. Her ikisinde de kullanıcı önündeki bilgisayar kaldırılmakta ve yerine akılsız terminaller verilmektedir. Bir önceki maddede anlatılan avantajlar terminal sunucu servisleri içinde geçerlidir.

**İletişimde Kağıt Yerine Çevrimiçi Sistemlerinin Kullanılması;** İletişimde çevrimiçi (online) sistemlerin kullanımının yaygınlaşması başta kağıt alımını ve tüketimini azaltmaya yönelik etkisini gösterir. Bu etki ormanların tüketimini azaltmanın yanı sıra baskı ekipmanlarındaki toner ve bakım gereksinimlerini de azaltmaya yardımcı olur. İnternet ağının gelişmesi ve ülkenin en ücra köşesine internet iletişiminin sağlanabiliyor olması, veri saklamadaki gelişmeler, elektronik imza, e-devlet gibi uygulamaların çoğalmasının sonucu olarak kağıt kullanımının azaldığı dolayısıyla karbon ayak izlerini azaltılmasında kağıt yerine çevrimiçi sistemlerin kullanılmasının önemli bir yeri olduğu söylenebilir.

**Seyahatlerin Azaltılması;** Ulaşım hizmetlerindeki gelişmişlik nedeniyle ve ticaretin dünya çapında artması sebebiyle iş ziyaretlerinde büyük artışlar olmuştur. Haliyle başta hava yolu olmak üzere diğer ulaşım araçları da dahil olmak üzere yoğun araç trafiği oluşmasına dolayısıyla karbon emisyonlarında önemli artışlar yaratmıştır. Ayrıca özellikle büyük şehirlerde çalışan personelin hergün işyerine gelmesi ve gitmesi de birer seyahat olarak düşünülebilir. Oysa

birçok çalışan için işini yapabilmesi için işyerinde olması gerekmemektedir. Seyahatler şirketler ve kişiler için oldukça ciddi parasal yük ve zaman kaybı oluşturabilmektedir.

Seyahatlerin çevresel etkilerini azaltma ve kurumlarda tasarruf sağlanması amacıyla, uzaktan çalışma teknolojilerinin iyileştirilmesi, konferans ve toplantılar için video konferans sisteminin kullanılması, iletişimin verimli olabilmesi için uzaktan iletişime ve anlık mesajlaşma yazılımlarının benimsenmesi Yeşil BT'nin sürdürülebilmesi için verimli yöntemlerinden birisi olabilmektedir.

**Bulut (Cloud) Sistemlerini Kullanmak;** Günümüzde veri çok değerlidir ve her geçen gün inanılmaz büyümektedir. Şirketler için verileri saklamak kurumsal hafıza için önemlidir. Büyüyen veriyi saklamak ya da üniversiteler gibi yılda iki defa öğrenci ders kayıt haftasında duyulan bilgi işlem gücü için daha fazla bilgisayar almak yerine bulut (cloud) sistemleri kullanılabilir. Bulut sistemlerinde istediğiniz kadar CPU gücü, bellek ve disk kapasitesi alınabilir. İhtiyaç duyulduğunda bu kapasitelerin herhangi biri artırılabilir veya azaltılabilir. Ayrıca bulut sistemi işleten firmalar Güneş ve Rüzgar Enerjisi gibi alternatif çevreci enerjiye yönelik yatırımlar yaparak enerji için harcadıkları bütçeden tasarruf etme yoluna gittikleri için karbon ayak izleri daha azdır. Bunların dışında bulut sistemini tercih eden kurumlar, klima, sunucu, güç kaynağı, akü, jeneratör, jeneratör yakıtından ve şebeke enerjisinden büyük oranda tasarruf etmiş olacaktırlar. Ayrıca yetişmiş personel, fiziksel mekândan da tasarruf etmiş olabileceklerdir. Yeşil BT'nin belki de en önemli stratejisi bulut bilişim olmalıdır.

**Katı Hal Depolama (SSD) Aygıtını Kullanma;** Katı hal sürücüler (SSD), verileri flash bellekte veya DRAM'de depolar ve bu nedenle sabit disklere (HDD) göre çok hızlı veri okuma/yazma hızına sahiptirler. Sabit disk sürücülerindeki gibi hareketli parça olmadığından bir miktar daha az enerji tüketirler. Bu kapsamda SSD kullanmanın iki avantajı karşımıza çıkmaktadır. SSD kullanarak enerji tasarrufu sağlanabilir ve SSD kullanarak gelişmiş güncel programlar karşısında yavaşlamış bir bilgisayarı hızlandırarak imha olmasının önüne geçilebilir.

**LCD Ekranda LED Teknolojisini Kullanma;** LCD monitörler, ekrana ışık sağlamak için iki tip ışık kaynağı kullanır. Birincisi ve eski tip olan soğuk katot floresan ampul kullanılmasıdır. İkincisi ve yeni teknoloji olan ise floresan ampulün yerine ışık yayan diyot (LED) kullanılmasıdır. LED ışıklı ekranlar daha tasarrufludur ve kullanılan elektrik miktarını azaltır.



**İşletim Sistemi Optimizasyonu;** İşletim sistemleri bilgisayarlara varsayılan (default) şekilde kurulduğu zaman gereksiz birçok servisin kurulması nedeniyle daha fazla enerji israfına neden olabilmektedir. Bu nedenle işletim sistemleri özelleştirilmiş (customize) şekilde kurulmalı veya daha sonrasında gerekli optimizasyon ayarları yapılmalıdır. Hem enerji tasarrufu için hem de siber güvenlik için gereksiz servisler ve uygulamalar kaldırılmalıdır. Bellek yönetimi optimize edilerek işletim sisteminin bellek ve disk arasındaki takas işlemi (swap – paging) en aza indirilerek tasarruf sağlanmalıdır.

**Geri Dönüşüm;** Aslında eskiden bilgisayar yoktur. Yeni işletim sistemlerinin ve yeni model yazılımların talep ettiği kapasiteleri artık karşılamayan bilgisayarlar vardır. Bu nedenle belirli işlevlerini yerine getirmeyen bilgisayar sistemleri çöpe atılmayarak öncelikle kapasitesine uygun farklı birimlere verilmelidir. Bu olmadığı takdirde parçaları yedek parça olarak değerlendirilmelidir. Kalan parçalar ise üreticisine veya geri dönüşüm konusunda yetkili kurumlarca sertifikalandırılmış merkezlere teslim edilmelidir. Geri dönüşüm ve imha sürecinde 2012 yılında çıkarılan “Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların Kontrolü Yönetmeliği” maddeleri kurumlar ve kişiler tarafından takip edilmeli ve üst amirler tarafından rutin kontrolleri yapılmalıdır.

**İhtiyaç Duyulan Malzemenin Değiştirilmesi;** Bir bilgisayarı değiştirmeniz gerekiyorsa, çalışıyorlarsa eski monitörü, klavyeyi ve fareyi saklayın ve tekrar kullanın. Bu parçalar çalışırken eksiksiz bir bilgisayar satın almak para ve kaynak israfına neden olacaktır.

**Yeşil BT’ye Uygun Ürünlerin Satın Alınması;** BT ürünü satın alırken enerji verimliliği sertifikasına sahip BT ürünlerinin seçilmesine dikkat etmek gerekir. Ürünün enerji verimliliği sertifikasına sahip olup olmadığını kontrol edilmelidir. BT ürünlerine sertifika veren en bilinen kurum Energy Star’dır. Energy Star işaretini taşıyan ürünler diğer ürünlere göre daha az enerji tükettiğini ve daha çevre dostu olduğunu belirtmektedir.

## **V. KULLANICILAR İÇİN YEŞİL BT YÖNERGELERİ**

Aşağıdaki maddeler Yeşil BT cihazlarının edinimi, kullanımı ve imhasına ilişkin önerileri özetlemektedir.

### **Satın alma aşamasında;**

- Enerji verimliliği sertifikasına sahip BT ürünlerini seçin. Ürünün enerji verimliliği sertifikasına sahip olup olmadığını kontrol edin.

- Daha büyük bir monitör, daha küçük olandan daha fazla enerji tükettiğinden, enerji tasarrufu yapmak için doğru boyuttaki monitörü seçin.
- Yerden ve enerjiden tasarruf etmek için fotokopi, tarama, faks ve yazdırma gibi görevleri gerçekleştirmek için tek işlev yerine birden çok işleve (Multi Function) sahip ekipman kullanın.
- Yerleşik otomatik uyku modu işlevine sahip ürünleri seçin. Bu, güç tüketimini azaltacaktır.
- Masaüstü bilgisayarlar dizüstü bilgisayarlardan ve ince istemcilerden daha fazla elektrik tükettiğinden, uygun olduğunda dizüstü bilgisayarlara veya ince istemcilere geçin veya dizüstü bilgisayarlarla aynı bileşenleri kullanan yeni tasarlanmış AllinOne bilgisayarları seçin.
- İhale şartlarından biri olarak “ilgili yeşil standartlara uygunluk” maddesini dahil edin. Mümkün olduğunca yeşil uyumluluk ürünlerini seçin. Uygun olan her yerde yeşil satıcıları ve çevreyi önemseyenleri seçin.

#### **Kullanırken;**

- Bilgisayarları, projeksiyonları, monitörleri, yazıcıları, tarayıcıları, hoparlörleri ve benzerlerini yalnızca gerektiğinde açın enerjiden tasarruf edin.
- Kullanılmadığı zaman bilgisayarlarda ve ekipmanlarda uyku modunu kullanın.
- Enerji verimliliği için BIOS ayarlarını, donanım tabanlı güç seçeneklerini, işletim sistemi güç ayarlarını, grup ilkelerini ve benzerlerini doğru şekilde yapılandırın.
- Bilgisayarlar, yazıcılar, kablosuz erişim noktası ve benzerleri gibi çoğu BT cihazı sürekli olarak 7x24 kullanımda değildir. Açma/kapamalarını kontrol etmek için zamanlayıcı anahtarlarını kullanın ve bunları yalnızca belirli saatlerde kullanıma hazır hale getirin.
- Düşük kullanım oranına sahip merkezi olmayan kişisel yazıcılar yerine paylaşılan paylaştırılmış ağ yazıcılarını kullanın.
- Enerji tasarrufu için monitörlerin parlaklığını azaltın.
- Ekran koruyucuları kaldırın. Çünkü ekran koruyucular özellikle de hareketli ekran koruyucular bilgisayar ve monitörden enerji kullanımına devam ederler. Bunun yerine güç yönetimini kullanın.
- Enerji tasarrufu sağlamak ve lambanın ömrünü uzatmak için projeksiyonların parlaklık ayarını düşürün.

- Baskı maliyetlerini ve kağıt tüketimini azaltmak için elektronik kaynakları, iletişimi ve elektronik depolamayı kullanın. Örneğin, belgeleri basılı form yerine e-posta eki olarak gönderin.
- Belgelerin elektronik kopyasını ekranda görüntüleyin ve yorum yapmak ve çevrimiçi işbirliği yapmak için yazılım teknolojilerini kullanın. Bir belgeyi kesinlikle gerekli olduğunda yazdırın.
- Yazdırma kaçınılmaz olduğunda, iki taraflı yazdırmayı (dublex print) seçin, yaprak başına birden çok sayfa yazdırın, yazdırma kenar boşluklarını azaltın ve kağıttan tasarruf etmek için daha küçük yazı tipleri kullanın.
- Ağaçlardan, sera gazından ve atık depolama alanından tasarruf etmek için baskı için %100 geri dönüştürülmüş kağıt kullanın.
- Kişisel masaüstlerinde ve sunucuda çalışan uygulamaları optimize edin. Yaptığınız işin değerine az katkıda bulunan verimsiz uygulamaları, makine yüklemesini azaltmak için optimize edin veya kaldırın. Yalnızca gerekli uygulamaların kullanılmasını sağlayın.
- BT ekipmanının rutin bakımlarını yaptırarak işletim verimliliğini artırın.
- Soğutma verimliliğini artırmak, enerji tasarrufu yapmak ve ekipman ömrünü uzatmak için BT ekipmanının içini ve dışını temizleyin. Basit bir toz temizliği bile daha fazla soğumaya ve fanların az dönmesine yardımcı olacaktır.
- Fiziksel sunucular ve veri depolayıcı (storage) cihazların güç, soğutma gereksinimleri ve ilgili karbon emisyonları üzerinde doğrudan etkisi vardır. Altyapının konsolidasyonu ve sanallaştırılması, fiziksel BT cihazlarının sayısını ve dolayısıyla çevresel etkiyi azaltabilir.
- Seyahati azaltmak için BT teknolojilerini (video konferans, işbirliği, uzaktan çalışma vb.) kullanın.

### **Geri Dönüşüm;**

- Eski bilgisayarları ve diğer BT cihazlarını kapasitesinin yetebileceği birimlere dağıtın. Yeniden kullanılamıyorsa, geri dönüştürün veya yeşil bertaraf için çevre dostu kuruluşlar tarafından ele alınmalarını sağlayın.
- Eskiyen bilgisayarı ve BT cihazlarını doğruca çöpe atmayın. Parçalayın ve kullanılabilir yedek parçaları saklayın.
- BT ürünlerinin yaşam döngüsünü sürekli olarak gözden geçirin ve artık gerekmeyenler için bir imha planı hazırlayın.

- Pillerin ve çevreye zarar verebilecek diğer atıkların uygun şekilde atılmasını sağlayın.

## VI. YEŞİL BT STANDARTLARI

Çevreye etkileri en aza indirebilmek için BT cihazlarının üretiminde aşağıda listelenen standartlara uygun süreçler gerçekleştirilebilir. Tüketiciler ise bu standartlara uygun ürünleri tercih etmeleri gerekir.



### **Energy Star Standardı;**

Energy Star tüketici ürünleri için uluslararası bir standarttır. 1992'de Çevre Koruma Enstitüsü ve Bill Clinton yönetimindeki Enerji Departmanı tarafından oluşturulmuştur. Avustralya, Kanada, Japonya, Yeni Zelanda, Tayvan ve Avrupa Birliği de Energy Star'ı kendi standartları olarak kabul etmişlerdir.

Amacı, Energy Star işaretini taşıyan ürünlerin diğer ürünlere göre daha az enerji tüketmesi ve daha çevre dostu olmasıdır. Ayrıca enerji tasarrufu sağlayan işlevleri barındıran ürünlerin gelişimi ve yaygınlaşmasına yardımcı olmaktadır.

### **Epeat Standardı;**

EPEAT açılımı Electronic Product Environmental Assessment Tool (Elektronik Ürün Çevresel Değerlendirme Aracı) baş harflerinden oluşan kısaltmasıdır. EPEAT elektronik ürünlerin çevreyle uyumunu ölçmek için kullanılan bir ölçü birimidir. Ortaya çıkışının sebebi çevre uyumunun hesaplanması, ürünlerin diğerlerinden ayrıştırılması ve karşılaştırılması için oluşturulan küresel alanda kabul gören tüketici ürünlerinin satın alınması için uygulanan bir standarttır.

Enerji tasarrufunu ve çevreye zararı en aza indirmeyi sağlar.

EPEAT Sertifikası ile ürünlerin yaşam döngüsü ile zehirli kimyasallar, geri dönüşümlü ürünler, enerji tasarrufu, ürünlerin uzun ömürlü kullanımı, ürünün ambalajlanması gibi kriterlerde değerlendirilir.

Epeat Sertifikasına (Epeat Belgesine) sahip bir ürün çevreye çok büyük katkı sağlamaktadır.

### **RoHS Standardı;**

Restriction of Hazardous Substances Directive (Tehlikeli Maddelerin Kısıtlanması Yönergesi) kelimesinin baş harflerinden oluşur. Avrupa Birliği tarafından Şubat 2003'te kabul edilmiştir.

RoHS çeşitli elektronik ve elektrikli ekipmanların üretiminde belirli tehlikeli maddenin kullanımını kısıtlar.

Ayrıca, üzerinde anlaşılan seviyelerden daha fazla kurşun, kadmiyum, cıva, krom veya alev geciktirici içeriyorsa bu ürünlerin Avrupa Birliği pazarına sunulmasını yasaklar.

### **WEEE Standardı;**

Waste Electrical and Electronic Equipment Directive (Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyalar Yönetmeliği) kelimesinin baş harflerinden oluşur. Avrupa Birliği tarafından Şubat 2003'te kabul edilmiştir.

Bu Direktifin hedefi, elektrikli ve elektronik ekipman atıklarının önlenmesi ve buna ek olarak atık imhasını azaltmak için bu tür atıkların tekrar kullanılması, geri dönüştürülmesi ve geri kazanımın diğer türlerinin uygulanmasıdır.

Bu belgeleri alan kuruluşlar, geri dönüştürülebilir ürün üreterek çevre ve insan sağlığını önemsediklerini ispatlamakta ve bunu, faaliyet gösterdiği sektörlerle, ulusal ve uluslararası pazarlardaki paydaşlarına beyan etmektedir.

## **VII. SİVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİNDE YEŞİL BT UYGULAMALARI**

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi 1974 yılında kurulmuştur. İlk bilişim faaliyetlerine 1990 yıllarda Personel Maaş Programı ile başlamıştır. Daha sonralarında ise personel otomasyonu, öğrenci otomasyonu, demirbaş takip gibi başarılı projeleri gerçekleştirmiştir. 2022 Ekim ayı itibarıyla 43813 adet önlisans-lisans öğrencisi, 4657 adet lisansüstü öğrencisi, 1968 adet akademik personel ve 3392 adet idari personeliyle Türkiye'nin önde gelen büyük kuruluşlarından birisidir. Sivas Cumhuriyet Üniversitesi günlük ortalama 16000 bilgisayar ve mobil cihaza internet iletişimi desteği veren altyapıya sahiptir.

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi aşağıdaki uygulamalarla Yeşil BT'ye destek olmaktadır.

- **Sistem Odasında Yapılan Uygulamalar**

Bilgi İşlem Daire Başkanlığına bağlı ana sistem odası yeni mimariyle 2018 yılında kurulmuştur.



- **Soğutma Sistemi**

Sunucuların iç ısısı 70o aşması durumunda otomatik kapanırlar. Bu donanımı koruma mekanizmasıdır. 7/24 hizmet veren bilgi işlem birimlerinde hizmetin devamı için sunucuların sürekli çalışması gerekir. Bu nedenle sistem odalarının soğutulması sunucuların verimli çalışabilmesi için önemli bir konudur. Sistem odalarının soğutulabilmesi ve iklimlendirme için birçok teknik kullanılır. Günümüzde en verimli soğutma şekli ise kabinet içinin doğrudan soğutulmasıdır. İklimlendirme cihazları (klimalar) kabinet içerisinde yedekli bulunur. Bu

yöntemde kabinetlerin arkası hariç tamamı kapalı hava geçirmez şekildedir. Kabinetin arkası delikli kapaklı ön tarafları ise cam kapaklıdır. Cam kapak ile sunucuların arasında 20 cm civarında boşluk bulunur ve bu boşluğa soğuk hava klima fanları tarafından kontrollü olarak basılır. Soğuk hava sunucular tarafından çekilir ve sunucu içi soğutulur. Sıcak hava sunucuların arkasından dolayısıyla kabinetin arka tarafından üflenirken klimalar üflenen sıcak havayı çeker ve soğutarak ön tarafa tekrar verir. Böylece sistem odasında bir ısınma olmaz. Çok küçük bir alan soğutulduğu için verim en yüksek seviyeye çıkarken çekilen enerji düşük kalmaktadır. Soğutmanın yanı sıra kabin içi nem dengesi de klimalar tarafından sağlanır. Nem sadece sunucular ve bilgisayar sistemleri için değil üzerinde elektronik devre elemanları bulunduran tüm cihazlar için bir risk oluşturur. Ortamdaki nem oranının eşik değerlerinin altına düşmesi elektronik devre elemanlarının statik elektrikle yüklenmesine, üstüne çıkması ise sıvı oluşumlarına neden olur ki bu da cihazlarınızın kullanabileceğinden fazla elektrik taşınması ya da kısa devre nedeniyle bozulmasına sebep olacaktır. Sunucu ömrünün uzun olması için nemlendirme oldukça önemlidir.

Klimalar bir yönetim yazılımı tarafından yönetilir. Kabinet içerisindeki soğuk hava ve nem dengesi sensörler vasıtasıyla ölçülerek ihtiyaca göre ikinci ve üçüncü klimalar çalıştırılır veya durdurulur. Yönetim yazılımı klimaların yanı sıra güç kaynağı, duman, ısı, su basması, sarsıntı kontrolü, kabinet kapaklarının açılması gibi birçok kontrol ve denetlemeyi sağlayarak anomalileri kısa mesaj, e-posta, alarm ile teknik personele iletir.

Kabinetlerin hava geçirmez olması sebebiyle sunucular tozlardan uzak bir şekilde çalışabilmekte dolayısıyla soğutma verimi sağlayarak fanların daha düşük seviyede çalışmaları sonucu enerji tasarrufuna katkıda bulunurlar.

Kabinet sisteminde bulunan klimalar, güç kaynakları, elektrik dağıtım prizleri, dış üniteleri bir bütün olarak RoHS ve WEEE sertifikasına sahiptirler. Bilgi İşlem Daire Başkanlığı alım sırasında çevresel etkileri minimum olan ürünleri tercih edilebilmesine yönelik maddeleri şartnamelere ekleyerek sosyal sorumluluğunu yerine getirmeye çalışmıştır.

- **Sunucular (Server) ve Anahtarlar (Switch)**

Piyasada aynı işi yapan ancak fiyat aralığı çok geniş olan onlarca sunucu ve anahtar bulunmaktadır. Cihazların seçiminde uzun süre kullanılacak kapasitelerin seçimi yanı sıra çevre standartlarına uygunluk aranmaktadır. Sistem odasında bulunan tüm sunucular RoHS ve WEEE sertifikasına sahiptir.

- **Sunucu Sanallaştırma**

Bilgi İşlem Daire Başkanlığında iki adet sanallaştırma sistemi mevcuttur. Her iki sanallaştırma sistemi de 3 adet fiziksel sunucudan ve 1 adet disk dizisinden oluşmaktadır. Eski

olan sanallaştırma sisteminde yaklaşık 10 adet sanal sunucu bulunmaktadır. Yenisinde ise 53 adet sanal sunucu bulunmaktadır. Geleneksel sunucu yönetimine göre; her iki programa bir sunucu tahsis ettiğimizi düşünürsek ortalama 30 adet fiziksel sunucuya ihtiyaç duyulurdu. Sanallaştırma sayesinde tüm otomasyonlar toplamda 6 adet sunucuda çok rahat çalışabilmektedir. Bu sayede muazzam enerji tasarrufu sağlanabilmektedir.

- **Masaüstü Sanallaştırma / Terminal Sunucusu Uygulaması**

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi yerleşkesinde masaüstü sanallaştırması bulunmamaktadır. İki farklı birimde terminal sunucu uygulaması yapılmaktadır.

Bunlardan birincisi Tıp Fakültesi Hastane otomasyonunun altyapısında kullanılan terminal sunucu uygulamasıdır. Toplam 322 adet aptal terminal otomasyon kullanıcıları tarafından kullanılmaktadır. 322 adet terminal 4 sunucudan herhangi birine bağlanarak çalışmaktadır. Poliklinik ve servis sekreterleri, doktorlar ve hemşireler ile muhasebe, depo gibi diğer birimlerde terminaller kullanılarak hastane otomasyonunda günlük işlemler yürütülmektedir.

Günümüzde bir masaüstü bilgisayar saatte ortalama 100W ile 250W arası (monitör hariç) elektrik enerjisi harcamaktadır. Hastane uygulamasına erişim yapan terminal ise en yüklü durumda 7.5W (monitör hariç) enerji harcamaktadır.

Sivas Cumhuriyet Üniversitesinde ikinci uygulama ise yabancı dil laboratuvarı uygulamasıdır. Bu laboratuvarda 20 adet terminal 1 sunucu gücünü paylaşarak yabancı dil eğitimine katkıda bulunmaktadır. Her bir terminal 5W enerji kullanmaktadır.

Bu iki örnekte verilen enerji harcamaları maksimum güç kullanımına göre. Yük olmadığı durumlarda ya da bekleme durumlarında bu enerji değeri daha düşük olabilmektedir.

Terminallerin çektiği enerji normal bir bilgisayarın çektiği enerjiden çok büyük oranlarda düşüktür. Enerji tasarrufunun yanı sıra; sabit disk, bellek, CPU, fan gibi ekipmanlara ihtiyaç duyulmadığı için sermayeden tasarruf ve teknik servis elemanlarından tasarruf olarak ta faydalar sağlanabilmektedir. Bunların yanı sıra ses gürültüsü ve elektromanyetik alanın insana olan etkilerinin de azalmasına katkıda bulunmaktadır. Ayrıca tüm kullanıcıların dokümanları sunucularda saklandığı için disk kullanımı tasarrufu, yedekleme cihazı tasarrufu, yedekleme zamanından tasarruf, merkezi antivirüs yazılımı koruması, sunucu gücünü kullanmak gibi birçok olumlu etkileri de mevcuttur.

- **Ürün Ömrünü Artırma Çalışmaları**

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilgi İşlem Daire Başkanlığı ürün ömrünü artırmaya yönelik aşağıdaki çalışmaları yapmaktadır.



Teknik Servisine gelen arızalı cihazlar bir bütün olarak çalıştırılmayacak durumda ise çalışır durumdaki mekanik ve elektronik parçaları daha sonra kullanılmak üzere sökülmemektedir. Bu parçalar daha sonra kullanılarak maddi tasarruf ve yeni bir parça satın alınmadığı için üretimde verilecek çevresel zararlarda azaltıcı bir etki sağlanmaktadır.

Arızalı cihazın parçaları tamir edilebilecek düzeyde ise tamir edilir. Parça tamir edilemeyecek durumda ise hurdalık deposunda bekletilen sağlam parçalarla değişimi sağlanır. Eğer kullanılmış sağlam yedek parça yoksa yenisi satın alınarak cihaz ayağa kaldırılır.

Teknik servise gelen her cihaz mutlaka iç ve dış temizliği yapılarak öncelikle daha iyi bir soğutma verimi elde edilmesi sağlanır. Örneğin fanlar temizlenir, CPU soğutucu metalinin aralıkları temizlenir ve CPU soğutucu kremi yenilenir. Bu işlem bilgisayarın daha hızlı, sessiz çalışmasına katkıda bulunur.

Yazılım teknolojisindeki gelişmeler sonucunda bir bilgisayarın gücü yeni yazılımı yavaş çalıştırıyorsa; bilgisayarın belleği yükseltilir ve harddisk'i SSD disk ile değiştirilir.

Sistem odasındaki sunuculara yılda bir kez fiziksel iç ve dış temizlik yapılır.

Tüm üniversitede bulunan anahtarlara (switch) yılda bir kez fiziksel iç ve dış temizlik yapılır.

Tamamen atıl duruma düşen plastik aksam ve elektronik kartlar ise belirli dönemlerde belediyenin anlaşmış olduğu lisanslı firmaya veya MKE'ye geri dönüşümde kullanılması için teslim edilir. Sabit disklerdeki veri ISO-27001 Bilgi Güvenliği Yönetim Sistemi kuralları çerçevesinde imha edilerek geri dönüşüm birimlerine teslim edilir.

- **İletişimde Kağıt Yerine Çevrimiçi Sistemlerin Kullanılması**

Günlük işlerde dijital sistemlerin her geçen gün artarak kullanılmasının en önemli getirisi belki de kağıt kullanımının gittikçe azalmasıdır. E-devlet sistemi, e-imza, e-fatura, e-arşiv gibi uygulamalar da kâğıtsız iletişime atılan önemli adımlar arasında gösterilebilir. Bunların yanı sıra Merkezi Nüfus İdaresi Sistemi (MERNİS), ÖSYM veritabanı, YÖK veritabanı, SGK Kamu Hizmet Takip Sistemi (HİTAP) vb. devlet projelerinin veritabanlarına uzaktan erişim sağlanması sonucunda veriler kurumlar arasında dijital ortamda paylaşılmakta dolayısıyla kağıt kullanılmamaktadır. Dünyada da buna benzer uygulamalar bulunmaktadır. Örneğin; Erasmus öğrenci değişim programı kapsamında Paperless Erasmus projesini başlatmış ve Üniversitelerin dünya çapında yetkilendirme sistemine geçmesini zorunlu kılmıştır. Bu kapsamda erasmus başvurusu yapacak öğrenciler üniversitesinden aldığı kullanıcı adı ve şifresiyle başvuru sayfasını açtıklarında öğrenciye ait bilgilere erasmus ofisi ulaşabildiklerinden dolayı kağıt üzerinde belge istememektedirler.

Üniversitemizde de kağıtsız iletişimi destekleyen bir çok sistem kullanılmaktadır. Daha fazla kağıtsız iletişim için yatırımlar planlanmaktadır. Sivas Cumhuriyet Üniversitesi'nde bulunan kağıtsız iletişimi destekleyen projelere şunları örnek gösterebiliriz.

EBYS (Elektronik Belge Yönetim Sistemi) kullanımı. Günlük binleri geçen evrak oluşturma ve kopyalarının dağıtımını dijital ortamda 2015 yılında beri kullanılmaktadır. Belge yönetiminin yanı sıra dijital arşive geçme çalışmaları da başlatılmıştır. Bu kapsamda donanım ve yazılım alımları için araştırmalar başlamıştır. Varolan belgelerin dijital ortama aktarılması için bazı birimlerde hazırlık çalışmaları başlamıştır. Örneğin Rektörlük ve Genel Sekreterlik arşivinin tamamı taranarak dijital ortama aktarılmıştır. Birkaç akademik birimde de bu çalışmalar başlatılmıştır.

Personel özlük bilgileri ve hizmet takipleri dijital ortamda gerçekleştirilmektedir. Atama, birim değişikliği, derece/kademe yükselmeleri, izin işlemleri ve birçok işlem e-imza kullanılarak kağıtsız olarak gerçekleştirilmektedir.

Öğrenci özlük bilgileri, sınav sonuçları, transkript ve ihtiyaç duyulan birçok belge dijital ortamda takip edilmektedir. Üniversitemizde 1992'den beri öğrenci işleri otomasyonu kullanılmakta ve tüm bilgiler dijital ortamda saklanarak günümüze kadar getirilmiştir. Uzun yıllar öğrenci arşiv dosyası tutulmamaktadır.

Hasta belgeleri, tahlil sonuçları ve arşivlemesi dijital ortamda takip edilmektedir. Hasta bilgileri, tahlil sonuçları, röntgen görüntüleri devletin çeşitli dijital sistemleri ile paylaşılarak kağıt kullanımı önemli ölçüde azaltılmıştır.

Özel Yetenek sınav başvuruları programlar aracılığıyla yapılmakta olup nüfus bilgileri MERNİS veritabanından, ÖSYM sonuçları ÖSYM veritabanından dijital ortamdaki çekilmekte kağıt istenmemekte, böylece kağıt kullanımı azaltılmıştır.

Kağıtsız iletişimin ve dijital raporlama ile şu faydalar sağlanmaktadır.

Daha az kağıt kullanımından dolayı genel gider maliyetlerinde gözle görülür bir fayda sağlanmaktadır.

Kağıt kullanımı azaldığından dosya ve klasörlerde daha az kullanılmaktadır. Bunun sonucunda klasör, dosya ve kağıt ayırıcılar, dosya dolapları gibi ürünler için bütçe ve fiziki bir alan ayırmada tasarruf edilmektedir.

Yöneticiler, akademisyenler fiziksel bir ajanda taşımak zorunda kalmadan ve dijital ortamda bulunan verileri her yere taşıyabilmekte ve gerekli değişiklikleri yapabilmektedirler.

E-Posta ve EBYS marifetiyle bilgi paylaşımı daha hızlı olmakta ve bilgiye, belgeye ulaşmak daha kolay olmaktadır. E-İmza aracılığıyla belgeleri gece ve gündüz imzalamak çok kolaylaşmıştır.

Kağıt kullanımının azalması ile daha yeşil bir çevreye destek olunmaktadır.

- **Seyahatleri Azaltma Çalışmaları**

Üniversitemizde Lisansüstü (Yüksek Lisans ve Doktora Yeterlilik) sınavları için üniversite içinden ve diğer üniversitelerden asil ve yedek jüri üyeleri oluşturulur. Jüri üyeleri sınavın yapılacağı yere davet edilir ve yolluk ödemesi yapılır.

Bilgi İşlem Daire Başkanlığının geliştirmiş olduğu ONLINE JÜRİ programı (<https://onlinejuri.cumhuriyet.edu.tr>) yardımı ile jüri sınavlarının çevrimiçi yapılması sağlanmıştır. Pandeminin başlangıcına gelen bu yazılım sayesinde öğrenci de dahil olmak üzere tez savunmalarında tüm katılımcıların yerinden çevrimiçi sisteme girmesi sağlanarak yolluk bütçesinden önemli tasarruflar sağlanmıştır. Araçla seyahat azaldığı için çevrenin korunmasına da katkı sağlamaktadır.

- **İşletim Sistemi Optimizasyonu**

Bilgi İşlem Daire Başkanlığı hem sunucuların kurulumunda hem de PC'lerin kurulumunda işletim sistemi optimizasyonuna önem vermektedir. Gereksiz programlar kurulmaz. Sunucu kurulumunda kaynakları çok harcayan Microsoft İşletim sistemi yerine Linux işletim sistemi kurmayı tercih etmektedir. Kaynak ve enerji tasarrufu doğrudan çevre etkilerini azaltmaya yönelik çabalarıdır.

- **Geri Dönüşüm ve İmha**

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi 300 m<sup>2</sup>'si kapalı, 600 m<sup>2</sup>'si açık olmak üzere atık biriktirme sahası kurmuştur. Bu sahada tehlikeli kimyasal atıkların yanı sıra elektrik ve elektronik atıklar, plastik, cam, tahta, metal olmak üzere geri dönüştürülebilir malzemeler toplanmaktadır. Elektrik ve Elektronik atıkların yönetimi Bilgi İşlem Daire Başkanlığı tarafından yapılmaktadır. Toplanan atıklar öncelikle yerinde geri dönüşüm amacıyla tamir yoluna gidilmektedir. Bir bütün olarak tamir edilemeyenler yedek parça olarak kullanıma sunulmaktadır. Tamamen atık olan parçalar ise belediyenin anlaşmış olduğu lisanslı firmaya veya MKE (Makine ve Kimya Endüstrisi) kurumuna teslim edilmektedir.

Bilgi İşlem Daire Başkanlığı sorumlu olduğu elektrikli ve elektronik atıkları, 2012 yılında çıkarılan "Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların Kontrolü Yönetmeliği" kapsamında işlemektedir.

- **Akü ve Pil Yönetimi**

Bilgi İşlem Daire Başkanlığı görevi gereği merkez ve ilçe yerleşkelerinde network dağıtım odasına sahiptir. Sistem odası ve network dağıtım odalarında cihazların uzun ömürlü çalışabilmesi için Kesintisiz Güç Kaynağı kullanılmaktadır. Bu nedenle çok sayıda akü zaman

içerisinde atık olarak çıkmaktadır. Toprağı ve yeraltını sularını zararlı kimyasal etkileri bulunan akülerden bozulan veya kullanım ömrü dolan aküler çöpe atılmaz, merkezi bir ortamda depolanır. Yeni akü alımı sırasında bu aküler depozito karşılığı satıcıya teslim edilir. Akü ve Pil yönetiminde “Atık Pil ve Akümülatörlerin Kontrolü Yönetmeliği” uygulanmaktadır.

- **Yeşil BT’ye Uygun Ürünlerin Satın Alınması**

Satın alınacak sunucu, veri depolama, bilgisayar, yazıcı, tarayıcı vb. BT ürünlerinde çevreyi koruma ve enerji tasarrufu sağlayacak uluslararası standartlara atıfta bulunan maddeler teknik şartnameye konulmaktadır.

## **VIII. SONUÇ**

Yeşil BT yükselişte olan bir kavramdır. Yeşil BT'nin geniş kitleler tarafından benimsenmesini etkileyebilecek itici güçlerin ve zorlukların belirlenmesine yönelik kapsamlı bir araştırma yapılmalı ve bu engellerin kaldırılması için çözüm önerileri geliştirilmelidir.

Yeşil BT genel olarak kişisel bir çaba gibi görünse de toplu hareket etmeyi gerektiren bir hedeftir. Bu nedenle hükümetler tarafından stratejiler oluşturulmalıdır. Alınacak tedbirler ve uygulamalar kurumlara ve kitlelere bırakılmadan felsefi sözlerden uzak, daha uygulanabilir anlatımla, adım adım, anlaşılır biçimde kitapçık olarak, web sitelerinden, kitle iletişim araçlarından duyurulması sağlanmalı ve pratik eğitimler yapılmalıdır.

Üniversiteler dahil tüm kamu kurumlarında ve şirketlerde Yeşil BT stratejik bir hedef olmalı, kurum yöneticileri Yeşil BT ve diğer çevreci yaklaşımları benimseyerek hayata geçirmek için gerekli örgütlenmeyi sağlamalıdır. Hizmet içi eğitimlerle personelin bilinçlendirilmesi sağlanmalıdır. Satın almada, kullanımında ve imha süreçlerinde çevreci yaklaşımların tercih edilmesine yönelik süreçler politikalar oluşturulmalı ve uygulamalar iç veya dış denetçilerle kontrol edilmelidir. Yeşil BT’de önerilen uygulamaları benimseyen kurum yöneticileri maliyetleri düşürürken çevre yönetimine olumlu katkıda bulunabileceklerinin farkında olmalıdırlar.

Yeşil BT, küresel ısınma sorununun çözüm yollarından birini temsil etmektedir. Gelecek neslin çevre dostu bir yaşam sürmesi ve sürdürülebilir olabilmesi için doğal kaynakların korunmasını ve kullanılabilir olmasını azami ölçüde sağlamalıyız.

## Kaynaklar

AGARWAL, S., & NATH, A. (2011). "Green Computing - a new Horizon of Energy Efficiency and Electronic waste. 2011 International Conference on Communication Systems and Network Technologies.

Elektrik Enerjisi Özel İhtisas Komisyonu. (2001). Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı. Ankara: Devlet Planlama Teşkilatı.

Gartner Inc. (2007). Green IT. The New Industry Shockwave, presentation at Symposium/ ITXPO conference. Gartner Inc.

Minerals in Typical Computers. (2020). National Mining Association: [http://www.nma.org/pdf/m\\_computer.pdf](http://www.nma.org/pdf/m_computer.pdf) adresinden alındı

MINGAY, S. (2007). IT Vendors, Service Providers and Users Can lighten IT's Environmental footprint. Gartner Inc.

MURUGESA, S. (2008). Harnessing Green IT: Principles and Practices. IT Professional(10), 24-33. doi:10.1109/MITP.2008.10

NOLAN, R. (2020). Minerals in Typical Computers. National Mining Association: <https://nma.org/2020/12/08/u-s-minerals-will-secure-americas-remote-work-future/> adresinden alındı

ÖNAL, G., DOĞAN, Z., & YÜCE , H. (1992). Kömür Tüketimi-Termik Santrallar. Türkiye 8. Kömür Kongresi. Zonguldak: TMMOB Maden Mühendisleri.

Wikipedia. (2021). Energy Star. <https://tr.wikipedia.org/>: [https://tr.wikipedia.org/wiki/Energy\\_Star](https://tr.wikipedia.org/wiki/Energy_Star) adresinden alındı

# DETERMINATION OF THE CARBON FOOTPRINT ARISING FROM THERMAL PLANTS USING COAL IN TURKEY

**Ünzile AYDIN**

Sivas Cumhuriyet University, Engineering  
Faculty, Department of Environmental  
Engineering, Sivas

20199220010@cumhuriyet.edu.tr,

ORCID: 0000-0002-5153-0699

**Doç. Dr. Fuat ÖZYONAR**

Sivas Cumhuriyet University, Engineering  
Faculty, Department of Environmental  
Engineering, Sivas

fozyonar@cumhuriyet.edu.tr,

ORCID: 0000-0001-6772-8010

## ***Abstract***

*Energy is a field that has the highest priority for the development of countries. In order to reach energy, various methods have been applied and used since the 18th century. Increasing energy demand has caused environmental damage in production processes. A great amount of the energy production on Earth is met from power plants that produce energy thermally. Thermal power plants, which also take place in the first place in the energy sector in our country, work with various fossil fuels. These fossil fuels cause climate change with the greenhouse gas emissions they give off to atmosphere and contribute to global warming. The whole of the greenhouse gases that cause global warming constitute the carbon footprint. These gases are released as a result of all human activities. The energy sector ranks first in greenhouse gas emissions. According to experts, if global warming continues like this, the world temperature will increase between 1.8°C -4.0°C, towards the end of the 21st century (IPCC,2006). Various protocols and agreements are being signed to prevent these increases. With the Paris Agreement, to which Turkey is also a party, various negotiations are being carried out to keep the temperature level at 1.5 °C. As a result of the negotiations, certain carbon emission quotas have been put into effect for the participating countries. It is highly important for countries to calculate their carbon emissions so that these quotas are not exceeded. The calculation method was developed by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). According to this method, carbon footprint calculation can be made with Tier 1, Tier 2 and Tier 3 methodologies. With the IPCC Tier 1 methodology that we used in our study; carbon footprint calculations have been made according to the fuel type of coal-fired thermal power plants in our country. As a result of the calculations made, the carbon footprint emissions of coal-fired thermal power plants has been determined. The measures to be taken in order to minimize the harmful effects of coal has been focused on.*

## I. INTRODUCTION

Energy is one of the most important needs for the developed countries from industrial revolution to today. Hence, the energy sector is a key factor in the development of the countries. Many diversified methods are used to reach energy. One of these methods is thermal reactor which converts thermal power to electrical energy. These methods used for energy production are of great importance due to gas emissions that will harm the natural atmosphere cycle of the world.

Our world's atmosphere works like greenhouse. Almost half of the sun's rays reaching the earth are reflected from the earth. Atmosphere resends reflected sun's rays through the CO<sub>2</sub>, methane, water vapor, nitrogen oxide etc. that they are called greenhouse gases. Average temperature on earth captures to 15C with the help of greenhouse gases acting as a blanket. If there were no greenhouse gases, average temperature on earth would be approximately -18C. This natural effect of greenhouse gases is called "greenhouse gas effect". ([www.wwf.org.tr](http://www.wwf.org.tr))

The increasing greenhouse effect has brought global warming to the fore. The concept of carbon footprint is used to determine the amount of gases that cause global warming and a number of approaches are used to calculate the carbon footprint. The concept of carbon footprint is becoming popular research method as a result of the visible consequences of global warming effects. In this study, the carbon footprint of coal from fossil fuels in thermal power plants will be calculated according to the IPCC Tier 1 methodology, besides, I will determine the measures that can be taken to reduce the energy-based greenhouse gases.

## II. THERMAL POWER PLANTS IN TURKEY



**Figure 1.** Map of coal-fired thermal power plants with thermal energy over 50 MW in Turkey

([www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org))

Coal power plants in Turkey are shown in Figure 1. The amount of the coals that used by coal power plants are given in the following table (Table1) respectively, in 2019, 2020 and 2021.

**Table 1.** Amount of Coal Used in Thermal Power Plants (tonnes)

	2019	2020	2021
<i>January</i>	6776828,00	6543502,00	6452587,00
<i>February</i>	6983715,00	5816653,00	6160031,00
<i>March</i>	7144209,00	5840739,00	6142834,00
<i>April</i>	6321959,00	4366892,00	5919987,00
<i>May</i>	6733824,00	4144715,00	6276647,00
<i>June</i>	6733184,00	6438966,00	6329261,00
<i>July</i>	8699329,00	6691013,00	6678534,00
<i>August</i>	7990094,00	6750770,00	7206750,00
<i>September</i>	8225584,00	6358725,00	6991866,00
<i>October</i>	7912429,00	6421440,00	6432361,00
<i>November</i>	8359526,00	6601102,00	7603877,00
<i>December</i>	7861215,00	6870345,00	7740769,00
<i>Total</i>	89741896,00 tonnes	72844862,00 tonnes	79935504,00 tonnes

### III. GLOBAL WARMING, CLIMATE CHANGE AND GREENHOUSE GASES

The increase in temperature as a result of the greenhouse effect of gases emitted by humans is called global warming. Greenhouse gases, which have an important role in the climate system, provide the thermal balance of the atmosphere by protecting the sun and reflections. For this reason, it is understood that the control of the gases that cause warming is in the hands of the people and the initiatives to prevent climate change are to find the sources of these gases and reduce their emissions. While the world climate was in balance until the 18th century, this balance was disrupted as a result of the industrial revolution. Increasing use of fossil fuels due to industrialization, deforestation created by the opening of new areas to meet the needs, discharge of greenhouse gases into the atmosphere from different branches of industry are the main reasons for the occurrence of global warming. (Bekiroğlu, 2011).

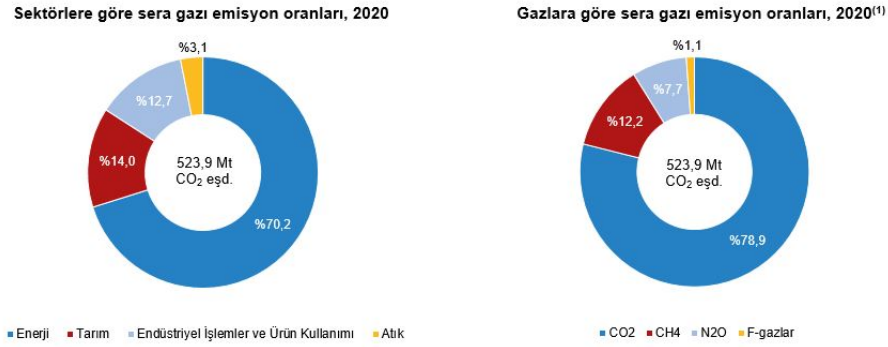
It is clear that the main cause of climate change is the sum of greenhouse gases increasing as a result of human activities. Some of the greenhouse gases occur naturally in the atmosphere and ensure the protection of the thermal balance of the atmosphere and thus the life cycle. However, increases in concentration in the atmosphere disrupt the natural balance of the climate and increase their heat holding capacity. CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and NO<sub>x</sub> are examples of naturally occurring greenhouse gases. These gases have very long lifetimes in the atmosphere. (Ministry of Forestry and Water Management 2018).

Some of the greenhouse gases are entirely due to human activities. These gases are collectively called "halocarbons". Halocarbons include bromine (Br), chlorine (Cl), and fluorine (F). Hydrochlorofluorocarbon (HCFC), Hydrofluorocarbon (HFC), Chlorofluorocarbon (CFC), Carbon monoxide (CO), Nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>), Sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) and Tropospheric ozone (O<sub>3</sub>) are called tropospheric gases. These gases have a short lifespan and are air



pollutants. It consists of O<sub>3</sub>, CO, NO<sub>x</sub> and non-methane hydrocarbons (NMHC). Changes in O<sub>3</sub> compositions are associated with air quality and climate change. (IPCC, 2007).

Distribution of greenhouse gases by sectors and emission rates by gas type are shown in the Figure 2.



**Figure 2.** Distribution of greenhouse gases by sectors and emission rates by gas type (TÜİK,2020)

#### IV. MATERIALS AND METHODOLOGY

In this study, the carbon footprint of coal-fired thermal power plants in Turkey was calculated. The methodology of the Tier 1 approach and the selection of emission factors were made using the 2006 IPCC Guidelines, and the MS Excel calculation table was used for the calculation.

##### IPCC Methodology and Carbon Footprint Calculation

The carbon footprint is a trace that can change depending on the mass of any living thing and the time associated with the size of its feet (Ozer, 2002). In other words, the carbon footprint is defined as the measurement of the personal negative contribution of people to global warming (Tatar, 2010). It includes calculations made using coal expenditure amounts using the Tier 1 approach, with emission factors taking place in the 2006 IPCC guidelines. When there is also the production of CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O emissions during the combustion of fuels, they should also be included in the calculation.

To be able to calculate CO<sub>2</sub> emissions;

- the amount of consumption of the fuel used
- the energy values of the type of fuel used
- the emission factor for each fuel

are determined and based on these values the total CO<sub>2</sub> is calculated. In order to be able to calculate the total CO<sub>2</sub> amount; the global warming potentials of CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O emissions must be expressed in CO<sub>2</sub>. In order to calculate CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O emissions in terms of CO<sub>2</sub> emissions, the appropriate CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O emission factors are determined after the fuel consumption amount and energy values are found. As a result of the calculations made according to the global warming potentials of CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O, the total CO<sub>2</sub> amount of the fuel's CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O can be reached.

### 3.2. Calculation

**Table 2.** CO<sub>2</sub> Carbon Footprint of Coal-Fired Thermal Power Plants in Turkey in

CO <sub>2</sub>	Fuel Type	fuel consumption (tonnes)	conversion factor (TJ/kt)	energy consumption (TJ)	Carbon Emission Factor (tc/TJ)	carbon content (GgC)	Carbon Oxidation Rate	Carbon Emission (GgC)	CO <sub>2</sub> Emission (Gg CO <sub>2</sub> )
		A	B	$C=A*B*10^{-3}$	D	$E=C*D*10^{-3}$	F	$G=E*F$	$G*(44/12)$
2021	Coal	79935504,00	11,9	951232,4976	101,00	96074,48226	1	96074,48226	352273,1016
2020	Coal	72844862,00	11,9	866853,8578	101,00	87552,23964	1	87552,23964	321024,8787
2019	Coal	89741896,00	11,9	1067928,562	101,00	107860,7848	1	107860,7848	395489,5443

**Table 3.** CH<sub>4</sub> Carbon Footprint of Coal-Fired Thermal Power Plants in Turkey

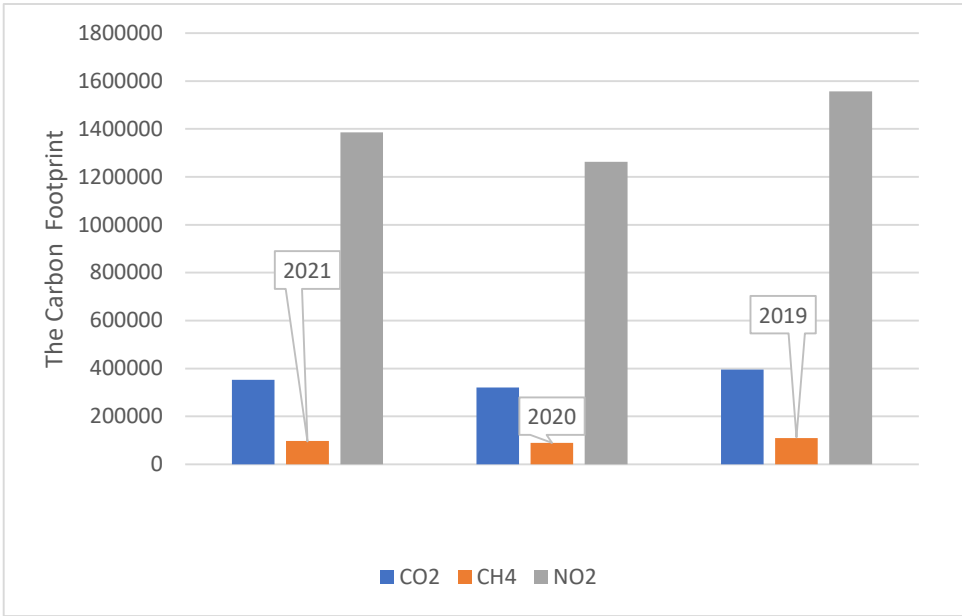
CH <sub>4</sub>	Fuel Type	fuel consumption (tonnes)	conversion factor (TJ/kt)	energy consumption (TJ)	Carbon Emission Factor (tc/TJ)	carbon content (GgC)	Carbon Oxidation Rate	Carbon Emission (GgC)	CO <sub>2</sub> Emission (Gg CO <sub>2</sub> )
		A	B	$C=A*B*10^{-3}$	D	$E=C*D*10^{-3}$	F	$G=E*F$	$G*(44/12)$
2021	Coal	79935504,00	11,90	951232,4976	1,00	951,2324976	1	951,2324976	3487,852491
2020	Coal	72844862,00	11,90	866853,8578	1,00	866,8538578	1	866,8538578	3178,464145
2019	Coal	89741896,00	11,90	1067928,562	1,00	1067,928562	1	1067,928562	3915,738062

**Table 4.** N<sub>2</sub>O Carbon Footprint of Coal-Fired Thermal Power Plants in Turkey

N <sub>2</sub> O	Fuel Type	fuel consumption (tonnes)	conversion factor (TJ/kt)	energy consumption (TJ)	Carbon Emission Factor (tc/TJ)	carbon content (GgC)	Carbon Oxidation Rate	Carbon Emission (GgC)	CO <sub>2</sub> Emission (Gg CO <sub>2</sub> )
		A	B	$C=A*B*10^{-3}$	D	$E=C*D*10^{-3}$	F	$G=E*F$	$G*(44/12)$
2021	Coal	79935504,00	11,90	951232,4976	1,50	1426,848746	1	1426,848746	5231,778737
2020	Coal	72844862,00	11,90	866853,8578	1,50	1300,280787	1	1300,280787	4767,696218
2019	Coal	89741896,00	11,90	1067928,562	1,50	1601,892844	1	1601,892844	5873,607093

**Table 5.** Carbon Footprint in CO<sub>2</sub> Equivalent (Gg CO)

	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>CH<sub>4</sub></b>	<b>N<sub>2</sub>O</b>
2021	352273,1016	97659,86975	1386421,365
2020	321024,8787	88996,99607	1263439,498
2019	395489,5443	109640,6657	1556505,88



**Figure 3.** The Carbon Footprint Chart

**V. FINDINGS**

According to the results, the total greenhouse gas emissions were ranked as 2020, 2021 and 2019 from the least to the most. These values are calculated as 395489.5443 Gg CO<sub>2</sub>, 109640.6657 Gg CH<sub>4</sub>, 1556505.88 Gg N<sub>2</sub>O emissions in 2019; 321024.8787 Gg CO<sub>2</sub>, 88996.99607 CH<sub>4</sub>, 1263439.498 Gg N<sub>2</sub>O emissions in 2020; 352273.1016 Gg CO<sub>2</sub>, 97659.86975 Gg CH<sub>4</sub>, 1386421,365 Gg NO<sub>2</sub> emissions in 2021. The pandemic period experienced in 2020 and the decommissioning of some thermal power plants according to the new regulation are estimated to be the reason for the decrease in emissions in 2020.

**VI. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS**

The following measures can be applied to reduce the greenhouse gases caused by energy sources;

1. to increase investments in renewable energy sources such as nuclear energy, wind energy and solar energy.
2. to provide financial facilities for the installation stages of renewable energy sources for industrial facilities and residences.
3. to replace the lighting used in cities with very efficient products using low energy.
4. to increase educations at a young age about energy waste and to raise a conscious society on this issue.

## References

Bekiroğlu O., (2011) , “Sürdürülebilir Kalkınmanın Yeni Kuralı: Karbon Ayak İzi”, II.Elektrik Tesisat Ulusal Kongresi.

IPCC. (2006) “Energy. In 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories”, <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>

Intergovernmental Panel on Climate Change Working Groups I, II and III. (2007) “Climate Change 2007: Synthesis Report. IPCC, Geneva, Switzerland Available”, [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/publications\\_ipcc\\_fourth\\_assessment\\_report\\_synthesis\\_report.htm](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_synthesis_report.htm)

Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü 2017 Yılı İklim Değerlendirmesi, (2018) [https://www.mgm.gov.tr/FILES/genel/makale/11\\_kureseliklimdegisikligietkileri.pdf](https://www.mgm.gov.tr/FILES/genel/makale/11_kureseliklimdegisikligietkileri.pdf)

Özer Z. , (2002), “Ekolojik Ayak İzleri”, Bilim ve Teknik Dergisi, S. 419, Ekim, ss. 82- 84.

Tatar O., (2010), “Uluslararası Karbon Ticareti ve İzmir’in ‘Karbon Ayak İzi’nin Belirlenmesi’”.

[https://tr.wikipedia.org/wiki/Türkiye%27deki\\_kömür\\_yakıtlı\\_enerji\\_santralleri\\_listesi](https://tr.wikipedia.org/wiki/Türkiye%27deki_kömür_yakıtlı_enerji_santralleri_listesi)

[www.tuik.gov.tr](http://www.tuik.gov.tr)

[www.wwf.org.tr](http://www.wwf.org.tr)

# Akıllı Şebekelerde İletişim Teknolojileri Uygulamaları

Zeynep CERAN ÇAMAYAZ<sup>1,2,3</sup>, Derya Betül UNSAL<sup>1,2,3</sup>

ORCID: 0000-0002-7657-7581

1 Cumhuriyet University, Graduate Institute of Natural and Applied Sciences, Department of Energy Science and Technology, Sivas, Türkiye.

2 Cumhuriyet University Renewable Energy Research Center, Sivas, Türkiye.

3 Cumhuriyet University Sustainability Office, Sivas, Türkiye.

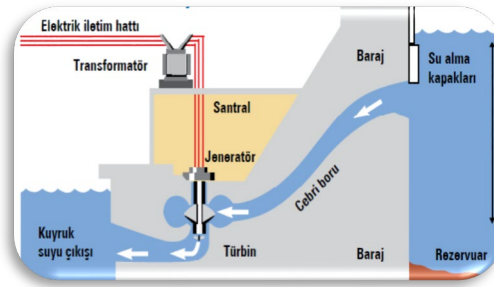
## Özet

*Son yıllarda dünyada hızla çalışılmaya başlanan veri iletişimi verimliliği, artan enerji ihtiyacı ile birlikte enerjinin yönetilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Üretilen enerjinin veri aktarımında kullanılması için farklı iletişim yöntemleri kıyaslanmalı, büyük ve hızlı veri iletiminin sağlanabilmesi için enerjinin en faydalı olacak şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu duruma olanak sağlayan akıllı iletişim teknolojileri içerisinde kullanılacak akıllı sistemlerdir. Bu çalışmada çift taraflı veri haberleşmesine imkân sağlayan akıllı şebekelerde kullanılan iletişim teknolojileri araştırılarak ve yenilenebilir enerji kaynakları ile birlikte kullanımı uygulaması yapılmıştır. Farklı veri iletişim yöntemlerinin farklı veri aktarım verimliliği hızı sağlaması beklendiğinden, yenilenebilir enerji kaynakları ile birlikte Power Line Communication haberleşme yöntemi ile gerçek zamanlı bir iletim sağlanmıştır. Haberleşme protokolleri ile birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye entegrasyonundaki gereklilikler açıklanarak uygulamada kullanılmıştır.*

## I. GİRİŞ

Son yıllarda artan nüfusla birlikte şebekeye bağlanan elektrikli cihaz sayısı artmaktadır. Bu durum güç şebekesine bağlanan yükü artırmakta ve bunun neticesinde artan nüfus ile birlikte enerjiye olan ihtiyacı da artırmaktadır. Enerji üretiminde kullandığımız doğalgaz, kömür, petrol gibi fosil kaynakların çevreye, doğaya ve iklime ve büyük zararları vardır. Küresel ısınma, iklim değişikliği ve karbon salınımı etkileri sebebiyle yenilemez enerji kaynaklarının yani fosil kaynakların dünya üzerinde yarattığı olumsuz etkiler oldukça büyüktür. Fosil kaynakların bir dezavantajı da kullanıldıktan sonra tekrar kullanılamamasıdır. Fosil enerji kaynaklarına alternatif olduğu için yenilenebilir enerji kaynaklarına ihtiyaç doğmuştur. Yenilenebilir enerji kaynakları doğada bulunan, bu yüzden dışa bağımlı olmayan ve kendini sürekli yenileyen sürdürülebilir, çevre dostu ve verimli kaynaklardır. Bu enerji türleri güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, jeotermal enerji, hidrolik enerjisi, biyokütle enerjisi ve hidrojen enerjisidir.

**Hidrolik Enerji :** Teknolojik gelişmeler ile kendisini sürekli yenileyen ve en eski enerji kaynağı olan bu kaynak hidrolik santralleri ile hareketli sudan enerji üretir.

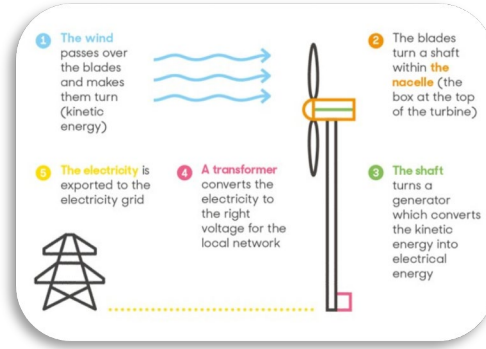


Şekil 1 : HES Çalışma Prensibi

Su kaynaklarının üzerine yapılan barajlar sayesinde yükselen su türbinlere gelerek hareket ettirir. Bu hareket sayesinde jeneratörde mekanik enerji elektrik enerjisine dönüşmektedir [1]. Çalışması ve enerji üretmesi için hiçbir masrafı bulunmayan hidrolik enerjisi santrallerinin şebekeye bağlanma zorunluluğu yoktur. Yani santralin bulunduğu bölgeye enerji sağlayabilmektedir [2]. Hidroelektrik santrallerin çevreye tek olumsuz etkisi yapım aşamasında çevreye ve bitkilere verdiği tahribattır [3].

**Rüzgar Enerjisi :** Isınan hava atmosfere doğru çıkar. Yükselen havanın yerine soğuk hava akışı başlar. Bu boşluğa soğuk hava gelmesine rüzgar denir. Rüzgar enerjisini kullanmak ilk olarak

yelkenlilerde fark edilmiş olup , ilk defa Danimarka'da bir tesis kurulmuştur. Daha sonra ise rüzgar türbinleri ile enerji üretilmeye başlanmıştır [4] [5].



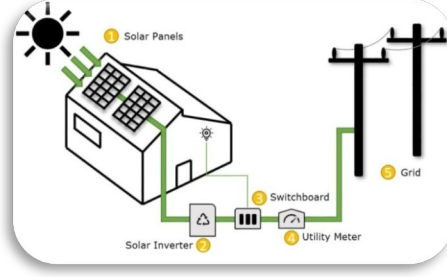
Şekil 2 : RES Çalışma Prensibi

Rüzgar sayesinde kanatlar hareket eder ve motor içerisindeki mili döndürmeye başlar. Türbinlerin dönmesi ile jeneratör çalışmaya başlar. Burada kinetik enerji elektrik enerjine dönüştürülür. Üretilen enerji transformatörler yardımıyla doğru voltaja çevirilir ve şebekeye aktarılır. Rüzgar enerjisi üç bölümde incelenmektedir;

- ✓ Üretilen bütün enerjiyi AC olarak şebekeye aktarır.
- ✓ Ürettiği enerjiyi santralin bulunduğu bölgeye DC olarak aktararak, enerji ihtiyacını karşılar.
- ✓ Deniz fenerlerine, dağ ve deniz evlerine, gözetleme istasyonları gibi yerlere DC enerji sağlar [3].

Rüzgar türbinlerinin çevreye verdiği zararlar görsel kirlilik, kuşların göç yollarını değiştirmesi ve kuş ölümleridir. Ayrıca 0 ile 2 km yakınında parazit oluşturabilir [5].

**Güneş Enerjisi :** Bütün canlıların ve dünyamızın temel ve sonsuz enerji kaynağı güneştir. Bu doğal ve sonsuz kaynaktan yararlanmak için fotovoltaikler ve güneş pilleri kullanılmaktadır. Fotovoltaik (PV) dediğimiz güneş panelleri güneş ışınlarını elektrik enerjisine çeviren sistemlerdir. Güneş enerjisini depolayamadığımız için ürettiğimiz bu enerjiyi istenilen zamanda kullanamayız. Bu yüzden enerjiyi sadece güneşin olduğu zamanlarda üretebiliriz. Güneş santrallerinin kurulum maliyetine göre ürettikleri enerji azdır. Güneş pilleri de güneş ışınlarından enerji üreten yarı iletken cihazlardır [3] [6] .



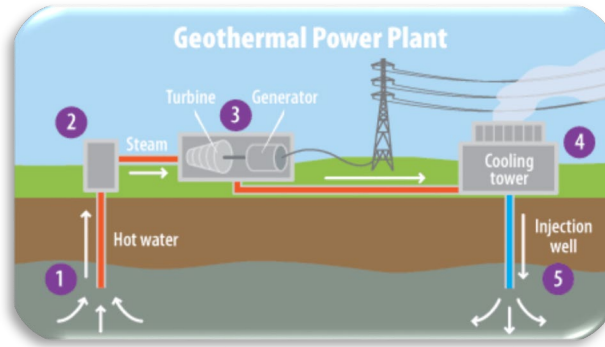
Şekil 3 : Güneş Panellerinin Çalışma Prensibi

Güneş enerjisinin kullanımının yaygınlaşması ile karbon emisyonu da gittikçe azalacaktır. [3]. Çevreye verdikleri görüntü kirliliği nedeniyle yerleşim yerlerine uzak ve büyük alanlar tercih edilmelidir. Ürettiğimiz enerjiyi iki şekilde kullanabiliriz;

- ✓ Ürettiğimiz enerjinin bir kısmını veya hepsini doğrudan şebekeye bağlarız.
- ✓ Üretilen enerjiyi adalaştırarak tek başına bir bölgedeki yüke doğrudan bağlarız [7].

Şebekeye bağlı olan sistemlerde üretilen enerji tüketilen enerjiden fazla ise şebekeye aktarılır.

**Jeotermal Enerji :** Yer altında biriken suların magmadan aldıkları ısı ile enerji kazanan sıvılar, buharlardır. Buharların yeryüzüne ulaşması ile elde edilir. Fosil kaynaklara Nazan az da olsa karbondioksit çıkışı olur. Jeotermal sıvılar içersinde oldukça fazla mineral, tuz ve zararlı gaz içerir [3] [8].



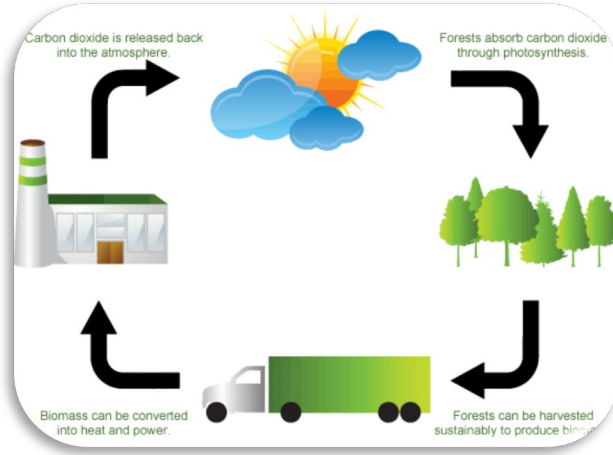
Şekil 4 : Jeotermal Enerji Üretiminin Çalışma Prensibi

Pompa yardımıyla yer altından yukarıya çıkartılan sıcak su yüzeye geldiğinde buhara dönüşür ve buharlar türbinleri döndürür, elektrik üretimi yapılır. Buharlar soğutma kulesine gelerek suya dönüşür ve doğaya bırakılır [9].

Jeotermal enerjiyi uzak bölgelere götürmekte problemler yaşandığı için yaklaşık 100 km kadar taşınabilir [10].



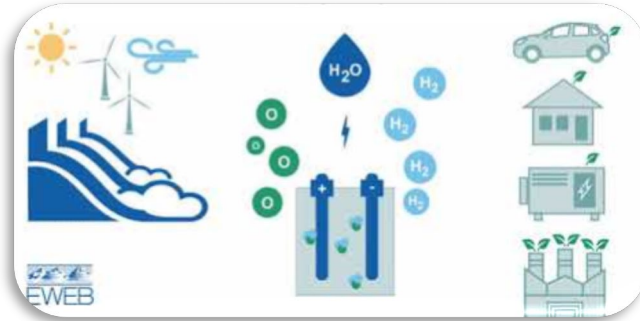
**Biyokütle Enerjisi** : Organik maddeler (bitkisel ve hayvansal ürünler, odun, odun kömürü, hayvan dışkısı ve atıklar) çürütülerek elde edilen enerji türüdür.



Şekil 5 : Biyokütle Enerjisinin Çalışma Prensibi

Bitkiler güneşten gelen enerjiyi depoladıkları için yakıldıkları zaman ortaya bir ısı çıkar. Yanmasıyla karbondioksit çıkışı olur ancak doğadaki bitkiler bu gazları geri depolarlar. Bu yüzden çevre kirliliği olmaz. Biyokütle ile araçlara biyoyakıt denilen yakıt sağlayarak petrol ithalatını da azaltır [3].

**Hidrojen Enerjisi** : Hidrojen enerjisinin başka elementler ile tepkimeye girmesi sonucu ortaya çıkan enerjidir.

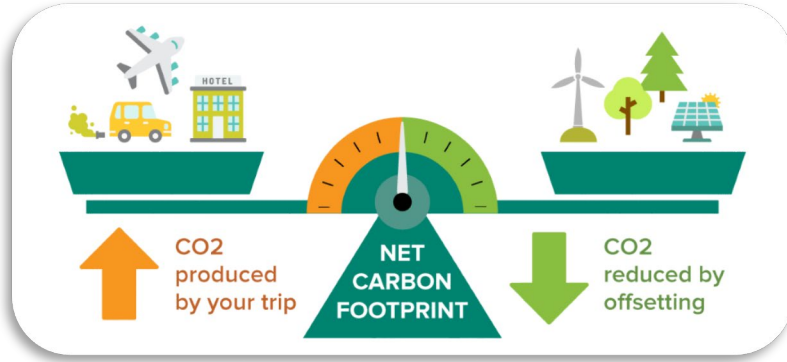


Şekil 6 : Hidrojen Enerjisi Çalışma Prensibi

Güneş, rüzgar, hidrolik, biyokütle enerjisi gibi yöntemler ile elde edilir. Hava ile karışınca yanabilir. Hidrojen su ile tepkimeye girmediğinde bazı zararlı gazlar ortaya çıkar. Bu da karbon salınımına yol açar [3].

## II. ENERJİ KAYNAKLARININ CO<sub>2</sub> EMİSYONU

Karbondioksit doğal olan rengi ve kokusu olmayan bir gazdır. Karbondioksit emisyonu ise karbondioksit gazının atmosfere salınımıdır. Fosil yakıtların yanmasıyla ortaya çıkan karbon salınımı küresel ısınmaya ve hava kirliliğine yol açmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının çevreye zararının az olması ve sürekliliğinden dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artacağı öngörülmektedir. Rüzgar enerjisinin çevre üzerinde olumsuz etkilerinin olmamasından dolayı elektrik üretimi esnasında oldukça düşük karbon salınımı meydana gelmektedir. Bu yüzden küresel ısınma üzerinde olumlu bir etkisi bulunmaktadır. Biyokütle enerjisi elde edilirken göz ardı edilemeyecek miktarda karbondioksit açığa çıkarmaktadır. Bu karbondioksit bitkiler sayesinde emilerek fotosentez yapmalarına yardımcı olmaktadır. Böylece karbondioksit salınımı azaltılmaktadır. Jeotermal santraller çok az miktarda karbon salınımı yaparlar. Santralinin karbon ayak izi yaklaşık 0,136 kg / MWh'dir. Yeni nesil santrallerde üretildiğinde bu değer daha da düşük olacaktır. Güneş, hidrojen ve hidroelektrik santraller enerji üretirken karbon salınımı yapmazlar [3][10][11].

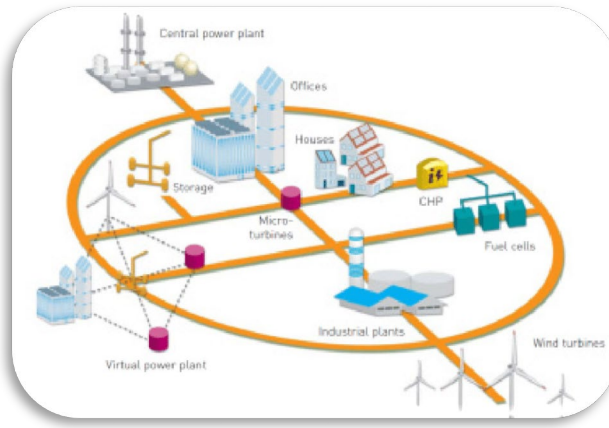


Şekil 7 : CO<sub>2</sub> Salınımını Etkileyen Faktörler

Fosil kaynakların kullanımı ile çok büyük ölçüde karbon salınımı açığa çıkmaktadır. Fosil kaynakların çevreye verdiği zarar çok büyük olduğu için yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmak insanlar ve doğa için gerekli bir unsur haline gelmektedir. Ancak yenilenebilir enerji kaynaklarını mevcut kullandığımız geleneksel şebekeye entegre etmemiz mümkün değildir. Hem enerji kaynakları açısından hem de tüketicilerin artan ihtiyacını karşılamamız için şebekemizin yeni bir sisteme dönüştürülmesi yani akıllı şebekelere geçilmesi gerekmektedir.

### III. AKILLI ŞEBEKELER

İŐ yűkűnű azaltan ve tűm tűketiciler için sűrdűrűlebilir, gűvenli, kaliteli enerjiyi hedefleyen, arıza ve kesintilere hızlı űzűm bularak kendisini iyileŐtirebilen, yenilenebilir ve alternatif enerji kaynaklarını sisteme entegre ederek otomatik kontrol ve haberleŐme sistemleriyle çalıŐan gűvenilir, verimli ve geniŐletilebilir elektrik Őebekelerine akıllı Őebeke denir [12] [13]. Akıllı Őebekeler enerji űretim santrali, enerji iletim ve dađıtım trafoları, tűketiciler, enerji depolama teknolojileri merkezi ve enerjiyi kullanan tűketicilerden meydana gelir.



Şekil 8 : Akıllı Şebekelerin Yapısı

1850’de Tesla’nın tasarlamıŐ olduđu halen de mevcut olarak kullandıđımız geleneksel Őebekeye bilgisayar ve ađ bađlantılarını entegre ederek akıllı Őebekeye evirebiliriz. Enerji űretimi ve iletiminde gerçek zamanlı ve çift yűnlű iletiŐim sađlayan Őebekelerdir [14]. Akıllı Őebeke, enerjiyi internet gibi tűm kollardan kablolu veya kablosuz olarak iletmeye çalıŐmasıdır. Enerji iletimini ve dađıtımını otomatik ve tam zamanlı izleyebilen ve kontrol edebilen sistemlerdir. Őlűm cihazları ile gerçek zamanlı űretim, tűketiciler verilerini gűsterir. Yenilenebilir enerji kaynaklarını sisteme entegre ederek tűketicilere talep edilen yűk kadar enerji gűnderir [15]. Akıllı Őebekeler evre dostu olmayı, verimliliđi ve gűvenli olmayı vaat ettiđi için geliŐmiŐ ve geliŐmekte olan űlkelerde bulunması gereken bir koŐul haline gelmiŐtir [16].

ABD Enerji Bakanlıđı raporuna gűre enerji talebi ve tűketiciler son 20 yılda %2,5 artıŐ gűstermiŐtir [17].

- Küresel ısınma,
- Enerji depolama sorunları
- Arızalar ve kesintiler
- Fosil yakıtlarda azalma
- Artan nüfus, artan enerji ihtiyacı
- Sera gazı emisyonları

Nedenlerinden dolayı akıllı şebekeye olan ihtiyaç artmıştır [18], [19]. Akıllı şebekelerin faydaları ise şu şekilde sıralanabilir;

- Kesintisiz güç kaynağı
- Azaltılan iletişim ve dağıtım kayıpları
- Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı
- Gerçek zamanlı izleme
- Tüketicileri sisteme dahil etme
- Rastgele değil yüke göre enerji üretme
- Güvenilir elektrik şebekesi
- Enerji depolama [20] [21] [22].
- 

Sistemin karmaşıklığı arttıkça arızaların düzeltilmesi daha maliyetli ve zahmetli olacağı için kendi kendini yenileyip, iyileştiren bir sistem olması gerekmektedir [23]. Ayrıca akıllı şebekelere geçmek maliyetli olmasından ve çok uzun yıllar alacağından sanıldığı kadar kolay değildir [14].

#### **IV. AKILLI Şebekelerin Bileşenleri**

**Akıllı Üretim :** Akıllı şebekelerde gerişimin ve frekansın normal değerlerinde güç üretimini, dağıtımını, üretilen enerjinin saklanması ve elektrik üretimini kontrol eder. Akıllı üretim, üretimin gerçek zamanlı bilgisini vermektedir. Üretimi önceden planlayan ve kontrol ederek, gerçek zamanlı izleme sağlar. Üretilen enerjinin bir şekilde bir merkezden yönetilmesi de gerekmektedir. Almanya’da az miktarda ve büyük enerji santralleri ile çok miktarda ve küçük enerji santrallerinin

enerji üretimleri karşılaştırıldığında küçük santrallerin daha verimli olduğu görülmüştür. Bu yüzden merkezi güç üretiminden dağıtılmış güç üretimine geçiş yapılmıştır [14].

**Akıllı İstasyonlar :** Güç ve güç faktörünü, OG/AG kesicileri ve trafoları gerçek zamanlı olarak izleyerek kontrolünü sağlamaktadır. Ancak dağıtım trafoları kör nokta olduğu için ne kadar enerji üretilip, aktarıldığı okunamamaktadır [14] .

**Akıllı Dağıtım :** Üretilen enerjinin dağıtılması da çok önemlidir. Şebekenin verimliliği, güvenliği ve enerji kayıpları açısından oldukça önemlidir. Ürettiğimiz enerjiyi kendimize en yakın olan elektrik dağıtım şirketinden ya da piyasa takas fiyatına göre en düşük tüketim bedeli olan şirketlerden tercih etmeliyiz. Mevcut geleneksel şebekemizde SKADA ile gücün var olup olmadığının verilerini alabiliyoruz ancak gücün ne kadarı şebekeye aktarılıyor, ne kadarında kayıplar yaşanıyor bununla ilgili sayısal veriler alamıyorduk. Akıllı şebekelerde ise SKADA ile görsel verilere ulaşabilir, sistem farkındalığını sağlayabiliriz [14] .

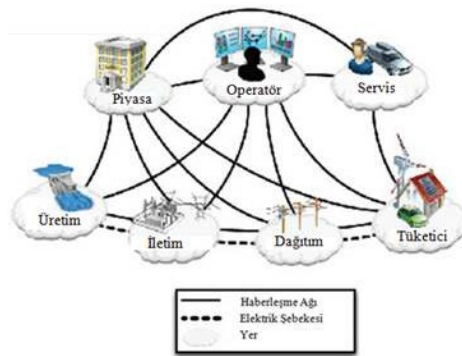
**Akıllı Sayaçlar :** Kullanılan elektrik enerjisini belirli zaman dilimlerinde ölçerek, faturalandırma için miktar belirleme işlemi yapan cihazlara sayaçlar diyoruz. Mevcut olarak doğalgaz, su ve elektrik sayaçları vardır. Akıllı sayaçlar ile tükettiğimiz enerji miktarını görüp tüketimi azaltıp, çoğaltabiliriz. En önemli özelliği ise haberleşme sistemlerini kullanmadan merkezden gelen elektriği kullanarak verilere ulaşabilmesidir. Akıllı sayaçların enerji iletim ve dağıtım noktalarında Ülkemizde akıllı şebekelerin temelini OSOS yani otomatik sayaç okuma sistemi oluşturmaktadır [14] .

**İleri Kontrol Metotları :** Şebekeyi gerçek zamanlı olarak kontrol ederek, problemleri çözer ve kendi kendini iyileştirir [14] .

**Bütünleşik Haberleşme :** Çift yönlü verileri iletimi ve kontrolünde yer alan haberleşme sistemidir. Haberleşmenin temel amacı veri toplamadır. Trafolarla veri alışverişi yaparak arıza veya kesintinin önceden belirlenip, kontrol altına alınmasını sağlamaktır. Bunun için iletim ve dağıtım trafolarından, tüketim ve üretim merkezlerinden veri gelerek kontrol istasyonları ile çift taraflı haberleşme yapılmalıdır. Kontrol istasyonları ve trafolar arasındaki veri alışverişi protokoller ile sağlanmaktadır [14]. Haberleşme protokolünü sağlayan standartların genel amacı iletilen verileri saldırılara karşı korumaya almaktır. Her bir protokolün farklı bir çalışma alanı vardır.

## V. AKILLI İLETİŞİM TEKNOLOJİLERİ

Akıllı şebekelerde haberleşmenin en önemli özelliği üretilen enerji kaynakları ile tüketiciler arasında çift taraflı haberleşme yapılmasıdır [24]. Akıllı şebekelerde haberleşme şebekeyi modernleştiririnin yanı sıra bilginin gerçek zamanlı olarak iletilmesinde de kullanılmaktadır. Üretici ve tüketiciler arasındaki bu iletişim haberleşme ile sağlanmaktadır. Haberleşme fiber optik kablolarla, kablosuz haberleşmeyle ve güç hatlarıyla sağlanmaktadır [25]. Kablolü haberleşme düşük maliyetlidir ve kablosuz haberleşmeye göre daha güvenilir bir yöntemdir. Haberleşme teknolojileri ile gerçek zamanlı veri okuma, uzaktan kontrol ve müdahale imkanları sağlamaktadır [26]. Kablosuz haberleşmede güvenliği sağlamak için standart 3 aşamalı güvenlik önlemi olan SSID Hiding (ağ adını gizleme), MAC Filtering (fiziksel adrese göre filtreleme) ve WAP2-PSK (yayım sinyali şifreleme) kullanılırken kablolü haberleşmede ağ yönlendirme cihazları yani routerlar kullanılarak haberleşme sağlanıyor [27]. Akıllı şebekelerde haberleşme teknolojisinin en önemli unsurları ise güvenilir ve genişletilebilir olmasıdır. Haberleşme açısından önemli bir yere sahip olan güvenlik açığı durumunda uzaktan kontrolün, verilerin kısacası şebekenin çökmesi veya bilgilerin sızdırılması kaçınılmaz olacaktır [27][28]. Akıllı şebekelerde bulunan sensörler, kontrol cihazları, trafo merkezleri, enerji santralleri, jeneratörler ve tüketiciler arasında bilgi ve büyük veri alışverişine imkan sağladığından, kontrolü ve verileri kaybetmemek için güvenliği ve sağlamlığı yüksek bir haberleşmeye sahip olmalıdır [29]. Aynı zamanda elektrik arızası ve kesintisi durumunda akıllı şebekelerde dağıtım şirketlerine bilgi gelirken geleneksel şebekelerde ilkel yöntemlerle bilgi gelmektedir. Arıza ve kesintiye müdahale etmek akıllı şebekeler ile kısa bir sürede sağlanmaktadır. Akıllı şebekeler üretici ve tüketici arasındaki koordinasyonu sağlayarak enerji talebine cevap vererek enerji kayıplarını ve maliyetlerini azaltır.

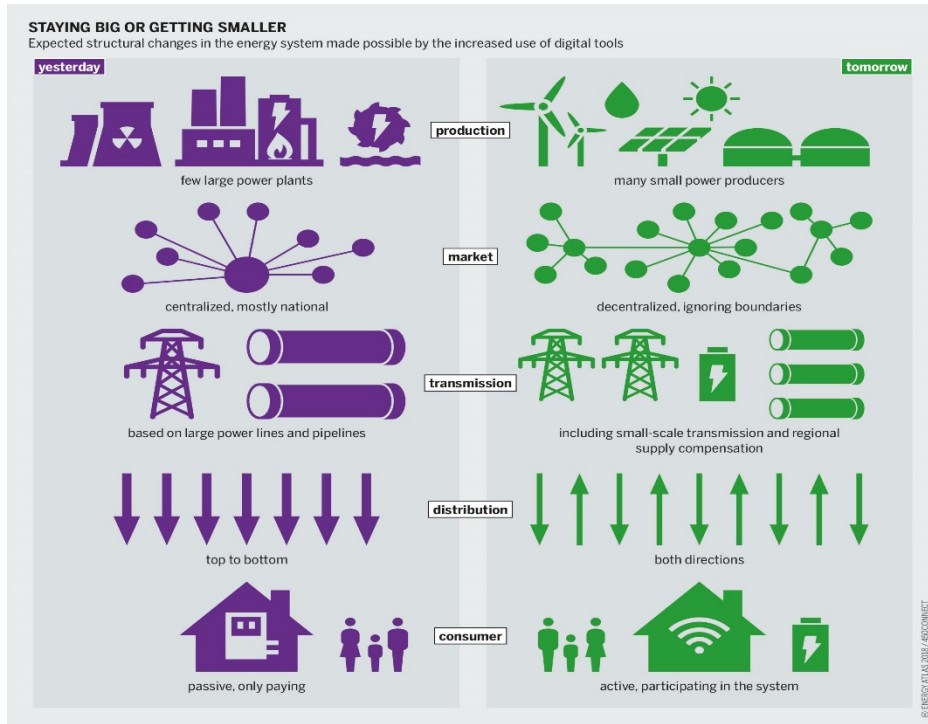


Şekil 9 : NIST (Ulusal Standart ve Teknoloji Enstitüsü) Akıllı Şebeke Modeli [30].

Akıllı şebekeler güvenilirliği ve güç kalitesini artırır, zaman gecikmelerini azaltır ve saldırılara karşı kontrol sağlamaktadır. Akıllı şebekelerde haberleşme ve güç akış mimarisinin aynı anda çalışması gerekmektedir. Geleneksel şebekelerde kullanılan uzun iletim hatları ile iletimde bağlantı yapısı sebebiyle kesintilere, diğer ülkeler ile bağlantıda oluşabilecek bağlantı kopmalarına sebep olmaktadır. Bölgeler arasında problemler yokken ülkeler arasında enterkonnekte sistemlerde kesintiler yaşanır.

Günümüzde kullanılan şebekelerde sınırlı haberleşme kabiliyeti ile karşılaşılır.

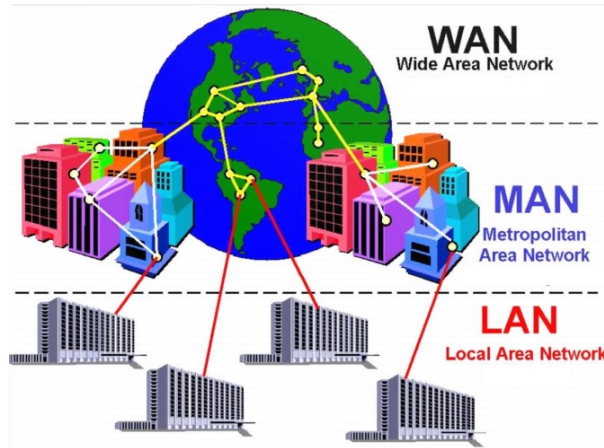
Geleneksel şebekelerde haberleşme tek yönlüdür. Geleneksel şebekelerdeki haberleşmede analiz eksikliği, yavaş yanıt, sınırlı kontrol ve veriler arasında bilgi eksikliği söz konusudur [31][32]. Akıllı şebekelerde çift yönlü iletişim sayesinde gerçek zamanlı fiyatlar ve faturalar almamızı sağlarken geleneksel şebekede haberleşme tek yönlü olduğu için kullanılan elektrik miktarını göremediğimiz için faturalara ulaşmamız mümkün değildir.



Şekil 10 : Geleneksel Şebeke ve Akıllı Şebeke [33].

Elektrik güç şebekesinin yapısı ve iletişim ağı birbirleriyle ilişkili olmalıdır. İletişim ağı güç şebekesi içerisindeki yerel kontrol tarafından ele alınan uygulamaları desteklemektedir ve ilişki modelini kullanmaktadır. İletişimin temel yönleri iki tanedir : uzay ve zaman. Uzay bilginin geçtiği mesafedir ve zaman da bilginin taşınmasının ne kadar sürdüğüdür. Ağ çeşitleri 7'ye ayrılır.

1. **WANs** : Güç aktarımı ile ilgili olan ve geniş alanlı ağları kapsayan, ülkeler arası kullanılan haberleşme ağıdır.
2. **LAN** : Noktadan noktaya kullanılan ve ev içi haberleşme sağlayan dar alanlı haberleşme ağıdır.
3. **MAN** : Güç dağıtımı ile ilgili olan ve genellikle geniş coğrafik alanlarda kullanılan haberleşme ağıdır.
4. **BANs** : Bina tipi haberleşmede kullanılan haberleşme ağıdır.
5. **HANs** : Ev tipi haberleşmede kullanılan haberleşme ağıdır.
6. **NANs** : Genellikle güç üretimi, tüketiminde ve komşu bölgeler ile kullanılan haberleşme ağıdır.
7. **IANs** : Sanayi tipi haberleşme ağıdır. Beraberinde LANs, HANs, BANs kullanılabilmektedir [34].

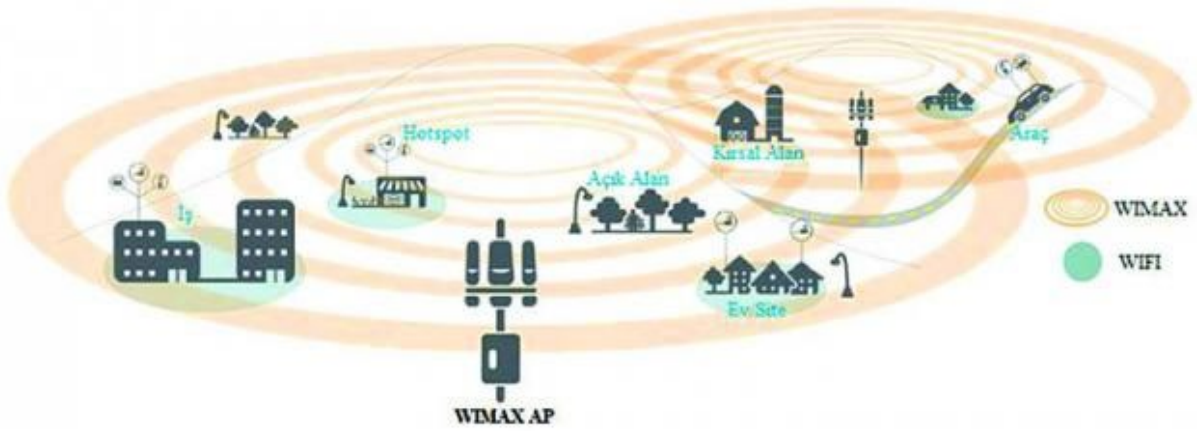


Şekil 11 : Haberleşme ağları [35].



## VI. AKILLI ŞEBEKELERDE KABLOSUZ HABERLEŞME TEKNOLOJİLERİ

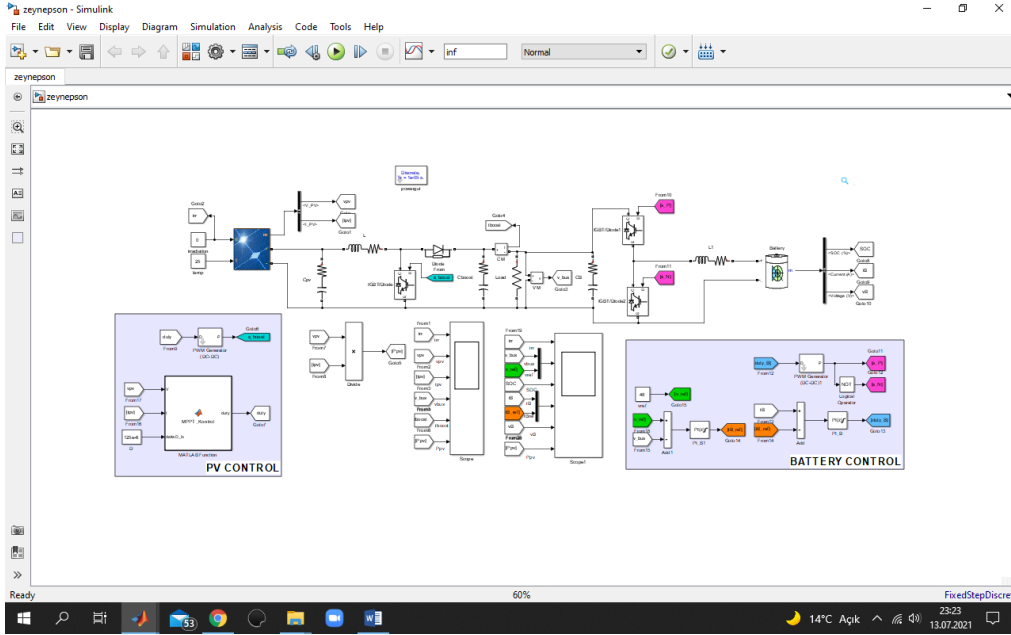
1. **ZigBee** : ZigBee tarafından geliştirilen düşük veri hızı ve düşük güç tüketimi yapan kablosuz haberleşme teknolojisidir. Kendi protokolüyle çalıştığı için ZigBee araçlarıyla haberleşmektedir. Wi-fi den daha üstün veri iletim kapasitesine sahiptir.
2. **Bluetooth** : Kısa mesafeli kablosuz bağlantılar için kullanılmaktadır. Güvenilir bir haberleşme teknolojisine sahiptir. En büyük avantajı ise düşük maliyetle ve düşük enerji kullanımı ile çalışmasıdır. Dezavantajı ise ağ genişliğinin 100 m ile sınırlı olmasıdır.
3. **WiMAX** : WMAN için tasarlanan kablosuz geniş bant ağlarını kullanan teknolojidir. Uzun mesafe kapsama alanı, geniş bant erişimi ve çok yüksek veri hızları en büyük avantajlarındandır. Dezavantajı ise maliyeti yüksektir.
4. **WLAN** : Wireless LAN kablosuz haberleşme teknolojisidir. En güvensiz ve en büyük veri aktarımı sağlar. Sinyal kanalını fazla kişi kullandığından dolayı veri hızı ve kalite düşer [365].



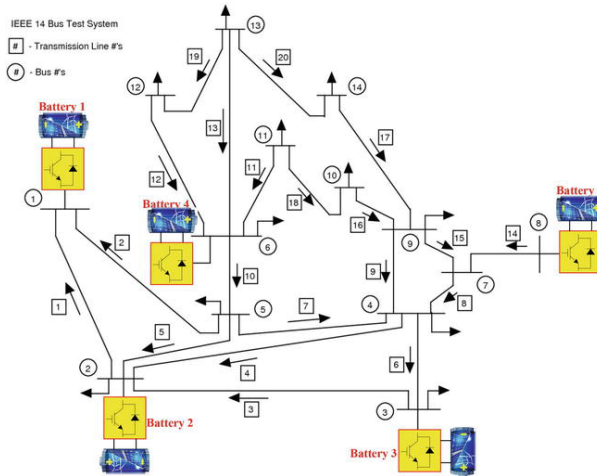
Şekil 13 : WiMAX – Wi-fi kapsama alanı [37].

## VII. AKILLI ŞEBEKE İLETİŞİM UYGULAMASI

Haberleşme uygulamasında, akıllı şebeke veri iletişim altyapısı incelendikten sonra batarya, yenilenebilir enerji kaynağı (pv) içeren bir 14 baralı IEEE sistemi modellenmiş ver kablolu ve kablosuz veri iletişim methodlarındaki verimlilikler kıyaslanmıştır. Şekil 14'te tasarlanan akıllı şebeke Matlab modeli ve şekil 15 te sistemin tek hat şeması gösterilmiştir.



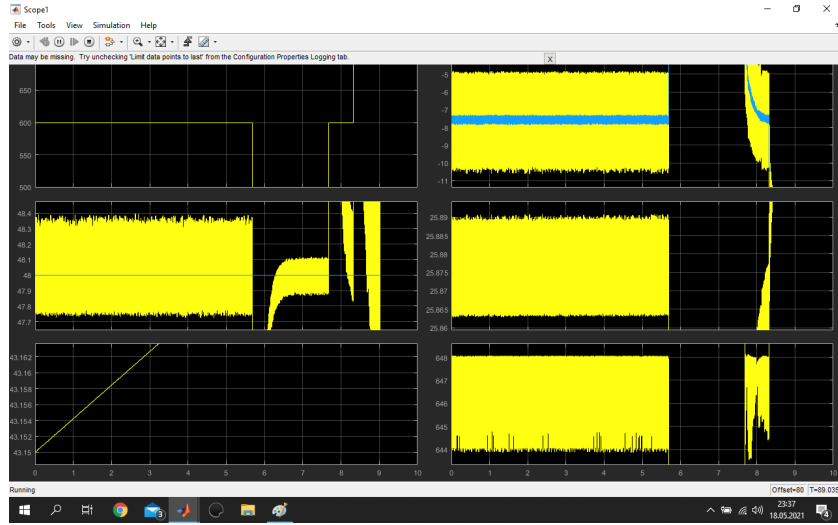
Şekil 14 : 14 Baralı Akıllı Şebeke Matlab Modeli.



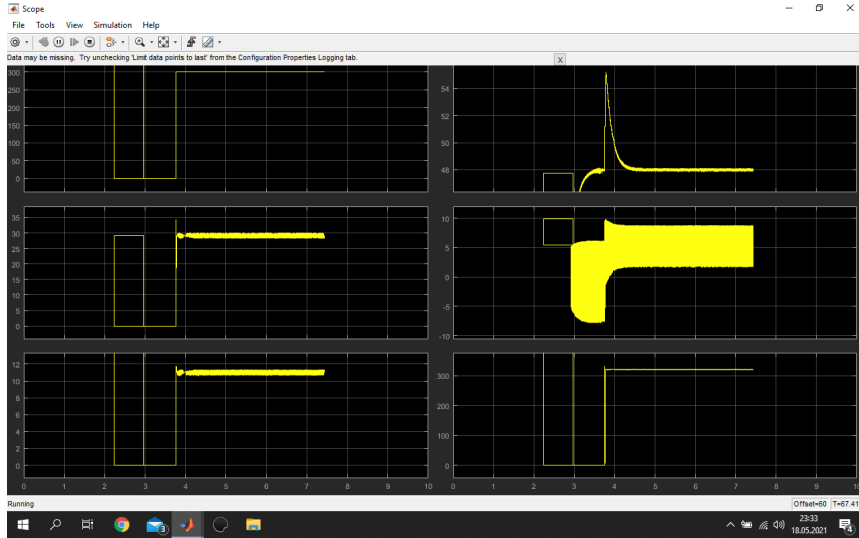
Şekil 15 : 14 Bara IEEE tek hat şeması.

## VIII. SONUÇ

Şekil 15 ve Şekil 16 da kablolu ve kablosuz haberleşme yöntemlerinin farklı veri iletişim hızlarına sahip olduğu görülmektedir. Kablolu haberleşme düşük maliyetiyle birlikte ve kablosuz haberleşmeye göre daha güvenilir bir yöntemdir. Çift taraflı haberleşme teknolojileri ile gerçek zamanlı veri okuma, uzaktan kontrol ve müdahale imkanları sağlanmaktadır.



Şekil 15. Kablolu veri iletim sonuçları.



Şekil 16. Kablosuz veri iletim sonuçları.

Kablosuz haberleşmede güvenliği sağlamak için standart 3 aşamalı güvenlik önlemi olan SSID Hiding (ağ adını gizleme), MAC Filtering (fiziksel adrese göre filtreleme) ve WAP2-PSK (yayın sinyali şifreleme) kullanılırken kablolu haberleşmede ağ yönlendirme cihazları yani routerlar kullanılarak haberleşme sağlanabilirken, akıllı şebekelerde haberleşme teknolojisinin en önemli unsurları ise güvenilir ve genişletilebilir olmasıdır. Akıllı şebekelerde bulunan sensörler, kontrol cihazları, trafo merkezleri, enerji santralleri, jeneratörler ve tüketiciler arasında bilgi ve büyük veri alışverişine imkân sağladığından, kontrolü ve verileri kaybetmemek için güvenliği ve sağlamlığı yüksek bir haberleşmeye sahip olmalıdır. Aynı zamanda elektrik arızası ve kesintisi durumunda akıllı şebekelerde dağıtım şirketlerine bilgi daha hızlı kablosuz haberleşme ile iletilebilirken, geleneksel şebekede kablolu haberleşme teknolojileri ile bilgi daha uzun sürede gelmektedir. Arıza ve kesintiye müdahale etmek ise kablosuz haberleşme ile daha hızlı olurken güvenlik açıkları daha fazladır.

Ancak alınan sonuçlara göre akıllı şebekelerdeki hem kablolu hem kablosuz iletişim veya haberleşme teknolojileri üretici ve tüketici arasındaki koordinasyonu sağlayarak enerji talebine cevap vererek, geleneksel şebekeye göre daha verimli enerji kullanımıyla birlikte, enerji kayıplarını ve maliyetlerini azaltmaktadır.

## **Kaynaklar**

- [1]Özcan, Mustafa. “*Türkiye elektrik enerjisi üretim genişletme planlamasında yenilenebilir enerji kaynaklarının etkileri.*” (2013).
- [2]Mutlu, Ediz. “*Türkiye’de yenilenebilir enerji ekonomisi ve Ankara iline ait SWOT analizi.*” Diss. İstanbul Kültür Üniversitesi/Sosyal Bilimler Enstitüsü/İktisat Anabilim Dalı/Yönetim Ekonomisi Bilim Dalı,
- [3]Torunoğlu Gedik, Özge. “*Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynakları Ve Çevresel Etkileri.*” Diss. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2015.
- [4]Paul Gipe, “*Wind Energy Basics, A Guide to Small and Micro Wind Systems,*” Chelsea Green Publishing Company, USA, 1999, p.3
- [5]Ağaçbiçer, Gökhan. “*Yenilenebilir enerji kaynaklarının Türkiye ekonomisine katkısı ve yapılan swot analizler.*” MS thesis. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, 2010.
- [6]Adıyaman, Çetin. “*Türkiye’nin yenilenebilir enerji politikaları.*” MS thesis. Niğde Üniversitesi, 2012.
- [7] Christian Kjaer, “*Taking Control of Our Energy Future*”, EU Power, Issue: 2, 2006, s.

24.

[8] Milli Eğitim Bakanlığı, “Yenilenebilir Enerji Teknolojileri, Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Önemi,” MEB, Ankara, 2012.

[9] URL: <https://archive.epa.gov/climatechange/kids/solutions/technologies/geothermal.html>

[10] Çelimli, Derya Betül Ünsal. “Controlling the distributed energy resources using smart grid communication technologies.” Diss. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2018.

[11] Goddard, W. B., Goddard, C. B., and McClain, D. W., 1989, “Future air quality maintenance and improvements through the expanded use of geothermal energy: Transactions, Geothermal Resources Council,” 13,27-32.

[12] Kanchev, Hristiyan, et al. "Energy management and operational planning of a microgrid with a PV-based active generator for smart grid applications." *IEEE transactions on industrial electronics* 58.10 (2011): 4583-4592.

[13] Bayindir, Ramazan, et al. "Smart grid technologies and applications." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 66 (2016): 499-516.

[14] Yenilmez, Muhammed. “Akıllı Şebekelerde Dağıtım Sistem Otomasyondaki Gelişmeler.” Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, 2016.

[15] Yazıcı, Furkan, Mustafa Engin Başoğlu, and Bekir Çakır. "Akıllı Şebeke Bileşenleri ve Yapısal Analizi Smart Grid Components and Structural Simulation."

[16] Vineetha, C. P., and C. A. Babu. "Smart grid challenges, issues and solutions." *2014 International Conference on Intelligent Green Building and Smart Grid (IGBSG)*. IEEE, 2014.

[17] Gungor, Vehbi C., Bin Lu, and Gerhard P. Hancke. "Opportunities and challenges of wireless sensor networks in smart grid." *IEEE transactions on industrial electronics* 57.10 (2010): 3557-3564.

[18] Erol Kantarci, Melike, and Hussein T. Mouftah. "Wireless multimedia sensor and actor networks for the next generation power grid." *Ad Hoc Networks* 9.4 (2011): 542-551.

[19] Saber, Ahmed Yousuf, and Ganesh Kumar Venayagamoorthy. "Plug-in vehicles and renewable energy sources for cost and emission reductions." *IEEE Transactions on Industrial electronics* 58.4 (2010): 1229-1238.

[20] Sachs, Gregory Gregory Dennis. “A principle based system architecture framework applied for defining, modeling & designing next generation smart grid systems.” Diss. Massachusetts Institute of Technology, 2010.

- [21] Guo, Yuanxiong, Miao Pan, and Yuguang Fang. "Optimal power management of residential customers in the smart grid." *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems* 23.9 (2012): 1593-1606.
- [22] Shafiullah, G. M., et al. "Smart grid for a sustainable future." *Smart Grid and Renewable Energy* 4.1 (2013): 23-34.
- [23] Ghosh, Debanjan, et al. "Self-healing systems—survey and synthesis." *Decision support systems* 42.4 (2007): 2164-2185.
- [24] Y. Zhang, W. Sun, L. Wang, H. Wang, R.C. Green, M. Alam, "A Multi-Level Communication Architecture of Smart Grid Based on Congestion Aware Wireless Mesh Network," *North American Power Symposium (NAPS)*, Boston, MA, s:1-6, 2011.
- [25] W. Wang, Y. Xu, M. Khanna, "A survey on the communication architectures in smart grid," *Computer Networks*, Cilt:55, s:3604–3629, 2011.
- [26] Farhangi, Hassan "The path of the smart grid", *Power and Energy Magazine*, IEEE, Ocak-Şubat 2010
- [27] Temiz, Armağan, et al. "Akıllı Şebekeler İçin Haberleşme Çözümü A Communication Solution For Smart Grids."
- [28] Federal Office for Information Security, "Protection Profile for the Gateway of a Smart Metering System", 2011
- [29] Baimel, D., S. Tapuchi, and N. Baimel. "Smart grid communication technologies-overview, research challenges and opportunities." *2016 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion (SPEEDAM)*. IEEE, 2016.
- [30] Office of the National Coordinator for Smart Grid Interoperability. *NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards, Release 1.0*, U.S. National Institute of Standards and Technology Special Publication 1108 (online), 2009. Available at [http://www.nist.gov/public\\_affairs/releases/upload/smartgrid\\_interoperability\\_final.pdf](http://www.nist.gov/public_affairs/releases/upload/smartgrid_interoperability_final.pdf).
- [31] Xia, X.T. and Xia, J.Z. (2010) Evaluation of Potential for Developing Renewable Sources of Energy to Facilitate Development in Developing Countries. *Asia Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC)*, Chengdu, 28-31 March 2010, 1-3.
- [32] Abbott, D. (2010) Keeping the Energy Debate Clean: How Do We Supply the World's Energy Needs. *Proceedings of the IEEE*, 98, 42-66. <http://dx.doi.org/10.1109/JPROC.2009.2035162>
- [33] *Energy Atlas 2018: Figures and Facts about Renewables in Europe*.

- [34] Goel, Sanjay, Stephen F. Bush, and David Bakken. "Ieee vision for smart grid communications: 2030 and beyond." IEEE Standard Association (2013): 1-390.
- [35] <https://www.bilisimmatik.com/bilgisayar-aglari-ve-internet/>
- [36] Mulla, Afshan, et al. "The wireless technologies for smart grid communication: A review." 2015 Fifth International Conference on Communication Systems and Network Technologies. IEEE, 2015.
- [37] <http://www.3eelectrotech.com.tr/bolumler/elektronik/kablosuz-ag-teknolojileri/>

# FARKLI KAPLAMA MALZEMELERİNİN EGZOZ MANİFOLDU ÜZERİNDE OLUŞAN SICAKLIK DAĞILIMINA ETKİSİ

**Bahadır Erman YÜCE\*, Serkan ÖZEL**

Makine Mühendisliği Bölümü  
Bitlis Eren Üniversitesi  
[beyuce@beu.edu.tr](mailto:beyuce@beu.edu.tr)

## **Özet**

*Egzoz manifoldları içten yanmalı motorlarda yanma sonrası oluşan yüksek sıcaklıktaki atık gazları güvenli bir şekilde uzaklaştırmada önemli rolü olan bir ara elemandır. Atık gazların önemli miktarda ısı yük taşıması egzoz manifoldunda ısı stres yükü oluşmasını olası hale getirir. Bu yüklerin sonucu olarak manifold üzerinde hasar oluşumunun önüne geçmek için bir mühendislik çözümü olan kaplama işlemi yapılmakta ve manifold yüzeyleri üzerinde ısı bir bariyer oluşturulmaktadır. Bu çalışmada, taşınım ısı yükleri altında, 250 $\mu$ , 500 $\mu$  ve 750 $\mu$  kalınlıkta ZrO<sub>2</sub>-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve TiO<sub>2</sub> malzemeleri ile kaplanmış egzoz manifoldunun üzerinde oluşan sıcaklık dağılımı incelenmiştir. Çalışma ticari bir Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yazılımı olan ANSYS-Fluent ile gerçekleştirilmiştir. Farklı ısı iletim katsayısına sahip kaplama malzemeleri üzerinde oluşan sıcaklık dağılımı, kaplama yapılmamış bir manifold ile karşılaştırılmıştır. Kaplama malzemelerinin manifold üzerinde oluşan ısı yükleri önemli miktarda azalttığı ve bunun sonucunda kaplama yapılmayan manifolda göre kaplanmış manifoldun dış yüzeyinde oluşan sıcaklık değerlerinin azaldığı görülmüştür. ZrO<sub>2</sub>-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün ise daha düşük ısı iletim katsayısına sahip olması nedeni ile TiO<sub>2</sub>'den daha iyi ısı yalıtım performansı gösterdiği tespit edilmiştir.*

## **I. GİRİŞ**

Günümüzde artan enerji tüketimi ile birlikte verimliliği kavramı gittikçe önem kazanmaktadır. Enerji üreten veya enerjii işe dönüştüren sistemlerde her bir elemanın en verimli şekilde çalışması ve kullanım ömürlerinin arttırılması için çeşitli mühendislik çözümleri geliştirilmiştir. Yüksek petrol fiyatları nedeniyle farklı araç bileşenleri üzerinde de çalışmalar yapılmaktadır. Bu bileşenlerden bir tanesi ve bu çalışmanın da konusu olan egzoz manifoldu üzerinde de çeşitli araştırmalar yapılmıştır [1,2].

Isıl yüke maruz kalan motor bileşenleri üzerinde kaplama işlemi yapılmakta ve kaplama tabakası ilgili bileşene bir ısı bariyer kazandırarak oldukça işlevsel bir avantaj kazandırmaktadır. Kaplama uygulaması esas olarak gaz türbinlerinin ve uçak motoru bileşenlerinin ısı dayanımının arttırılması için kullanılmıştır



[3] fakat özellikle son yıllarda dizel motorların yanma odası bileşenlerinde kaplama uygulamasıyla ısı kayıplarını azaltmayı amaçlayan çok sayıda çalışma yapılmıştır [3–9].

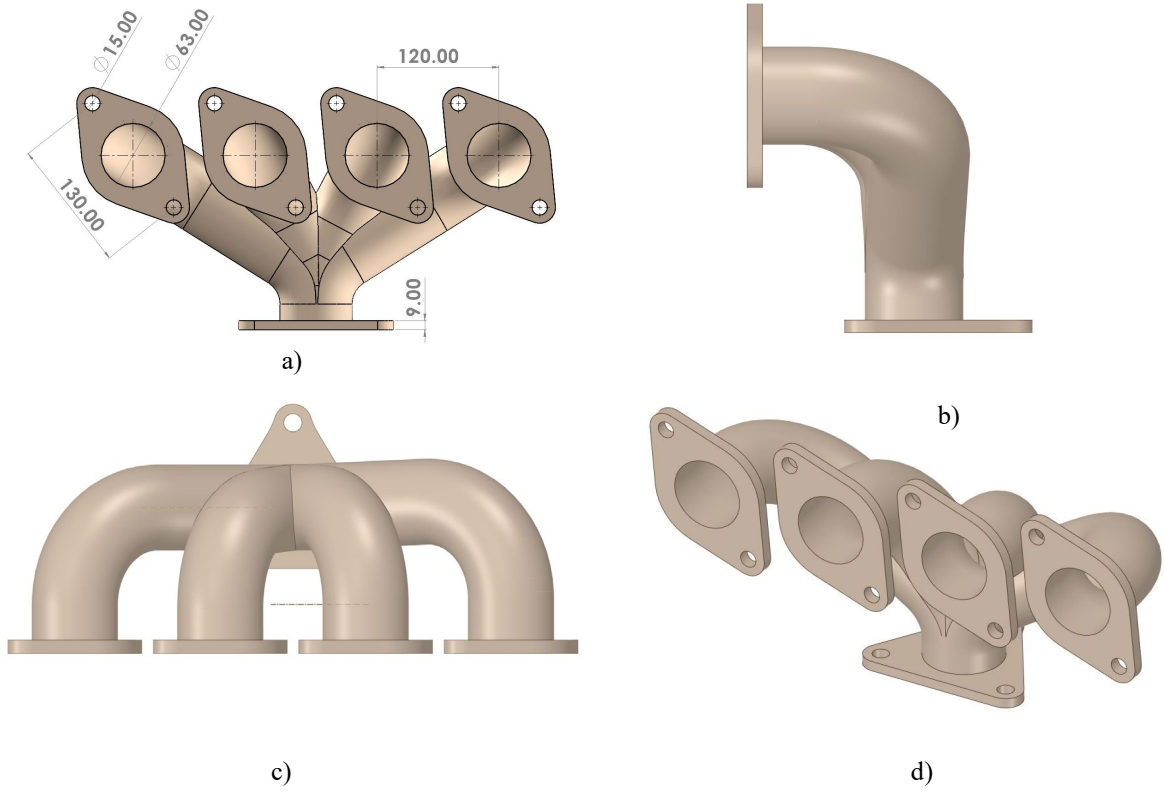
Günümüzde dizel motorlarda yakıtın yanması sonucu oluşan ısı enerjisinin yaklaşık olarak sadece %45'i mekanik işe dönüştürülebilmektedir ve enerjinin geri kalanı, soğutma sıvısı tarafından soğutulan piston, silindir kapağı, valfler vb. gibi motor bileşenlerinin ısıtılmasında ve egzoz gazlarında kaybolmaktadır. Üretilen ısı enerjisinin yaklaşık %20'si soğutucuda ve %30'u egzoz vasıtasıyla atılır. Bu %30'luk enerji aynı zamanda egzoz manifoldunun ısınmasına sebep olmaktadır. Literatürde yapılan bir araştırma göstermiştir ki, incelenen standart bir motor için egzoz gazı sıcaklığı yüksüz durumda 150°C, tam yükte ise 460°C'dir ve bu durumda egzoz gazı sıcaklığı 181°C'den 590°C'ye yükselebilmektedir [10]. Bir başka çalışmada ise egzoz gazının maksimum sıcaklık değerinin 760°C'ye kadar çıkabileceği ifade edilmiştir [11]. Egzoz manifoldunun yalıtılmasıyla, egzoz gazları tarafından taşınan bu ısı enerjisi turboşarjı çalıştırmak için kullanılabilir, bu da hacimsel verimliliği, dolayısıyla genel verimliliği artırır [12].

Egzoz manifoldu veya diğer motor bileşenleri için yapılan kaplamalarda, manifold yüzeyi ile kaplama malzemesi arasında bağlayıcılık sağlamak amacıyla bir ara kaplama işlemi yapılır. Ana kaplama ısı yalıtımı hedeflerken, ara kaplama ise manifold yüzeyi ile ana kaplama tabakası arasında yapışmayı sağlayan metalik maddelerden oluşur [13], ayrıca ara kaplama tabakası, manifold yüzeyinde oluşabilecek korozyon ve oksidasyonu önler [14]. Ayrıca, alt tabaka ile üst kaplama tabakası arasındaki ısı şoktan dolayı meydana gelebilecek olası hasarları önlemek için ara eleman olarak bağ tabakası gereklidir. Bunların yanında, metallerin ısı genleşme katsayıları seramiklere göre yüksektir, bu nedenle manifold malzemesi ısı yük altında seramik kaplamaya göre daha fazla genişleyecektir. Bu ısı genleşme farklılığını en aza indirmek için, kaplama tabakası ile manifold yüzeyi arasında, her iki malzemenin ısı genleşme katsayısı değerinin arasında bir değere sahip olan bir malzeme ile ara kaplama yapılır [13].

Bu çalışmada 250µ, 500µ ve 750µ'luk ZrO<sub>2</sub>-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve TiO<sub>2</sub> ile kaplanmış bir egzoz manifoldunun taşınım ısı yükleri altındaki ısı davranışı sayısal olarak incelenmiştir. Kaplama yapılmamış bir manifoldun aynı ısı yükleri altındaki sıcaklık dağılımı ile kaplama uygulanmış manifoldların sıcaklık dağılımı karşılaştırılmıştır.

## II. SAYISAL MODEL VE METHOD

Egzoz manifoldu üç boyutlu olarak modellenmiş ve Şekil 1'de gösterilmiştir. Tasarım egzoz manifoldunun temel özelliklerini yansıtmakla beraber, model dört silindirli bir motora göre tasarlanmıştır. Geometri hem kaplamalı hem de kaplamasız olarak modellenmiştir. Baz model kaplamasız olarak modellenip, kaplamalı modelin tüm yüzeylerinde 250µ, 500µ ve 750µ'luk ek bir katman oluşturulmuştur. Ara bağlayıcı tabaka ise ısı geçişine kayda değer bir etkisi olmadığından modellenmemiştir.



**Şekil 1.** Egzoz manifoldunun a) ön, b) yan, c) üst, d) perspektif görünüşü

## 2.1 Ağdan Bağımsızlık

Oluşturulan çözüm ağının eleman sayısının sayısal çözüme olan duyarlılığını tespit etmek için üç farklı eleman sayısında çözüm ağı test edilmiştir. Bu çalışmada 500 $\mu$  kaplamalı model ele alınmıştır. 9248957, 1769083 ve 406161 eleman sayısındaki çözüm ağları sırasıyla sık, orta ve kaba meshi ifade etmektedir. Manifoldun alt ve üst yüzeylerinden elde edilen ortalama sıcaklık değerleri ile karşılaştırma yapılmış ve yeterli hesaplama alt yapısı nedeniyle, sonuçlar benzer de olsa sık ağ kullanılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar Tablo 1’de gösterilmiştir:

**Tablo 1:** Ağdan bağımsızlık çalışması

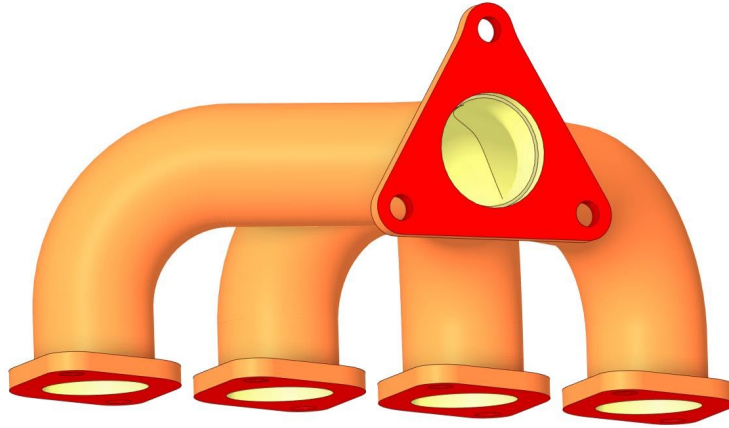
Eleman sayısı	Manifold üst yüzeyi ortama sıcaklığı (°C)	Manifold alt yüzeyi ortama sıcaklığı (°C)
9248957	329.735	443.717
1769083	329.539	442.191
406161	328.434	443.784

## 2.2 Sınır şartları

Çalışmada üç farklı kalınlıkta kaplama uygulanmış manifold modelleri ve kaplamasız manifold olmak üzere dört farklı egzoz manifoldunun taşınım yükleri altında ısıl analizi yapılmıştır. Ayrıca her bir model için de iki farklı kaplama malzemesinin özellikleri ayrı ayrı uygulanmıştır. Sayısal çözüm için ANSYS-Fluent yazılımı kullanılmıştır. Yakınsama kriteri ise  $10^{-15}$  olarak belirlenmiştir.

Manifold malzemesi olarak küresel grafitli dökme demir kullanılmış ve ısıl iletkenlik katsayısı 36.2 W/mK olarak hesaplamalarda kullanılmıştır. Seramik kaplama malzemesi olarak ısıl iletkenlik katsayısı 0.9 W/mK olan  $ZrO_2-Y_2O_3$  ve ısıl iletkenlik katsayısı 4.8 W/mK olan  $TiO_2$  kullanılmıştır.

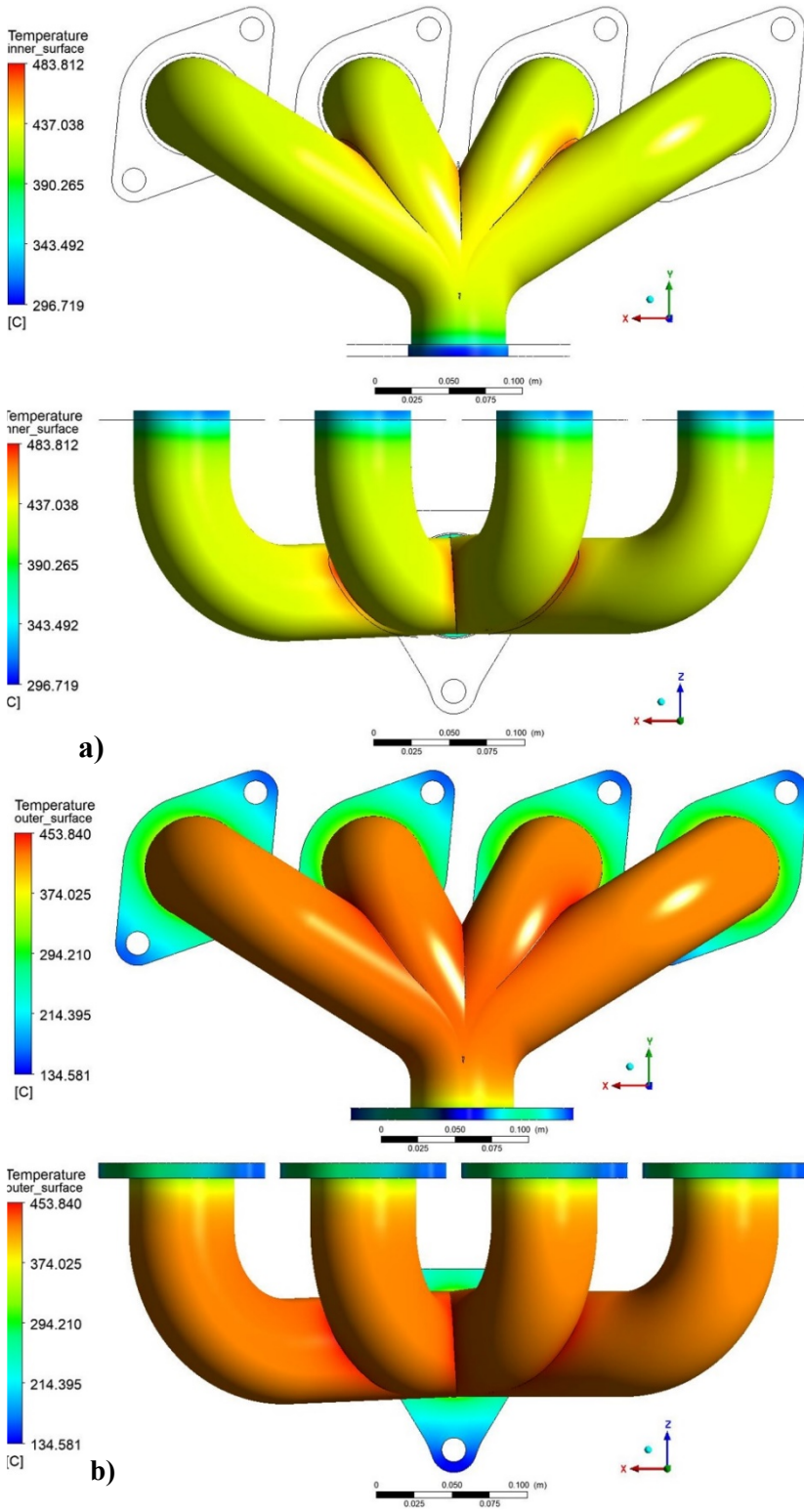
Manifoldta etki eden ısıl yükler taşınım sınır şartı olarak tanımlanmıştır. Sınır şartı atanan yüzeyler farklı renklerde Şekil 2’de gösterilmiştir. Sarı renk ile gösterilen iç yüzeyde taşınım sınır şartı için ısı transfer katsayısı  $500 \text{ W/m}^2\text{K}$ , ortam sıcaklığı  $600^\circ\text{C}$ ’dir. Turuncu ile gösterilen dış yüzeyde ise ısı transfer katsayısı  $200 \text{ W/m}^2\text{K}$ , ortam sıcaklığı  $35^\circ\text{C}$ ’dir. Geri kalan montaj temas yüzeyleri ise adyabatik olarak kabul edilmiştir.



Şekil 2. Manifoldta etki eden ısıl yüklerin tanımlandığı, farklı renklerle ifade edilmiş yüzeyler.

## III. BULGULAR ve TARTIŞMA

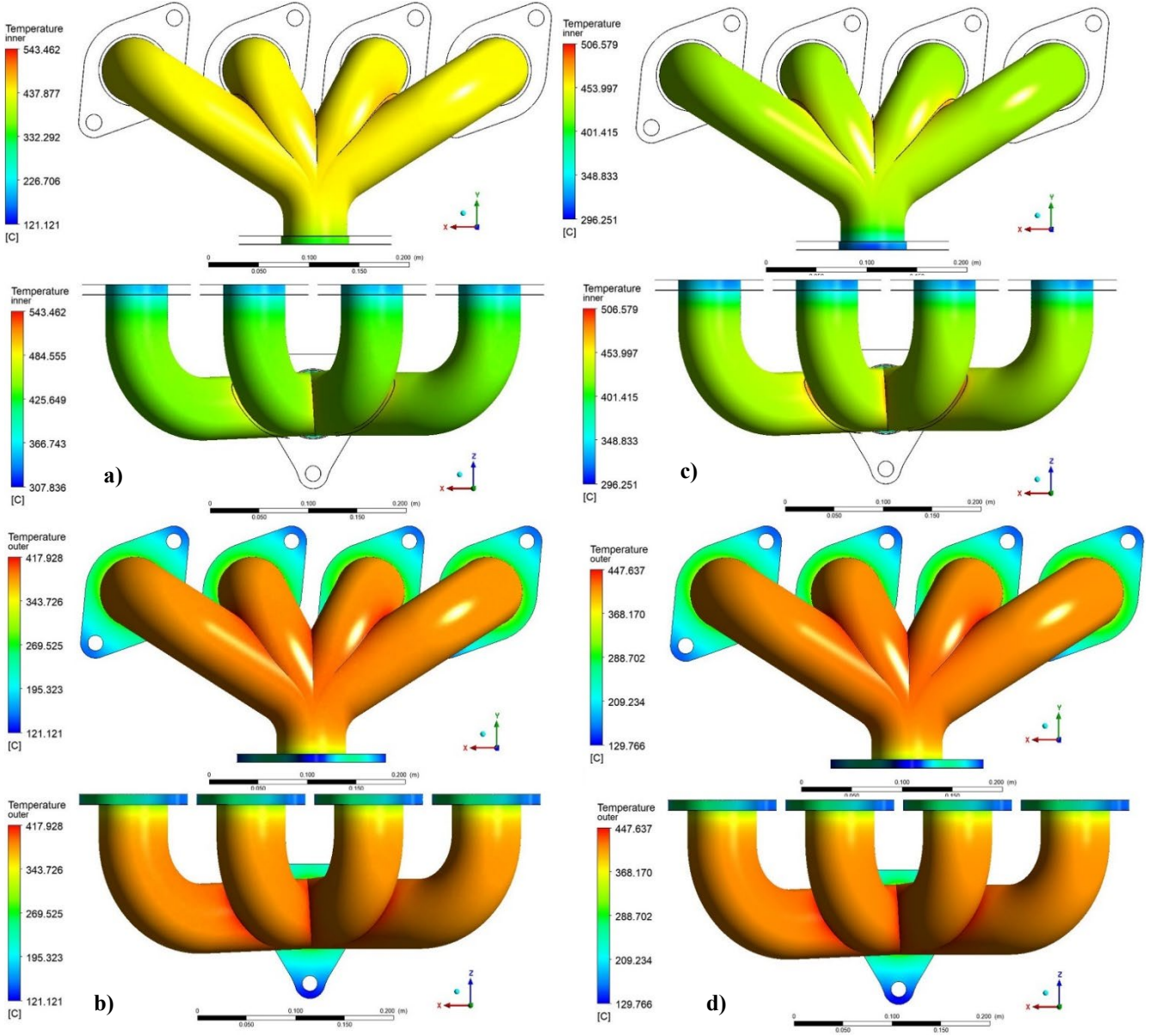
Bu çalışmada ısıl yükler altındaki kaplama yapılmış bir egzoz manifoldunun üzerindeki sıcaklık dağılımı iki farklı kaplama malzemesi ve üç farklı kaplama kalınlığı değeriyle incelenmiştir. Kaplama malzemesi olarak  $ZrO_2-Y_2O_3$  ve  $TiO_2$ , kaplama kalınlıkları için ise  $250\mu$ ,  $500\mu$  ve  $750\mu$  kalınlık değerleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar kaplama yapılmamış bir manifold ile karşılaştırılmıştır.



**Şekil 3.** Kaplama işlemi uygulanmamış manifoldun a) iç ve b) dış yüzeyindeki sıcaklık dağılımları

Şekil 3'te seramikle kaplama yapılmamış manifoldun iç ve dış yüzeyindeki sıcaklık dağılımları gösterilmektedir. İç yüzeyde oluşan en yüksek sıcaklık değeri  $483.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir ve dış yüzeyde oluşan  $453.84^{\circ}\text{C}$ 'lik maksimum sıcaklık değerinden yüksektir. Her iki yüzeyde meydana gelen en düşük sıcaklık sınır değerleri arasındaki fark ise çok daha büyüktür fakat bunun sebebi üst yüzey tanımına dahil edilen

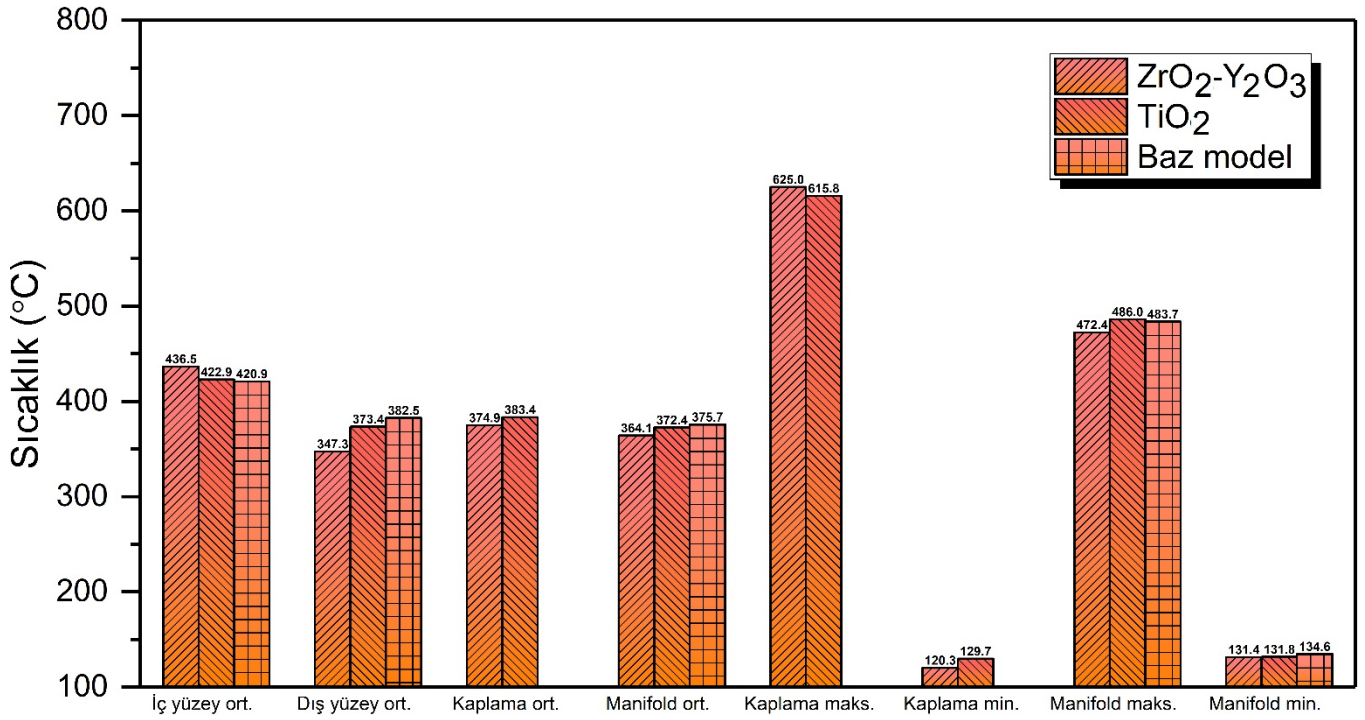
bağlantı yüzeyleridir. İç yüzeyin ortalama sıcaklığı 420. 85°C olarak hesaplanırken dış yüzeyin ortalama sıcaklığı ise 382.45 °C'dir. Bağlantı yüzeyleri dışında manifold yüzeyleri üzerindeki sıcaklık dağılımı homojendir. Birleşim noktalarında ise sıcaklığın hem iç hem de dış yüzeyde lokal artışlar gösterdiği görülmüştür.



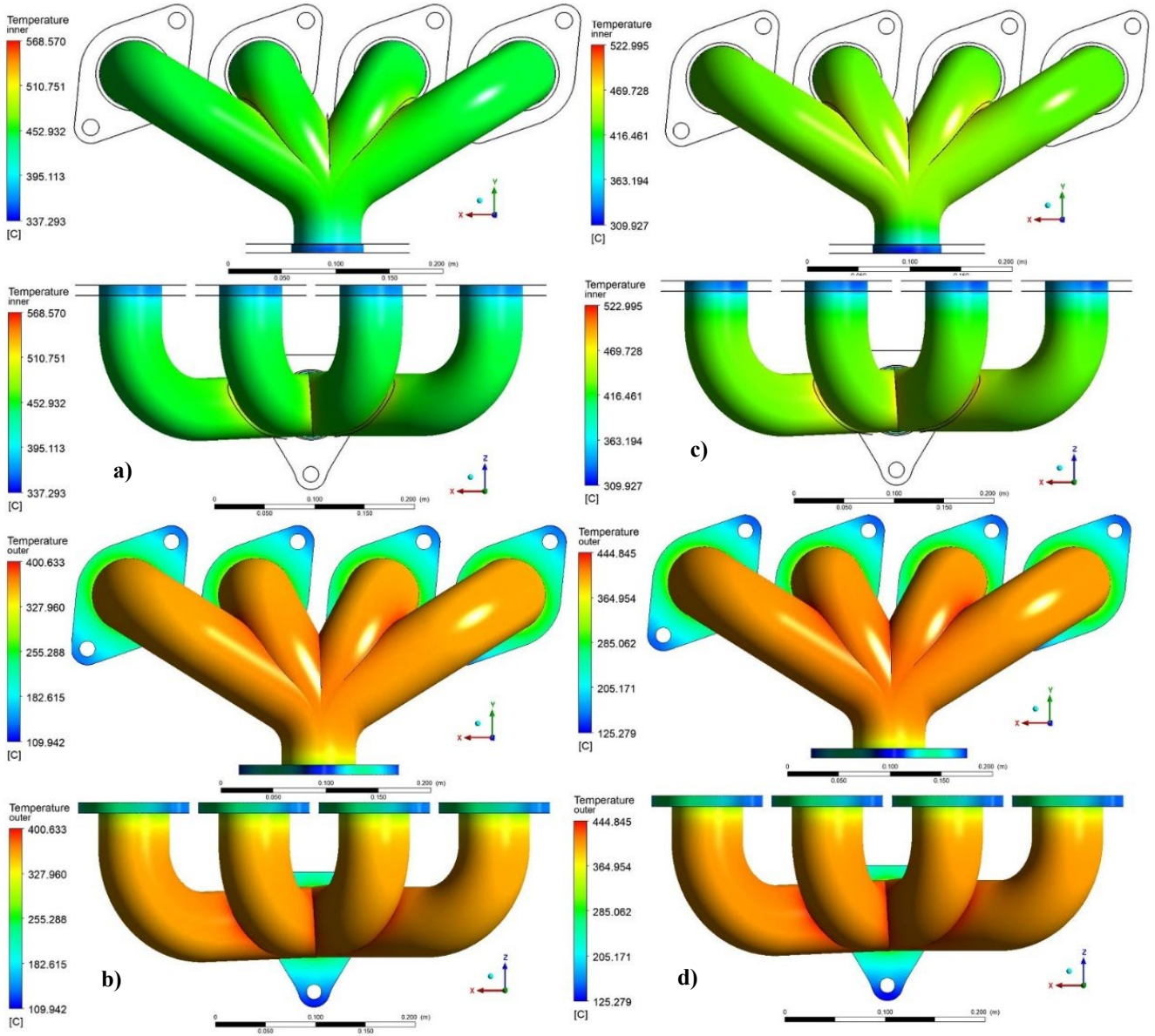
**Şekil 4.** a) 250µm ZrO<sub>2</sub>-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ile kaplanmış manifoldun iç ve b) dış yüzeyi ile TiO<sub>2</sub> ile kaplanmış manifoldun c) iç ve d) dış yüzeyi üzerinde sıcaklık dağılımları

250µm ZrO<sub>2</sub>-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve TiO<sub>2</sub> kaplanmış manifoldların iç ve dış yüzeylerindeki dış yüzeyindeki sıcaklık dağılımları Şekil 4'te gösterilmiştir. Ek olarak her bir modelin üzerindeki çeşitli sıcaklık değerleri ise Şekil 5'te gösterilmiş ve karşılaştırılmıştır. Şekil 3 ve 4 incelendiğinde kaplama yapılması durumunda manifold

iç yüzey sıcaklığının 483.8 °C'den ZrO<sub>2</sub>-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı modelde 543.5 °C'ye, TiO<sub>2</sub> kaplamalı modelde ise 506.6 °C'ye çıktığı görülmüştür. Bunun sebebi ısı iletim katsayısı manifold malzemesine oranla oldukça düşük olan kaplama malzemesinin atık sıcak gazlardan manifold iç yüzeyine ısı geçişini yalıtarak düşürmesidir. Böylece manifoldun kaplanmış iç yüzeyi ısınırken, iç bölgelere ısı geçişi azalmaktadır. ZrO<sub>2</sub>-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> ye göre de daha düşük bir iletim katsayısına sahip olduğundan manifold iç yüzeyinde oluşan sıcaklık da daha yüksektir. Kaplama yapılmamış manifold ve kaplama yapılan modeller incelendiğinde bu yalıtım performansının bir sonucu olarak kaplama yapılan modellerin kaplamasız modele göre daha düşük dış yüzey sıcaklıklarına sahip oldukları görülmektedir.



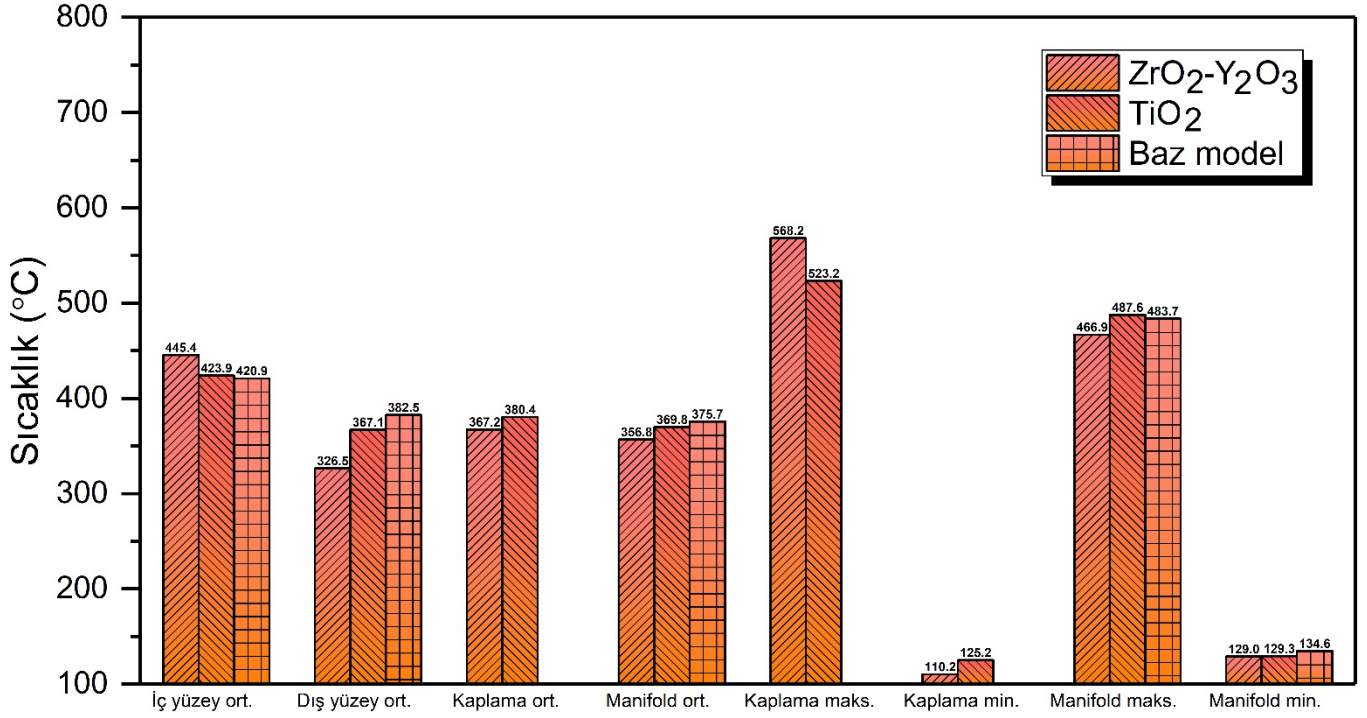
Şekil 5. Kaplama yapılmayan baz model ve 250µ ZrO<sub>2</sub>-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve TiO<sub>2</sub> kaplanmış manifoldlar üzerindeki çeşitli sıcaklık değerleri



**Şekil 6.** a) 500µm ZrO<sub>2</sub>-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ile kaplanmış manifoldun iç ve b) dış yüzeyi ile TiO<sub>2</sub> ile kaplanmış manifoldun c) iç ve d) dış yüzeyi üzerinde sıcaklık dağılımları

500µm ZrO<sub>2</sub>-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve TiO<sub>2</sub> kaplanmış manifoldların iç ve dış yüzeylerindeki dış yüzeyindeki sıcaklık dağılımları Şekil 6'da gösterilmiştir ve her bir modelin üzerindeki çeşitli sıcaklık değerleri ise Şekil 7'de karşılaştırılmıştır. Şekil 6 ve 7 incelendiğinde kaplama yapılması durumunda manifold iç yüzey sıcaklığının 483.8 °C'den ZrO<sub>2</sub>-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı modelde 568.6°C'ye, TiO<sub>2</sub> kaplamalı modelde ise 523 °C'ye çıktığı görülmüştür. Kaplama kalınlığının artması ise manifold iç yüzeyinde sıcaklık değerlerinin artmasına dış yüzeyinde ise azalmasına sebep olmuştur. Bunun sonucunda ise kaplamanın yalıtım performansı artmıştır. ZrO<sub>2</sub>-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> ye göre de daha düşük bir iletim katsayısına sahip olduğundan yalıtım performansının daha iyi olduğu görülmüştü fakat kaplama kalınlığının artması ile birlikte bu etki daha da belirgin hale

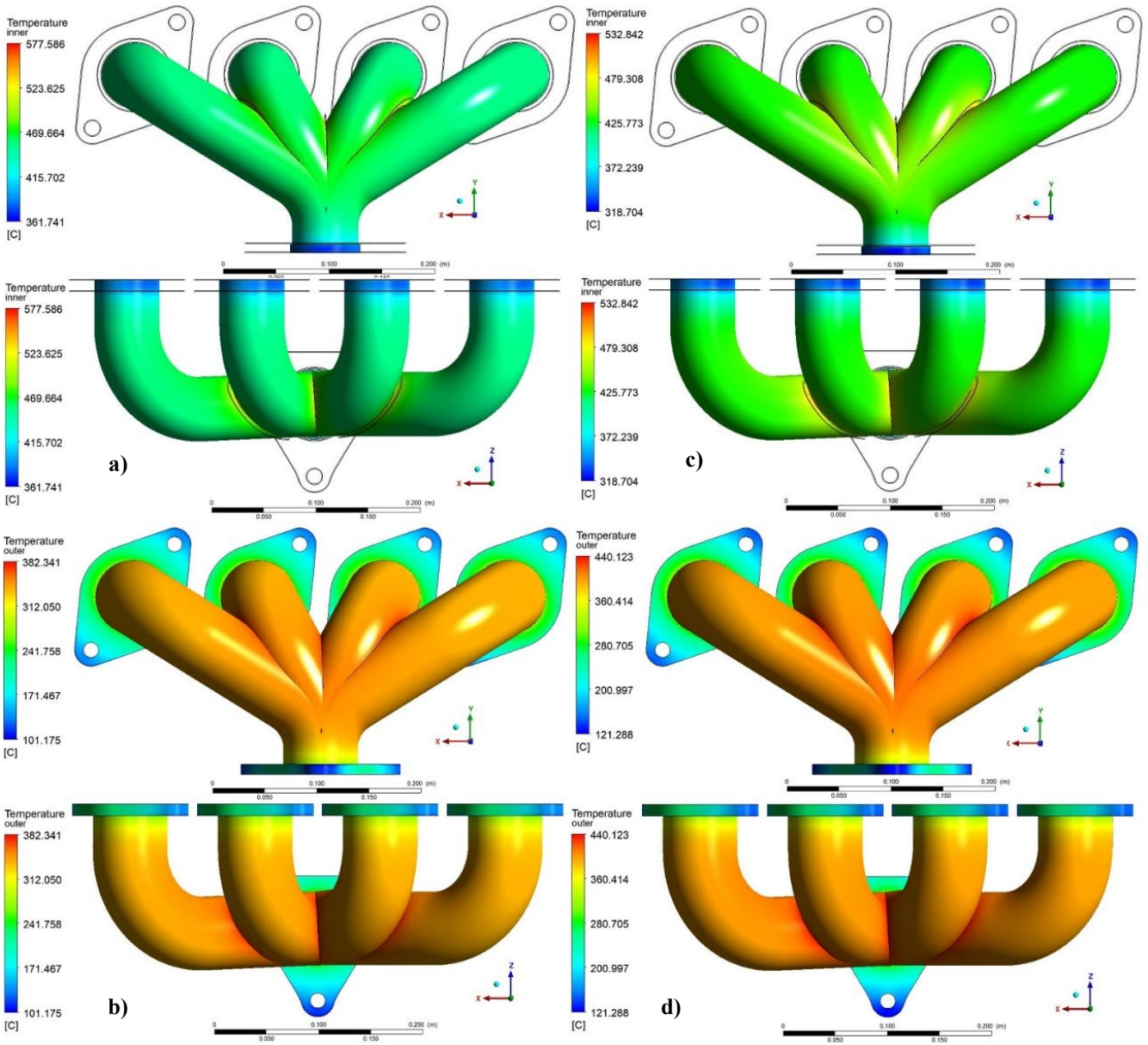
gelmiştir. Şekil 6’da görüldüğü üzere sıcaklığın en yüksek olduğu konumlar önceki senaryolarda da olduğu gibi bağlantı noktalarında meydana gelmiştir.



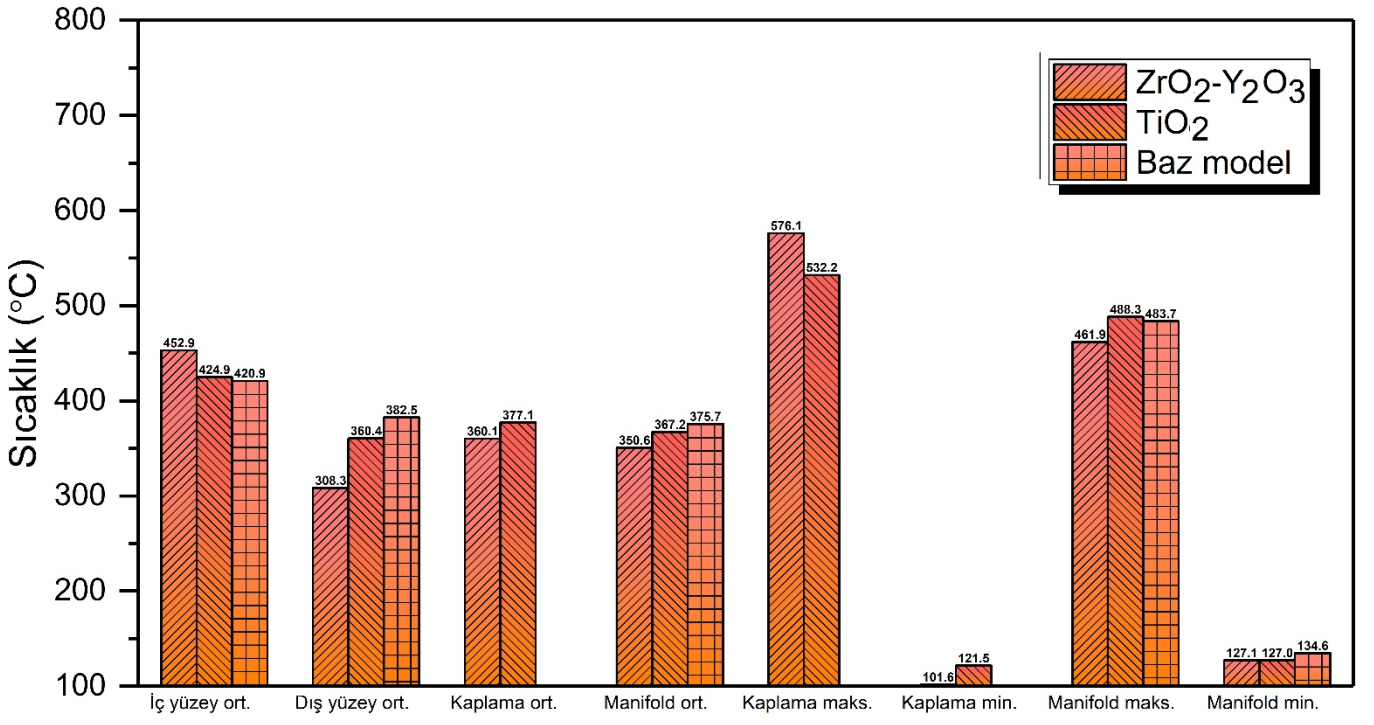
**Şekil 7.** Kaplama yapılmayan baz model ve 500µ ZrO<sub>2</sub>-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve TiO<sub>2</sub> kaplanmış manifoldlar üzerindeki çeşitli sıcaklık değerleri

Şekil 8’de 750µ ZrO<sub>2</sub>-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve TiO<sub>2</sub> kaplanmış manifoldların iç ve dış yüzeylerindeki dış yüzeyindeki sıcaklık dağılımları gösterilmiştir ve her bir modelin üzerindeki çeşitli sıcaklık değerleri ise Şekil 9’da karşılaştırılmıştır. Şekil 8 ve 9 incelendiğinde kaplama yapılması durumunda manifold iç yüzey sıcaklığının 483.8 °C’den ZrO<sub>2</sub>-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı modelde 577.6°C’ye, TiO<sub>2</sub> kaplamalı modelde ise 532.8 °C’ye çıktığı görülmüştür. Dış yüzeyde ise en yüksek sıcaklık baz modelde 453.84 °C iken ZrO<sub>2</sub>-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı modelde 382.3°C’ye, TiO<sub>2</sub> kaplamalı modelde ise 440.123 °C’ye düştüğü görülmüştür. 500µ kaplama senaryosunda olduğu gibi kaplama kalınlığının artması yalıtım performansını arttırmıştır. TiO<sub>2</sub>’in dış yüzey ortalama sıcaklığını düşürmede daha etkiliyken iç yüzey ortalama sıcaklığı incelendiğinde elde edilen sonucun kaplamasız pistonla benzer olduğu görülmüştür.

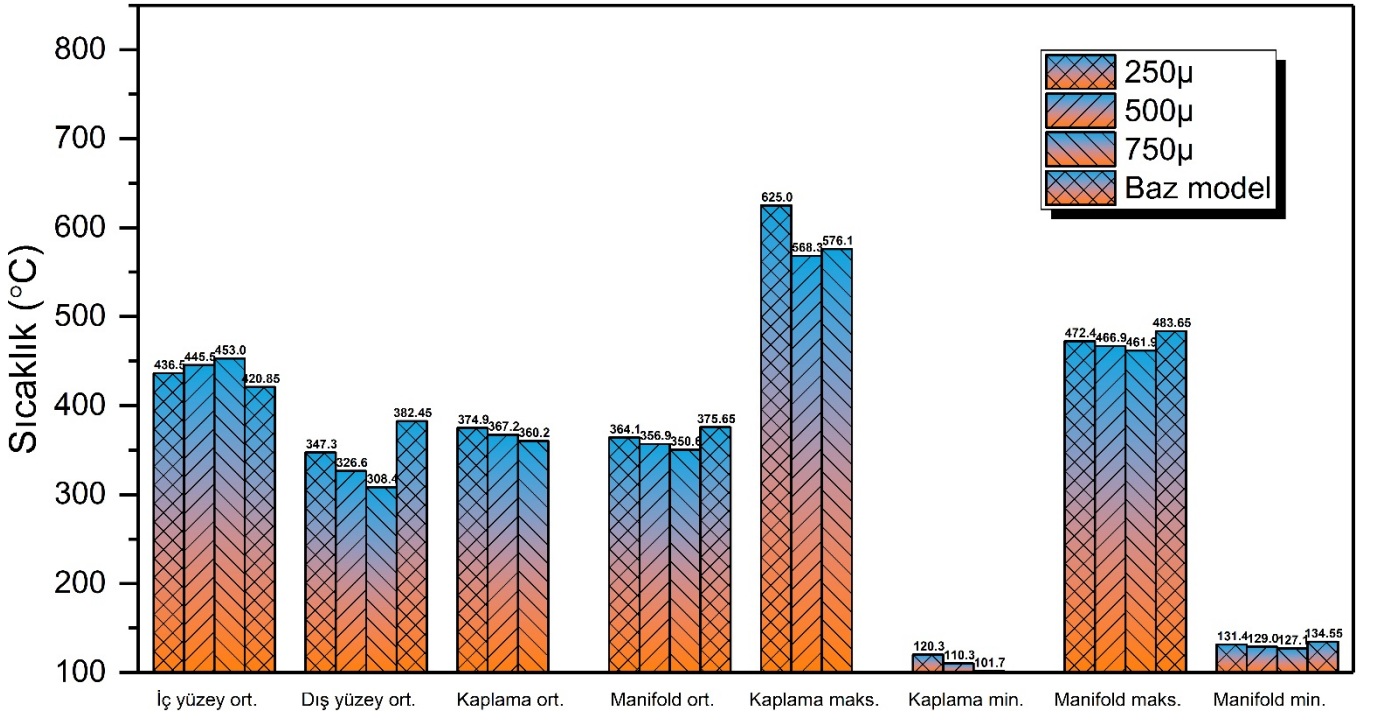




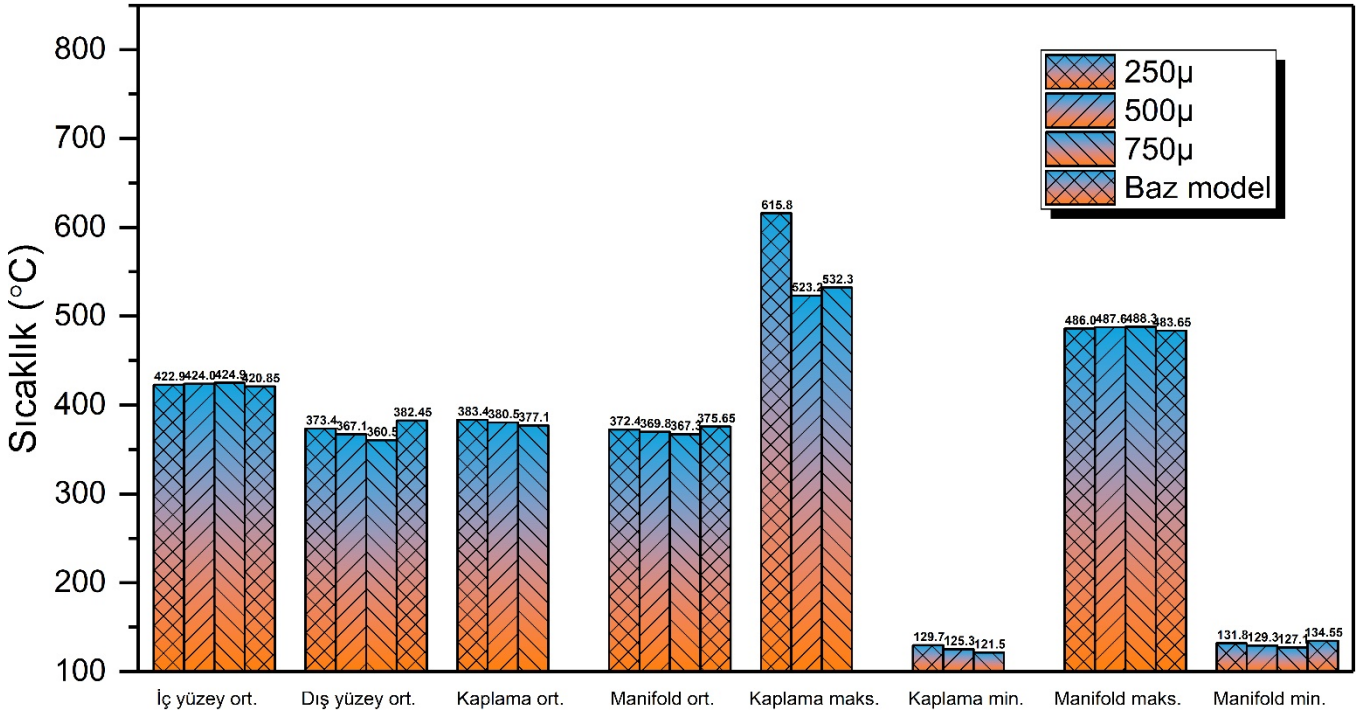
**Şekil 8.** a) 750µm ZrO<sub>2</sub>-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ile kaplanmış manifoldun iç ve b) dış yüzeyi ile TiO<sub>2</sub> ile kaplanmış manifoldun c) iç ve d) dış yüzeyi üzerinde sıcaklık dağılımları



Şekil 9. Kaplama yapılmayan baz model ve 750µ ZrO<sub>2</sub>-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve TiO<sub>2</sub> kaplanmış manifoldlar üzerindeki çeşitli sıcaklık değerleri



Şekil 10. Kaplama yapılmayan baz model ve ZrO<sub>2</sub>-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplanmış manifoldlar üzerindeki çeşitli sıcaklık değerleri



**Şekil 11.** Şekil 10. Kaplama yapılmayan baz model ve TiO<sub>2</sub> kaplanmış manifoldlar üzerindeki çeşitli sıcaklık değerleri

Şekil 10’da farklı kalıklarda ZrO<sub>2</sub>-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ile kaplama yapılmış manifoldların kaplama yapılmayan baz modele oranla çeşitli sıcaklıklar cinsinden kıyaslaması gösterilmiştir. ZrO<sub>2</sub>-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> malzemesinin ısı yalıtım performansının daha önce TiO<sub>2</sub>’ye göre daha iyi olduğu ifade edilmişti. Kaplama kalınlığı ise malzeme özelliği ile beraber yalıtım performansına etki eden önemli bağımsız bir parametredir. Kalınlığın artması ile Şekil 10’da aynı ısı taşınım şartları altında iç yüzey ortalama sıcaklığının arttığı görülmektedir. 750µ kalınlık değerine ulaşıldığında kaplama yapılmamış pistonu göre 31.15°C’lik bir artış meydana gelmiştir. Dış yüzey ortalama sıcaklığında ise değişim iç yüzeye oranla daha fazladır. En yüksek kalınlık değerinde, baz model ile üs 74.05°C’lik fark meydana gelmiştir ve manifold dış yüzey sıcaklığı önemli ölçüde düşmüştür. Kaplama kalınlığının artışı manifold iç yüzey sıcaklığında artış meydana getirirse de, kaplama alt yüzeyi ile kaplama ile manifold arasındaki yüzey arasındaki ısı geçişi azalmaktadır. Bunun göstergesi ise kaplama ortalama sıcaklığı olarak ifade edilebilir. Kalınlıkla beraber manifold iç yüzey sıcaklığı artsa da kaplama ortalama sıcaklığı düşmektedir. En yüksek kalınlık değerinde ortalama kaplama sıcaklığı 360.2 °C olarak hesaplanırken en düşük kalınlık değerinde 374.9°C olarak hesaplanmıştır. Kaplama üzerinde ölçülen minimum sıcaklıklarda da aynı eğilim görülmektedir. Manifold ortalama sıcaklığı da benzer şekilde kaplama kalınlığının artması sonucunda azalmıştır.

Farklı kalıklarda TiO<sub>2</sub> ile kaplama yapılmış manifoldların kaplama yapılmayan baz modele oranla çeşitli sıcaklıklar cinsinden kıyaslaması Şekil 11’de gösterilmiştir. TiO<sub>2</sub> ısı yalıtım performansı olarak ZrO<sub>2</sub>-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>’ye göre daha zayıf bir performans göstermiştir. Kalınlığın artması ile Şekil 10’da aynı ısı taşınım şartları altında iç yüzey ortalama sıcaklığının oldukça düşük bir miktarda arttığı görülmektedir. Baz model ile kıyaslandığında bu artış incelenen en yüksek kaplama kalınlığı değeri olan 750µ değerinde 4.05°C’dir. ZrO<sub>2</sub>-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ile kaplama yapılmış manifoldda ise bu değer 31.15°C olarak hesaplanmıştır. Bu bağlamda TiO<sub>2</sub>’in yalıtım performansının düşük olduğu yorumu yapılabilir. Öyle ki yine incelenen en yüksek kaplama kalınlığı değerinde ortalama manifold dış yüzey sıcaklığı baz modele göre 21.95°C daha düşüktür. 750µ kaplama uygulanmış manifoldda ortalama kaplama sıcaklığı ise 377.1°C olarak hesaplanırken 250µ kaplama yapılması durumunda ise bu değer 383.4 olarak elde edilmiştir. TiO<sub>2</sub>’in ısı iletkenlik katsayısının yüksek olması nedeniyle incelenen tüm sıcaklık değerleri baz modelde elde edilen değerlere yakındır.

#### IV. SONUÇ

Bu çalışmada 250µ, 500µ ve 750µ’luk ZrO<sub>2</sub>-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve TiO<sub>2</sub> ile kaplanmış bir egzoz manifoldunun taşınım ısı yükleri altındaki ısı davranışı sayısal olarak incelenmiştir. Kaplama yapılmamış bir manifoldun aynı ısı yükleri altındaki sıcaklık dağılımı ile de karşılaştırma yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlar, seramik kaplamanın sıcak egzoz gazlarına maruz kalan manifold iç yüzeyinden dış yüzeyine olan ısı geçişini önemli ölçüde azalttığını göstermiştir. Seramik kaplama yapıldıktan sonra sıcak manifold iç yüzeyi ile sıcaklığı daha düşük olan dış yüzeyi arasındaki sıcaklık farkının en iyi durum olan 750µ ZrO<sub>2</sub>-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplama ile 38.4°C’den 144.6°C’ye çıkarılabileceği görülmüştür. Seramik kaplama, sıcak egzoz gazları ile manifold arasında ısı bir bariyer oluşturmuştur ve en iyi durumda manifold ortalama dış yüzey sıcaklığını 382.45°C’den 308.4°C’ye düşürmüştür. Isı iletim katsayısının ZrO<sub>2</sub>-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>’ye göre daha yüksek olması sebebiyle TiO<sub>2</sub>’in ısı yalıtım performansının ise incelenen çeşitli sıcaklık parametresine bağlı olarak, daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak seramik kaplama işlemi manifold üzerindeki ısı stresi azaltma konusunda başarılı olmuştur ve manifold üzerinde oluşan sıcaklık değerlerini dikkate değer bir oranda düşürmüştür.

#### Kaynaklar

[1] T.N. Valarmathi, S. Sekar, M. Purusothaman, J. Saravanan, K.N. Balan, S.D. Sekar, T. Mothilal, Design and thermal analysis of coated and uncoated exhaust manifold, Int. J. Ambient Energy. 41 (2020)

157–160. <https://doi.org/10.1080/01430750.2018.1456969>.

[2] D.K. Sahoo, R. Thiya, Coupled CFD–FE analysis for the exhaust manifold to reduce stress of a direct injection-diesel engine, *Int. J. Ambient Energy*. 40 (2019) 361–366. <https://doi.org/10.1080/01430750.2017.1399457>.

[3] J. Muthusamy, G. Venkadesan, M.S. Panithasan, Use of La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> with 8YSZ as thermal barrier coating and its effect on thermal cycle behavior, microstructure, mechanical properties and performance of diesel engine operated by hydrogen-algae biodiesel blend, *Int. J. Hydrogen Energy*. 47 (2022) 27199–27222. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.06.054>.

[4] M.G. Gok, M. Karabas, Production of Re doped La<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> based TBCs and numerical analysis of their use on IC engine piston surface, *Ceram. Int.* 48 (2022) 11173–11180. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.12.337>.

[5] R. Gehlot, B. Tripathi, Thermal analysis of holes created on ceramic coating for diesel engine piston, *Case Stud. Therm. Eng.* 8 (2016) 291–299. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2016.08.008>.

[6] B. Dhinesh, Y. Maria Ambrose Raj, C. Kalaiselvan, R. KrishnaMoorthy, A numerical and experimental assessment of a coated diesel engine powered by high-performance nano biofuel, *Energy Convers. Manag.* 171 (2018) 815–824. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.06.039>.

[7] P. Baldissera, C. Delprete, Finite Element Thermo-Structural Methodology for Investigating Diesel Engine Pistons with Thermal Barrier Coating, *SAE Int. J. Engines*. 12 (2018) 03-12-01–0006. <https://doi.org/10.4271/03-12-01-0006>.

[8] Y. Wang, T. Ma, L. Liu, M. Yao, Numerical investigation of the effect of thermal barrier coating on combustion and emissions in a diesel engine, *Appl. Therm. Eng.* 186 (2021) 116497. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.116497>.

[9] X. Shen, X. Nie, H. Hu, Numerical Analysis of Thermal Distributions in Aluminum Engine Cylinders Influenced by Alumina Ceramic Coatings, *Numer. Heat Transf. Part A Appl.* 62 (2012) 463–478. <https://doi.org/10.1080/10407782.2012.703095>.

[10] V. Kumar, V. Sundareswaran, The Effect of Thermal Barrier Coatings on Diesel Engine Performance of PZT Loaded Cyanate Modified Epoxy Coated Combustion Chamber, *Jordan J. Mech. Ind. Eng.* 5 (2011) 403–406.

[11] M. Ekström, A. Thibblin, A. Tjernberg, C. Blomqvist, S. Jonsson, Evaluation of internal thermal barrier coatings for exhaust manifolds, *Surf. Coatings Technol.* 272 (2015) 198–212. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2015.04.005>.

[12] V.S. Godiganur, S. Nayaka, G.N. Kumar, Thermal barrier coating for diesel engine application – A review, *Mater. Today Proc.* 45 (2021) 133–137. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.112>.

[13] K. Masera, A.K. Hossain, Biofuels and thermal barrier: A review on compression ignition engine

performance, combustion and exhaust gas emission, *J. Energy Inst.* 92 (2019) 783–801. <https://doi.org/10.1016/j.joei.2018.02.005>.

[14] B. Saint-Ramond, HITS - High Insulation Thermal Barrier Coating systems, *Air Sp. Eur.* 3 (2001) 174–177. [https://doi.org/10.1016/S1290-0958\(01\)90086-3](https://doi.org/10.1016/S1290-0958(01)90086-3).

# PAMUKLU TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIK SUYUNUN KOAGÜLASYON- FLOKÜLASYON İLE ÖN ARITIMI VE MEMBRAN PROSES İLE İLERİ ARITIMININ İNCELENMESİ

## Tayyar TORUN

Çevre Mühendisliği Bölümü Öğrencisi  
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi  
Sivas/Türkiye  
tayyartorun@gmail.com  
ORCID: 0000-0003-0268-4218  
+90 535 415 0894

## Meltem SARIOĞLU CEBECİ

Çevre Mühendisliği Bölümü  
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi  
Sivas/Türkiye  
sarioglu@cumhuriyet.edu.tr  
ORCID: 0000-0002-3636-0388  
+90 346 487 1913

## Özet

Sivas'ta bulunan bir pamuklu tekstil firmasının çıkış atık suyu alınmıştır. Bu atık su önce koagülasyon ve flokülasyon ile ön arıtıma tabi tutulmuştur. Koagülant olarak alümin ( $Al_2(SO_4)_3 \cdot 16H_2O$ ) kullanılmıştır. Koagülasyon ve flokülasyon ile arıtım yapılırken önce koagülant miktarı ile çökeltim zamanı sabit tutulmuştur ve koagülant maddenin en etkili olduğu pH değeri bulunmuştur. Ardından uygun pH değerinde ve çökeltim zamanı sabit tutularak farklı dozlarda koagülant dozları ile deneyler yapılmıştır ve uygun koagülant dozu bulunmuştur. Sonrasında uygun pH ve uygun koagülant dozu ile deneyler yapılarak farklı zamanlarda örnekler alınarak uygun çökeltim zamanı bulunmuştur ve bu uygun şartlarla gerçek tekstil atık suyu arıtılmıştır. Bu arıtım sonuçlarına göre; %98 renk giderim verimi, %89 AKM giderim verimi, %96 bulanıklık giderimi ve %77 KOİ giderim verimi elde edilmiştir. Sonrasında koagülasyon ve flokülasyon ile ön arıtılmış stok atık su elde edilip çapraz akışlı membran proseste ileri arıtıma tabi tutulmuştur. Membran proseste NF membran kullanılmıştır ve 5 bar, 10 bar ve 15 bar transmembran basıncında ileri arıtım yapılarak sonuçlar incelenmiştir. Bu sonuçlara göre sistem toplamda; %100 AKM giderim verimi, %100 bulanıklık giderimi ve %99,6 KOİ giderim verimi ve toplam renk giderimi transmembran basıncı arttıkça %100 olmuştur.

## I. GİRİŞ

Teknolojinin ve dolaylı olarak sanayi endüstrisinin gelişmesi ile birlikte su kaynaklarına olan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır ve bu tesislerde su kullanımı olmaktadır. Dünyadaki mevcut içilebilir su miktarı göz önünde bulundurulursa elimizdeki su kaynaklarına sahip çıkmamız gerekmektedir. Endüstride kullanılan sular atık suya dönüşmesinin akabinde kirleticilerinden arındırılarak deşarj standartları sağlandıktan sonra deşarj edilmelidir. Aksi taktirde sınırlı olan su kaynakları kirlenip çevre ve su problemlerine neden olabilir. Özellikle tekstil endüstrisinde su kullanımı ve atık su oluşumu oldukça fazladır. Tekstil atık suları bünyesinde yüksek miktarda renk, KOİ, AKM gibi istenmeyen parametreler barındırabilir. Bu sebepten ötürü tekstil atık suları arıtılmadan deşarj edilmemelidir. Renk barındıran atık suların direkt alıcı ortama verilirken çok az konsantrasyonlarda bile olsa önemli çevresel faktörler oluşturur [1], [2]. Renkten dolayı ışık suda alt katmanlara geçişi sağlayamaz ve alıcı ortamı olumsuz etkilenir [3]. Tekstil sanayisi atık sularında büyük sorunlardan biri de renk içermesidir [4]. Kimyasal çöktürme işlemi, tekstil atık sularının renk gideriminde yaygın kullanılan proseslerdendir. Tekstil endüstrisi atık suları  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{FeSO}_4$ ,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  ve  $\text{CaCl}_2$  gibi kimyasal maddeler kullanılarak hızlı karıştırma, yumaklaştırma, çökeltme havuzlarından oluşan kimyasal çöktürme düzeneği ile arıtılabilmektedir. Kullanılan katalizörlerin verimi, pH değerine göre değişir ve uygun pH değerini elde etmek için asitler ve bazlar kullanılmaktadır. Kimyasal çöktürme prosesi ile çoğu rengin giderimi sağlanmaktadır [5]. NF su yumuşatma, bakteri ve virüsleri giderme ve renk gideriminde kullanılmaktadır. NF'un az bakım gerektirir, düşük deşarj sağlar ve yenileme masrafı azdır [6]. NF membran prosesi, tekstil atık su geri kazanımında kullanılabilir. NF tuz giderme ve yüksek miktarda KOİ ve renk giderme verimine sahiptir ve membranlar tekrar kullanılabilir [7]. Tekstil endüstrisinde atık su arıtımında NF; AKM, ÇKM, KOİ ve renk gibi kirletici parametrelerinin arıtımında yüksek verime sahiptir [8].

## II. MATERYALLER

### a. Deneysel Çalışma

Çalışmada gerçek tekstil atık suyu kullanılarak koagülasyon ve flokülasyon ile ön arıtım yapılmıştır ve ardından çapraz akışlı NF membran proseste ileri arıtım yapılmıştır. Koagülasyon ve flokülasyon ile ön arıtımda önce; optimum ph, sonrasında uygun koagülant



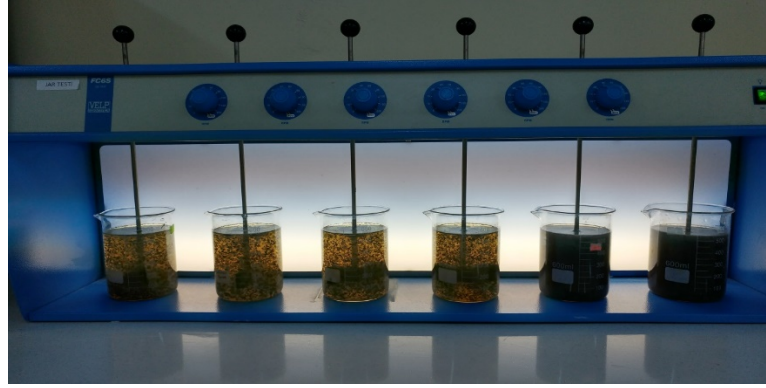
dozu ve uygun çökelme zamanı bulunarak ardından ön arıtım yapılarak; renk, AKM, KOİ parametrelerine bakılmıştır. Koagülasyon ve flokülasyon ile ön arıtmadan çıkan arıtılmış su çapraz akışlı NF membran proses ile farklı basınçlarda ileri arıtmaya tabi tutularak; renk, AKM, KOİ değerleri analiz edilmiştir.

### b. Deneylede Kullanılan Materyaller

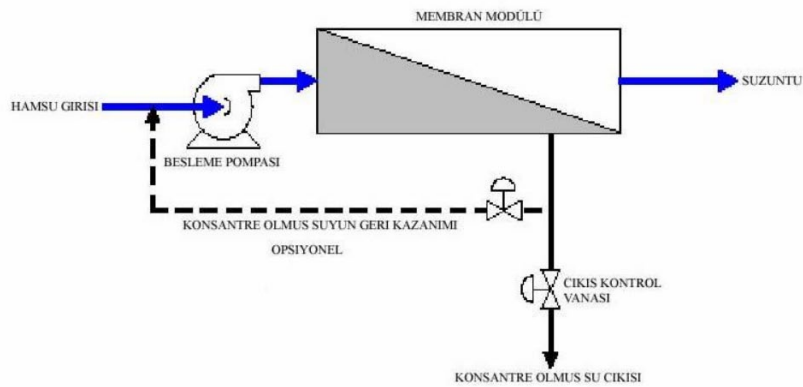
Çalışmada; koagülasyon-flokülasyon deney düzeneği ve  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 16H_2O$  kimyasalı (koagülantı), çapraz akışlı membran prosesi ve NF membranı, deneylede gerekli olan cam malzemeler, ölçümler için gerekli cihazlar ve gerekli kimyasallar kullanılmıştır.

### c. Deneyle Düzeneği

Koagülasyon ve flokülasyon ile arıtım deney düzeneği ve membran prosesi çalışma prensibi aşağıdaki şekillerde gösterilmektedir.



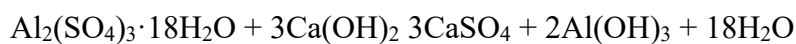
Şekil 2.1 Koagülasyon-flokülasyon deney düzeneği



Şekil 2.2 Membran prosesi çalışma prensibi [9]

### d. Deneylede Kullanılan Koagülant

Koagülasyon-flokülasyon ile arıtım yapılırken koagülant alümdür ve suya ilave edildiğinde;



reaksiyonunu oluşturup ve maddelerin okmesini sağlar [10].

#### e. DeneYlerde Kullanılan Diğer Ekipmanlar

DeneYlerde aşağıdaki ekipmanlar da kullanılmıştır;

- Spektrofotometre (Hach Lange DR 3900),
- Manyetik karıştırıcı (İka),
- Termoreaktör.
- AKM filtre ve pompa sistemi,
- pH ve iletkenlik ölçer (Adwa),
- Türbidimetre (WTW 355IR),
- Hassas terazi (Shimatzu).

#### f. Deneysel Yöntem

Koagölasyon-flokölasyon ile ön arıtımda; deney sisteminde karıştırıcılar, 500 mL'lik beherlerin içerisine daldırılır ve 100 dev/dak. hızında karıştırılır. Koagölant madde bu adımda sisteme eklenir ve hız 30 dev/dak.'ya düşürölerek yavaş karıştırma adımına geçilir. Otuz dakika geçtikten ve floklar oluştuktan sonra sistem kapatılarak okelme adımına geçilir. okelme olduktan sonra pipet yardımı ile berrak su floklar dağıtılmadan alınır.

Membran prosesi ile ileri arıtımda; koagölasyon-flokölasyon ile ön arıtılmış tekstil atık suyu NF membran ile ileri arıtıma tabi tutulmuştur. Bu aşamada 5 bar, 10 bar ve 15 bar taransmembran basıncında arıtım verimleri incelenmiştir.

#### g. Analiz Yöntemi

Gerçek tekstil atık suyuna spektrofotometre yardımı ile absorbans dalga boyu taraması yapılarak maksimum dalga boyları belirlenmiştir. Renk konsantrasyonu bilinen sulu çözeltilerin maksimum dalga boyları absorbans değerleri ölçölerek renkler için kalibrasyon grafikleri elde edilmiştir. Böylece fotometre ile ölçölüp renk konsantrasyonları analiz edilmiştir. Analiz edilen değerlere göre renk giderim verimleri Denklem 2.1 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\text{Verim} = ((C_0 - C) / C_0) * 100 \quad [2.1]$$

Denklem 2.1'de verim; renk giderim verimini,  $C_0$ ; başlangıç renk konsantrasyonunu,  $C$ ; numunenin renk konsantrasyonunu belirtmektedir.

KOI deneYleri APHA standart metotlarına uygun şekilde kapalı reflux titrimetrik yöntemiyle analiz edilmiştir [11].

### III. BULGULAR

Deneylerde kullanılan gerçek tekstil atık suyunun özellikleri aşağıdaki tablodaki gibidir

**Tablo 3.1** Çalışmada kullanılan tekstil atık suyunun özellikleri

<b>BULANIKLIK</b>	260.4 NTU
<b>KOİ</b>	2150 mg/L
<b>AKM</b>	715 mg/L
<b>RENKLER</b>	<b>Yeşil</b> : 4752 (Pt-Co) <b>Turuncu</b> : 4398 (Pt-Co) <b>Menekşe</b> : 4042 (Pt-Co) <b>Sarı</b> : 4592 (Pt-Co)

#### a. Ön Arıtımda Optimum pH'ın Belirlenmesi

Optimum pH'ı bulmak için pH 3-10 arasında diğer değişkenler sabit tutularak deneyler yapılmıştır ve bunun sonucunda en uygun pH aralığının 7-10 olduğu gözlemlenmiştir ve en uygun değer 8 olduğu belirlenmiştir (Tablo 3.2).

**Tablo 3.2** Optimum pH'ı bulmak için yapılan deneyler

<b>pH</b>	<b>BULANIKLIK (NTU)</b>	<b>Yeşil (Pt-Co)</b>	<b>Sarı (Pt-Co)</b>	<b>Turuncu (Pt-Co)</b>	<b>Menekşe (Pt-Co)</b>
3	352	3925	3523	3303	2867
4	352	3845	3471	3260	2833
5	345	3620	3255	3042	2616
6	175	1601	1368	1253	1030
7	26	324	286	263	220
8	25	302	267	246	204
9	28	333	285	271	226
10	29	325	284	261	214

#### b. Ön Arıtımda Optimum Dozun Belirlenmesi

Optimum dozu bulmak için önce 0,25 g/L Al, 0,50 g/L Al, 0,75 g/L Al, 1 g/L Al, 1,25 g/L Al, 1,50 g/L Al, 1,75 g/L Al ve 2 g/L Al dozunda deneyler yapılmıştır ve uygun dozun 0,25 g/L Al olduğu belirlenmiştir. Ardından ilaveten 0,05 g/L Al ve 0,1 g/L Al dozunda ilave deneyler yapılarak uygun koagülant dozunun 0,1 g/L Al olduğu anlaşılmıştır (Tablo 3.3).

**Tablo 3.3** Optimum dozu bulmak için yapılan deneyler

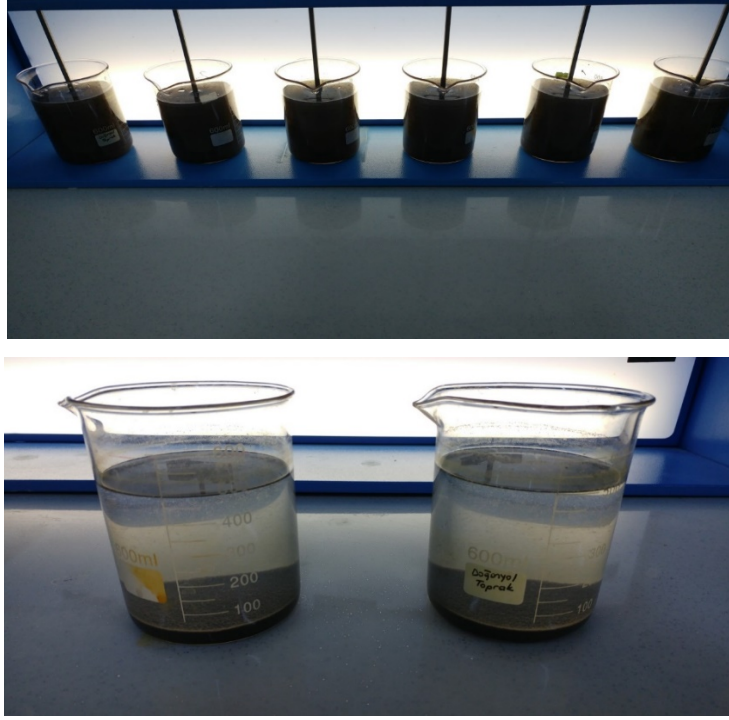
<b>Doz <math>Al_2(SO_4)_3 \cdot 16H_2O</math> g/L Al</b>	<b>BULANIKLIK (NTU)</b>	<b>Yeşil (Pt- Co)</b>	<b>Sarı (Pt- Co)</b>	<b>Turuncu(Pt- -Co)</b>	<b>Menekşe (Pt-Co)</b>
0,05	12	99	105	108	86
0,1	10	79	61	47	74
0,25	26	200	159	129	19
0,5	37	380	301	245	361
0,75	53	491	385	314	466
1	75	678	533	438	643
1,25	108	932	723	595	881
1,5	128	1164	904	740	1099
1,75	117	1079	840	694	1023
2	122	1125	872	713	1062

**c. Ön Arıtımda Optimum Çökelme Zamanının Belirlenmesi**

Koagülasyon-flokülasyon deneylerinde deney sonlandıktan sonra çökeltim aşamasında uygun bekleme sürelerine bakılmıştır. Buna göre en uygun bekleme zamanının 1 saat olduğu açığa çıkmıştır ve 1 saatten sonraki sürelerde flokların tekrar dağıldığı gözlemlenmiştir (Tablo 3.4)

**Tablo 3.4** Optimum çökelme zamanını bulmak için yapılan deneyler

<b>Zaman (saat)</b>	<b>BULANIKLIK (NTU)</b>	<b>Yeşil (Pt- Co)</b>	<b>Sarı (Pt- Co)</b>	<b>Turuncu(Pt- Co)</b>	<b>Menekşe (Pt- Co)</b>
0,5	10	79	61	47	74
1	9	72	53	65	70



**Şekil 3.1** Koagülasyon-flokülasyon ile arıtmada yapılan çalışmanın görselleri

Şekil 3.1 de kimyasal çöktürme deneyinde kullanılan jar testi deneyi ve çalışmada elde edilen sonucun beherdeki görüntüsü verilmektedir.

Tablo 3.5 de alumün koagülant olarak kullanıldığı ve optimum koagülant dozunun 0,1 g/L olarak belirlendiği ve buna göre AKM (mg/L), KOİ (mg/L) ve bulanıklığın (NTU) sırasıyla 73, 495 ve 9 olduğu bulunduğu verilmiştir. Tablo 3.6 da da optimum koagülant dozunda deney sonucunda bulunan renk değerleri yer almaktadır.

**Tablo 3.5** Koagülasyon-flokülasyon ile arıtım sonuçları

Koagülant	AKM mg/L	KOİ (mg/L)	Bulanıklık (NTU)
<b>Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>.16H<sub>2</sub>O</b> <b>0,1 g/L Al</b>	73	495	9

**Tablo 3.6** Koagülasyon-flokülasyon ile arıtım sonuçları

Koagülant	Yeşil (Pt-Co)	Sarı (Pt-Co)	Turuncu (Pt-Co)	Menekşe (Pt-Co)
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> .16H <sub>2</sub> O 0,1 g/L Al	72	53	65	70

Sonuç olarak, gerçek tekstil atıksuyu koagülasyon flokülasyon ve kimyasal çöktürme ile ön arıtımı sonucu giriş atıksu içerisinde ölçülen parametrelerin giderildiği ancak bu tekstil atıksuyunu proses suyu olarak tekstil ya da farklı amaçlarla yeniden kullanmak üzere değerlendirildiğinde çalışmanın 2. Aşamasında membran filtrasyon sistemi seçilmiş ve çapraz akışlı basınçlı membran filtrasyon sistemi ile nanofiltrasyon (NF) membran kullanılarak sonuçlar aşağıda değerlendirilmiştir.

#### d. Membran Proses İle Yapılan Deneyler

Tekstil atık suyunun koagülasyon ve flokülasyonla ön arıtım yapılarak stok ön arıtılmış atık su elde edilmiştir. Stok atık suyun özellikleri tablo 3.5 ve 3.6'daki değerlerdir. Bu atık su aynı zamanda membran proses giriş atık suyudur. Membran prosesste koagülasyon ve flokülasyonla ön arıtmadan çıkan atık su 5 bar, 10 bar ve 15 bar transmembran basıncında arıtıma tabi tutulmuştur. Membran proses çıkış suyu değerleri aşağıdaki tablolarda verilmiştir (Tablo 3.7 ve Tablo 3.8).

**Tablo 3.7** Koagülasyon-flokülasyon ile arıtılmış stok atık suyun membran prosesinde ileri arıtılması sonucu AKM, KOİ ve bulanıklık çıkış değerleri

Basınç (bar)	AKM (mg/L)	KOİ (mg/L)	Bulanıklık (NTU)
5	0	10	0
10	0	7	0
15	0	7	0

**Tablo 3.8** Koagülasyon-flokülasyon ile arıtılmış stok atık suyun membran prosesinde ileri arıtılması sonucu renk parametresi çıkış değerleri

Basınç (bar)	Yeşil (Pt-Co)	Sarı (Pt-Co)	Turuncu (Pt-Co)	Menekşe (Pt-Co)
5	2	2	2	5
10	1	0	1	1
15	0	0	0	0



**Şekil 3.2** Koagülasyon-flokülasyon ile arıtılmış stok atık suyun çapraz akışlı NF membran prosesinde ileri arıtılması sonucu çıkış suyunun görüntüsü

#### IV. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, tekstil atık suyunun koagülasyon ve flokülasyonla arıtımının; yapılan deney sonuçlarına bakılacak olursa renk giderimi %98,2 ile %98,8 arasında bulunmuştur. Ayrıca %89,7 AKM , %96,5 bulanıklık ve %76,9 KOİ giderim verimi elde edilmiştir. Bu çalışmada, tekstil atık suyunun koagülasyon ve flokülasyon ile ön arıtmadan sonra çapraz akışlı NF membran proses ile ileri arıtım sonuçlarını değerlendirdiğimizde; sistem toplamda; %100 AKM, %100 bulanıklık ve %99,6 KOİ giderim verimi ve toplam renk giderimi transmembran basıncı arttıkça %100 olarak belirlenmiştir. Koagülasyon-flokülasyonla ön arıtımından sonra membran reaktörle yapılan çalışmalarda giderim verimlerine bakıldığında oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bunun sonucunda membran reaktörden sonra arıtılmış su; tarımsal alanda, endüstriyel alanda, yeraltı suyunun beslenmesinde, park ve bahçelerin sulanmasında, yangın suyu olarak, tuvaletlerde ve benzeri alanlarda tekrar kullanılabilir hale gelmiştir. Özellikle tekstil endüstrilerinde prosteşte oldukça fazla su kullanılmakta olup, bu endüstri için su ihtiyacı ülkemizde yaygın olan tekstil endüstrilerinde ön artım ile birlikte nanofiltrasyon membran sistemi kullanılarak sağlanabilir. Membran prosesler kompakt sistemler oldukları için kolaylıkla endüstrilerde atıksu arıtımı için kullanılabilirler. Arıtılmış olan sular da endüstride tekrar proses suyu hazırlamak için kullanılabilir. Öneriler ise şu şekilde sıralanabilir;

- Bu çalışmanın benzeri farklı tekstil atık suları ile çalışılabilir.
- Koagülasyon ve flokülasyon ile arıtmada farklı koagülantlar kullanılabilir.
- Bu çalışmanın sonuçları gerçek ölçekli olarak uygulanabilir.

- Membran prosete farklı membran türleri (ters ozmoz, ultrafiltrasyon, modifiye edilmiş UF vb ) kullanılabilir.
- Membran reaktörden çıkan suyun toksisite testleri gibi diğer parametreler de değerlendirilerek içilebilirliği ya da içilebilir hale getirilmesi araştırılabilir.
- Gerçek tekstil atık suyunun, direkt membran reaktör ile arıtılabilirliği araştırılabilir.

## **Kaynaklar**

- [1] Balcı B. Atıksulardan Tekstil Boyar Maddelerinin Sürekli ve Kesikli Sistemlerde Ağaç Kabuğu Kullanılarak Adsorpsiyon ile Giderilmesi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana
- [2] Nıgam P., Armour G., Banat I.M., Singh D., Marchant R., 2000. Physical Removal Of Textile Dyes And Solid State Fermentation Of Dyeadsorbed Agricultural Residues. Bioresour. Technol. 72: 219-226.
- [3] MCKAY G., 1979. Waste Colour Removal From Textile Effluents. Am. Dyes. Rep. 68: 29-36.
- [4] KAMAG, (Kamu Araştırmaları Destek Grubu) (2013). 109G083 Nolu Tübitak Kamag Projesi El Kitabı
- [5] Üner H. (2002). Bir Tekstil Endüstrisi Boya Atıksularının Kimyasal Arıtılabilirliği, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul
- [6] Woerner, D. L., 2002. Membrane Technology In Textile Operations, Koch Membran Systems, Wilmington, MASS, USA.
- [7] Büyükdere A. (2008) Tekstil Endüstrisi Atıksularının Membran Teknolojileri ile Arıtılması ve Geri Kazanılması, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- [8] Bes-Pia A., Iborra-Clar M. I., Iborra-Clar A., Mendoza-Roca J.A., Cuartas-Urbe B. and Alcaina-Miranda M.I., 2005. Nanofiltration Of Textile Industry Wastewater Using A Physicochemical Process As A Pre-Treatment, Desalination, 178, 343-349.
- [9] <https://docplayer.biz.tr/203725476-Ileri-aritim-prosesleri-prof-dr-yuksel-ardali.html> 01.10.2022 15.55
- [10] <https://www.yesilaski.com/jar-testi-deneyi.html> 01.10.2022.
- [11] APHA (American Public Health Association) (1995). Standart Methods for the Examination of Water and Waste Water, 19th ed. APHA-AWWA-WEF, Washington, DC. USA.



# MİKRO-TÜP KATI OKSİT YAKIT PİLİ

Yunus SAYAN

Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bitlis, Türkiye  
ysayan@beu.edu.tr

## Özet

*Sürekli artan enerji talebi ve çevresel bozulma nedeniyle ileri enerji dönüşüm teknolojileri son yıllarda artan bir ilgi görmektedir. Katı oksit yakıt pilleri, yakıtın kimyasal enerjisini elektriğe dönüştüren yüksek verimli ve yakıt olarak hidrojen gazı kullanıldığı durumda çevreye zarar vermeyen elektrokimyasal cihazlardır. Geleneksel tüp şeklindeki katı oksit yakıt pilleri daha yaygın düzlemsel benzerlerine göre düşük sızdırmazlık, yüksek termo-mekanik dayanıklılık, hızlı başlatma ve kapatma süreleri gibi olumlu özelliklere sahiptir. Fakat akım toplama tüp şeklindeki bir pilde çok daha zordur. Ayrıca uzun akım akış yolları pildeki ohmik kayıpları artırarak pil performansının düşmesine yol açmaktadır. Bununla birlikte tüp şeklindeki pillerden meydana gelen yığınlardaki boşluk miktarı düzlemsel pillerden meydana gelen yığınlardaki boşluk miktarından oldukça fazladır. Bu yüzden tüp şeklindeki katı oksit yakıt pillerinin hacimsel güç yoğunluğu düzlemsel benzerlerine göre daha düşüktür. Bu problemlerin giderilmesi için son zamanlarda tüp şeklindeki pillerin bir çeşidi olan mikro-tüp katı oksit yakıt pili geliştirilmiştir. Bu çalışmada mikro-tüp katı oksit yakıt pilinin çalışma mantığı, kullanılan malzemeler, üretim yöntemleri, istenen özellikler, karşılaşılan problemler, termodinamiği ve benzeri konular hakkında genel bilgi verilmiştir.*

## I. GİRİŞ

Yenilenebilir ve sürdürülebilir enerjilerin, toplumlarımızda var olan geleneksel fosil enerjiler ve çevre kirliliği krizini çözmeye kilit rol üstlendiği kabul edilmektedir [1], [2]. Yenilikçi bir teknoloji olan katı oksit yakıt pilleri (KOYP'leri), %80'e varan enerji transfer verimleri ile kimyasal enerjiyi

doğrudan elektrik enerjisine dönüştürebilen çevre dostu elektrokimyasal cihazlardır [3]. Bu avantajlara dayanarak KOYP'ler gelecek vaat eden bir yeşil enerji dönüşüm teknolojisi olarak yoğun bir şekilde araştırılmıştır [4].

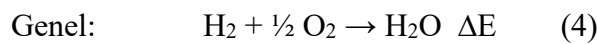
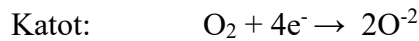
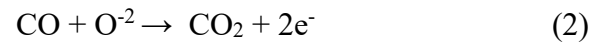
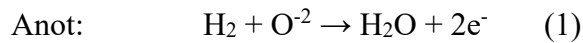
Katı oksit yakıt pili, ara yanma adımı olmaksızın yakıtlardan gelen kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine elektrokimyasal olarak dönüştüren bir cihazdır. Ayrıca yüksek verimlilikleri (>%60) ve düşük kirlenme emisyonu (SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub>) nedeniyle sürdürülebilir enerji üretimi için en umut verici teknolojilerden biri olarak kabul edilmiştir [5]. Katı oksit yakıt pilleri genellikle 600 ila 1000 °C arasında değişen yüksek çalışma sıcaklıkları ile bilinen yakıt pili türlerindedir [6]–[8]. Yakıt pillerinin yüksek verimlilik ve çevre dostu özelliklerine ek olarak KOYP'ler, yakıt kaynaklarında esneklik ve tam katı hal çalışması gibi benzersiz özellikler sağlar [6].

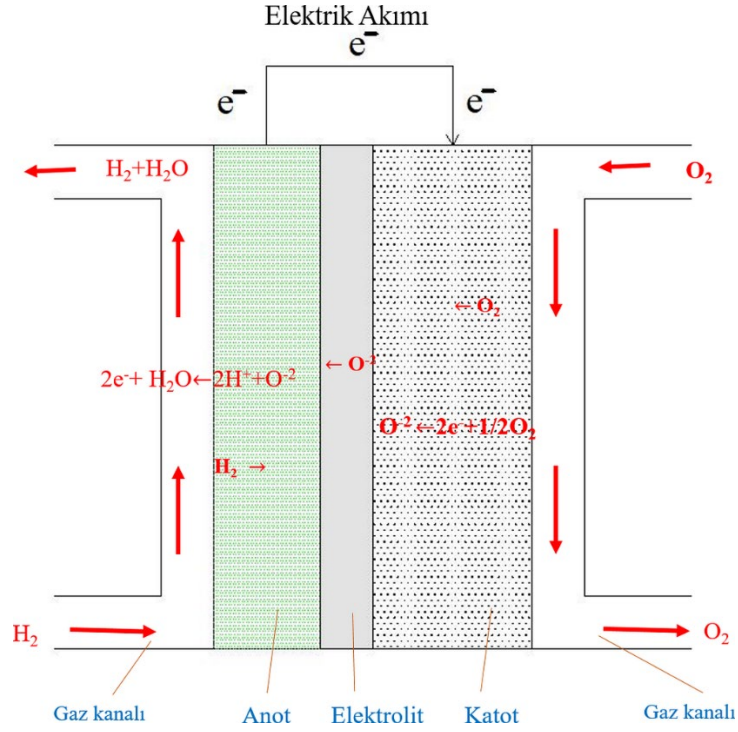
Bir KOYP üç ana bileşenden oluşur: Oksijen iyonu (O<sup>2-</sup>) ileten bir katı elektrolit ile bu elektrolit tarafından birbirinden ayrılmış gözenekli katot ve anot elektrotları. Katotta oksijen gazı (O<sub>2</sub>), anotta meydana gelen elektronların (e<sup>-</sup>) bir dış devre vasıtasıyla katota gelmesi ile indirgenir ve ortaya çıkan O<sup>2-</sup> iyonları elektrolit kafesinden anota taşınır. Anotta ise yakıt yükseltgenir. Yakıt olarak H<sub>2</sub> (hidrojen gazı) kullanılması durumunda H<sub>2</sub>, 2H<sup>+</sup>'ya (hidrojen iyonu) yükseltgenir. Anota gelen oksijen iyonları hidrojen iyonları ile reaksiyona girerek elektrokimyasal reaksiyon tamamlanır. Bunun sonucunda ısı, H<sub>2</sub>O (hidrokarbon yakıtlar durumunda CO<sub>2</sub>) ve e<sup>-</sup>'ler meydana gelir [2], [9], [10]. Sonuç olarak doğru akım, anottan katota dış devre yoluyla elektron akışından üretilir.

Hidrojen beslemeli ve karbon monoksit beslemeli KOYP için anot ve katottaki elektrokimyasal reaksiyonların özeti aşağıda verilmiştir [11]. Ayrıca bir KOYP'nin çalışma mantığının şematik gösterimi Şekil 1' verilmiştir.

### H<sub>2</sub> beslemeli KOYP

### Karbon monoksit (CO) beslemeli KOYP





**Şekil 1.** Katı oksit yakıt pilinin çalışma prensibi

KOYP farklı tasarım türlerine sahiptir [12]. Fakat bunların içinde için en popüler pil tasarımı türleri tüp ve düzlemseldir [13]. Düzlemsel KOYP'ler, bipolar plakalar tarafından sağlanan piller arasındaki daha basit elektriksel bağlantının bir sonucu olarak azalan düzlem içi ohmik direnç nedeniyle tüp şeklindeki tasarımlardan daha iyi akım yoğunluğuna ve teorik performansa sahiptir. Ek olarak düzlemsel piller daha az boşlukla istiflenebildiğinden tüp şeklindeki tasarımlardan daha kompaktlardır [11], [14]. Düzlemsel bir tasarımın üretim maliyeti tüp şeklindeki bir tipten daha düşüktür [15], [16]. Bunun sebebi: Şerit döküm, film baskı, plazma püskürtme ve diğer seri üretim yöntemlerinin düzlemsel bir KOYP'nin üretimi için basitçe uygulanabilmesindedir. Bununla birlikte düzlemsel KOYP'lerde yüksek sıcaklıklarda gaz sızdırmazlığını engellemek biraz daha zordur. Bu, tüp şeklindeki katı oksit yakıt pillere (TŞ KOYP'lere) kıyasla daha büyük boşluklara sahip olmalarındandır. Doğal olarak buda daha az termal kararlılığa sahip olmalarına yol açar [11], [15]. Ayrıca kırılgeçirler ve yığınlarının çalışma sıcaklığına en kısa sürede ulaşması gereken uygulamalar için hızlı ısıtma ve soğutmaya dayanamazlar. Düzlemsel konfigürasyonlu KOYP'lere kıyasla tüp şeklindeki katı oksit yakıt pilleri, yüksek sıcaklıklarda daha kararlıdır ve başlatmada avantajlara sahiptir. Bu, kolay gaz sızdırmazlığı, üstün termal döngü, daha düşük termal stres ve daha iyi mekanik bütünlük gibi TŞ KOYP'lerin belirli özelliklerden kaynaklanmaktadır [17], [18].

Tüp şeklindeki bir tasarımda sızdırmazlık, düzlemsel bir tasarıma göre daha az sorun oluşturur çünkü sızdırmazlığı sağlamak için daha az alan (çevre) vardır. Bununla birlikte tüp şeklindeki KOYP'ler için uzun akım yolları, pillerin iç direncini artırarak pil performansında bir düşüşe neden olur [18]. Tüp şeklinde KOYP'nin (çap > 15 mm) güç yoğunluğu yaklaşık  $0,2 \text{ W cm}^{-2}$ 'dir, bu da düzlemsel KOYP'ler ile karşılaştırıldığında oldukça düşüktür [19]. Ayrıca yığında daha fazla boşluk oluşturmaları nedeniyle hacimsel güç yoğunlukları dikkate alınması gereken çok önemli teknik engellerden biridir [20]. TŞ KOYP'lerin hacimsel güç yoğunluğunu arttırmak için tüp çapının azaltılması yani mikro-tüp (MT) KOYP'lerin kullanılması, genel olarak literatürde benimsenen yaklaşımdır [21].

Bu çalışmada mikro-tüp katı oksit yakıt pilleri hakkında genel bir literatür taraması yapılarak bu pillerin çalışma mantığı, diğer KOYP'lere göre üstünlükleri ve dezavantajları, üretim yöntemleri, kullanılan malzemeler, performansı etkileyen parametreler ve termodinamiği hakkında bilgi verilmiştir.

## II. MİKRO-TÜP KATI OKSİT YAKIT PİLİ TANIMI

Tüp şeklindeki KOYP'lerin çapı, küçük bir çaptan (<5 mm) büyük bir çapa (> 15 mm) kadar değişebilir. 5 mm'den küçük tüp şeklindeki KOYP'ler mikro-tüp KOYP'ler olarak bilinir [11], [22]. MT-KOYP, ilk olarak 1990'ların başında pil çapını mikron ölçeklerine indirerek geleneksel tüp şeklindeki KOYP'nin performansını iyileştirmek amacıyla Kendall tarafından icat edildi [23]. Mikro-tüp şeklindeki KOYP; daha yüksek güç yoğunluğu, daha yüksek kütle transfer verimliliği, daha güçlü mekanik özellik ve daha düşük termal stres gibi özelliklerinden dolayı geleneksel TŞ KOYP'ler ve düzlemsel katı oksit yakıt pillerine (D-KOYP) göre büyük avantajlara sahiptir [24]. Kendall'a göre 2 mm çapındaki MT-KOYP'ler, 20 mm çapındaki TŞ KOYP'lerden yığın hacmi başına 10 kat daha fazla güç sağlayabilir [25]. MT-KOYP'ler ortalamanın üzerinde hacimsel güç çıkış yoğunluğu göstermiştir. Ayrıca geleneksel düzlemsel ve tüp şeklindeki geometrilere kıyasla daha az sızdırmazlık gerektirir [26]. MT-KOYP'ler; W'den kW'a kadar olan küçük ölçekli uygulamalarda, sabit güç üretiminde, mobil güç tesislerinde vb. gibi alanlarda kullanılır [27], [28]. Ayrıca mikro şeklindeki KOYP yığınları araçlara ve uçaklara güç sağlamak için de çok dikkat çekmektedir. Bunun sebebi: Boru şeklindeki yapı, yakıt ve havayı ayırdığından termal döngü

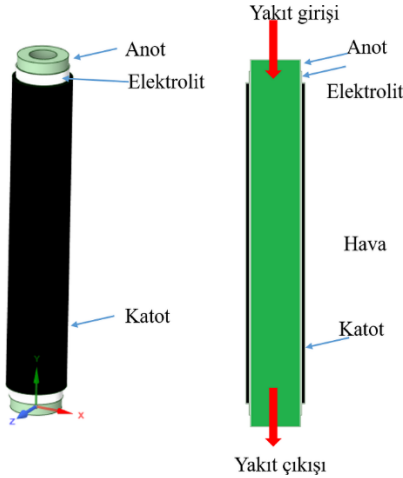
işlemi sırasında termal şoka karşı yüksek direnç oluşturur. MT-KOYP ısıtma oranı genellikle 100 °C dk<sup>-1</sup> civarındadır bu da KOYP'nin hızlı başlatılması için uygundur [29].

Düzlemsel ve mikro tüp şeklindeki KOYP'lerin ayırt edici özellikleri Tablo 1'de görülmektedir.

**Tablo 1.** D-KOYP ve MT KOYP'lerin karşılaştırılması [30]

Özellik	Mikro Tüp KOYP	Düzlemsel KOYP
Güç yoğunluğu	Orta	Yüksek
Mekanik dayanım	Yüksek	Düşük
Devreye alma (Başlatma)	Hızlı	Yavaş
Ara bağlantı	Zor/Hantal	Basit
Sızdırmazlık	Kolay	Karmaşık
Manifold	Basit	Basit
Sistem Kompaktlığı	Yüksek	Yüksek
Üretim maliyeti	Orta/Yüksek	Düşük
Yığın güç yoğunluğu	Orta	Yüksek

Mikro-tüp KOYP'lerin çalışma mantığı giriş kısmında özet olarak bahsedilen geleneksel düzlemsel ve tüp şeklinde KOYP'lerin çalışma mantığı ile aynıdır. Şekil 2 bir mikro-tüp KOYP'yi şematik olarak göstermektedir.

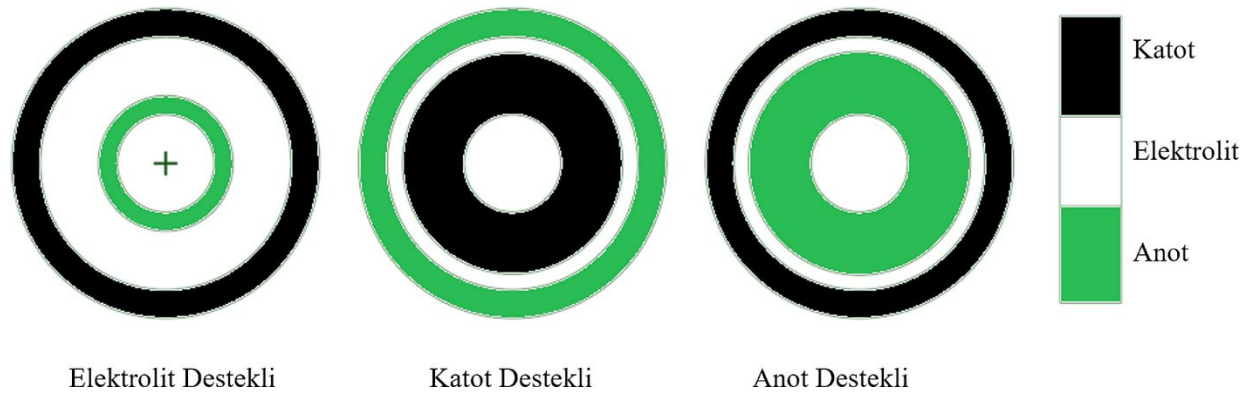


**Şekil 2.** Bir MT KOYP'nin üç boyutlu ve orta düzlemden kesit alınmış görüntüsünün şematik olarak gösterilmesi.

Birden fazla pil, tek tek piller arasında hem elektriksel kontaklar hem de gaz kanalları sağlayan ara bağlantılar aracılığıyla seri olarak birleştirilir. Elde edilen “yığınlar”, daha sonra hem sivil hem de askeri sektörlerde taşınabilir güç ve ulaşım uygulamalarından büyük ölçekli güç üretimine kadar istenen voltaj ve güç çıkışlarını sağlamak için seri ve paralel konfigürasyonlarda düzenlenir [9].

### Mikro-tüp Katı Oksit Yakıt Pili (MT KOYP) Destek Türleri

KOYP'lerin performansını ve mekanik mukavemetini artırmak için araştırmacılar, kendinden destekli konfigürasyon (anot destekli, katot destekli, elektrolit destekli) ve dış destekli konfigürasyon (gözenekli alt tabaka destekli ve ara bağlantı destekli) olarak tanımlanan farklı tipte piller üzerinde çalışmış ve üretmiştir [25], [30]. Erken tüp şeklinde KOYP'ler ve düzlemsel KOYP'ler ya katot ya da elektrolit destekliydi ancak günümüzde geliştirilmiş mekanik stabilite ile birleştiğinde daha düşük çalışma sıcaklıklarına ve ohmik polarizasyona izin veren anot desteklidir. Bir destek olarak nispeten daha iletken olan anota güvenmek; gözenekli yapı yoluyla toplu taşıma kayıplarını, yeniden oksitlenme potansiyelini ve çalışma sırasında mekanik bütünlük ve performans kaybını çevreleyen sorunları da beraberinde getirir [30]. Mekanik destek için tipik olarak bir metal veya bir inert seramik olan ara bağlantıya dayanan dış destek konfigürasyonu düzlemsel KOYP'lerde giderek daha yaygınlaşmaktadır. Tüp şeklindeki KOYP destek konfigürasyonlarının bir şeması Şekil 3'te görülmektedir. Bu konfigürasyonlar, MT KOYP geometrileri için de geçerlidir. Mikro-tüp şeklindeki KOYP'ler, elektrolit destekli veya anot destekli tasarım temelinde oluşturulur [18].



**Şekil 3.** Mikro-tüp katı oksit yakıt pilleri için farklı destek konfigürasyonları  
MT-KOYP'lerde farklı destek konfigürasyonların karşılaştırılması Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 2.** Anot, katot ve elektrolit destekli MT KOYP'lerin karşılaştırılması [31]

	<b>Katot Destekli</b>	<b>Elektrolit destekli</b>	<b>Anot Destekli</b>
Avantajları	<ul style="list-style-type: none"><li>• RedOx koşullarında iyi stabilite</li><li>• İnce anot nedeniyle düşük karbon birikimi</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Yoğun yapıları yüksek mekanik sağlamlık.</li><li>• RedOx döngüleri için iyi stabilite</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• İnce elektrolit tabakası sayesinde düşük çalışma sıcaklığı ve ohmik direnç</li><li>• Düşük ohmik direnç nedeniyle yüksek elektrik çıkışı</li><li>• Nikel (Ni) veya nikel oksit (NiO), elektrolit ve katot malzemelere göre nispeten daha ucuz olduğu için düşük malzeme maliyeti</li><li>• Kolay imal edilir</li></ul>
Dezavantajları	<ul style="list-style-type: none"><li>• Yüksek polarizasyon direnci</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kalın elektrolit tabakasından kaynaklanan yüksek ohmik kayıplar</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Gözenekli yapılar nedeniyle düşük mekanik güvenilirlik</li></ul>

### **Mikro-tüp Katı Oksit Yakıt Pillerinde Kullanılan Malzemeler**

Mikro-tüp KOYP'lerde kullanılan malzemeler geleneksel KOYP'lerde kullanılan malzemeler ile aynıdır. Bu malzemeler çalışma sıcaklığına ve ortamına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Geleneksel olarak anot, itria stabilize zirkonya (YSZ) ve nikel oksit (NiO) sermetten (genellikle ilave gözenek oluşturucular/dopantlar ile birlikte) meydana gelir. Elektrolit ve katot malzemesi

olarak sırasıyla YSZ (8-10 mol% itria) ve lantan stronsiyum manganit (LSM)/YSZ kullanılır. Nikel ve gümüş ise sırasıyla anot ve katot akım toplayıcı olarak kullanılır [2], [32].

**Elektrolit:** KOYP'ler için elektrolitler, minimum elektronik iletkenlik ile yeterli iyonik iletkenliğe sahip olmalıdır. Ayrıca yakıt ve oksitleyici gazların karışmasını önlemek için yoğun (gözeneksiz) olmalıdırlar. Dahası yükseltgenme ve indirgenme ortamında anot ve katot malzemeleri ile reaksiyona girmemelidir (stabil olmalıdır). Bununla birlikte termal genleşme katsayısı anot ve katota yakın olmalıdır. YSZ; uygun oksijen iyonu iletkenliği, diğer bileşenlere karşı reaktif olmaması ve hem indirgeyici hem de oksitleyici atmosferde iyi stabilitesi nedeniyle yüksek sıcaklıktaki KOYP sistemlerinde kullanılan en yaygın elektrolit malzemedir [25], [33]. Diğer bazı malzemeler (örneğin Bizmut (III) oksit ( $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ) ve seryum dioksit ( $\text{CeO}_2$ )), YSZ'den daha yüksek oksijen iyonu iletkenliği gösterir ancak daha az kararlıdır [34]. Gadolinyum (III) oksit ( $\text{Gd}_2\text{O}_3$ ) katkılı serya (GDC) ve Samaryum(III) oksit ( $\text{Sm}_2\text{O}_3$ ) katkılı serya (SDC) gibi serya bazlı elektrolitler, yüksek oksijen kısmi basıncında düşük sıcaklık KOYP'ler için alternatif elektrolit malzemeleri olarak kullanılır [20], [35]. Bunların dışında farklı elektrolit malzemeleri literatürde bulunmaktadır.

**Anot:** Üçlü faz sınırlarına (elektron ileten fazın, oksijen iyonu iletkeninin ve gaz fazının, gözenek, bir araya geldiği yer) gaz difüzyonu sağlamak için yeterli gözenekliliğe (> hacim % 30) sahip olmalıdır. Ayrıca iyi elektronik ve iyonik iletkenlik de sağlamalıdır. Dahası hidrokarbon bazlı yakıtlar kullanıldığında karbona karşı direnç göstermelidir. Oksitleyici atmosferde satabil olmalı ve termal genleşme katsayısı diğer pil elemanlarına yakın olmalıdır [11], [25], [34]. Ni-YSZ anotu, yüksek elektrik iletkenliği nedeniyle yüksek sıcaklıklardaki KOYP için en iyi anot olarak kabul edilmiştir. Buna ek olarak: KOYP'lerin çalışma sıcaklığına göre nikel-gadolinyum katkılı seryum (Ni-GDC), nikel- scandia stabilize zirkonya (Ni-SsSZ) vb. kompozit anotlar da kullanılabilir [11].

**Katot:** Katotun oksijen indirgemesine yönelik iyi elektro-katalitik özelliklere sahip olması gerekir. Ayrıca elektronların ara bağlantıdan reaksiyon bölgesine iyi bir şekilde taşınmasını kolaylaştırmalıdır. Bununla birlikte yeterli oksijen gaz difüzyonuna ve oksijen iyonu iletkenliğine sahip olması beklenir [20], [25], [36]. Lantan stronsiyum manganit (LSM); iyi termal genleşme katsayısı, mükemmel elektriksel iletkenliği, mükemmel kararlılığı ve yüksek çalışma sıcaklığında YSZ elektroliti ile nispeten daha az etkileşimi nedeniyle en çok çalışılan ve kullanılan elektron iletken katot malzemesidir. Fakat bu katot malzemesi düşük iyonik iletkenliğe sahiptir. LSM-YSZ sermet katot malzemesi olarak kullanılarak bu negatif özellik bir miktar iyileştirilebilir. Düşük



sıcaklıklardaki KOYP'ler için lantan ferrit perovskit (La–Sr–Co–Fe–O) (LSCF) katot malzemesi, geleneksel LSM katodundan daha iyi katalitik aktiviteye ve ayrıca elektronik ve iyonik iletkenliğe sahip olması nedeniyle tercih edilmektedir [11], [25], [37].

Tablo 3'te farklı malzemelerden yapılmış bazı MT-KOYP'lerin yakıt olarak H<sub>2</sub> gazı kullanılması sonucu elde edilen güç yoğunlukları, çalışma süresi ve toplam bozulma yüzdeleri görülmektedir. Daha fazla örnek için referans 37'ye bakabilirsiniz.

**Tablo 3.** Yakıt olarak H<sub>2</sub> kullanıldığında farklı malzemelerden yapılan MT-KOYP'lerin performansları ve uzun vadeli çalışma kararlılıkları [37].

Pil Bileşimi	İç Çap/Uzunluk (mm)	Elektroli t Kalınlığı (mm)	Makimum Güç (mWm <sup>-2</sup> )(Sıcaklık)	Çalışma Süresi (Saat)/Toplam Bozulma
Ni-YSZ/YSZ/SDC/LSCF	5.5/95	17	250 (735 °C)	1000/25%
NiO-GDC10/GDC10/LSCF-GDC10	3/40	20	595 (600 °C)	-
Ni-SZ/YSZ/SDC/LSCF	6/95	15	360 (700 °C)	1000/8%
NiO-GDC10/GDC10/LSCF	1.8/10	5	570 (550 °C)	-
Ni-YSZ/YSZ/GDC10/LSCF-GDC10/LSCF	2.93/50	20	695 (800 °C)	260/görünür bozulma yok
Ni-ScSZ/ScSZ/GDC10/BCFN	1/9	10	720 (650 °C)	213/önemli bir bozulma yok
LSM/YSZ/NiO-YSZ/CuO–CeO <sub>2</sub> -YSZ.	0.9/10	28	163 (800 °C)	60/kararlı

### Mikro-tüp Katı Oksit Yakıt Pili için Temel Gereksinimler

Bir MT KOYP belirtilen güç üretim cihazlarının çalışma gereksinimlerini karşılaması için uygun elektrokimyasal ve elektriksel performansa, ideal termal yönetime ve istenen mekanik bütünlüğe

sahip olması gerekir [14], [25]. Ayrıca üretim maliyeti düşük ve uzun vadeli çalışma kararlılığına sahip olmalıdır [25].

### **Üretim Yöntemleri**

Pil üretimi için uygun bir teknik, yüksek elektrokimyasal performans ve mükemmel uzun vadeli çalışma kararlılığı elde etmenin anahtarıdır [37]. Boru biçimli bir destek imal etmek için izostatik presleme, toz presleme ve macun ekstrüzyon gibi çeşitli yöntemler kullanılabilir. İzostatik presleme, yüksek ve iyi dağıtılmış bir ürün oluşturan basınç sunar ancak çıkış hızı oldukça düşüktür. Toz presleme yüksek oranda tekrarlanabilir olmasına rağmen ürün yoğunluğu tek tip değildir. Macun ekstrüzyonu sırasında yapışkan plastik malzeme, esas olarak yüksek hızlı KOYP desteği üretimi için uygun bir şekil oluşturmak üzere sert bir kalıbın ağzından zorlanır [38]. Bu en çok kullanılan yöntemlerden bir tanesidir.

Klasik ekstrüzyon yöntemi; seramik tozu, polimer bağlayıcı ve gözenek oluşturucu maddenin bir macun oluşturmak üzere homojenleştirildiği ve daha sonra ekstrüder aparatı ile mikro boru şeklindeki desteğe ekstrüde edildiği bir işlemdir. Bu işlemde yeterli mekanik mukavemet elde etmek için mikro borunun kurutulması ve yüksek sıcaklıklarda sinterlenmesi gerekir. Daha sonra pilin geri kalan bileşenlerinin daldırma kaplama, elektrokimyasal biriktirme, vb. gibi ince film üretim teknolojileri ile destek üzerinde biriktirilmesi gerekir. Klasik ekstrüzyon yöntemi süreç değişkenlerinin kolay kontrolü, basit cihaz ve operasyon gibi avantajlara sahiptir. Bu yöntem üretkenliği sağlarken mikro boru boyutu ve düzgün yoğunluk dağılımının hassasiyetini garanti edebilir [37].

Pil desteğini imal etmek için son zamanlarda kullanılan bir başka yaygın teknik, kuru jet ıslak ekstrüzyondur. Kuru jetli ıslak ekstrüzyon, ram ekstrüzyon tekniğine benzer. Ana fark: Kuru jet ıslak ekstrüzyon için eğirme süspansiyonunun sıvı formda iken ram ekstrüzyonu macun veya plastik kütle formunda olmasıdır. Kuru jetli ıslak ekstrüzyonda içi boş elyafın katılaşması, tüpün ekstrüzyondan hemen sonra kurutulduğu ram ekstrüzyon işlemine kıyasla çözücü-çözücü olmayan değişimi tarafından başlatılan faz tersine çevirme işlemi yoluyla gerçekleşir [38]. Bu teknik ile tek katmanlı ekstrüzyon veya çok katmanlı ekstrüzyon yapılabilir.

Ayrıca jel döküm ve daldırma kaplama vb. üretim teknikleri MT-KOYP'lerin üretilmesinde kullanılabilecek diğer üretim yöntemleridir [18], [37].

## **Karşılaşılan Problemler**

Geleneksel KOYP'lerin sahip olduğu birçok problem bu yakıt pili türünde de mevcuttur. Örneğin: KOYP'lerin ticarileşmesini engelleyen çalışma sıcaklığı, üretim ve malzeme maliyetleri gibi birçok faktör vardır [4]. Ek olarak malzeme bozulması pillerde çözülmesi gereken birincil sorunlardan biridir. Örnek vermek gerekirse: Pillerdeki her bileşen arasındaki kimyasal uyumsuzluk, malzeme yapısındaki kimyasal değişiklikler, her bileşendeki metal ve seramik atomlarının kabalaşması ve/veya ayrışması [14], [39], [40]. Ayrıca hidrokarbon bazlı yakıtlar kullanıldığında KOYP'lerde karbon birikimi ve kükürt zehirlenmesi ciddi sorun oluşturur. Özellikle Ni bazlı anot, hidrokarbon bazlı yakıtlar kullanıldığında kok oluşumuna karşı yüksek bir eğilime sahiptir [6]. Yüksek çalışma sıcaklığı pil performansını genel olarak artırırken termal ve kimyasal kararsızlık, pil yüksek başlatma ve kapatma zamanı, mekanik gerilmeler vb. problemlere yol açmaktadır. Bu da KOYP için malzeme seçimini sınırlamaktadır [41]–[43]. Ek olarak MT-KOYP'lerde küçük çap nedeniyle üretilen elektrik akımının toplanmasındaki zorluklar, önemli problemlerden biridir [44], [45]. Bir diğeri çıkış gücünü sınırlayacak olan ince mikro tüp şeklindeki yapı nedeniyle pilin mekanik gücünün bozulmasıdır. Öte yandan mikro ölçekli olması nedeniyle pillerin üretilmesi ve birleştirilmesi zor bir iştir. MT-KOYP'nin kısa ömrünün ana nedenlerinden biri de uzun süreli bir etki sırasında pili çatlatarak ve pile zarar verecek olan iç strestir [24].

## **Mikro-tüp Katı Oksit Yakıt Pili İstenen Bazı Önemli Parametreler**

**Gözeneklilik:** MT-KOYP'nin güç yoğunluğu elektrot gözenekliliğine oldukça bağlıdır. Eğer anot ve katot elektrotun gözenekliliği yüksek ise gazların reaksiyon bölgesine ulaşması hızlı olur bu da konsantrasyon kayıplarının daha düşük olması ile sonuçlanır. Gözeneklilik ve/veya gözenek boyutlarının küçük olması durumunda ise konsantrasyon kayıpları artar. Elektrotlardaki gözenek yapısı ince olduğu durumda yani gözenek büyüklüğü küçük olduğu durumda aynı zamanda aktif reaksiyon bölgelerinin sayısı artar (aktivasyon kayıpları azalır) bu da pil performansını pozitif yönde etkiler. Bu yüzden elektrotların gözeneklerinin boyutu, hacmi ve dağılımının optimize edilmesi pil performansı için önemli parametrelerdendir. Elektrotlar gözenek bakımından optimum bir şekilde tasarlanabilmesi için fonksiyonel ve destek katmanları olarak iki bölüm şeklinde üretilir. Örneğin: Anot fonksiyonel katmanı (10-50 µm kalınlığında); gözenek boyutu,

mevcut gözeneklilik hacmi ve gözenek dağılımı açısından anot destek katmanından (dış katman, yaklaşık 1 mm) daha ince bir mikro yapıya sahiptir [11], [46], [47].

**Akım Toplama:** Bu da pil performansını etkileyen önemli parametrelerden biridir. Akım toplama için kullanılan malzemeler iyi seçilmelidir. Bu malzemeler korozyona karşı dirençli olmalı ve elektronların akışı en az direnç ile sağlamalıdır [48], [49]. Metal bazlı akım toplayıcılar genelde yüzeylerde korozyona uğrar (özellikle katot ortamında) bu durum pil performansını negatif yönde önemli ölçüde etkiler. Bunu önlemek için yüzeylerde çeşitli kaplama vb. işlemler yapılır. Ayrıca bu malzemelerin ekonomik olarak uygun olması gerekir [11].

**Yakıt Kullanımı:** Pil performansının yüksek olabilmesi için gönderilen yakıtın verimli bir şekilde elektrokimyasal reaksiyona girmesi gerekir. Parazitik reaksiyonlar (örneğin: yakıtın anottan oksijene veya oksijenin katottan anoda geçmesi sonucu kimyasal bir reaksiyon meydana gelir) yakıtın verimli bir şekilde kullanımını düşürecektir. Ayrıca yakıt hava oranı, en iyi performansı verecek şekilde optimize edilmelidir [25], [50], [51].

**Kararlılık, Uyumluluk ve Dayanıklılık:** KOYP'lerin yüksek çalışma sıcaklıkları, redoks döngü, termal döngü ve zehirli atmosfer gibi zorlu çalışma koşulları göz önüne alındığında bileşenleri için çeşitli özelliklere ihtiyaç duyarlar. Bunlar: kabul edilebilir stabilite (kimyasal, termal, morfolojik ve mekanik), diğer bileşenlerle iyi uyumluluk (kimyasal, termal ve mekanik olarak) ve dayanıklıdır [52]. KOYP ile çalışan sistem, bir bütün olarak makul olmayan performans düşüşü veya bileşen arızaları olmadan yıllarca sürekli çalışmaya dayanmalıdır [53]. Sabit uygulamalara yönelik KOYP sistemleri, piyasaya lansman için 40.000–80.000 saat hizmet talep etmektedir [54].

**Sızdırmazlık:** KOYP'lerin anot ve katot odalarında yakıt ve hava karışımını önlemek için bu bölmeler arasında sızdırmazlığın sıkı bir şekilde yapılması gerekir. Bu durum, pil voltajının düşmesine neden olan ve güç üretimini azaltan doğrudan kimyasal yanmayı önlemek için gereklidir [42]. Sızdırmazlık malzemesinden beklenen özellikler şöyle sıralanabilir: diğer pil bileşenleri ile benzer termal genleşme katsayısı, termal döngü ve termal şoka karşı yeterince güçlü olması, bitişik KOYB bileşenleri ile kimyasal uyumluluk, oksitleme ve indirgeme koşullar altında kimyasal kararlılık vb [42], [55].

**Akış Hızı:** Yakıt akış hızı, pilin düşük voltajdaki performansı üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Artan yakıt akışı sürecinde akım kademeli olarak artar ve ardından kademeli olarak sabit bir değere ulaşır. Anot kalınlığı, iç çap ve akış hızının tümü konsantrasyon polarizasyonunu etkiler. Konsantrasyon polarizasyonunun en aza indirilmesi pil performansının iyileştirilmesine yardımcı

olacaktır. Daha uzun katot uzunluğu ve daha küçük anot iç çapı durumunda anot tüpünün kalınlığını artırmak, kaybı azaltmanın etkili bir yoludur. Tüp şeklindeki KOYP için yakıt akış hızı ve yakıt kullanım oranı, pil performansını doğrudan etkiler. Yüksek yakıt kullanım oranı, pil performansını düşürecek ve bu da yığının maliyetinde keskin bir artışa neden olacaktır. Bu nedenle KOYP yakıt akışının KOYP performansı üzerindeki etkisini incelemek büyük önem taşımaktadır [56].

### Pil Verimi ve Açık Devre Gerilimi (OCV)

Genel olarak her yakıt molekülü için z elektronunun transfer edildiği bir reaksiyon da tersinir OCV aşağıdaki denklem ile hesaplanır:

$$E = - \frac{\Delta g_f}{zF} \quad (6)$$

$$\Delta g_f = g_{f,\text{ürünler}} - g_{f,\text{reaktantlar}} \quad (7)$$

Burada  $\Delta g_f$  : mol başına Gibbs serbest oluşum enerjisindeki değişim ( $\text{kJ mol}^{-1}$ ), F: faraday sabiti ( $\text{C mol}^{-1}$ ),  $g_{f,\text{ürünler}}$  ve  $g_{f,\text{reaktantlar}}$ : sırasıyla ürünlerin ve reaktantların mol başına Gibbs serbest oluşum ( $\text{kJ mol}^{-1}$ ) enerjisidir.

Ancak  $\Delta g_f$  sıcaklık ve diğer faktörlerle değişir. Maksimum verim ifadesi aşağıdaki ifade ile verilir:

$$\eta_{mak} = - \frac{\Delta g_f}{\Delta h_f} \times 100 \quad (8)$$

Burada  $\Delta h_f$ : molar oluşum entalpisindeki değişimdir ( $\text{kJ mol}^{-1}$ ).

Bir yakıt pilinin çalışma voltajı verimliliği ile çok kolay bir şekilde ilişkilendirilebilir. Bir hidrojen katı oksit yakıt pili için pil verimi daha yüksek ısıtma değeri (HHV) kullanıldığında:

$$\text{Pil verimi, } \eta = \mu_f \frac{V_c}{1.48} \times 100 \quad (9)$$

$\mu_f$ : yakıt kullanım katsayısı olup pilde reaksiyona giren yakıt kütlelerinin pile giren yakıt kütlelerine oranı ile elde edilir.  $V_c$  ise pil çalışma voltajıdır (volt).

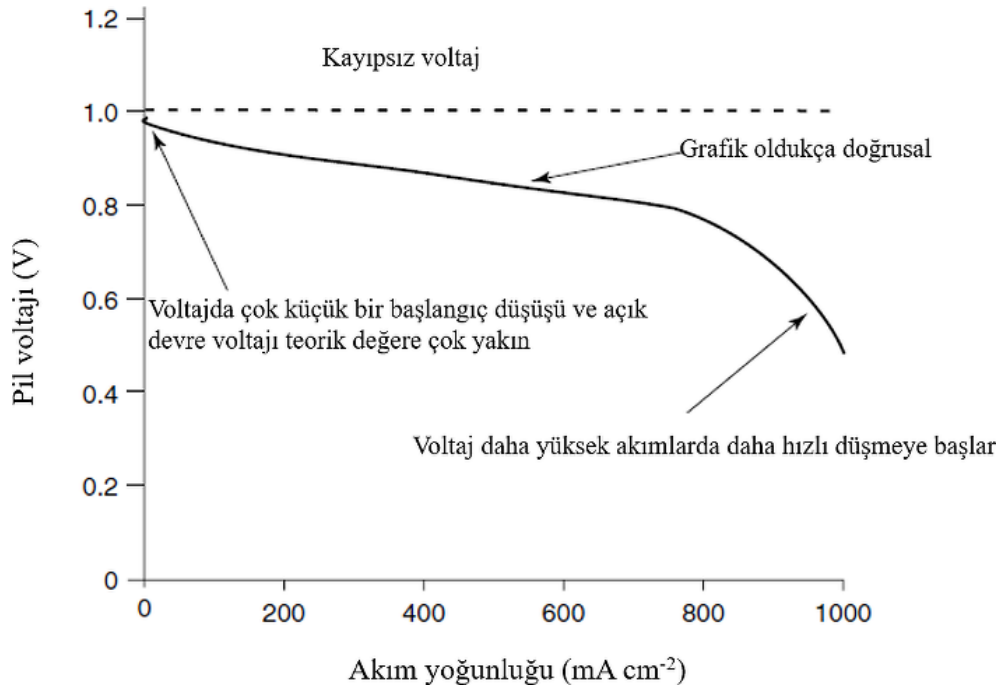
Reaktanların basıncı ve konsantrasyonu Gibbs serbest enerjisini ve dolayısıyla voltajı etkiler. Bu, birçok biçimde verilebilen Nernst denkleminde ifade edilir. Örneğin: Tepkenlerin ve ürünlerin basınçları bar olarak verilmişse ve su ürünü buhar şeklinde ise o zaman bir hidrojen yakıt pili için voltaj aşağıdaki denklem ile hesaplanır:

$$E = E^o + \frac{RT}{2F} \ln\left(\frac{P_{H_2}P_{O_2}^{1/2}}{P_{H_2O}}\right) \quad (10)$$

Burada  $E^o$ : standart şartlardaki tersinir voltajdır (V),  $P_{H_2}$ ,  $P_{O_2}^{1/2}$  ve  $P_{H_2O}$  ise hidrojen, oksijen ve su buharının kısmi basınçlarıdır (bar) [25], [36], [57].

### Operasyonel Yakıt Pili Voltajı

Bir hidrojen yakıt pilinin açık devre voltajının (OCV) teorik değeri denklem 4'ten hesaplanabilir. Bununla birlikte bir yakıt pili yapıldığında ve kullanıma sunulduğunda voltajın bundan daha az olduğu, çoğu zaman önemli ölçüde daha az olduğu bulunur. Şekil 4 bir KOYP'nin voltaj kayıplarını göstermektedir. Akım yoğunluğuna karşı pil voltajının bu grafiği hakkında dikkat edilmesi gereken önemli noktalar şöyle sıralanabilir: (1) Açık devre voltajı teorik değere eşit veya sadece biraz daha azdır, (2) Voltajdaki ilk düşüş çok küçüktür, (3) Voltaj daha sonra daha yavaş ve daha doğrusal olarak düşer, (4) Yüksek akımlarda voltaj hızla düşer. Bu voltajdaki düşüş pilde meydana gelen aktivasyon, ohmik ve konsantrasyon kayıpları ile birlikte yakıt geçişleri ve iç akımlardan kaynaklanır.



**Şekil 4.** Yaklaşık 800°C'de çalışan tipik bir hava basıncı kat oksit yakıt pilinin voltajını gösteren grafik [57].

**Aktivasyon Kayıpları:** Bunlar, elektrotların yüzeyinde meydana gelen reaksiyonların yavaşlığından kaynaklanır. Bu kayıplar aşağıdaki Tafel denklemiyle hesaplanabilir:

$$\Delta V_{act} = A \ln\left(\frac{i}{i_0}\right) \quad (11)$$

$$A = \frac{RT}{2\alpha F} \quad (12)$$

Burada  $i$ : çalışma akım yoğunluğu ( $A \text{ cm}^{-2}$ ),  $i_0$ : değişim akım yoğunluğu,  $T$ : sıcaklık (K) ve  $\alpha$ : yük transfer katsayısıdır. Tafel denklemi sadece  $i > i_0$  olduğunda geçerlidir.  $A$  sabiti, yavaş olan bir elektrokimyasal reaksiyon için daha yüksektir. Reaksiyon daha hızlıysa sabit  $i_0$  daha yüksektir.

**Yakıt Geçişleri ve İç Akımlar:** Her ne kadar elektrolitin elektrik akımı iletmediği kabul edilse de bu pil elemanı az miktarda da olsa elektrik akımını yapısındaki kusurlardan dolayı üzerinden geçirir. Bu iç akım olarak tanımlanır. Ayrıca az miktarda yakıt anottan katoda elektrolit boyunca hareket edebilir. Buna ise yakıt geçişi adı verilir. Her iki durumda da pil performansı azalır. Yakıt geçişleri ve iç akım kayıplarını hesaplayan denklem referans [57]'den bulunabilir.

**Ohmik Kayıplar:** Elektrotların elektrik direncinden ve elektrolitin iyonların akışına karşı gösterdiği dirençten kaynaklanan kayıplar, anlaşılması ve modellenmesi en basit olanlardır. Gerilim düşüşünün boyutu basitçe akımla orantılıdır ve aşağıdaki denklemden elde edilebilir:

$$\Delta V_{ohm} = ir \quad (13)$$

$i$ : daha önceden belirttiğimiz gibi çalışma akım yoğunluğu ( $A \text{ cm}^{-2}$ ) ve  $r$ : alana özgü direnç ( $\Omega \text{ cm}^2$ )'dir.

**Konsantrasyon Kayıpları:** Bu kayıplar genellikle oksijen gazının katotta ve yakıtın anotta reaksiyon bölgelerine giderken karşılaştığı zorluklardır. Bu kayıplar genellikle gaz basınçlarının düşük veya yeterli olmamasından kaynaklanır. Ayrıca iyi tasarlanmamış gözenekli elektrot yapıları gazların istenen bir hızda reaksiyon bölgesine gitmesini zorlaştıracaktır. Bu durum konsantrasyon kayıplarının artması ile sonuçlanır. İlaveten yüksek akımlarda reaksiyon hızlı olacağından reaksiyon bölgelerinde (üçlü faz bölgeleri) gazların tüketim hızı artacaktır. Bu durumda reaksiyon bölgelerindeki gazlar yeteri bir hızda yenilenmediğinden konsantrasyon kayıpları ayrıca önemli bir miktarda artacaktır. Yüksek akım durumunda pildeki konsantrasyon kayıplarının arttığı açıkça Şekil 4'te görülmektedir.

Konsantrasyon kayıpları deneysel yollarla elde edilen aşağıdaki formülle elde edilebilir:

$$\Delta V_{kons} = m \exp((ni)) \quad (14)$$

m değeri tipik olarak yaklaşık  $3 \times 10^{-5}$  V ve n yaklaşık  $8 \times 10^{-3}$  cm<sup>2</sup> mA<sup>-1</sup> olacaktır.

Sonuç olarak: Pildeki tüm kayıplar göz önünde bulundurulduğunda pil voltajı aşağıdaki denklem ile elde edilir:

$$V = E - \Delta V_{ohm} - \Delta V_{act} - \Delta V_{kons} \quad (15)$$

$$V = E - ir - A \ln \left( \frac{i+i_n}{i_o} \right) - m \exp((ni))$$

E: denklem 6'da verilen tersinir OCV,  $i_n$ : iç akımlar ve yakıt geçişi eşdeğer akım yoğunluğudur (A cm<sup>-2</sup>).

### **Pilde Tüketilen Yakıt ve Hava Miktarının Hesaplanması**

Bir hidrojen katı oksit yakıt pili katotunda tamamen O<sub>2</sub> gazı kullanılması durumunda oksijen kullanım miktarı:

$$O_{2,kullanımı} = 8.29 \times 10^{-8} \frac{P_e}{V_c} \text{ (kg s}^{-1}\text{)} \quad (16)$$

Hava kullanılması durumunda hava kullanım miktarı:

$$\text{Hava kullanım} = 3.57 \times 10^{-7} \frac{P_e}{V_c} \text{ (kg s}^{-1}\text{)} \quad (17)$$

Anotta H<sub>2</sub> kullanım miktarı ise aşağıdaki denklemden elde edilir:

$$H_{2, usage} = 1.05 \times 10^{-8} \times \frac{P_e}{V_c} \text{ (kg s}^{-1}\text{)} \quad (18)$$

Burada  $P_e$ : pilin ürettiği güçtür (W).

### **III. SONUÇ**

Bu çalışmada mikro-tüp katı oksit yakıt pili hakkında genel bilgiler verilmiştir. Çalışma; MT KOYP çalışma mantığı, diğer KOYP'lere göre avantaj ve dezavantajları, kullanılan malzemeler, üretim yöntemleri, istenen özellikler ve termodinamiği hakkındadır. MT KOYP'yi diğer geleneksel tüp şeklindeki KOYP'lerden ayıran en önemli özelliklerden bir tanesi, yığın hacim başına daha fazla güç yoğunluğu elde edilmesidir. Ayrıca mikro-tüp yapısından dolayı daha güçlü mekanik özelliklere sahiptir. İlaveten sızdırmazlık bu pillerde daha az problemdir. Bunun tersine akım toplama ve pil üretim geleneksel KOYP'ler ile kıyaslanınca daha zordur.



## Kaynaklar

- [1] A. B. Awan and Z. A. Khan, "Recent progress in renewable energy - Remedy of energy crisis in Pakistan," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 33, pp. 236–253, 2014.
- [2] G. Chasta, Himanshu, and M. S. Dhaka, "A review on materials, advantages, and challenges in thin film based solid oxide fuel cells," *International Journal of Energy Research*, vol. 46, no. 11, pp. 14627–14658, 2022.
- [3] L. Fan, C. Wang, M. Chen, and B. Zhu, "Recent development of ceria-based (nano)composite materials for low temperature ceramic fuel cells and electrolyte-free fuel cells," *Journal of Power Sources*, vol. 234, pp. 154–174, 2013.
- [4] Z. Feng et al., "3D printed Sm-doped ceria composite electrolyte membrane for low temperature solid oxide fuel cells," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 44, no. 26, pp. 13843–13851, 2019.
- [5] T. Li, Z. Wu, and K. Li, "A dual-structured anode/Ni-mesh current collector hollow fibre for micro-tubular solid oxide fuel cells (SOFCs)," *Journal of Power Sources*, vol. 251, pp. 145–151, 2014.
- [6] M. F. Rabuni, T. Li, P. Punmeechao, and K. Li, "Electrode design for direct-methane micro-tubular solid oxide fuel cell (MT-SOFC)," *Journal of Power Sources*, vol. 384, no. March, pp. 287–294, 2018.
- [7] S.-H. Pi et al., "Performance and durability of anode-supported flat-tubular solid oxide fuel cells with ag-infiltrated cathodes," *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, vol. 14, no. 10, pp. 7668–7673, 2014.
- [8] H. Su and Y. H. Hu, "Progress in low-temperature solid oxide fuel cells with hydrocarbon fuels," *Chemical Engineering Journal*, vol. 402, no. June, p. 126235, 2020.
- [9] E. D. Wachsman and K. T. Lee, "Lowering the temperature of solid oxide fuel cells," *Science*, vol. 334, no. 6058, pp. 935–939, 2011.
- [10] N. Mahato, A. Banerjee, A. Gupta, S. Omar, and K. Balani, "Progress in material selection for solid oxide fuel cell technology: A review," *Progress in Materials Science*, vol. 72, pp. 141–337, 2015.
- [11] Y. Sayan, "Investigation of single step sintering and performance of planar and wavy single chamber solid oxide fuel" A doctoral thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for

the award of Doctor of Philosophy of Loughborough University, December, 2018.

- [12] N. A. Baharuddin, A. Muchtar, A. B. Sulong, and H. Abdullah, "Fabrication methods for planar solid oxide fuel cells," *Advanced Materials Research*, vol. 662, pp. 396–401, 2013.
- [13] N.-Q. Duan, D. Yan, B. Chi, J. Pu, and L. Jian, "High performance anode-supported tubular solid oxide fuel cells fabricated by a novel slurry-casting method.," *Scientific reports*, vol. 5, p. 8174, 2015.
- [14] T. S. Zhao and M. Ni, *Solid oxide fuel cell: From materials to system modelling*, The Royal. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 2013.
- [15] S. M. Jamil, M. H. D. Othman, M. A. Rahman, J. Jaafar, A. F. Ismail, and K. Li, "Recent fabrication techniques for micro-tubular solid oxide fuel cell support: A review," *Journal of the European Ceramic Society*, vol. 35, no. 1, pp. 1–22, 2015.
- [16] D.-W. Kim et al., "Fabrication and operating characteristics of a flat tubular segmented-in-series solid oxide fuel cell unit bundle," *Energy*, vol. 72, pp. 215–221, 2014.
- [17] V. Lawlor, S. Griesser, G. Buchinger, a. G. Olabi, S. Cordiner, and D. Meissner, "Review of the micro-tubular solid oxide fuel cell. Part I. Stack design issues and research activities," *Journal of Power Sources*, vol. 193, no. 2, pp. 387–399, 2009.
- [18] S. F. Wang, Y. F. Hsu, P. Hsia, W. K. Hung, and P. Jasinski, "Design and characterization of apatite  $\text{La}_{9.8}\text{Si}_{5.7}\text{Mg}_{0.3}\text{O}_{26\pm\delta}$ -based micro-tubular solid oxide fuel cells," *Journal of Power Sources*, vol. 460, no. March, p. 228072, 2020.
- [19] Z. Zeng, Y. Qian, Y. Zhang, C. Hao, D. Dan, and W. Zhuge, "A review of heat transfer and thermal management methods for temperature gradient reduction in solid oxide fuel cell (SOFC) stacks," *Applied Energy*, vol. 280, no. September, p. 115899, 2020.
- [20] C. Zuo, M. Liu, and M. Liu, "Solid oxide fuel cells," in *Sol-sel processing for Conventional and alternative energy*, Atlanta: Georgia Institute of Technology, 2012, pp. 7–36.
- [21] T. Suzuki, Y. Funahashi, T. Yamaguchi, Y. Fujishiro, and M. Awano, "Fabrication and characterazation of light-weighted micro tubular SOFCs," *The electrochemical Society*, vol. 11, no. 33, pp. 107–112, 2008.
- [22] Y. Zhang, "Fabrication and characterisation of planar and tubular solid oxide fuel cell anodes," *Edinburgh Napier University*, Edinburgh, 2013.
- [23] L. P. Sun, M. Rieu, J. P. Viricelle, C. Pijolat, and H. Zhao, "Fabrication and characterization of anode-supported single chamber solid oxide fuel cell based on

La<sub>0.6</sub>Sr<sub>0.4</sub>Co<sub>0.2</sub>Fe<sub>0.8</sub>O<sub>3-δ</sub>-Ce<sub>0.9</sub>Gd<sub>0.1</sub>O<sub>1.95</sub> composite cathode,” *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 39, no. 2, pp. 1014–1022, 2014.

[24] W. Kong, W. Zhang, S. Zhang, Q. Zhang, and S. Su, “Residual stress analysis of a micro-tubular solid oxide fuel cell,” *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 41, no. 36, pp. 16173–16180, 2016.

[25] S. C. Singhal and K. Kendall, *High temperature solid oxide fuel cells: Fundamentals, design and applications*. Oxford: Elsevier Advanced Technology, 2003.

[26] C. Chen et al., “Electrochemical properties of micro-tubular intermediate temperature solid oxide fuel cell with novel asymmetric structure based on BaZr<sub>0.1</sub>Ce<sub>0.7</sub>Y<sub>0.1</sub>Yb<sub>0.1</sub>O<sub>3-Δ</sub> proton conducting electrolyte,” *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 44, no. 31, pp. 16887–16897, 2019.

[27] V. Lawlor et al., “Experimental and numerical study of various MT-SOFC flow manifold techniques: Single MT-SOFC Analysis,” *Journal of Fuel Cell Science and Technology*, vol. 10, no. 1, p. 11003, 2013.

[28] V. Lawlor, “Review of the micro-tubular solid oxide fuel cell (Part II: Cell design issues and research activities),” *Journal of Power Sources*, vol. 240, pp. 421–441, 2013.

[29] B. Zhao et al., “A study of mass transfer characteristics of secondary flows in a tubular solid oxide fuel cell for power density improvement,” *International Journal of Energy Research*, no. May, pp. 18426–18444, 2022.

[30] O. Hodjati-Pugh, A. Dhir, and R. Steinberger-Wilckens, “The development of current collection in micro-tubular solid oxide fuel cells—a review,” *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 11, no. 3, pp. 1–27, 2021.

[31] S. M. Jamil et al., “Structure formation in anode and its effect on the performance of micro-tubular SOFC: A brief review,” *Journal of Membrane Science and Research*, vol. 5, no. 3, pp. 197–204, 2019.

[32] K. S. Howe, G. J. Thompson, and K. Kendall, “Micro-tubular solid oxide fuel cells and stacks,” *Journal of Power Sources*, vol. 196, no. 4, pp. 1677–1686, 2011.

[33] J. W. Fergus, R. Hui, X. Li, D. P. Wilkinson, and J. Zhang, *Solid oxide fuel cells: Material properties and performance*. Taylor&Francis Group, 2009.

[34] G. Li, Y. Gou, J. Qiao, W. Sun, Z. Wang, and K. Sun, “Recent progress of tubular solid oxide fuel cell: From materials to applications,” *Journal of Power Sources*, vol. 477, no. June, p.

228693, 2020.

[35] Y.-G. Choi et al., “Ceria-based electrolyte reinforced by sol–gel technique for intermediate-temperature solid oxide fuel cells,” *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 38, no. 23, pp. 9867–9872, 2013.

[36] I. EG&G Technical Services, “Fuel Cell Handbook,” Morgantown, 2004.

[37] X. Zhang, Y. Jin, D. Li, and Y. Xiong, “A review on recent advances in micro-tubular solid oxide fuel cells,” *Journal of Power Sources*, vol. 506, no. June, p. 230135, 2021.

[38] S. M. Jamil, M. H. D. Othman, M. A. Rahman, J. Jaafar, A. F. Ismail, and K. Li, “Recent fabrication techniques for micro-tubular solid oxide fuel cell support: A review,” *Journal of the European Ceramic Society*, vol. 35, no. 1, pp. 1–22, 2015.

[39] S. Elangovan and P. Singh, “Materials and system issues with reversible SOFC,” CERAMATEC. CERAMATEC, Utah, pp. 1–46, 2011.

[40] A. Nakajo, F. Mueller, J. Brouwer, J. Van Herle, and D. Favrat, “Mechanical reliability and durability of SOFC stacks. Part II: Modelling of mechanical failures during ageing and cycling,” *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 37, no. 11, pp. 9269–9286, 2012.

[41] M. Kuhn and T. W. Napporn, “Single-chamber solid oxide fuel cell technology-from its origins to today’s state of the art,” *Energies*, vol. 3, no. 1, pp. 57–134, 2010.

[42] B. Zhu, “Solid oxide fuel cell (SOFC) technical challenges and solutions from nano-aspects,” *International journal of energy research*, vol. 33, no. 13, pp. 1126–1137, 2009.

[43] Q. Zhu, L. Peng, and T. Zhang, “Stable glass seals for intermediate temperature (IT) SOFC applications,” in *Fuel Cell Electronics Packaging*, K. Kaung and K. Easler, Eds. Springer, 2007, pp. 33–60.

[44] I. Sreedhar, B. Agarwal, P. Goyal, and S. A. Singh, “Recent advances in material and performance aspects of solid oxide fuel cells,” *Journal of Electroanalytical Chemistry*, vol. 848, p. 113315, 2019.

[45] S. Kumaran, Z. Awang Mat, Z. Zakaria, S. Hasmady, and A. Hassan, “A review on solid oxide fuel cell stack designs for intermediate temperatures,” *Jurnal Kejuruteraan*, vol. 32, no. 1, pp. 149–158, 2020.

[46] A. Sarikaya, V. Petrovsky, and F. Dogan, “Effect of the anode microstructure on the enhanced performance of solid oxide fuel cells,” *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 37, no. 15, pp. 11370–11377, 2012.

- [47] J. Myung, T. ho Shin, S.-D. Kim, H.-G. Park, J. Moon, and S.-H. Hyun, "Optimization of Ni-zirconia based anode support for robust and high-performance  $5 \times 5 \text{ cm}^2$  sized SOFC via tape-casting/co-firing technique and nano-structured anode," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 40, no. 6, pp. 2792–2799, 2015.
- [48] H. Zhu and R. J. Kee, "The influence of current collection on the performance of tubular anode-supported SOFC cells," *Journal of Power Sources*, vol. 169, no. 2, pp. 315–326, 2007.
- [49] O. Hodjati-Pugh, A. Dhir, and R. Steinberger-Wilckens, "Internal current collection and thermofluidynamic enhancement in a microtubular SOFC," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 173, p. 121255, 2021.
- [50] H. Zhu and R. J. Kee, "Thermodynamics of SOFC efficiency and fuel utilization as functions of fuel mixtures and operating conditions," *Journal of Power Sources*, vol. 161, no. 2, pp. 957–964, 2006.
- [51] Q. Fang, L. Blum, R. Peters, M. Peksen, P. Batfalsky, and D. Stolten, "SOFC stack performance under high fuel utilization," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 40, no. 2, pp. 1128–1136, 2015.
- [52] S. Zarabi Golkhatmi, M. I. Asghar, and P. D. Lund, "A review on solid oxide fuel cell durability: Latest progress, mechanisms, and study tools," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 161, no. February, p. 112339, 2022.
- [53] M. Halinen, J. Saarinen, M. Noponen, I. C. Vinke, and J. Kiviaho, "Experimental analysis on performance and durability of SOFC demonstration unit," *Fuel Cells*, vol. 10, no. 3, pp. 440–452, 2010.
- [54] L. Blum et al., "Long-term operation of solid oxide fuel cells and preliminary findings on accelerated testing," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 45, no. 15, pp. 8955–8964, 2020.
- [55] S. Ghosh, A. Das Sharma, P. Kundu, and R. N. Basu, "Glass-based sealants for application in planar solid oxide fuel cell stack," *Transactions of the Indian Ceramic Society*, vol. 67, no. 4, pp. 161–182, 2008.
- [56] D. Cui, Y. Ji, C. Chang, Z. Wang, and X. Xiao, "Influence of fuel flow rate on the performance of micro tubular solid oxide fuel cell," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 45, no. 24, pp. 13459–13468, 2020.
- [57] J. Larminie and A. Dicks, *Efficiency and Open Circuit Voltage*. 2013.

# Energy Efficiency with Regenerative Energy Utilization Method in Rail System Vehicles

Yağmur ARIKAN YILDIZ

Information Systems and Technologies,  
Sivas Cumhuriyet University  
Sivas, Turkey  
yagmurarikan@gmail.com  
ORCID: 0000-0003-0947-2832

## *Abstract*

*Rail systems are one of the most frequently used public transportation vehicles, especially in metropolitan cities, due to their many advantages such as being punctual, reliable and economical, and having high capacity. Energy efficiency in rail systems has become an important issue because of increasing in rail networks, intensive operation of vehicles and the growth of the rail system market. Since rail systems have a complex structure, many methods are used in the literature to ensure energy efficiency in these systems. One of the prominent method among all methods is the utilization of regenerative energy. Regenerative energy, or in other words, regenerative braking is the kinetic energy that emerges when the vehicle is braking up to a certain speed and is generally lost in most systems by burning it into heat energy. This energy can be stored and used later by saving it into energy storage systems, or it can be used immediately by giving it back to the line with time optimization or reversible substations. In this study, the methods used in the effective use of this energy in the literature have been investigated and classified. By examining the literature studies using these methods, the contribution of the methods to energy efficiency and their cost effects have been compared.*

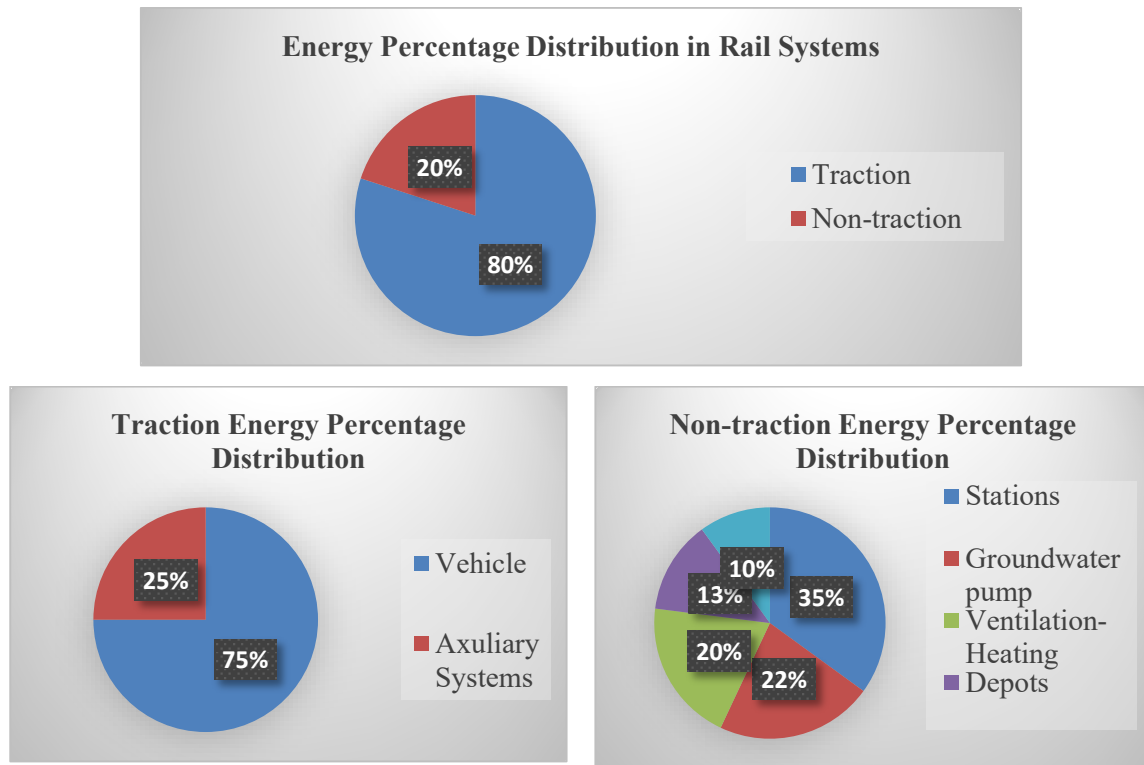
## I. INTRODUCTION

One of the most important factors recommended for sustainable life and carbon emission, which is one of the biggest problems of our age, is the efficient use of energy. For this purpose, it is essential to reduce the energy intensity in the production of products and services. Energy intensity is an indicator used all over the world that represents the amount of primary energy consumed per GDP (Gross Domestic Product). In this case, the lower the energy intensity of a country, the lower the energy spent to produce unit output in that country. This indicates that energy is used efficiently. In recent years, considering all these situations, it has been seen that

various studies have been carried out for the purpose of reducing and efficiency in areas where energy is consumed intensively. One of these products is the transportation sector.

The transportation sector accounts for approximately 30-35% of the total global energy consumption and is seen as the biggest cause of environmental problems since the fuels used in the sector are generally fossil fuel derivatives [1]. In addition, since these resources are imported in many countries, they are of great importance for budget investment. For this reason, action plans such as such as reducing unit fuel consumption of motor vehicles, raising efficiency standards in vehicles, expanding public transportation, effectively implementing smart transportation systems, and developing transportation infrastructures in a sustainable way have been created in many countries. In line with these and similar regulations and forward-looking planning, rail systems have started to be preferred frequently, especially in regions where the population is dense, due to their reliability, punctuality and high capacity [2]. This situation has increased the expansion of rail system networks and various development requirements on existing lines, thus the rail system market is growing day by day. In fact, while the worldwide rail system market was 176 billion Euros in 2017-2019, this figure increased to 185 billion Euros in 2019-2021 [3]. All these developments have caused rail systems to be one of the biggest electricity consumers, especially in metropolitan cities such as London, Beijing, Istanbul etc. For this reason, as in every field, energy efficiency studies in rail systems have attracted the attention of both researchers and investors. Because the high number of services in the daily operations of these systems ensures that even the small savings obtained from these systems contribute greatly to the cost, national economy and emissions [4].

Rail systems are complex structures consisting of many sub-systems and these complex systems operate with electrical power and generally feed from the national grid. In addition, some underground systems have their own power plants [5]. When we look at the power distribution in rail systems, it is basically divided into two main parts. Energy distribution, like power distribution, is analysed in two main categories, and the percentages of this distribution are shown in Figure 1. These values have been obtained after researching the rail system companies and the literature. The values may vary slightly depending on the type of system (metro, high speed, tram, etc.) [6].



**Figure 1.** Energy distribution in rail systems

As you can see in Figure 1, the energy consumption of the vehicle constitutes approximately 70-75% of the entire system, while the energy consumption of the auxiliary systems constitutes the remaining 20-25%. Similar to energy distribution, energy efficiency studies in rail systems are also examined in two separate classes and these methods are listed in Table 1 [4-6]. While non traction methods are generally related to various comfort functions, others generally include methods for the use of regenerative energy, energy efficient driving methods, and energy-efficient rail traction system [4-6].

**Table 1.** Energy saving methods in rail systems

Traction Methods	Non-Traction Methods
Energy Efficient Driving Techniques (Eco-driving/ coasting control etc.)	Temperature Control
Using Regenerative Braking (Timetable optimization/energy storage/reversible substation)	Demand Control (Ventilation/ heating/lighting)
Energy Efficient Traction System (Reduction power supply loss, vehicle mass reduction/ lightweight material)	Optimal Regulation Waste (Heat recovery/underground/subway escalator)



Among these methods, reuse of regenerative energy is a very effective method, this energy can be stored and used later by saving it into energy storage systems, or it can be used immediately by giving it back to the line with time optimization or reversible substations. In this study, the methods used in the effective use of this energy in the literature have been investigated and classified. A general evaluation has been made by comparing these methods in terms of their contribution to energy efficiency and cost effects.

## **II. REGENERATIVE ENERGY AND CONTRIBUTION TO ENERGY EFFICIENCY**

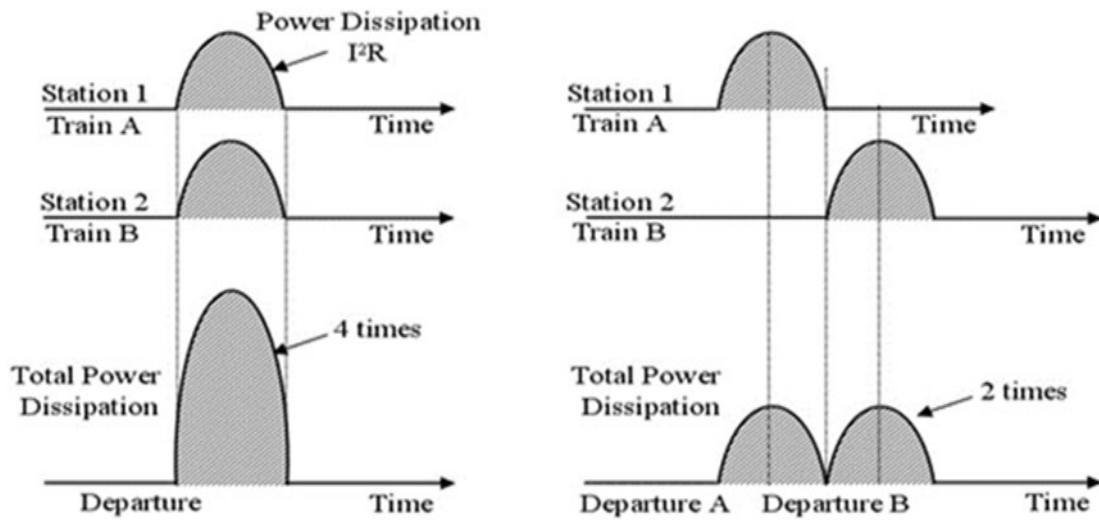
Rail system vehicles use two types of braking to reduce their speed or to stop. These are called mechanical braking and regenerative braking. While the speed of the vehicle decreases during regenerative braking, which benefits the energy gain, the vehicle operates reverse of its motors, and in other words, it acts as a generator that converts the kinetic energy generated during the braking of the vehicle into electrical energy. Considering the traction energy as 100%, the energy used for braking can be considered approximately as 50%. Approximately 30-35% of this energy is regenerative energy and when it is not used, it is burned in heat resistances and becomes lost energy [6]. Therefore, it is important to reuse this energy in various ways at the maximum level. Studies in the literature for the use of regenerative energy have focused on three parts; timetable optimization, energy storage systems and reversible substation. The methods, their contents and related studies are explained in detail below.

### **Timetable Optimization**

Ensuring that movement of the rail systems the vehicles in a good timetable schedule provides a comfortable and costly service in terms of travel time, energy savings, and number of trips and waiting times at stations. There are two-time factors that stand out in these studies and are used to save energy. The first of these is headway time, which is the time difference between two consecutive trains arriving at a station. The other term is the reserve time, which is the amount of delay in the departure of the train at a station and is determined by the operator [7-8].

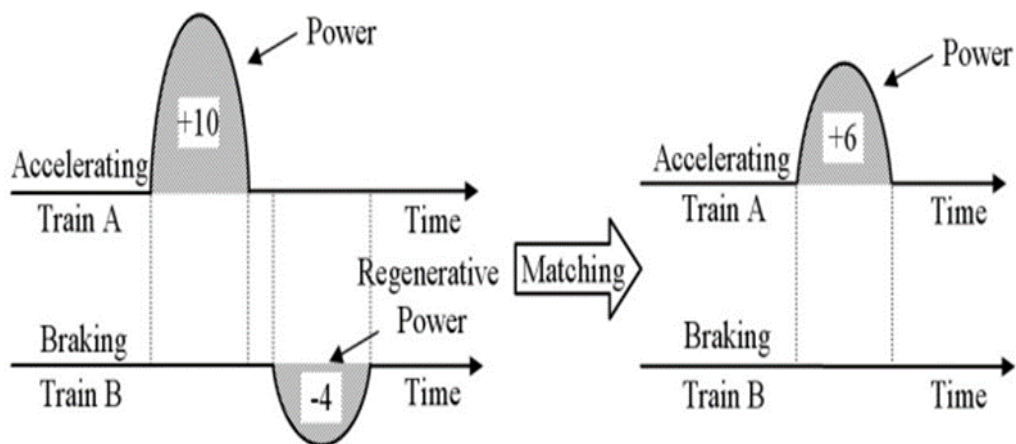
In the studies on this subject, the general aim at the beginning is to reduce the peak power demand required by the vehicles taking off at the same time at multiple stations. Because, if more than one vehicle takes off at the same time at different stations, it draws a lot of power from the power system. Figure 2 shows the power requirement of rail system vehicles drawn from the grid for simultaneous departure and asynchronous departure from two different

stations [9]. In order to reduce the power demand, times such as the departure time of the vehicles, headway time, reserve time have been tried to be adjusted in an optimized way.



**Figure 2.** Power drawn from grid for asynchronous or simultaneous departure

In recent studies, it is aimed to meet the energy need during acceleration with the regenerative energy generated during braking or to increase the overlap time, which is called the intersection region of these two train movements by trying to synchronize the braking and acceleration movements of the two adjacent vehicles. Figure 3 shows a sample graph of the regenerative energy flow between two neighbouring vehicles and the power value in the situation if operation occurs simultaneously or not, respectively [9].



**Figure 3.** Power drawn from grid for asynchronous or simultaneous braking- accelerating

An overview of some of the studies on timetable optimization are given in Table 2.

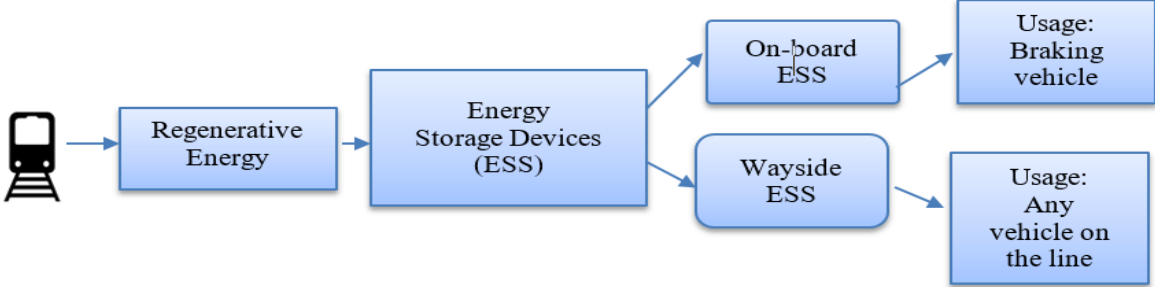
**Table 2.** Some studies on timetable optimization

Ref.	Method	Content
[10]	Mixed-integer nonlinear opt./ Tabu search	The train schedule was optimized for a single line running between 9 and 30 trains for providing a decision support service to train dispatchers. In this process, both the branch and bound procedure (mixed-integer nonlinear), and tabu search were used. The results were considered successful in terms of optimal travel time and the branch-bound procedure gave better results.
[11]	Dynamic programming Genetic algorithm	The optimum distribution of running time was investigated to reduce peak power in a line with a known headway and synchronization time. For this purpose, an approach using train running time control instead of train dwell time control were proposed for synchronizing acceleration and braking phases. In the study on the Berlin S-Bahn with 14 stations, energy consumption reduced by 4%.
[12]	General model Genetic algorithm	The purpose was to reduce the maximum traction power by management of dwell times of the vehicles. The traction power of the 14-station Kaohsiung MRT system was modeled, and trials were carried out in two different situations. The first is the eight-train operation and the headway duration is six, while the second is the six-train operation and the nine-minute headway. According to the results of the study, traction power decreased approximately by 28.8% in the first case, and by 31.4% in the second case.
[13]	Mixed integer optimization	The aim was to maximize the overlap time between the acceleration and deceleration movements of all trains in the same electrical section for off-peak times. The data of Metro de Madrid line 1 with 14 train operating systems was used and upper bounds were determined as constraints. According to study results, overlap time increased from 0 to 1.30 hours.
[14]	Mixed-integer nonlinear	A timetable optimization was modeled to synchronize the acceleration and deceleration of different trains. Data from the Madrid underground system was used and a DC power flow model was formulated that calculates the power saving factor for better

	optimization problem	synchronizations. Compared to the classical model, the proposed model was achieved 7% energy savings without reducing the service quality.
[15]	Integer programming model, Genetic algorithm	A new optimal timetable was proposed by using headway and dwell time to both reduce the waiting times of passengers at the stations and increase the use of regenerative energy. The data of the 14-station Beijing Yizhuang subway line was used and with the proposed schedule, both energy consumption reduced by 8.86% and the waiting time of the passengers reduced by 3.22%.
[16]	Fuzzy linear programming, Genetic algorithm	The variation in passenger flow at stations was analyzed and a new timetable was proposed for both peak and non-peak times. The data of the Beijing Yizhuang and 4-Daxing lines were used, and different cases were examined by changing the number of trains and headway time. According to the results, both the waiting times of the passengers and the energy consumption were reduced by different numerical values in different examples.
[17]	Bi-level programming two-stage genetic algorithm-simulated annealing algorithm	A two-level program model was proposed by considering the behavior of the passengers during the journey. In these models, the headway time was determined first, then the arrival time of the passengers at the starting stops was determined according to the headway. For this, crowding and desired arrival time factors were determined as penalty factors. Simulated annealing (SA) and genetic algorithm (GA) were used, and passenger costs were reduced by SA and GA by between 3.92% and 4.57%, respectively.
[18]	Improved artificial bee colony algorithm, genetic algorithm	It was aimed to maximize the regenerative energy (overlap time) by using the headway and waiting times under the constraints of operation time and main travel time. For this, a mathematical model was proposed by using the data of the Beijing line and artificial bee colony was designed to solve the problem. The amount of regenerative energy use increased by 18.1% and this model gave better results than the algorithms used in previous studies.

**Using Energy Storage Devices**

With the development of power electronics technologies, the use of the most suitable type of on-board vehicle or at the wayside energy storage systems (ESS) provides a great deal of savings in reducing traction energy consumption. Figure 4 shows the general usage of these devices.



**Figure 4.** The structure and usage

Selection of the most suitable storage technology is a key factor to achieve optimal ESS performance. Several important factors such as energy capacity, rate of charge and discharge, cost, life cycle etc. must be considered while designing an ESS and choosing the most suitable storage technology. The common energy storage technologies that have been utilized in rail transit systems are batteries, super capacitors and flywheels and the most important features of these devices are listed in Table 3 [3].

**Table 3.** The comparison of ESS

Device	Features
Batteries	High energy density Cost: (Lead–acid: low, Lithium- variesion: high, Nickel-metal hydride: High) Maintenance:(Lead–acid: low, Lithium-ion: high, Nickel-metal hydride: High)
Supercapacitor	High energy efficiency/high power density, Long life cycle, high leakage current problem
Flywheel	High energy density/efficiency, Less maintenance, High cost and weight Explosion in case of failure

Some examples of this subject and their contents are listed in Table 4.

**Table 4.** Some studies on using energy storage systems

Ref.	Device	Content
[19]	Ultra caps- Onboard	The effect of on-board energy storage system with ultra-caps systems for light rail vehicle and metro systems was investigated. These systems were preferred due to the features of high load cycle capability, high energy density (ca. 6Wh/kg) and very high-power density (ca. 6 kW/kg) of ultra-caps. According to the results, it is stated that these systems will save up to 30% of energy and the peak power demand can be reduced by up to 50% in light rail vehicles.
[20]	Supercapacitor Onboard- stationary	A simulation tool was prepared to examine the effects of on-board and stationary supercapacitor. It was observed that the size, location, and traffic density of the ESS change the energy saving. According to the simulation results, in low, medium and high traffic density stationary ESSs provided energy savings of 18.7, 25.1, and 36.4% respectively, while onboard ESSs provided energy savings between 27.3% and 36.3%.
[21]	Supercapacitor Onboard	The control strategies of super capacitors used to reduce energy consumption in subway vehicles were investigated. By considering the speed and torque profile of the trains with the control mechanism, the charge / discharge efficiency of this system was examined. According to the results of the study, supercapacitors can store most of the braking energy and the train energy consumption reduced by 12% with these systems. In addition, costs of these systems can also amortize themselves within 3-4 years.
[22]	Flywheel Onboard	The effects of flywheel on energy consumption and cost were investigated in light rail systems. For this purpose, mathematical modeling of vehicle driving system with and without flywheel was carried out. It was found that the effects of different power flywheels on energy savings were between 31.21% and 9.83%, and their effects on cost were between -0.55% and 11.09%.
[23]	EDLC Li-on batteries Wayside	The main purpose of the article was to reduce the demand charge of (prevent power fluctuations) rail systems rather than reducing energy consumption in rail systems. For this, an appropriate ESS

		system was investigated for different headway times and predetermined periods of time. Electrochemical double layer capacitors and Li-ion batteries were examined in terms of energy density, power density and cost and Li-ion batteries were found to be more suitable. With these systems, the demand charge and energy consumption were reduced by 10.02% , 16.93%, respectively.
[24]	Supercapacitor Li-ion battery Flywheel Onboard	It aimed to reduce the energy consumption of a real rail system line by using super capacitors, Li-ion batteries and flywheels, which are widely preferred onboard energy storage devices in the market. For this, the energy flow of line's traction system was modeled, and a mathematical model was created to examine the charge-discharge states of the devices and their operating systems. According to the results, these devices provided 23.6%, 22.9% and 23.7% energy savings compared to non-ESS systems. When analyzed in terms of costs, when the investment cost is allowed to be more than \$ 20, the most suitable investment was found as flywheel, and an investment limited to \$ 20 was found as the most suitable super capacitor.

### Reversible Substation

The last way to use the regenerative energy generated during braking of the vehicle is to give the energy back to the grid directly. However, today, most conventional DC substations have unidirectional diode rectifiers and therefore energy cannot be returned to the power supply system. In order to overcome this situation and with the development of power electronics, the designs of controlled rectifiers for reversible substations have been studied. It is a method that requires more expensive investments than other methods. Also, voltage and power stabilization are difficult in this method and losses from line resistors must be considered. Some examples related to these studies are listed in Table 5.

**Table 5.** Some studies on reversible substation

Ref.	Device	Content
[25]	Thyristor inverter	The effects of the use of substation inverters for optimum working conditions in a rail system and the effects of these devices on energy-saving were examined. With the simulations, inverter capacity and

		inverter position selection and inverter controls were studied. In the results of the study conducted in 5 substations, 2 out of 5 substations needed inverters to provide energy savings (about 3.5% and %7.5%) and energy consumption decreased as the headway time decreased and the load of the inverters increased.
[26]	Cell series	1.5 MW seven-cell series converter prototype was used to supply regenerative energy to the power supply line. In simulation using the Simplorer simulation package, the DC-bus voltage of the converter was taken as 3.5 kV, the supply voltage was 66 kV rms. According to the results, total harmonic distortion reduced from 24.93% to 15.55% and thanks to the control mechanism, regenerative energy was successfully obtained.
[27]	Silicon diode Thyristor rectifiers	Comparisons of Silicon diode rectifier (SDR), thyristor-controlled rectifiers (TCRs), reversible TCRs (RTCRs) in terms of energy saving, control systems and costs were made with numerical results. According to the results, TCRs were found to be more advantageous for reasons such as better voltage regulation, fault current limitation, reducing the number of substations. With these systems, the energy saving can be up to 50% depending on various variables, and the payback period for the transition from SDR substations to RTCR substations was found to be 2,5 years.
[28]	Rectifier	It was studied for optimal placement of reversible transformer centers in accordance with the regenerative energy capacity in the metro line. For this purpose, different numbers of controlled rectifiers were placed in different places in the substations and the amount and quality of the power were examined by power flow analysis. With the results of the study, it was seen that 33% of the energy can be recovered thanks to these systems
[29]	Diode rectifier	In the reversible transformer research, used to save energy in the literature, it was determined that the error results of the simplified scenarios were high. In this study, a model including different headways, different time shifts at terminal stations, non-constant dwell times, and different train speed profiles were prepared in order to overcome this deficiency. According to the results, while the margin of error in the energy saving varied between -52.2 and 45.3% in studies with simplified



		models, the margin of error in this study was found between -2% and 2%.
--	--	---

### III. CONCLUSION

Reducing the energy consumption of rail systems, whose popularity and usage rapidly are increasing, is very important in terms of our future, sustainability and economy. Considering the number of voyages of rail systems, it is an indisputable fact that it will make a great contribution to the economy. even for one-time driving. Reuse of regenerative energy is the method that provides the highest saving rate (up to 30% savings) in the system. For this, three different methods can be preferred, such as optimizing the schedule, using energy storage systems, and designing reversible substations.

Timetable optimization is the first recommended method as it does not increase costs, is focused on passenger comfort and prevents fluctuations in the power system by reducing the amount of peak power. It provides about 3%-17% energy gain in a stand-alone system. Since it does not cause any negative situation in the number of trips and does not go beyond the service limits, this method has been used together with efficient driving methods in current studies and more effective savings rates have been achieved.

The use of energy storage systems can be considered as the method that provides the high level of efficiency in rail systems, and energy savings of approximately 15% to 30% can be achieved. In addition, these systems protect the rail systems from sudden voltage drops and prevent instantaneous power peaks. The biggest disadvantage of these systems is that they increase the cost. Therefore, a cost-benefit analysis is required before installing these systems.

The last method, reversible substation, is the most effective method in terms of energy efficiency since it gives the energy obtained directly to the line. However, it is not widely used yet due to the high cost and the difficulty of the voltage stability process. In the future, this method will be preferred more as the costs decrease.

### References

- [1] EIA. "Transportation Sector Energy Consumption 2016".  
<https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/transportation.pdf>. Access date: 20.10.2022.
- [2] S. Su, T. Tang, Y. Wang, "Evaluation of strategies to reducing traction energy consumption of metro systems using an optimal train control simulation model". *Energies*, vol. 9(2), pp. 1-19, 2016.

- [3] I. Pektaş, “Rail Transportation Systems Sector Analysis”, Anadolu Raylı Ulaşım Sistemleri Kümelenmesi. Access date: 18.10.2022.
- [4] Y. Arıkan, T. Şen, E. Çam, “Energy efficiency in rail systems with coasting control method using Ga and ABC optimizations”, *Tehnički vjesnik*, vol. 28(4), pp. 1127-1135, 2021.
- [5] C.F. Bonnett, “Practical railway engineering”, Imperial College Press, 2005.
- [6] A. Gonzalez-Gil, R. Palacin, P. Batty, J.P. Powell, “A systems approach to reduce urban rail energy consumption”, *Energy Conversion and Management*, vol.80, pp. 509-524, 2014.
- [7] M. Khodaparastan, A. Mohamed, W. Brandauer, “Recuperation of regenerative braking energy in electric rail transit systems”, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 20(8), pp. 2831-2847, 2019.
- [8] A. Nasri, M.F. Moghadam, H. Mokhtari, “Timetable optimization for maximum usage of regenerative energy of braking in electrical railway systems”, *International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion*, Italy, 2010.
- [9] K.M., Kim, K.T, Kim, M.S. Han, “A model and approaches for synchronized energy saving in timetabling”, *9th World Congress on Railway Research*, France, 2011.
- [10] A. Higgins, E. Kozan, L. Ferreira, “Optimal scheduling of trains on a single line track”, *Transportation Research Part B: Methodological*, vol. 30(2), pp. 147-161, 1996.
- [11] T. Albrecht, “Reducing power peaks and energy consumption in rail transit systems by simultaneous train running time control”. *Computers in Railways IX*, 74(10), pp. 885-894, 2004.
- [12] J. Chen, R. Lin, Y. Liu, “Optimization of an MRT train schedule: Reducing maximum traction power by using genetic algorithms”, *IEEE Transaction on Power Systems*, vol.20(3), pp. 1366-1372, 2005.
- [13] A. Ramos, M. T. Pena, A. Fernandez, P. Cucala, “Mathematical programming approach to underground timetabling problem for maximizing time synchronization”, *International Conference on Industrial Engineering & Industrial Management*, Spain, 2007.
- [14] M. Pena-Alcaraz, A. Fernandez, A. P. Cucala, A. Ramos, R. Pecharroman, “Optimal underground timetable design based on power flow maximizing the use of regenerative-braking energy”, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part F Journal of Rail and Rapid Transit*, vol. 226(4), pp. 397-408, 2011.
- [15] X. Yang, B. Ning, X. Li, T. Tang, “A two-objective timetable optimization model in subway systems”, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 15(5), pp. 1913-1921, 2014.

- [16] X. Xu, K. Li, X. Li, "A multi-objective subway timetable optimization approach with minimum passenger time and energy consumption", *Journal of Advanced Transportation*, vol. 50, pp. 69-95, 2015.
- [17] Y. Zhu, B. Mao, Y. Bai, S. Chen, "A bi-level model for single-line rail timetable design with consideration of demand and capacity", *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 85, pp. 211-233, 2017.
- [18] H. Liu, M. Zhou, X. Guo, Z. Zhang, B. Ning, T. Tang, "Timetable optimization for regenerative energy utilization in subway systems", *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 20(9), pp. 3247-3257, 2018.
- [19] M. Steiner, M. Klohr, S. Pagiela, "Energy storage system with ultracaps on board of railway vehicles", *2007 European Conference on Power Electronics and Applications*, 2-5 September, Denmark, 2007.
- [20] R. Barrero, X. Tackoen, J. V. Mierlo, "Stationary or onboard energy storage systems for energy consumption reduction in a metro network", *Journal of Rail and Rapid Transit*, vol. 224 (3), 2010.
- [21] F. Cilibcarelli, D. Iannuzzi, P. Tricoli, "Control of metro-trains equipped with onboard supercapacitors for energy saving and reduction of power peak demand", *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 24, pp. 36-49, 2012.
- [22] A. Rupp, H. Baier, P. Mertiny, M. Secanell, "Analysis of a flywheel energy storage system for a light rail transit", *Energy*, vol. 107, pp. 625- 638, 2016.
- [23] Roch-Dupre, A. Lopez-Lopez, R. R. Pecharroman, A. P. Cucala, A. F. Cardador, "Analysis of the demand charge in DC railway systems and reduction of its economic impact with energy storage systems", *Electrical Power & Energy Systems*, vol. 93, pp. 459-467, 2017
- [24] C. Wu, S. Lu, F. Xue, L. Jiang, M. Chen, "Optimal sizing of onboard energy storage devices for electrified railway systems", *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, vol. 6(3), pp.1301-1311, 2020.
- [25] B. Mellitt, Z.S. Mouneimne, C.J. Goodman, "Simulation study of DC transit systems with inverting substations", *IEEE Proceedings B (Electric Power Applications)*, vol. 131(2), pp. 38-50, 1984.
- [26] P. H. Henning, H. D. Fuchs, A. D. Roux, H.D. Mouton, "A 1.5 MW seven-cell series-stacked converters as an active power filter and regeneration converter for a DC traction substation", *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 23 (5), pp. 2230-2236, 2008.
- [27] V. Gelman, "Braking energy recuperation", *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 4(3), pp. 82-89, 2009.

- [28] S.S. Fazel, S. Firouzian, B.K. Shandiz, “Energy-efficient emplacement of reversible DC traction power substations in urban rail transport through regenerative energy recovery”, *International Journal of Railway Research*, vol.1(2), pp. 11-22, 2014.
- [29] D. Roch-Dupre, A. P. Cucala, R. R. Pecharroman, A. J. Lopez-Lopez, A. F. Cardador, “Evaluation of the impact that the traffic model used in railway electrical simulation has on the assessment of the installation of a reversible substation”, *Electrical Power& Energy Systems*, 102, pp. 201-210, 2018.

# TEMPORAL VARIATION ANALYSIS OF PRIMARY ENERGY CONSUMPTION

**Sefa Furkan Selçuk**

*Department of Environmental  
Engineering  
Sivas Cumhuriyet University  
Sivas/Turkey*

[sefafurkan.selcuk@gmail.com](mailto:sefafurkan.selcuk@gmail.com)

ORCID: 0000-0002-3700-4377

+90 346 487 2262

**Zinnur Yılmaz**

*Department of Environmental  
Engineering  
Sivas Cumhuriyet University  
Sivas/Turkey*

[zinnuryilmaz@cumhuriyet.edu.tr](mailto:zinnuryilmaz@cumhuriyet.edu.tr)

ORCID: 0000-0002-2029-

3854

+90 346 487 2476

**Berk Köker**

*Department of Environmental  
Engineering  
Sivas Cumhuriyet University  
Sivas/Turkey*

[berkkoker@cumhuriyet.edu.tr](mailto:berkkoker@cumhuriyet.edu.tr)

ORCID: 0000-0002-0332-7434

+90 346 487 1298

**\*Meltem Sarioğlu Cebeci**

*Department of Environmental  
Engineering  
Sivas Cumhuriyet University  
Sivas/Turkey*

[sarioglu@cumhuriyet.edu.tr](mailto:sarioglu@cumhuriyet.edu.tr)

ORCID: 0000-0002-3636-0388

+90 346 487 1913

## **Abstract**

*Energy consumption is the most important indicator of a country's economic activities. The changes in primary energy consumption can be analysed as an indicator of the temporal variation of the economic activities of the countries. In this study, statistical analysis of Global primary energy consumption and the primary energy consumption of Turkey, Italy, USA, Brazil, Egypt, Saudi Arabia, China and South Korea were performed. In the selection of the countries to be analysed, the development level, geographical locations of the countries, diversity and comparability were considered. The long-term trends of change of primary energy consumption data between 1966-2021 were analysed empirically using Innovative Trend Analysis (ITA), Mann Kendall (MK) and Sen's slope prediction tests. The annual data of the total primary energy consumption of the countries were used in the analyses. Analysis results and graphics were examined and it has been determined that there is a statistically significant and increasing trend ( $p < 0.05$ ) for primary energy consumption in all countries and globally. The results obtained were also supported by the Innovative Trend Analysis results. In addition, a strong correlation ( $r^2 = 0.998$ ) was found between slopes of ITA and Sen's slope estimator. As a result, because of the increase in population, industry and people's welfare and technological developments it is predicted that the primary energy consumption of countries will increase in future.*

## I. INTRODUCTION

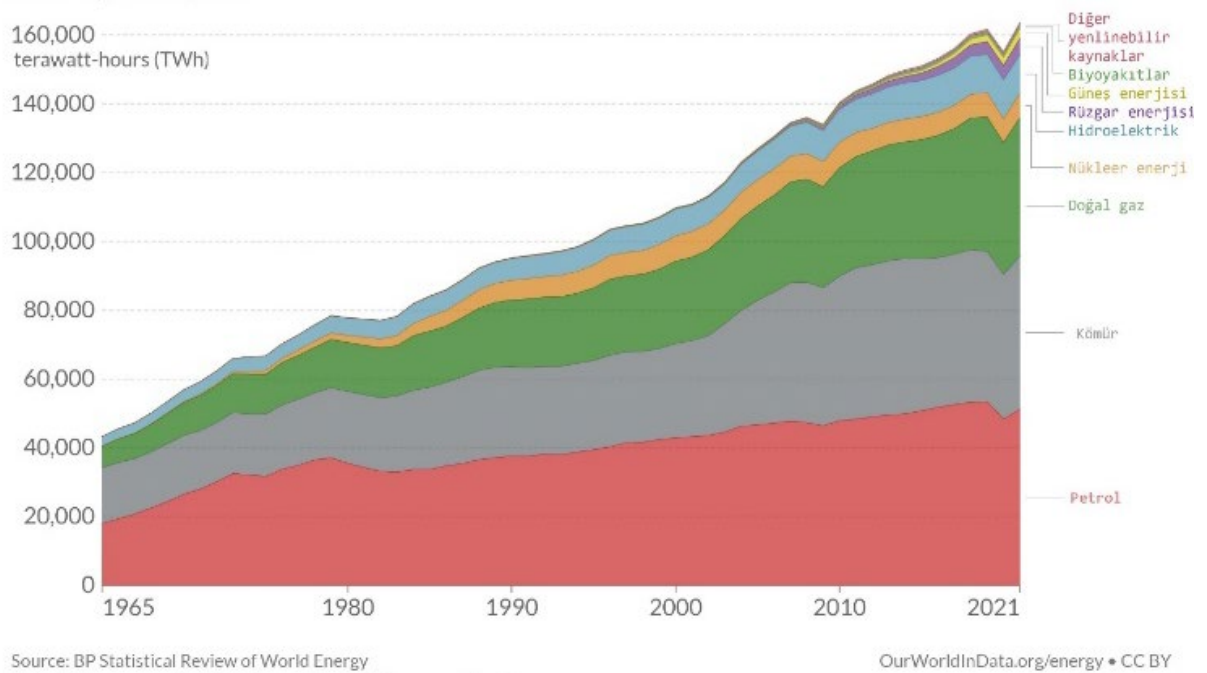
Almost all economic activities in the modern world depend on energy consumption. This situation carries the importance of energy consumption to a dimension that cannot be ignored. Energy emerges as the most important factor for both developed and developing economies, from the operation of factories to homes and the execution of all kinds of transportation operations. Basically, all these economic activities exist to produce products and services for the maintenance and improvement of human living standards. Therefore, energy consumption is accepted as an indicator of economic development [1].

As a result of the industrial revolution, the mechanization of production and the emergence of mass production led to an increase in the demand for energy. Although energy is not the only input in terms of production level and economic development of a country, it is of serious importance in terms of economic growth. It is possible for countries to reach a certain level of economic growth only by consuming a certain amount of energy. In today's world, it is not possible to produce goods and services without energy, to maintain the production process or to offer these goods and services to consumers in an appropriate way. As a result of the industrial revolution, the mechanization of production and the emergence of mass production led to an increase in the demand for energy. Although energy is not the only input in terms of production level and economic development of a country, it is of serious importance in terms of economic growth. It is possible for countries to reach a certain level of economic growth only by consuming a certain amount of energy. In today's world, it is not possible to produce goods and services, to maintain the production process, or to offer these goods and services to consumers in an appropriate way without energy. Therefore, countries must supply sufficient energy to achieve sustainable growth goals and improve living standards. However, despite the increasing energy demands of countries, resources are limited. There is competition between countries in terms of accessing safe and sustainable resources in order to meet the increasing energy needs in accordance with the change in their socioeconomic structures and their growing economies. In addition, the distribution of energy reserves in the world is not homogeneous and there is an imbalance in terms of both quantity and distance from energy. For these reasons, it is not enough to have only energy resources to meet the energy need, it is also important to process this raw energy and make it usable and to ensure continuous supply [1-3].

There are many factors that affect the consumption of energy. Availability of resources, technological developments, political relations, economic and sociological development, culture, climatic conditions, etc. Depending on the factors, different energy consumption trends emerge from country to country and even from different geographies. Among these factors, examples such as technological developments, population growth, and energy pricing affect energy consumption on a macro scale; individuals' lifestyle, attitudes towards their consumption, information about energy, etc. affects on a micro scale [4].

A large part of the energy used in the world is obtained from primary energy sources. Primary energy includes energies that have not undergone any energy transformation. These are basically in the form of biomass, fossil fuels (Coal, oil, natural gas), geothermal energy, hydraulic energy, nuclear energy, solar energy, tidal energy, wave energy, wind energy. In 2021, fossil fuels met 82% of the total energy used. This value was reported as 83% in the previous year and 85% 5 years ago. Considering that the demand for energy has increased over the years, renewable energy production has increased by 8 EJ between 2019-2021. Although primary energy production has increased by 31 EJ compared to 2020, it should not be forgotten that the decrease experienced due to the pandemic was effective in the magnitude of the increase. The energy consumption trend in the world between 1965 and 2021 is given in Figure 1 by specifying the primary energy sources separately. [5, 6].

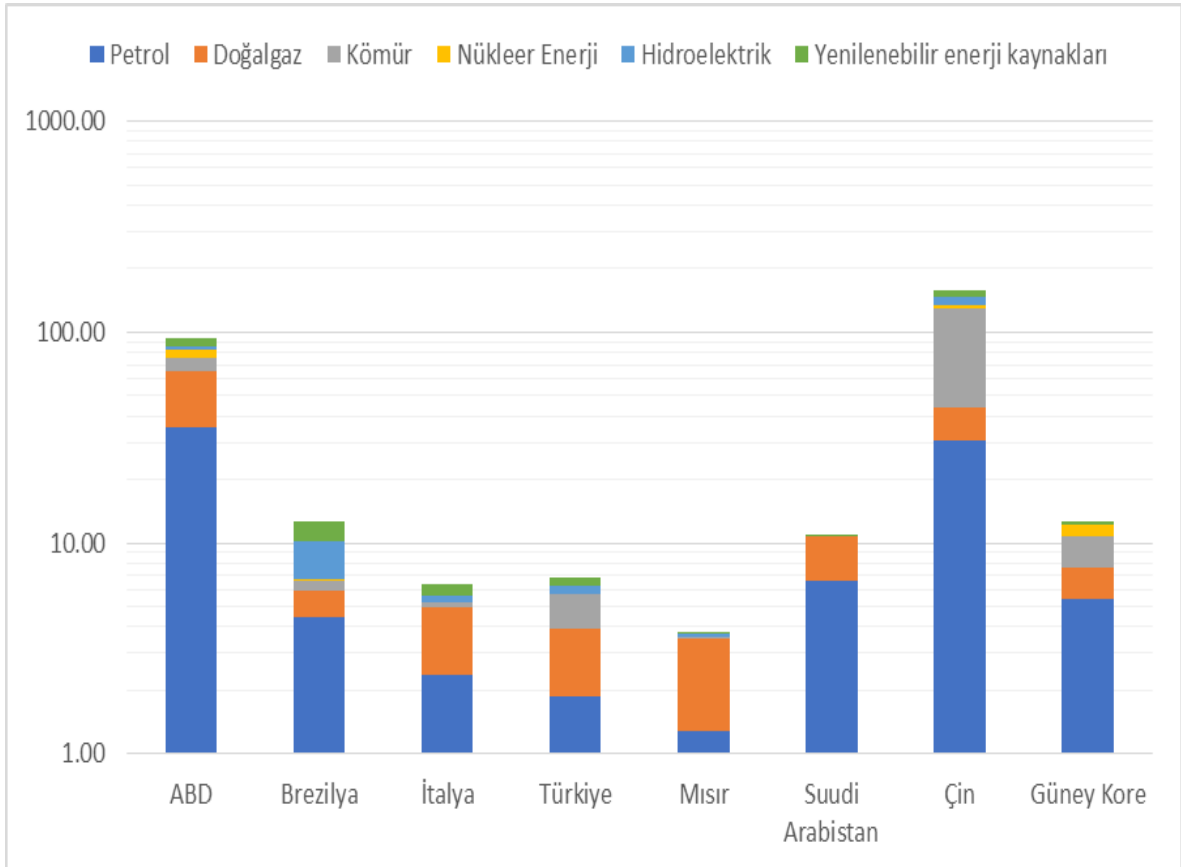
The data covers the energy consumption data of 8 countries with different development levels from different continents between 1965 and 2020. These countries are Turkey and Italy from Europe, USA from North America, Brazil from South America, Egypt from Africa, Saudi Arabia from the Middle East, China and South Korea from Asia. USA, Italy and South Korea are classified as developed countries and Turkey, China, Brazil, Egypt and Saudi Arabia are classified as developing countries. Among the selected countries, the USA and China are economically large and energy demanded countries based on IMF data. The other 6 countries are countries with energy consumption levels close to each other. In addition, countries have been determined to represent the continents they are located in. Primary energy consumption shares of selected countries according to BP 2022 statistics are given in Figure 3 logarithmically [8, 9].



**Fig.1.** Total energy consumption between 1965-2021 years in the world [7]



**Fig. 2.** Countries whose energy trends will be investigated.



**Fig. 3.** Primary energy consumption data for 2021 [6]



**Table 1.** Primary energy consumption data for 2021 [6].

	USA	Brazil	Italy	Turkey	Egypt	Saudi Arabia	China	South Korea
Oil	38.0	35.5	36.9	27.7	33.7	60.9	19.4	42.8
Natural gas	32.0	11.6	41.0	30.2	58.7	39.0	8.6	17.9
Coal	11.4	5.6	3.6	25.5	1.3	0.0	54.7	24.2
Nuclear energy	8.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	11.4
Hydroelectric	2.6	27.2	6.4	7.6	3.7	0.0	7.8	0.2
Renewable energy sources	8.0	19.0	11.9	8.9	2.6	0.1	7.2	3.5

**Table 2.** Indicative statistics of primary energy consumption data of countries

Country	Mean	Confidence Interval		Mean	Min	Max	Interval	Distortion	Basıklık
		Lower Limit	Upper Limit						
Brazil	6.859	5.862	7.857	6.405	1.08	12.73	11.65	0.142	-1.226
Turkey	2.765	2.246	3.284	2.325	0.38	6.83	6.45	0.639	-0.755
Suudi Arabia	4.749	3.815	5.683	3.840	0.86	11.16	10.30	0.644	-0.938
South Korea	5.908	4.722	7.095	5.580	0.33	12.68	12.35	0.178	-1.565
USA	82.707	79.534	85.880	84.975	54.89	97.43	42.54	-0.527	-0.857
China	53.340	40.902	65.779	35.115	5.40	157.65	152.25	0.893	-0.658
Eyght	1.806	1.487	2.124	1.460	0.26	3.84	3.58	0.377	-1.218
Italy	6.450	6.194	6.706	6.550	3.63	7.92	4.29	-0.862	1.058
World	373.324	340.012	406.637	353.530	164.20	595.15	430.95	0.212	-1.077

As can be seen in Figure 2, most of the energy consumption of selected countries in 2021 is met by oil, natural gas and coal. The ratio of oil and natural gas consumption to total energy consumption in the USA is 38% and 32%, respectively, while it is 36.9% and 41% in Italy and 33.7% and 58.7% in Egypt. In Brazil, oil and hydroelectric energy meet the energy consumption of 35.5% and 27.2%, respectively. China meets 54.7% of its energy needs from coal. On the other hand, Saudi Arabia meets 60.9% of its energy consumption from oil and 39% from natural gas. In 2021, energy consumption in Turkey was evenly distributed among fossil fuels and reported as 27.7%, 30.2% and 25.5% for oil, natural gas and coal, respectively.. Turkey, Italy and Egypt do not have nuclear power generation. The proportion of renewable and hydroelectric energy in Brazil's total energy consumption is 19.2% and 27.2%, respectively. The USA and China, which have the highest energy demand among the countries studied, produce and consume large amounts of renewable energy and hydroelectric energy, although not proportionally as much as Brazil. [6].

The time series of the primary energy consumption data of these countries between 1966-2021 are interpreted through graphics. By using Mann-Kendall, Sen's slope estimation method and innovative trend analysis methods, a trend analysis of the change in energy needs of Turkey and other countries subject to the study between the specified years was made.

## II. MATERIALAND METHOD

### A. Data

In this study, 8 countries with different development levels from different continents and the world's energy consumption data between 1966-2021 are included. These countries are Turkey and Italy from Europe, USA from North America, Brazil from South America, Egypt from Africa, Saudi Arabia from the Middle East, China and South Korea from Asia. The primary energy use data of the countries are taken as annual values from the BP's "Statistical Review of World Energy" report [6]. Accordingly, the determining statistics of the primary energy consumption data of the countries are presented in Table 2.

### Mann-Kendall Analysis and Sen's Slope Estimation Method

The existence of a statistically significant trend in the temporal variation of the primary energy consumption (BET) amounts of the countries was investigated by the Mann-Kendall method. The magnitude of these trends was calculated using Sen's slope estimation method, and comparable data were obtained for the countries. In the study, the Mann-Kendall method was calculated according to the protocol given in (1), (2) and (3), respectively. [10, 11].

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (1)$$

In the equation, n is the number of data,  $x_j$  and  $x_i$  are  $x_1, \dots$  where  $x_n$  represents the data in the time series. Positive S values indicate increasing trends, and negative S values indicate decreasing trends.

$$Var(S) = \frac{[n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)]}{18} \quad (2)$$

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{var(S)}}, & S > 0 \\ 0, & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{var(S)}}, & S < 0 \end{cases} \quad (3)$$

Here  $m$  represents the number of relative groups in the data set and  $t_i$  represents the frequency in a series of length  $i$ . The estimation of the mean trend in Sen's trend estimation method was made using (4) and (5) [12].

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k} \text{ for } i = 1, \dots, N \quad (4)$$

$$N = n(n - 1)/2 \quad (5)$$

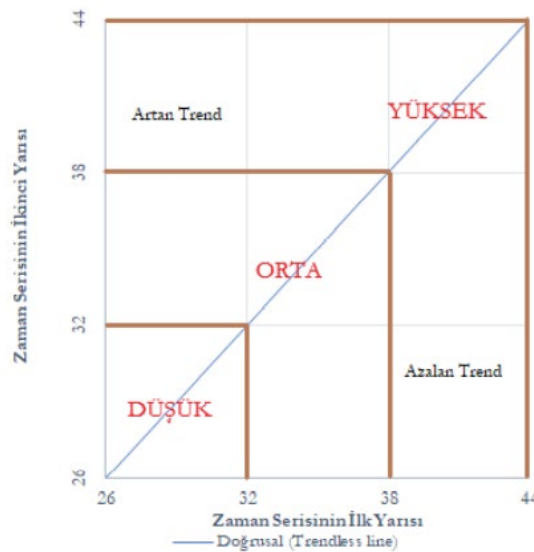
where  $n$  is the number of time periods;  $x_j$  and  $x_k$  represent data at times  $j$  and  $k$ , provided that  $j > k$ . The  $N$  values of  $Q_i$  are sorted from smallest to largest, and  $Q_{med}$  is calculated with (6) if  $N$  is an even number, and (7) if  $N$  is an odd number.

$$Q_{med} = Q_{(N+1)/2} \quad (6)$$

$$Q_{med} = \frac{1}{2}(Q_{N/2} + Q_{(N+2)/2}) \quad (7)$$

#### B. Innovative Trend Analysis (ITA)

ITA by reference [13] was first used to find trends in climatic time series data. Innovative trend analysis is a method that allows examining the changes between consecutive time series [14], but these analyzes are effectively used by many researchers for trend detection of time series. [15-19]. The first step in ITA is to split the time series into two equal subseries and then sort all the data in both subseries in ascending order. The second step is to plot these two series on a Cartesian coordinate system ( $X_i$  for the X axis:  $i = 1, 2, 3 \dots n/2$  and for the y axis  $Y_i$ :  $i = n/2+1, n/2+2 \dots n$ -shaped) is placed.



**Figure 4.** Sample Innovative Trend Analysis Chart

In the third stage, after the graph is drawn with an unbiased 1:1 (45°) line, the diagram (Figure 4) is divided into two equal triangles and the marked data is added to the graph and comparison is made. Here, if the data is above the 1:1 line, it shows an increasing trend, and below it, it shows a decreasing trend. Also, if the data in the scatterplot lies at or near the trendline (1:1), it does not indicate a significant trend in the time series. This method gives the opportunity to classify the trend as low, medium and high as well as the presence of the trend [13].

In addition, the results obtained by calculating the mathematical equations added to the method by [13] can be statistically controlled with the results found in other trend analyzes. The processing steps of the specified statistical process are specified in the equations below..

$$s = 2/n(\bar{y}_2 - \bar{y}_1) \quad (8)$$

In equation (8),  $s$  is the slope value of Innovative Trend analysis,  $n$  is the number of data,  $\bar{y}_1, \bar{y}_2$  is the mean of the first (1966-2003) and second (2004-2021) data. From here,  $s$  is a function determined by the arithmetic mean of two sub-time series with randomness, while  $y_1$  and  $y_2$  are also random variables, the mathematical value of the slope is obtained by  $s$  (9):

$$E(s) = 2/n[E(\bar{y}_2) - E(\bar{y}_1)] \quad (9)$$

Then the variance of the slope ( $\sigma_s$ ) can be calculated with  $\sigma_s^2 = E(s^2)$  since it is equal to the quadratic moment of the slope variable. (10).

$$\sigma_s^2 = 4/n (y_2^{-2} - 2\bar{y}_2\bar{y}_1 + \bar{y}_1^{-2}) \quad (10)$$

Since  $E(y_1^{-2}) = E(y_2^{-2})$ , the variance expression is simplified to (11):

$$\sigma_s^2 = 8/n (E y_2^{-2} - E \bar{y}_2 \bar{y}_1) \quad (11)$$

In Equation (11),  $\sigma_s$  is the slope variance of Innovative Trend analysis,  $n$  is the number of data,  $\bar{y}_1, \bar{y}_2$  is the mean of the first (1966-2003) and second (2004-2021) data.

$$\rho_{\bar{y}_2 \bar{y}_1} = (\bar{y}_2 \bar{y}_1 - \bar{y}_2 - \bar{y}_1) / (\sigma_{\bar{y}_2} \sigma_{\bar{y}_1}) \quad (12)$$

By replacing the numerator of this expression with (11) and considering its randomness, (12) takes its final form:

$$\sigma_s = \left( \frac{2\sqrt{2}}{n\sqrt{n}} \right) \sigma \sqrt{1 - \rho_{\bar{y}_2 \bar{y}_1}} \quad (13)$$

In the end in this equation  $\sigma = \sqrt{2/n \sum_{i=1}^{n/2} (y_i - \bar{y})^2}$  refers to the standard deviation of all time series from 1966 to 2021.

There are also critical upper and lower limit values to compare the calculated  $s$  value. This confidence interval (critical upper-lower value) is used to determine the limits of hypothesis testing. The confidence interval of the trend slope is calculated as:

$$CL_{(1-a)} = 0 \pm s_{cri} \sigma_s \quad (14)$$

scri refers to the zcri value obtained from the standard normal distribution at a certain level of confidence. The trend value (s) is accepted as an increasing trend if it exceeds the upper confidence limit and decreasing if it is outside the lower confidence limit. If these conditions are not met and the s value is within the confidence interval, there is no statistically significant trend at a given confidence level. Since this study has a 95% confidence level, the trend value can be calculated according to the confidence limits (15): [20]

$$CL_{(1-\alpha)} = 0 \pm 1.96\sigma_s \quad \alpha=95\% \quad (15)$$

n Equation (15), the upper confidence limit positive value and the lower confidence limit negative value are obtained at the 95% confidence level. By comparing the trend slope s and these two confidence limits, the significance of the time series trend can be tested [21].

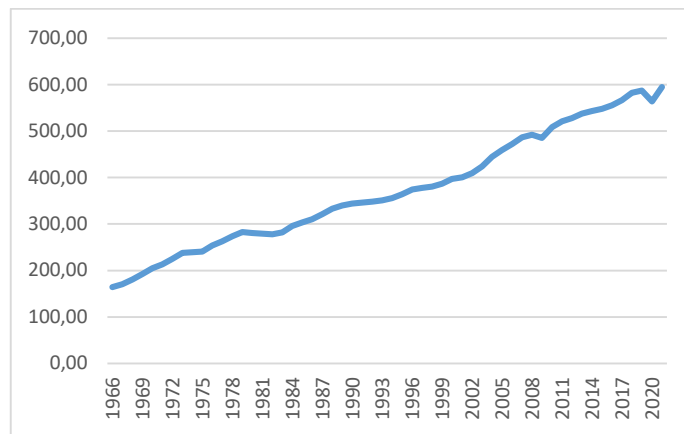
### III. RESULTS

After the industrial revolution, the countries' ability to use their energy resources efficiently has provided a unique development of civilization. However, excessive consumption has become a habit in the modern world. The economies of the countries have developed rapidly, the industries have grown rapidly, and the energy needs have increased exponentially with the increasing world population. The economies of the countries have developed rapidly, the industries have grown rapidly, and the energy needs have increased exponentially with the increasing world population. In this study, the temporal variation of BET amounts of countries was evaluated with time series and statistical trend analysis.

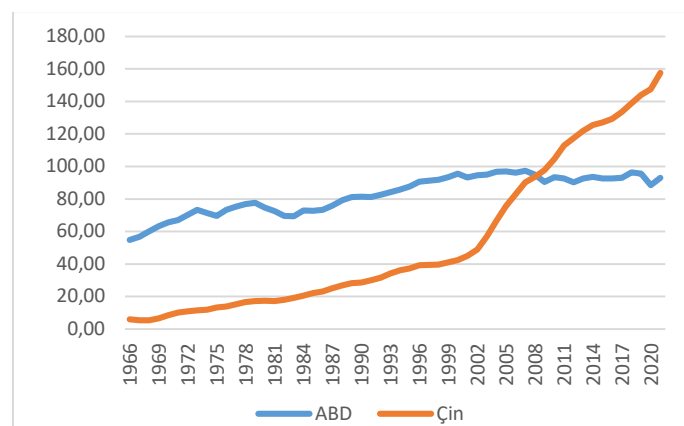
#### Temporal Change of Primary Energy Consumption Values

In Figure 5, there is a total time range in world million tons of oil equivalent (MTEP). The BET amount of the world as a whole is 1966n 164.20, which is about 3.6 times travel during the year 2021 to 595.15 mtoe here is no significant stagnation or decrease during the review period. It is seen that there was a stagnation that lasted for four years in 1979-1983, and a decrease of 13.42 mtoe in 2019. The stagnation that started in 1979 coincides with the global oil crisis that started in the same year and the resulting economic recessions [22]. The decline in 2019 is projected to be the same predictor of growth supply demand. From the living areas in the amount of BET, the standards of the schools that train and have developed school schools are desired when they are brought up. Considering the world's population growth, it is clear that the increase in the amount of BET is not sustainable in terms of fossil energy sources and environmental health [24]. As of 2021, the two countries with the highest amount of BET in the world are China with 157.65 metric tons and the USA with 92.97 metric tons. These values are at least 3 times the BET amounts of other countries. Considering this situation, the time series of these two countries should be evaluated separately from the others. China, which had only 6.01 mtoe BET in 1966, increased its consumption to 42.48 mtoe by 2000.. As can be seen in Figure 6, there was a break in 2000 and the amount of BET in China increased at an extreme rate. Since 2009, the world's highest amount of BET has come from China.

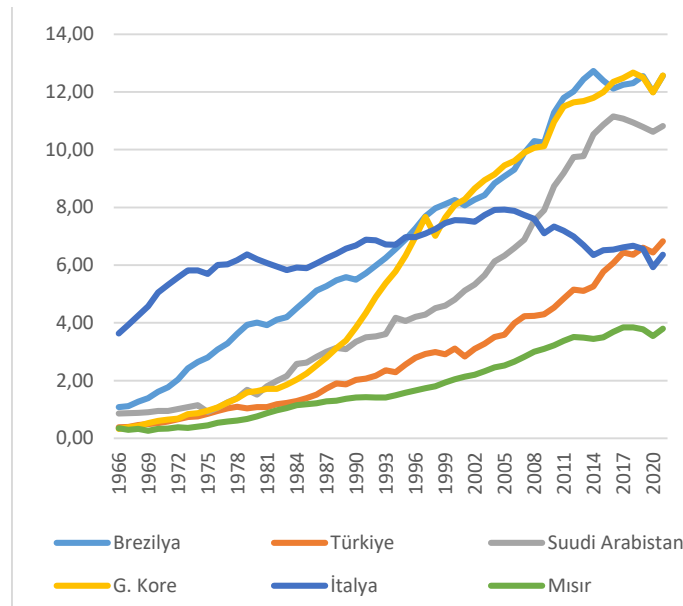
By consuming 157.65 mtoe in 2021, it made approximately 25% of the world's consumption alone. It is noteworthy that among the countries examined within the scope of the study, China is the only country that did not experience a pandemic-induced decline in 2019. As can be seen in Figure 6, there was a break in 2000 and the amount of BET in China increased at an extreme rate. Since 2009, the world's highest amount of BET has come from China. By consuming 157.65 mtoe in 2021, it made approximately 25% of the world's consumption alone. Among the countries examined within the scope of the study, it is noteworthy that China is the only country that did not experience a pandemic-induced decline in 2019. When the consumption of the USA is examined, it is seen that the rate of increase was very low and the most important decrease was experienced during the 1979 oil crisis. The country's BET amount increased from 54.89 mtoe to 92.97 mtoe between 1966-2021. Although China consumes much more today, when the total consumption during the review period is analyzed, it is seen that the USA consumes 4631.64 mtoe, much more than China's 2987.07 mtoe. This total consumption of the USA corresponds to approximately 22% of the total consumption of the world.



**Figure 5.** Temporal variation of the world's total primary energy consumption



**Figure 6.** The temporal variation of primary energy consumption in the USA and China



**Figure 7.** Temporal variation of primary energy consumption of other countries

In Figure 7, temporal variation graphs of the data belonging to Brazil, Turkey, Saudi Arabia, South Korea, Italy and Egypt, whose BET amounts are close to each other, are given. The consumption charts of Brazil and South Korea have been very similar since 1994 and reach a consumption value of approximately 12.5 mtoe in 2021. Similar to these countries, Saudi Arabia, Turkey and Egypt, which generally increased their consumption during the review period, reached 10.82 mtoe, 6.83 mtoe and 3.79 mtoe consumption in 2021, respectively. The changes in Italy's consumption values are similar to the changes in the total consumption of the European Union member countries. [25]. The temporal change in the amount of BET in Italy, which was included as a representative of European countries in our analysis, is quite different compared to other countries, and decreases in consumption are striking. It is thought that this situation is caused by the heavy industry moving out of Europe due to meeting the commitments in climate change agreements and advantages in labor costs. In addition, the European Union's policies on energy efficiency and savings are also effective.

#### A. Results of Mann-Kendall Test and Sen's Slope Estimation Method

Table 3 lists the results obtained with the Mann-Kendall Test and Sen's slope estimation method. The existence of trends in the consumption of countries was evaluated with the Mann-kendall test at a significance level of 0.05. Accordingly, it is assumed that there is a statistically significant increasing trend in the time series in which the  $z \geq 1.96$  condition is met, and that there is a statistically significant decreasing trend in the time series in which the  $z \leq -1.96$  condition is met. As expected, there is a statistically significant increasing trend in all countries studied. The slopes of these trends were calculated using Sen's slope estimation method. According to the results obtained, the highest slope in the temporal variation of consumption data belongs to China (2.30), and the lowest slope belongs to Egypt (0.06).



**Table 3.** Results of Mann-Kendall Test and Sen's slope estimation analysis










	Brazil	Turkey	Suudi Arabia	S. Kore	USA	China	Egypt	Italy	Total World
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
MK-stat	1542	1564	1544	1578	1158	1584	1544	884	1572
z-stat	10.6080 1	10.7594 6	10.6217 8	10.8558 3	7.96461 3	10.8971 3	10.6217 8	6.07843 9	10.8145 3
p-value	2.74E- 26	5.35E- 27	2.36E- 26	1.87E- 27	1.66E- 15	1.19E- 27	2.36E- 26	1.21E- 09	2.94E- 27
trend	evet	evet	evet	evet	evet	evet	evet	evet	evet
Sen's slope	0.21982 7	0.10800 7	0.18536 1	0.26474	0.70129 5	2.30323 8	0.06929 3	0.05251 7	7.58989 4

### *B. Innovative Trend Analysis Results*

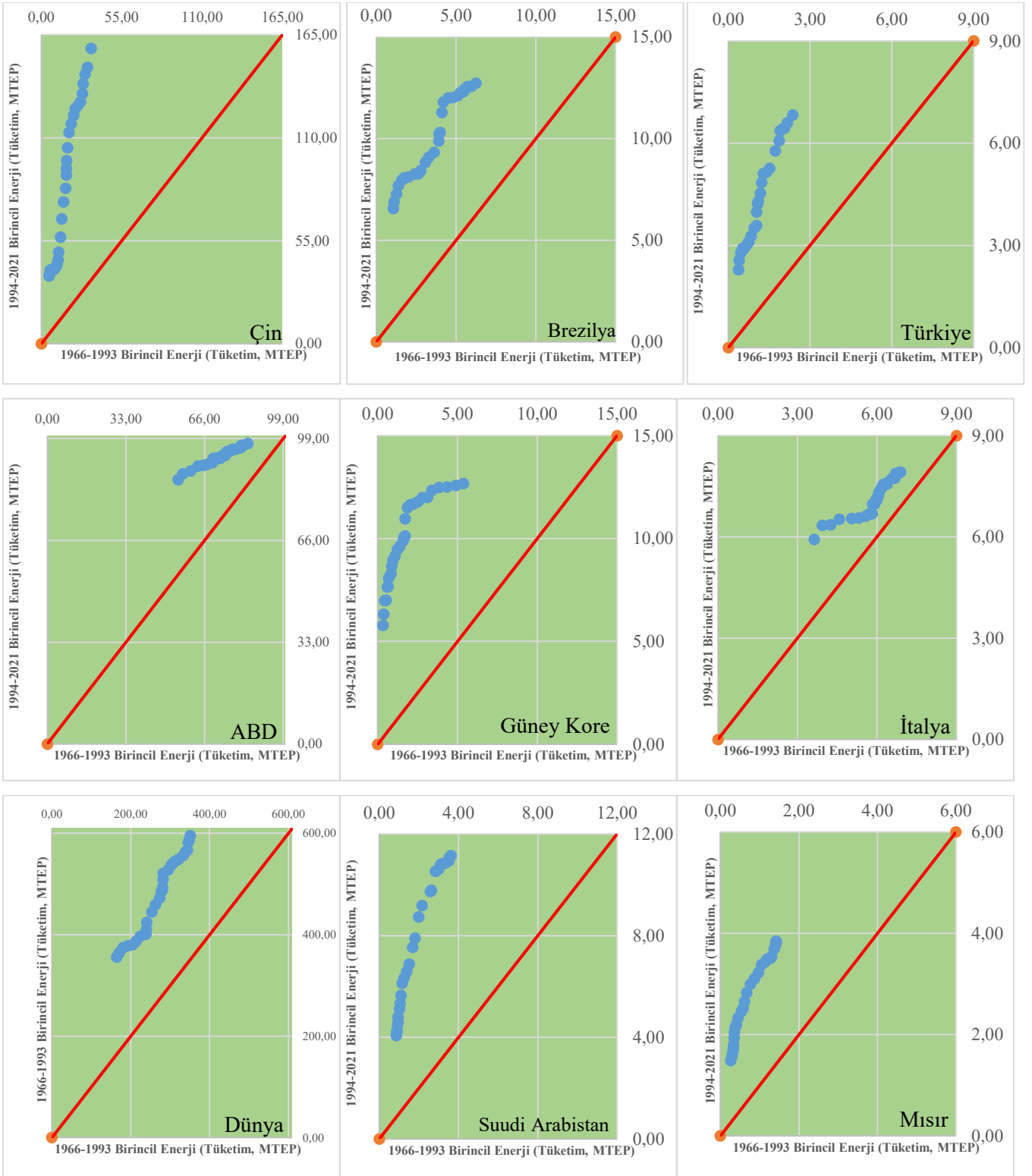
The results of the Innovative Trend Analysis applied to the primary energy consumption data of the countries are given in Figure 8.

When the graphs in Figure 8 are examined, it is seen that all points are located in the upper triangle region of the 1:1 line. In this case, there is an increasing trend in annual primary energy consumption data of Brazil, Turkey, Saudi Arabia, South Korea, USA, China, Italy, Egypt and the World. Innovative Trend Analysis trend gives information about the direction of the trend of the data, but to understand whether the trend is statistically significant or insignificant, it should be compared between confidence intervals at the 0.05 significance level. For example, the confidence intervals for the s value for Turkey were determined as +0.001 and -0.001. It has been observed that there is an increasing trend because the s value found is greater than 0.114 value +0.001. The slope values calculated according to the Innovative Trend Analysis of the annual primary energy consumption data of the countries and the corresponding safety interval (upper-lower limit) values are presented in Table 4. According to Table 4, it has been found that there is a statistically significant and increasing trend for annual primary energy consumption in all countries and in the world. In addition, it is seen that the USA, China and Italy, along with the world, increase their primary energy consumption at a high trend level as the trend class. Turkey, on the other hand, is generally in the middle class according to the results of the Innovative Trend Analysis.

**Table 4.** Results of Innovative Trend Analysis of annual primary energy consumption data of countries

Country	Average Energy Consumption (MTEP)	S. deviation	Correlation	Slope(s)	Upper limit	Lower limit	Decision	Trend Direction	Trend class		
									Low	Middle	High
Brazil	6.859	3.724	0.975	0.229	0.004	-0.004	yes		0	++ +	++
Turkey	2.765	1.938	0.988	0.114	0.001	-0.001	yes		+	++ +	++
S. Arabia	4.750	3.486	0.977	0.202	0.003	-0.003	yes		0	++ +	++
S. Korea	5.908	4.430	0.883	0.287	0.010	-0.010	yes		0	++ +	++
USA	82.708	11.850	0.992	0.740	0.007	-0.007	yes		0	0	+++
China	53.341	46.446	0.974	2.549	0.051	-0.051	yes		+	++	+++
Italy	6.450	0.957	0.918	0.046	0.002	-0.002	yes		0	0	+++
Egypt	1.806	1.189	0.976	0.071	0.001	-0.001	yes		+	++	0
World	373.325	124.391	0.982	7.390	0.114	-0.114	yes		0	++	+++

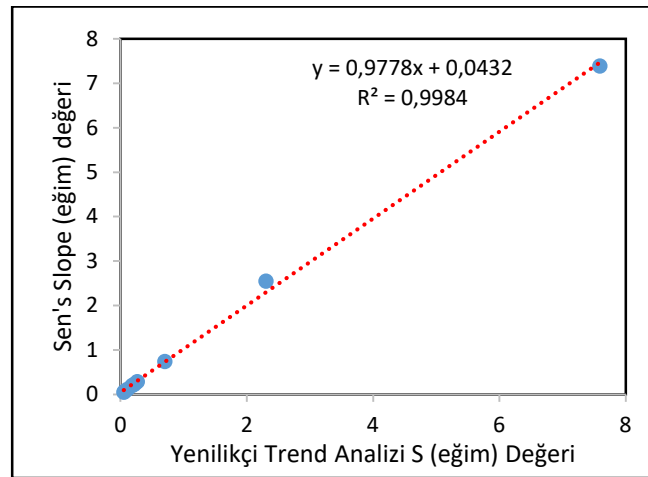
0: absent; +: level of important



**Figure 8.** Scatter plots of Innovative Trend Analysis results of annual primary energy consumption data of countries

It is seen that the distribution of the trend directions determined according to the  $s$  (slope) values calculated with the Sen's slope method and ITA is similar. Since the trend directions given by both methods are mostly similar to each other, the relationship of the slopes has been examined. It can be said that the

high correlation ( $r^2 = 0.998$ ) in the scatterplot given in Figure 9 gives a very consistent result in terms of trend directions.



**Figure 9.** Relation of slope values between Sen's and Innovative Trend Analysis.

#### IV. CONCLUSION

In this study, temporal changes of annual primary energy consumption data of 8 countries and the world were evaluated. Trend analyzes of these changes were made at 0.05 significance level using Mann Kendall, Sen's slope and Innovative Sen Method. According to the innovative Şen method, trends were tried to be determined by both graphical scatter diagrams and statistical analysis. In general, although the scatter diagram gives us information about the direction of the trend, it can be determined whether the trend is statistically significant by comparing it with statistically critical values.

As a result of the study, it was determined that the total amount of BET in the world was affected by the pandemic and global crises for a short time, but it increased in a systematic way in general. Between 1966-2021, annual consumption values increased by 3.6 times and reached 595.15 mtoe. The fact that the rate of renewable energy sources is very low in this consumption creates concern not only for the sustainability of resources but also for the environment. The excessive and unconscious consumption habits of developed countries, the rapidly increasing world population, and the natural desire of developing countries to increase their living standards are the harbingers of future environmental and energy crises.

When the data of China and the USA, which are the two countries with the highest amount of BET in the world, are analyzed, it is seen that these two countries are responsible for 42% of the world's total consumption in 2021 in 2021. This situation reveals the fact that these two countries should undertake great responsibilities both in terms of fair and sustainable use of world resources and environmental problems such as climate change.

Since the data of Brazil, Turkey, Saudi Arabia, South Korea, Italy and Egypt, which have close BET amounts, are very low compared to the USA and China, they are evaluated separately. It has been observed that there is a general systematic increase in the consumption of these countries, except Italy. Although it

was determined that there was an increase in Italy, which was examined as a representative of European countries, it was determined that consumption decreased since 2005. It is thought that this situation is due to the heavy industry being moved out of Europe. In addition, it can be said that the European Union's policies on energy efficiency and saving are also effective. However, it should not be forgotten that European countries, which meet the conditions of climate change agreements by moving some industrial activities to developing countries, still consume as a result of these activities.

Ülkelerin yıllık birincil enerji tüketiminin Yenilikçi Şen yöntemine göre incelenen tüm ülkelerde istatistiksel önemli artan trend bulunmuştur. Aynı şekilde Mann-Kendall testinde de tüm ülkelerde ve dünyada artan trend belirlemiştir. Enerji tüketimi için Yenilikçi Trend ile Mann Kendall – Sen's Slope analizinin arasında yüksek ilişki olduğu hesaplanmıştır.

### **AUTHOR CONTRIBUTION STATEMENT**

In the study carried out, 1. In the development of the idea, the temporal variation analysis of consumption data and Mann-Kendall and Sen's slope estimation method analysis; The author 2 is developing ideas, creating the Introduction, Abstract and Abstract sections; The author 3 is responsible for the creation and development of ideas, data supply and innovative trend analysis; The author 4 contributed to the development of ideas, spelling and checking the article for content

### **REFERENCES**

- [1] O. B. Adekoya, J. K. Olabode, ve S. K. Rafi (2021). "Renewable energy consumption, carbon emissions and human development: Empirical comparison of the trajectories of world regions", *Renewable Energy*, 1836-1848, 179.
- [2] Ö.Esen, ve M.Bayrak, "Does more energy consumption support economic growth in net energy-importing countries?" *Journal of Economics, Finance and Administrative Science*, 22(42), 2017, 75-98.
- [3] H. Wang, M. Asif Amjad, N. Arshed, A. Mohamed, S. Ali, M. A. Haider Jafri, ve Y. A. Khan, "Fossil Energy Demand and Economic Development in BRICS Countries" *Frontiers in Energy Research*, 10, 2022, 842793.
- [4] S. Özdil, "Enerji tüketimi ve ekonomik büyüme ilişkisi: Enerji tüketimi yoğun ülkeler üzerine bir uygulama (1990-2014)", Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İktisat Ana Bilim Dalı, Nevşehir, 2017, 122s.
- [5] Ö. Korkmaz, ve A. Develi, "Türkiye'de Birincil Enerji Kullanımı, Üretimi ve Gayri Safi Yurt İçi Hasıla (GSYİH) Arasındaki İlişki", *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 27(2), 2012, 1-25.
- [6] BP, "bp Statistical Review of World Energy 2022 | 71st edition", 2022.
- [7] Link-1: <https://ourworldindata.org/grapher/energy-consumption-by-source-and-region?time=earliest..2021>. Erişim Tarihi: 29/09/2022.
- [8] Link-2: [https://tr.wikipedia.org/w/index.php?title=%C4%B0kincil\\_sekt%C3%B6r&oldid=27805178](https://tr.wikipedia.org/w/index.php?title=%C4%B0kincil_sekt%C3%B6r&oldid=27805178).. Erişim Tarihi: 29/09/2022.
- [9] Link-3: [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Developing\\_country&oldid=1110854229](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Developing_country&oldid=1110854229).. Erişim Tarihi: 29/09/2022.
- [10] H.B. Mann, "Nonparametric tests against trend", *Econometrica*, 13, 1945, 245-259.
- [11] M.G. Kendall, "Rank Correlation Methods Griffin", London, UK, 1975.

- [12] P. K. Sen, "Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau", *Journal of the American statistical association*, 63(324), 1968, 1379-1389.
- [13] Z. Sen, "Innovative trend significance test and applications", *Theor Appl Climatol*, 127(3-4), 2015, 1-9.
- [14] S. Alashan, "An improved version of innovative trend analyses. *Arabian Journal of Geosciences*", 11(3), 2018, 1-6.
- [15] G. Aydin, "The Application of Trend Analysis for Coal Demand Modeling, *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 10(2), 2015, 183-191.
- [16] G. Aydin, "Production modeling in the oil and natural gas industry: an application of trend analysis", *Petroleum Science and Technology*, 32(5), 2014, 555-564.
- [17] U. Berardi, "A cross-country comparison of the building energy consumptions and their trends. *Resources, Conservation and Recycling*, 123, 2017, 230-241.
- [18] G. E.Valencia, J. E. Duarte, ve L. G. Obregón, "Trend analysis of liquid biofuels research during the years 2010 to 2018" *International Journal of Applied Engineering Research*, 13(13), 2018, 11104-11111.
- [19] Z. Zhang, H. Xie, J. Zhang, X. Wang, J. Wei, ve X. Quan, "Prediction and trend analysis of regional industrial carbon emission in China: a study of Nanjing City", *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(12), 2022, 7165.
- [20] Z. Sen, "Innovative trend significance test and applications", *Theor Appl Climatol*, 127(3-4), 2015, 1-9.
- [21] J. Li, W. Wu, X. Ye, et al., "Innovative trend analysis of main agriculture natural hazards in China during 1989-2014", *Nat Hazards* 95, 2019, 677-720.
- [22] O. Öksüzler, ve E. İpek, "Dünya petrol fiyatlarındaki değişimin büyüme ve enflasyon üzerindeki etkisi: Türkiye örneği", *ZKÜ Sosyal Bilimler Dergisi*, 7(14), 2011, 15-34.
- [23] T. Eğri, ve A. Doğaner, "Covid-19 ve ekonomik kriz: kobiler özelinde bir değerlendirme ve politika önerileri", *İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, Bahar (Covid19-Özel Ek)*, 2020, 128-145.
- [24] T. Ahmad, ve D. Zhang, "A critical review of comparative global historical energy consumption and future demand: The story told so far", *Energy Reports*, 6, 2020, 1973-1991.
- [25] T. Olkusi, W. Suwała, A.Wyrwa, J. Zyśk, ve B.Tora, "Primary energy consumption in selected EU Countries compared to global trends" *Open Chemistry*, 19(1), 2021, 503-510.

# CURRENT STATUS AND FUTURE TRENDS OF CABLE LOCATORS FOR UNDERGROUND POWER LINES

İrem ŞİMŞEK<sup>1\*</sup>, Ahmet UYAROĞLU<sup>1</sup>, Tayfun TURAL<sup>1</sup>, Eren DİLER<sup>1</sup>, Yunis TORUN<sup>1</sup>, Burak SEÇKİN<sup>1</sup>, Bünyamin ÇAM<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Electrical and Electronics Engineering, Sivas Cumhuriyet University, Sivas, Türkiye

## ***Abstract***

*In cities around the world, there is a vast and complex network of pipes and cables underground that provides the foundation of modern life and provides basic public services. As this buried infrastructure and the increasing demand for new underground facilities due to population growth and the development of new technologies, it is vital to both find existing underground infrastructure and assess its condition. Underground cables are prone to failures due to production, assembly, operating errors or external electrical and mechanical impacts. It is very important to find the fault location in the underground cables in a short time and to intervene immediately and to provide quality and uninterrupted energy to the consumers by eliminating the fault. Fast and accurate cable detection technique is needed to quickly track system restoration, minimize downtime and further reduce monetary losses. The chapter examines, the classical measuring techniques developed since underground cables and the modern cable-finding techniques used today. It has been observed that researchers continue to develop techniques that are easier to apply and can find the cable error-free with the developing technology. Cable finders used in distribution companies have negative features such as high costs and the inability to integrate the detected cable and cable map into the geographic information system with precise positioning. The situation of transferring the geographical location of the cable to the geographic information system with RTK GNSS is discussed.*

## **I. INTRODUCTION**

Cable systems are used extensively in the transmission of energy and data in electricity, telecommunication and display systems. Cables should be placed underground in order not to cause problems such as safety and environmental pollution.

Knowing the lines in the area to be excavated is very important in terms of work safety and cost in applications such as infrastructure and construction projects to be made underground. Increasing the number of studies for transitioning from overhead lines to underground lines in densely populated areas shows that there is a need for devices to detect underground cables. Underground cables are prone to malfunctions due to external factors. Failures in underground cables can occur over time due to many reasons such as crushing, aging, external impacts, manufacturing errors, joint failure, moisture. The resulting malfunctions cause electrical energy disruption or long-term interruptions, especially in the industrial area, causing great damage to consumers. It is very important for distribution companies and business centers such as factories that they serve, to remove the defective cable as soon as possible during excavation works to eliminate these faults [1].

Depth detection of defective cables with the classical excavation method is a long and costly task. Traditional strategies for distinguishing and locating cable faults have proven time consuming [2]. In various literature studies, [3]–[6] and [7] are related to the fault location in underground cables. While detecting the fault point of the defective cable, methods such as TDR are used, the underground location of the cable is made with magnetic cable finders. Cable finders, which are supplied as imported products and used in distribution companies, have disadvantages such as high costs, depth detection errors due to their single coil structure, and inability to integrate the cable map of the found cable into the GIS with a precise positioning.

In this study, techniques related to fault location in various underground cables, especially the electromagnetic induction principle, were investigated, and a literature search was conducted on the current status and future of routing devices in underground power lines.

## **II. UNDERGROUND POWER LINES**

In places where electrical energy cannot be transmitted and distributed by overhead lines, underground transmission and distribution is required. Especially underground power lines are preferred in cities and places where air lines cannot be used. In the strait passages, the energy must be made under the water, with an underground cable. Underground cables fail very little and do not require significant maintenance.

The characteristics of underground cables are:

- Cable conductor is made of annealed bare round electrolytic copper wires or twisted aluminum wires.
- Conductors with cross-sections of 16 mm<sup>2</sup> and larger must be compressed.
- It is manufactured as single conductor and multi-conductor according to the number of conductors.



- It has good resistance against chemical factors.
- In addition, it can adapt to all kinds of environmental conditions with its water-proof and impermeable outer sheath insulator.

- Many countries have increasingly adopted the use of cables with aluminum conductors.

Underground cables have some advantages and disadvantages.

**a. Advantages of Underground Power Lines**

- Facilities built with underground cables do not require poles and other materials.
- Facilities can be built without disturbing the visual aesthetics of streets and squares.
- Weather condition effects minimally.
- Underground cables can be laid straight or curved to suit the characteristics of streets, squares and parks.

squares and parks.

- They do not need maintenance as in overhead lines.
- It is safer in residential areas than overhead line facilities. The probability of an accident is reduced.

reduced.

**b. Disadvantages of Underground Power Lines**

- Installation costs are expensive.
- Tracking and repairing the cables is difficult.

Since the underground cable is a very expensive device, it is necessary to lay the cable in the shortest and most convenient way. It is necessary to be very meticulous in determining the route correctly, but in this way, the labor in the construction of the facility is less. A planned facility is easy to maintain and has a long lifespan. A scaled plan or map of the place where the cable will be laid is taken. All kinds of information about the terrain are included in the establishment of the high-voltage power lines. These pieces of information are added to the power distribution plans. The cable route is determined in two ways, outside the city and within the city.

### III. UNDERGROUND CABLE DETECTION TECHNIQUES

Knowing the lines in the area to be excavated is very important in terms of work safety and cost in applications such as infrastructure and construction projects to be made underground. Increasing the number of studies for transitioning from overhead lines to underground lines in densely populated areas has shown that there is a need for devices to detect underground cables.

Failures in underground cables can occur over time due to many reasons such as crushing, aging, external impacts, manufacturing errors, joint failure, moisture. The resulting malfunctions cause electrical

energy disruption or long-term interruptions, especially in the industrial area, causing great damage to consumers.

While methods such as TDR are used to detect the fault point of the defective cable, the underground location of the cable is made with Magnetic Cable locators. The main problem with finding the buried powerlines is everything was underground and couldn't be visible. In case of a lack of drawing plans, It is obligatory to use an equipment to find the target utility.

Several methods have been developed to take information on underground power lines as:

- **Ground Penetrating Radar (GPR)** uses Electromagnetic waves to monitor underground up to a few meters. In the past few decades, the development of semiconductor production and the development of microcomputers have enabled to measure time of flight measurement with more precision. The monitoring of underground cables with GPR has some advantages as GPR could monitor both metallic and nonmetallic object. However, the disadvantages of this method are making sense of the images taken, long processing processes, and high device costs.

- **Sonic Surveying**, focuses on acquiring the sound wave which is preliminarily injected. However this method not suitable for underground power lines

- **Mining** is the oldest but non-technological technique.
- **Electromagnetic Location**, Underground cables are a fairly common method of locating pipes [8]. Its biggest disadvantage is that it cannot detect the position of lines other than metallic pipes (eg plastic pipes). However, this disadvantage can be eliminated by using trace wires in plastic pipes.

#### IV. ELECTROMAGNETIC INDUCTION PRINCIPLE

The principles of electromagnetic induction began to be understood with the invention of Michael Faraday in the 1800s and then used to find underground cables [8].

Modern technology has advanced to the point where electromagnetic cable and pipe finders are portable, reliable and accurate. They are used worldwide to locate underground cables and pipes.

##### *a. Positive Properties of Electromagnetic Location*

The electromagnetic location provides positive properties and conveniences that cannot be obtained with any other method of obtaining information from underground [8]:

- It can search a field on the surface to find underground cables.
- A target line can be traced and defined.
- Non-metallic ducts or plastic pipes, pipes with access can be traced and identified.
- It can measure depth from the surface.

- An electromagnetic location system can be used to collect data on equipment or vehicles above and below ground.

- This technology is able to find certain cable faults.
- Electromagnetic locator equipment is convenient to carry around.
- This technology is suitable for use in all soil types, including underwater.
- It is less costly than other techniques.

There are three main features to make different applications [8]:

- A transmitter sized suitable for use in canals, including sewers.
- A small, self-contained transmitter suitable for installation in sewers or channels.
- A receiver for locating signals from transmitters or signals located in underground cables.

Understanding what's really going on in invisible magnetic fields helps increase user confidence.

Charged particles moving in a conductor, namely current, produce a magnetic field. In this action by the current, rings are formed around the charge.

It is possible to isolate against electric current but not against magnetic field. The form of the electromagnetic field does not change with the type of soil or the insulation of the cable.

The magnetic field produced in a current-carrying wire has a constant magnitude and a fixed direction. Finding/detecting direct current (DC) is a difficult action because electric charges flow in the same direction in direct current and it is a type of current whose polarity does not change over time.

Unlike direct current, the amplitude and direction of alternating current (AC) changes periodically. Thus, it not only creates an electromagnetic field, but also makes active position possible with the electromagnetic induction principle.

The energy storage capacity in the magnetic field created by each conductive wire through which current is flowing is called inductance. A counter voltage is produced in proportion to the change of alternating current in a circuit. This voltage-induced state occurs in the following ways [8]:

a.) By sending a signal to an underground line under the influence of a magnetic field created by the use of an AC signal transmitter.

b.) By detecting the signal on the underground line by increasing the small voltages induced by the magnetic field present in a receiver's antennas.

In alternating current, frequency is number of cycles per second in an ac sine wave and the rate at which the current changes direction in one second. The more cycles in a second, the higher the frequency, so a higher voltage is induced.

Various soil types can have high resistivity and behave as if there is an extra layer of conductive. The conductor charges relative to the ground. A wide area of ground is required for the situation to occur. It can be thought of as having a series of small capacitors on the line underground because it behaves that

way. For this reason, if the alternating current is supplied to the conductor, the current will flow in both directions. The higher the frequency value, the higher the current value, as its reactance decreases. The capacitance deploys appropriately along the transmission line. Therefore, the signal strength is also deployed along the transmission line.

The conductor area is directly proportional to the capacitance. As the area increases, the capacitance also increases. Therefore, the length that the signal will reach effectively is related to the surface area of the conductor.

The reason the signal cannot be received or the signal weakens after a certain distance in the conductor is explained by the capacitance effect. [8].

The current transmitting property of the soil is affected by various factors. For example, wet soil has better conductivity than dry soil. If the ground current is good, the signal is more easily induced in the underground lines. However, due to the easy return path, the signal may be lost after a short distance in the transmission line.

On the contrary, if the ground's ability to pass current is not good, high energy is required for signal integration, so that signal can be observed at a long distance in the transmission line.

Cable finders working with electromagnetic induction can be used to find passive and active positions. Only one receiving device is required to find passive location. In order to find an active position, two devices consisting of a transmitter and a receiver are required. Active-passive positioning is used to find and monitor underground transmission lines.

## **V. FREQUENCY SELECTION FOR ACTIVE POSITION**

Active signals are used to integrate the alternating current signal into a target transmission line with the aid of the transmitter.

Underground transmission lines can be found using active signals.

There is no only frequency that can be used in all statuses, so the choice of signal frequency is very important for a healthy monitoring and correct finding of the underground transmission line. Multiple frequency transmitter devices can be used for frequency selection. For simple vehicles it may be necessary to select a single frequency. This active frequency selection is usually chosen from signals between 8kHz and 33kHz [8].

512Hz is a low frequency, often used for long distance transmission line tracking and locating. It is not conveniently connected to unwanted transmission lines [8].

The 8kHz mid frequency is the most useful signal for general purposes. It is high for induction and makes limited contact with unwanted transmission lines [8].

33 kHz is a higher frequency. It can be easily inductively to many transmission lines. Therefore, it is very utility for the first call. However, it easily connects to unwanted transmission lines.

## **VI. FREQUENCY SELECTION FOR PASSIVE POSITION**

Passive signals are already present in many conductors. Current-carrying power conductors are the most familiar example.

Earth's power system contains return currents that flow through metal pipes through areas of lower resistance.

Radio frequency currents, on the other hand, are radio frequency currents that reflow along underground pipes and cables, even when they are live or unused.

Passive signals for this reason allow lines to be found, however the same signals can come out in whichever conductor because it is not identified. However, there are a point or two that may not be immediately clear, especially about passive power signals [8].

The first of these points is that the signal strength is not related to the voltage on the line. The signal strength is related to the current detected by the cable finder, thanks to the magnetic flux that creates the magnetic field in the conductor.

If the line is at high voltage but not loaded, no current will flow. Therefore, a power signal will not be detected. However, it remains a potential danger.

Another point, the current and the power of the signal are not directly related to each other. In any cable, the magnetic fields created by the outgoing and incoming currents spread in such a way that they cancel each other. Thus, they try to minimize the strength of the electromagnetic field.

Finally, passive signals are subject to change. Therefore, results that require precise information, such as depth measurement, are not precise. Its advantages are that underground transmission lines can be found with the help of a simple receiver.

Ensuring that buried lines are detected and avoided using only a simple receiver is paramount.

Recently, electromagnetic cable finders have been widely used to locate underground transmission lines. The world's leading manufacturers with this technology offer a variety of cable finders that can find underground transmission lines in both simple equipment and very complex situations, used to detect underground transmission lines.

Askarov R. et al. [9] investigated the properties of the induction method in their task of controlling cable laying parameters; They have developed a methodology that complements the existing induction method and makes it possible to identify sites for subsequent excavations.

Barnett, S. et al. [10] conducted a study outlining proposed solutions for the develop of a power system control robot. The study is on the application of underground transmission lines. A capacitive start

approach has been applied in calculating the three-phase busbar voltage and has been successfully tested at distances between 5-10 cm.

According to the study of Kijima H. et al. [11], the system that detects the burial location of the cables is commissioned by measuring the maximum magnetic field distribution on the soil surface created by the signal current passing through the cables laid inside the channels. Using the finite element method, magnetic field distributions were analyzed depending on the channel arrangements to estimate the errors.

Rădulescu A. et al. [12] aims to present the main techniques to study underground transmission lines, techniques that do not require complementary devices.

Tanoli W.A et al. [13] proposed a way to support safe underground excavation. Case studies have been carried out to investigate the proposed route and its application in the machine pilotage method. The underground research data was obtained utilizing GPR with a sensitive RTK GPS system.

While methods such as TDR are used to detect the fault point of the defective cable, the underground location of the cable is made with magnetic cable finders. Cable finders, which are supplied as imported products and used in distribution companies, have disadvantages such as high costs, depth detection errors due to their single coil structure, and inability to integrate the found cable and the cable map into the GIS with a precise positioning. It is thought that these disadvantages can be avoided with the RTK technique.

## **VII. RTK (REAL TIME KINEMATICS)**

It is very important today to determine instant location information with high accuracy. Real-time kinematics (RTK) is the determination of instant location information with "cm" accuracy by satellite navigation method. The RTK method has many advantages [14].

Users who are making measurements can measure the point where they want to get the location information without the need for a later evaluation process. This saves time.

RTK is suitable for work with GPS, GLONASS, or Galileo. In addition, RTK is a method applied in satellite navigation to rise the accuracy of location information got using satellite-based positioning systems[15].

RTK is generally divided into classical RTK and network-based RTK. There are some restrictions in terms of users in the classical RTK method.

As the distance between fixed receivers and rover increases, the accuracy of the classical RTK method decreases significantly.

In this method, at least one GNSS receiver must be installed at a fixed and high-accuracy point whose coordinates are determined or to be determined later. Other GNSS receiver(s) are applied to the moving points to be measured.

Mobile receivers must establish a connection with a fixed point receiver via a radio modem before measuring. A fixed point with known coordinates close to the area to be measured may not always be found. In such cases, a fixed point should be created and a static measurement should be made to this point, which is a time-consuming process.

The network-based RTK system is out there to remove the limitations of the classical RTK method. The network-based RTK method provides centimeter accuracy and is therefore frequently used today.

This method has a structure that consists of three or more reference stations connected to central servers and models distance-related errors throughout the network.

In the network-based RTK method, distance-related errors are transmitted to the users homogeneously, which gives users in the field better flexibility compared to the classical technique [14],[16].

The advantages of the network-based RTK method over the classical RTK method are as follows:

- Errors affecting GNSS measurement are modeled across the entire network.
- The measurement accuracy is better and more reliable than the classical technique.
- For the rover (mobile receiver), the movement area is wider and the problem of finding or establishing a fixed station in the field is eliminated.
- Rover's phase initial uncertainty is faster to resolve.
- The measuring area can be kept as large as desired and the distance between the fixed and the moving is larger than the classical technique.
- Multiple users can work in different applications at the same time.
- It is a continuous broadcasting system.
- Significantly reduces the cost of measurement in the field.
- It is more efficient than the classical technique in terms of data transmission.

The basic principle of the network-based RTK method is to minimize the distance-related errors (between the fixed and the rover) according to the position of the rover within the network in the field. The network-based RTK method makes use of data from a large number of reference stations, so data can be retrieved from the network even if no reference station is operating, allowing measurements to be maintained in all situations.

In the network-based RTK concept, there are data management center and data transmission system infrastructures. The data management center serves to produce the fixes instantly, and the data transmission system serves to deliver the fixes to the users. The data management center consists of central servers and software. The data transmission system consists of communication between reference stations and reference stations - users [14], [17].

Network based RTK system consists of 4 main parts. These parts are collecting data at reference stations, processing the collected data and generating corrections via software on central servers, publishing them and calculating the position of the rover by receiving the correction from the network.

In the first sections, continuously broadcasting reference stations (CORS) collect GNSS observations from satellites and transmit these observations to the servers in the control center that control all reference stations via the internet. It uses multi-frequency geodetic receivers at CORS points.

Incorrect observations from CORS points are filtered out and phase initial uncertainties are resolved. The server in the control center uses this data to provide a network-based solution for the point where the rover is located, and this data is then stored to be used for post-processing.

This information on the network is published for users. The resultant data in the network varies depending on the algorithms used in the calculations, the coefficients in the interpolation of the errors, and the raw data from the reference stations.

In the network-based RTK method, a minimum of 3 CORS points are required to produce the network corrections.

There are no restrictions on the number of stations and the area covered by the stations. The network can be regional, national or international, but there is a restriction that the distance between station points is less than 100 km. This is needed for a fast and reliable phase initiation uncertainty resolution for the rover. There is a direct link between the amount of station points found and the reliability of the network and the accuracy of the fixes. [14] ,[18].

## **VIII. CONCLUSION**

Knowing the lines in the area to be excavated is very important in terms of work safety and cost in applications such as infrastructure and construction projects to be made underground. Increasing the number of studies for transitioning from overhead lines to underground lines in densely populated areas shows that there is a need for devices to detect underground cables.

Underground cables are prone to malfunctions due to external factors. Failures in underground cables can occur over time due to many reasons such as crushing, aging, external impacts, manufacturing errors, joint failure, moisture.

The resulting faults cause electrical energy deterioration or long-term interruptions, especially in the industrial zone, causing great damage to consumers. It is very important for distribution companies and business centers such as factories that they serve, that the removal of the defective cable is carried out as soon as possible in the excavation works carried out to eliminate these malfunctions.

Detection of defective cables with the classical excavation method is a long and costly task. A fast and accurate diagnostic method is needed to quickly track system restoration, minimize downtime and



further reduce monetary losses. It has been understood that the conventional methods used to find underground transmission lines cause a waste of time.

While methods such as TDR are used to detect the fault point of the defective cable, the underground location of the cable is made with magnetic cable finders. Cable finders, which are supplied as imported products and used in distribution companies, have disadvantages such as high costs, depth detection errors due to their single coil structure, and inability to integrate the found cable and the cable map into the GIS with a precise positioning.

There is a need for mapping in the transition from overhead lines to underground. Although GIS (Geographical Information System) is used, there are incomplete and wrong information in GIS. If we had a device supported by RTK, it would provide many benefits by minimizing the service time.

### **ACKNOWLEDGMENT**

This study was carried out by Çamlıbel Elektrik Dağıtım A.Ş. It is supported by an EMRA R&D project numbered 1266379, which is being carried out by.

### **References**

- [1]. Eteiba, Magdy B., Wael Ismael Wahba, and Shimaa Barakat. "ANFIS Approach for Locating Faults in Underground Cables." *International Journal of Electrical and Computer Engineering* 8.6 ,2014,pp- 905-910.
- [2]. Lenz, J., & Edelstein, S. Magnetic sensors and their applications. *IEEE Sensors journal*,2006, 6(3), 631-649.
- [3]. Liao, Y. A novel method for locating faults on distribution systems. *Electric power systems research*, 117,2014, 21-26.
- [4]. Xiu, W., & Liao, Y. Fault-location Observability Analysis on Power Distribution Systems. *Electric Power Components and Systems*, 42(16), 2014,1862-1871.
- [5]. Liao, Y. Fault location for single-circuit line based on bus-impedance matrix utilizing voltage measurements. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 23(2), 2008, 609-617.
- [6]. Vasilic, S., Fuzzy neural network pattern recognition algorithm for classification of the events in power system networks. Texas A&M University,2004.
- [7]. Shabangu, M. A., P. F. Le Roux, J. A. Jordaan, and A. F. Nnachi. "Fault Location Detection in Underground Cables based on Wavelet-ANFIS Approach." In *2021 IEEE PES/IAS PowerAfrica*, pp. 1-4. IEEE, 2021.
- [8]. Radiodetection, "Cable and Pipe Location". Erişim Tarihi:01.11.2022  
<https://www.radiodetection.com/en/cable-and-pipe-location-theory>

- [9]. Noyafa, "An Easy Way To Find Underground Water/Gas Supply Pipelines Quickly".  
Erişim Tarihi: 11.10.2022  
<https://www.noyafa.com/blog/an-easy-way-to-find-underground-water-gas-supply-pipelines-quickly.html>
- [10]. Barnett, S. B., Power Systems Inspection Robot for Contactless Busbar Voltage Measurement and Underground Cable Tracking. In 2018 IEEE PES/IAS PowerAfrica (pp. 226-231). IEEE, 2018.
- [11]. Kijima, H. I. T. O. S. H. I., and T. O. M. O. H. I. K. O. Hattori. "Estimation results on the location error when using cable locator." WSEAS Transactions on systems 15 (2016): 11-18.
- [12]. Rădulescu, Andreea Carmen, Cătălin Ionuț Vintilă, and Petre Iuliu Dragomir. "Combining the techniques of taking details relating to underground utility networks in the field." Editorial Board: 34.
- [13]. Tanoli, Waqas Arshad, et al. "Makine yönlendirmesini kullanarak yeraltı tesisleri için Hasar Önleme." İnşaat Otomasyon 107 (2019): 102893.
- [14]. Öğütçü, S.S, "Gerçek Zamanlı Kinematik (RTK) Uygulamalarında Ağ Bazlı Tekniklerin Doğruluk Analizleri", Necmettin Erbakan University, Master Thesis, 2014.
- [15]. WikipediA, "Real Time Kinematic". Date of access :01.11.2022  
[https://tr.wikipedia.org/wiki/Ger%C3%A7ek\\_Zamanl%C4%B1\\_Kinematik](https://tr.wikipedia.org/wiki/Ger%C3%A7ek_Zamanl%C4%B1_Kinematik)
- [16]. Takac, F., Zelzer, O., 2008, The Relationship Between Network RTK Solutions MAC, VRS, PRS, FKP and i-MAX, Proceedings of the 21st International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation, Savannah, 348- 355.
- [17]. Rizos, C., Han, S., 2003, Reference station network based RTK systems-concepts and progress, Wuhan University Journal Of Natural Sciences, 8 (2B), 566-574.
- [18]. El-Mowafy, A., 2012, Global Navigation Satellite Systems Signal, Theory And Applications, Shuanggen Jin, Croatia, 174-179.

# Investigating Electric Vehicle Integration with Smart Micro Grid Application

Derya Betul UNSAL<sup>1,2,3</sup>

ORCID: 0000-0002-7657-7581

1 Cumhuriyet University, Graduate Institute of Natural and Applied Sciences, Department of Energy Science and Technology, Sivas, Türkiye.

2 Cumhuriyet University Renewable Energy Research Center, Sivas, Türkiye.

3 Cumhuriyet University Sustainability Office, Sivas, Türkiye.

## ***Abstract***

*Increasing environmental concerns and the fast depletion of fossil resources are driving the development of vehicle technology. Some researches aimed at lowering vehicle emissions, electric vehicles are typically the focus. But less research has shown that automobiles will minimize emissions in order to fulfill their energy demands with fossil fuels rather than the electrical grid. In addition, the extensive adoption of alternative and renewable energy systems by electricity-generating power plants would further cut emissions. In this study, successful operation of DERs including EVs inside the modeled MG system is the objective. Connecting a rechargeable standard EV battery was intended to minimize the impact of the additional battery on the network's energy quality.*

## **I. INTRODUCTION**

Numerous studies have demonstrated that it is more cost-effective to fulfill the charging energy demand at night, when energy consumption is significantly lower than during peak hours [1].

However, it is essential for vehicle owners to satisfy their charging requirements. Therefore, it is essential to calculate the maximum quantity of electricity that may be extracted from regional charging stations. In the vehicle model to be constructed for the thesis, the charge demand is computed based on information

manually input from the outside. This inputted EV data is obtained from the database on Pecan Street. This will prevent both cars from overwhelming the network and ensure that the vehicles' load requirements are satisfied to the greatest extent feasible. The literature emphasizes that the charging requirements of EVs are evaluated in terms of energy quality. DC/AC converters, which allow cars to interchange energy within the grid, are often intended to solve energy quality issues. [1-3].

In this way, the adaptable design of DC/AC converters can improve the quality of energy exchange within the grid. Consequently, when connected to the network, automobiles will become energy-quality solutions as opposed to loads that contribute to energy quality issues. [4-6].

The charge and discharge currents are one of the aspects that influence the battery's lifespan and capacity. Depending on the charge-discharge regulation of the batteries, charge discharge currents are one of the most influential elements on battery life and capacity. Currents pulled abruptly from a battery cause the battery to overheat and become damaged. In the event of a vehicle's abrupt acceleration and deceleration, the current values rise, causing the batteries to overheat and become incapable of meeting the energy demands of the load [7].

## II. BATTERY CHARGING METHODS

Currently, battery charging techniques are separated into three categories. These are known as Level 1, Level 2, and Level 3 charging techniques. Figure 1 presents a comparative overview of charge kinds [8].

	Level 1	Level 2	Level 3 (DC Fast Charge)
<b>Voltage</b>	120 volts	240 volts	480 volts
<b>Amperage</b>	15-20 amps	40-80 amps	85+ amps
<b>Demand</b>	1.2-1.92 kilowatts	3.3-6.6 kilowatts	50+ kilowatts
<b>Charge Time</b>	5-12 hours	1-4 hours	15-30 minutes
<b>Power Requirements</b>	Ground fault interrupted 120 volt AC dedicated branch electrical circuit	Hardwired dedicated branch circuit with 240-volt AC/single phase service with a 40 amp current rating	480-VAC/3-phase service with a 60 Amp breaker for 30 kW output or a 125 Amp breaker for 60kW output*

**Figure 1.** Comparing Charging Methods. [8].

Obviously, car owners park their vehicles during these hours. Slow charging facilities for extended parking do not overwhelm the electrical grid. Slow charge is another name for level 1 charge. Single phase system at the initial charging level, the station also functions as an energy source. It is located in the plug-in charging element recharge condition. Level 1 charging stations are not equipped with a power converter. It just facilitates communication between the car and the grid in order to complete the pricing procedure [8-10].

Level 2 charging is a sort of charging at a medium rate. Typical parking periods at charging stations range from three to six hours. These stations are located in locations where car owners may park, such as parking garages, retail centers, movie theaters, and picnic spots. With the same output current, these stations have a maximum of 32 A and 250 V for single phase or 380 V for three phase. These types of charging stations have nominal power outputs ranging from 6 to 20 kW. (DOE, 2008). As with Level 1 charges, single phase systems are employed as the energy source and the charge components are installed as a tool. As previously stated, Level 1 and Level 2 charging stations just facilitate communication between the car and the grid in order to complete the charging process [8-11].

Level 3 charging is commonly referred to as rapid charging. These systems, also known as Mode-3, are utilized where energy demands are immediate, in recreational facilities, and in areas with significant traffic. Typically, parking periods are shorter than thirty minutes. Rapid charging stations are very secure due to the fact that they must be designed with specialized protective components. The connecting cords have signal and control pins on both sides. At these stations, the highest available current is 250 A. Also according to IEC 61851-1, it is permissible to charge at up to 400 A in mode-4 of DC rapid charge, which is 400 A. However, DC charging facilities are significantly more expensive than other charging methods. The typical wattage of fast charging stations is between 50 and 240 kW [9, 10].

### **III. MODELLING ELECTRIC VEHICLES**

In this study's modelling system, the Simulated Annealing algorithm not only recharges electric vehicles but also considers active power limits imposed by the network operator.

Simultaneously, it attempts to lower the load on the transformer by restricting the reactive power pulled from the network at the connection point, while attempting to maintain the reactive power value supplied by the network operator (this situation is limited by the standard values). Levels of harmonics are an additional type of data transmitted by the network.

According to these harmonic values, Equation. 1 represents the total of the harmonic currents created by the Pecan Street consumption statistics. Using the information on the active and reactive power, the amplitude of the current is computed using Equation 2.

$$THD_I = \frac{\sqrt{I_3^2 + I_5^2 + \dots + I_n^2}}{I_1}$$

$$THD_V = \frac{\sqrt{V_3^2 + V_5^2 + \dots + V_n^2}}{V_1} \quad (\text{Eq. 1})$$

$$I = \frac{\sqrt{(P^2 + Q^2) + D^2}}{V} \quad (\text{Eq. 2})$$

According to the "Charging electric vehicles disturbs power systems less than predicted Report," EV models utilized in the Austin region of Texas include the Chevrolet Volt, Nissan Leaf, and Tesla Model S. This thesis concentrates on the Austin region [12].

Real-time electrical vehicle data from the Pecan Street Project database of the Electrical Reliability Council of Texas (ERCOT) were utilized for this study (ERCOT, 2017) [5]. Therefore, these car use statistics are acquired annually from the ERCOT database. In the Pecan Street database, all parameters of EVs are accessible (Pecan Street Dataport, 2017). [13-16].

The Matlab Simulink program enables users to modify system settings when creating or moving existing data to the digital domain (Mathworks, 2017). However, in order to accomplish this, a mathematical model of the system is required. Figure 2 depicts the modelling system's mathematical methodology that facilitates the input of Pecan Street electric car usage statistics.

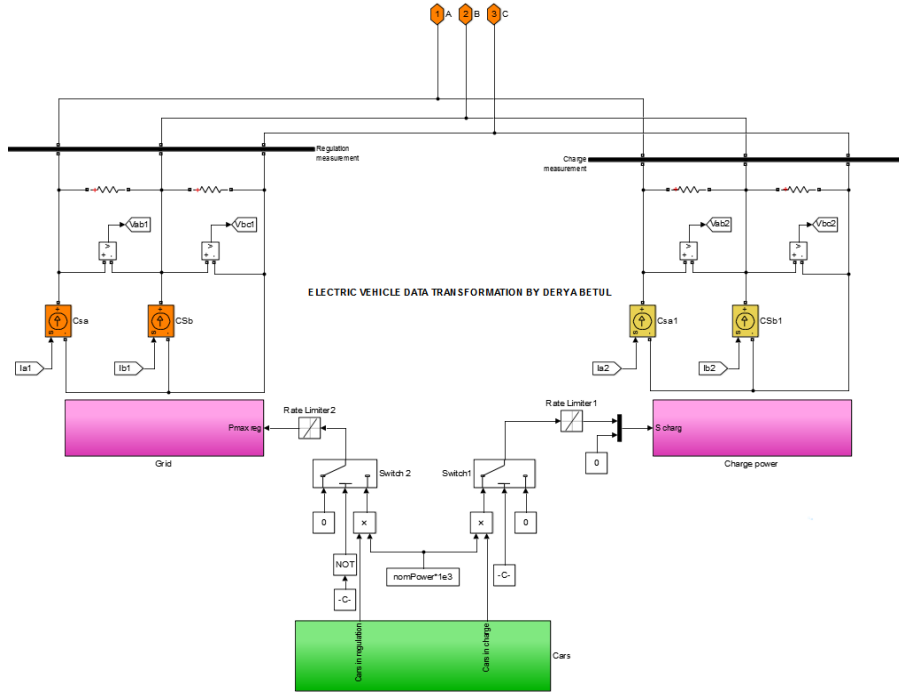


Figure 2. Modelling EV system's mathematical methodology.

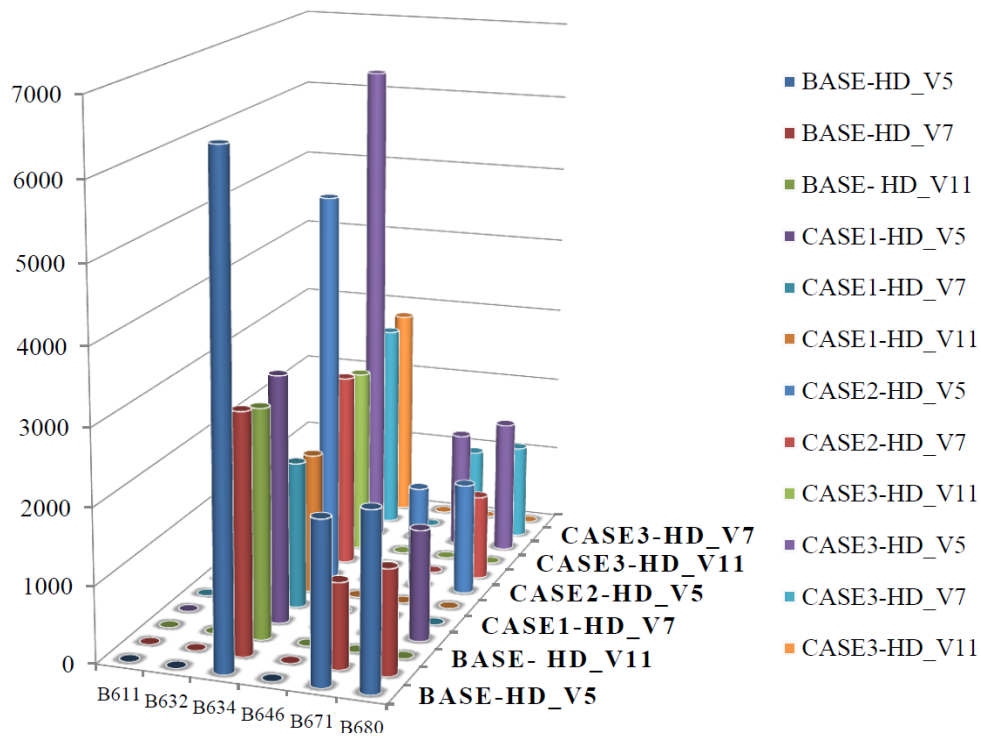


Figure 3. THD results for EV system's matlab application.

#### **IV. RESULTS AND CONCLUSION**

This study seeks to achieve the maximum feasible harmonic distortion in the system in order to examine its detrimental impacts. For this reason, 1 year of Tesla Model S consumption data was manually inserted into the Matlab Simulink electric car model.

Harmonic results given in Figure 3 for different cases. HD meaning Harmonic distortion calculation results with Eq.1 and Eq. 2 also 5 th, 7 th And 11 th harmonics are calculated for energy efficiency results.

This car model was selected in an effort to observe the greatest harmonic influence on the system when coupled with an electric vehicle. If the grid to which EVs are linked has faults, the first step in repairing the grid should be to improve the energy transmission quality. EV charging during peak hours should be prohibited. In addition, the load demand of EVs should be met. Renewable energy sources dispersed as backup power sources during times of high energy demand. Solar technology is widely utilized in renewable energy sources nowadays. To improve the quality of electricity supplied from the grid, however, there is no specific standard for how DERs will be linked to the grid.

#### **References**

- [1] Boulanger, A.G., Chu, A.C., Maxx S. ve Waltz D.L., (2011). “Vehicle Electrification: Status and Issues”, Proceedings of the IEEE, Vol. 99, No. 6.
- [2] Cheng, L., Hui, Z., Feng-chun, S. ve Jin-rui, N., (2009). “Study on Intelligent Control Strategy of Battery–Electric Bus Based on the Fuzzy Comprehensive Evaluation Method”, Intelligent Systems, 2009. GCIS '09. WRI Global Congress , 2: 328 – 332.
- [3] Coleman, M., Kwan, Chi, L., Chunbo, Z. ve Hurley, W.G., (2007). “State-of-Charge Determination From EMF Voltage Estimation: Using Impedance, Terminal Voltage, and Current for Lead-Acid and Lithium-Ion Batteries”, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 54: 2550 – 2557.



- [4] DOE/EPRI 2013 Electricity Storage Handbook in Collaboration with NRECA, A. A. Akhil, G. Huff, A. B. Currier, B. C. Kaun, D. M. Rastler, S. B. Chen, A. L. Cotter, D. T. Bradshaw, W. D. Gauntlett.
- [5] ERCOT, 2017 , <https://dataport.cloud/data/usgov> (Online) [Access: 11.02.2021].
- [6] Galus, M. D., Zima, M. ve Andersson, G., (2010). “On integration of plug-in hybrid electric vehicles into existing power system structures”, *Energy Policy*, 38:6736-6745.
- [7] Goransson, L., Karlsson, S. ve Johnsson, F., (2010). “Integration of plug-in hybrid electric vehicles in a regional wind-thermal power system”, *Energy Policy*, 38:5482-5492.
- [8] Haghbin, S., Khan, K. ve Lundmark (2010). “Integrated Chargers for EV’s and PHEV’s: Examples and New Solutions”, XIX International Conference on Electrical Machines - ICEM 2010.
- [9] Mathworks, <https://www.mathworks.com/> (Online) [Access: 13.02.2021].
- [10] NREL, National Renewable Energy Laboratory, (2006). Plug-In Hybrid Vehicle Analysis, Operated for the U.S. Department of Energy Office of Energy Efficiency and Renewable Energy by Midwest Research Institute Battelle Contract No. DE-AC36-99-GO10337.
- [11] OAK, Oak Ridge National Laboratory, (2008). Potential Impacts of Plug-in Hybrid Electric Vehicles on Regional Power Generation, Technical report Operated for the U.S. Department of Energy by Battelle under Contract DE-AC05-00OR22725.
- [12] PNNL, Pacific Northwest National Laboratory, (2007). Impacts Assessment of Plug-in Hybrid Vehicles on Electric Utilities and Regional U.S. Power Grids, Technical Report Operated for the U.S. Department of Energy by Battelle under Contract DE-AC05-76RL01830.
- [13] Kisacikoglu, M.C., Ozpineci, B. ve Tolbert, L.M., (2010). “Examination of a PHEV bidirectional charger system for V2G reactive power compensation”, *Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), 2010 Twenty-Fifth Annual IEEE* 458 – 465.
- [14] Su, Gui-Jia, Tang ve Lixin, (2010). “Control of plug-in hybrid electric vehicles for mobile power generation and grid support applications”, *Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), 2010 Twenty-Fifth Annual IEEE* 1152 – 1157.

- [15] Pecan Street launches world's largest residential energy database, By David Wogan, Scientific American, March 12, 2018 , <http://www.pecanstreet.org/2014/03/with-wikienergy-pecan-street-project-shares-the-largest-residential-energy-database-with-the-world/>(Online) [Access : 12. 12. 2021]
- [16] Pyper J, Charging electric vehicles disrupts power grids less than expected Climate Wire, October 28, 2013, <https://www.pecanstreet.org/2013/10/charging-electric-vehicles-disrupts-power-grids-less-than-expected/> (Online) [Access : 12. 12. 2021]