

Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi

International Journal of Technological Sciences

Sahibi / Owner

Dr. Ali Kemal YAKUT

Yayın Yönetmeni / Publishing Manager

Dr. Reşat SELBAŞ

Editör / Editor in Chief

Dr. Nihat YILMAZ

Yardımcı Editörler / Vice Editors

Dr. Önder KIZILKAN

Dr. Ergün KORKMAZ

Editör Kurulu / Editorial Board

Dr. Önder KIZILKAN

Dr. İsmail Serkan ÜNCÜ

Dr. Ergün KORKMAZ

Dr. Fatih YILMAZ

Dr. Cengiz ÖZEL

Dr. Serap ERGÜN

Dr. Okan BİNGÖL

Yayın Danışma Kurulu/Editorial Advisory Board

Dr. Hiroshi YAMAGUCHI, Doshisha University, Japan

Dr. İbrahim DİNÇER, Ontario Tech University, Canada

Dr. Mustafa Reşit USAL, Süleyman Demirel Üniversitesi, Türkiye

Dr. Deeb Alashgar, Kyoto University, Japan

Dr. Ramazan KÖSE, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Türkiye

Dr. Farrukh Khalid, Indian Institute of Technology Guwahati, India

Dr. Shoaib Khanmohammadi, Kermanshah University of Technology, Iran

Dr. Ömer Necati CORA, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Türkiye

Dr. Mehmet Akif EZAN, Dokuz Eylül Üniversitesi, Türkiye

Dr. Nabi İBADOV, Warsaw University of Technology, Poland

Dr. Murat Öztürk, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Türkiye

Dr. Mustafa AY, Marmara Üniversitesi, Türkiye

Dr. Tahir Abdul Hussain Ratlamwala, National University of

Sciences and Technology, Pakistan

Grafik Tasarım / Graphic Design

Sinan İLKAZ

Teknik Sorumlu / Technical Manager

Nejat TÜKENMEZ

Mizanpaj / Make-up

Dr. Serpil ÇELİK TOKER

Dergi Adresi / Journal Address

Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi Editörlüğü

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Teknoloji Fakültesi

32260, Batı Kampüsü, Isparta, Türkiye

Tel: +90 246 2111569

Fax : +90 246 2111984

E-posta/E-mail: utbd@isparta.edu.tr

Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi tarafından yılda 3 sayı elektronik olarak yayınlanmaktadır.
International Journal of Technological Sciences is published three times a year electronically by Isparta University of Applied Sciences.

Cilt / Volume: 15

Sayı/Number: 1

Nisan/April 2023

e - ISSN : 1309-1220



İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Sayfa No

Araştırma Makalesi

- Parametric analysis for the determination of solar collector and hot water tank capacity in solar-assisted heating systems**
Güneş enerjisi destekli ısıtma sistemlerinde güneş kolektörü ve sıcak su deposu kapasitesi seçimi için parametrik analiz 1-10
Ersin HAYDARASLAN
- Gaz Yakıtlı Kombi Sisteminin Yapay Sinir Ağı ile Yakıt Miktarı Tahmini Isparta Örneği**
Gas Fired Combi System by Artificial Neural Network Fuel Quantity Estimation Example of Isparta 11-18
Mehmet Erhan ŞAHİN
- Fuzzy modeling applied to a microwave dryer: Cotton weaving fabric drying process**
Mikrodalga kurutucu için bulanık modelleme: Pamuklu dokuma kumaş kurutma işlemi 19-26
Feyza Akarslan KODALOĞLU
- Korkuteli Sinaneddin Medresesi'nin deprem etkisi altında yapısal davranışının değerlendirilmesi**
Evaluation of structural behavior Korkuteli Sinaneddin Madrasah under the earthquake effect 27-36
Mustafa Yılmaz İRBAN, Mehmet FENKLİ
- Performance Assessment of PV/T Driven Transcritical Rankine Cycle: A Comparative Study on Supercritical Working Fluids**
PV/T Destekli Transkritik Rankine Döngüsünün Performans Değerlendirmesi: Süperkritik Çalışma Akışkanları Üzerine Karşılaştırmalı Bir Çalışma 37-48
Gamze SOYTÜRK

Research Article/Araştırma Makalesi

Parametric analysis for the determination of solar collector and hot water tank capacity in solar-assisted heating systems

Ersin Haydaraslan *1

¹Recep Tayyip Erdoğan University, Department of Electricity and Energy, 53100, Rize, Türkiye

Keywords

Energy
Solar energy
Heating system
Solar-assisted heating system

Article history:

Received: 11.08.2022
Accepted: 01.03.2023

Abstract: In this study, a study was carried out on integrating solar assisted systems into heating systems in a building. For the study, an existing building was modeled with the DesignBuilder building energy simulation program. The scenarios were created on the model to determine the number of solar collectors and the capacity of the water tank used in solar assisted heating systems. The primary energy consumption, global costs and payback periods of the scenarios created were obtained by parametric analysis. According to the results obtained, the solution that reduces primary energy consumption the most is SYS20, the solution that reduces the global cost the most is SYS1 and the optimum solution is SYS7. Considering the payback periods, SYS1 was determined as the most appropriate solution to be applied in the study since it was the solution with the minimum payback period. At the end of the study, it was seen that primary energy savings could be reduced by up to 47% with solar energy assisted heating system. Thanks to the study, a reference source for the number of solar collectors and water tank capacity selection in Isparta and provinces with similar climates has been created.

To Cite / Atıf için:

Haydaraslan E. Parametric analysis for the determination of solar collector and hot water tank capacity in solar assisted heating systems. International Journal of Technological Sciences, 15(1), 1-10, 2023.

Güneş enerjisi destekli ısıtma sistemlerinde güneş kolektörü ve sıcak su deposu kapasitesi seçimi için parametrik analiz

Anahtar Kelimeler

Enerji
Güneş enerjisi
Isıtma sistemi
Güneş enerjisi destekli ısıtma sistemi

Makale geçmişi:

Geliş Tarihi: 11.08.2022
Kabul Tarihi: 01.03.2023

Öz: Bu çalışmada konutlarda ısıtma sistemlerine güneş enerjili destek sistemlerinin entegre edilmesi ile ilgili bir çalışma yapılmıştır. Çalışma için mevcut bir bina DesignBuilder bina enerji simülasyon programı ile modellenmiştir. Model üzerinde ısıtma sistemine entegre edilecek en uygun güneş kolektörü sayısı ve sıcak su deposu kapasitesinin belirlenmesi için senaryolar oluşturulmuştur. Oluşturulan senaryoların birincil enerji tüketimleri, global maliyetleri ve geri ödeme süreleri parametrik analiz ile elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre birincil enerji tüketimini en çok düşüren çözüm SYS20, global maliyeti en çok düşüren çözüm SYS1 ve optimum çözüm ise SYS7 olmuştur. Geri ödeme süreleri göz önüne alındığında ise SYS1 en kısa geri ödeme süresine sahip çözüm olduğu için çalışmada uygulanabilecek en uygun çözüm olarak belirlenmiştir. Çalışma sonunda ısıtma sistemlerine güneş enerjisi desteğiyle %47'ye varan birincil enerji tasarrufu elde edilebileceği görülmüştür. Çalışma ile Isparta ve benzeri iklimde güneş kolektörü sayısı ve su tankı kapasite seçimi referans bir kaynak oluşturulmuştur.

1. Introduction

Buildings have a large share of the total energy consumption. The energy consumption in the building is supplied with fossil fuels, which consumed in the near future. Therefore, in

building design, some parameters should be considered to reduce the energy demands of the building [1]. There are two important parameters to reduce energy consumption in buildings: building envelope and

* İlgili yazar/Corresponding author: haydaraslanersin@gmail.com.

system equipment (heating, cooling, and hot water supply (DHW) systems) [2-3]. While energy consumption can be reduced by the appropriate selection of system equipment used in buildings, it can also contribute to reducing the total energy consumption by providing some of the energy demand in these systems with renewable energy instead of fossil sources. Within the scope of this knowledge, a study was carried out on integrating solar assistant systems into standard heating systems in residential buildings.

Many studies were carried out on the use of solar energy system to reduce the energy consumption in buildings. Lerch et al. (2015) compared a serial and parallel connection of solar assisted heating system for a single-family house. In the study, six different systems were designed: a reference system without a solar collector and an interconnected system by five different connection types that had two different collector areas (14 and 30 m²). It was concluded that the system performance of the non-solar assisted heating system increased with the use of solar energy. Moreover, it was also found that serial connected heating system with the 14 m² collector area was the most efficient system [4]. Mustafaraj et al. (2014) numerically examined the effect of heating systems with solar assisted on building energy performance. In the study, it concluded that, monthly heating energy saving potential changes from 20% to 27% with solar assisted heating system compared to conventional heating system [5]. Kalfa et al. (2018) carried out a numerical analysis to reduce the energy consumption of a building. In the study, solar assisted heat pump was used for heating, and compression the primary energy consumption between conventional heat pump and solar assistant one. As a result, it was concluded that the solar assisted heating system consumed approximately 12% less energy than non-solar assisted [6]. Ge et al. (2022) proposed to determine the optimal configuration of a solar assisted natural gas distributed energy system in their study. In the study, three scenarios were designed with the different structural solar assisted energy systems. The results of the study that the solar assisted energy system has between 2.90% and 7.48% less annual total cost than the conventional energy system [7]. Jia et al. (2022) in a study, they integrated the solar energy with the combined heat and power generation system. In the study, there were lots of parameters to decrease energy demands. One of these parameters was the solar to fossil fuel input ratio of the system. As a result of the study, the solar assisted system could achieve an annual fuel saving efficiency average of 50.82 %. Also it was conducted that as the solar-to-fuel input ratio increased the fuel savings was as high as 72.60 %, and the energy savings was as high as 39.72 % [8].

Li et al. (2023) proposed the concept of air source heat pump assisted solar energy for a building. The study was carried out experimentally and numerical to discover the technical and economic performances of solar assisted heating system. The results show that the heat pump assisted solar energy system improves technical and economic performance in comparison with non-solar assisted heat pump. Also, it is concluded that the primary energy saving rate of the solar assisted system was 66.4 % compared the traditional heat pump [9]. Yang et al. (2023) reported the numerical simulations of solar assisted air source heat pump heating systems that integrate solar collectors for domestic heating. In the study most important parameter was the collector size which was changed from 6 m² to 18 m². The other one was the collector type of concentrated solar collector, flat plate solar collector and compound parabolic concentrator solar collectors. As a result of the study, for the same seasonal performance, the size of the concentrated solar collector required is 12 m² whereas the size of the flat plate solar collector required is 18 m² for the studied building. The results also showed the potential to further reduce the size of the concentrated solar collector to 9 m² or less. At the end of the study, it was reached that as the collector size decreased, the payback time decreased, while the energy consumption increased. For this reason, it was stated that the optimum collector size selection was important [10].

In this study, it was examined that changes of the energy performance with the integrating solar assistant into the heating systems in residential buildings. A parametric analysis was carried out to determine the number of solar collectors and the capacity of the hot water tank used in solar assisted heating systems. The novelty of the study is that it is a reference source for solar collector and water tank capacity selection for solar assisted heating systems in Isparta and cities with similar climates.

2. Materials and Methods

An existing detached building was modeled and simulated by using the building energy simulation program DesignBuilder. A reference model was established by defining the building construction, heating, and hot water system. After the reference model was established, new alternative system was developed on these models. The annual primary energy consumption and global costs of reference and other systems were obtained and compared. According to the findings, monthly energy consumption values were analyzed for a reference and three selected system. In addition, the payback periods of alternative systems were also examined. The province of Isparta from the Mediterranean region was chosen as the study region,

Table 1. Climatic data of Isparta

	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	ANNUAL
Avg. Temperature (°C)	1.8	2.9	6.0	10.8	15.5	20.0	23.5	23.2	18.7	13.1	7.6	3.5	12.2
Avg. Max. Temp. (°C)	6.2	7.7	11.6	16.7	21.8	26.5	30.3	30.6	26.4	20.5	13.9	8.1	18.4
Avg. Min. Temp. (°C)	-2.0	-1.2	0.9	4.8	8.6	12.3	15.3	15.1	10.9	6.7	2.6	-0.3	6.1
Avg. Sunshine Duration (h)	3.8	4.7	5.7	6.8	8.3	10.3	11.2	10.7	9.4	7.0	5.3	3.3	86.5
Max. Temperature (°C)	17.6	22.5	26.8	29.5	33.0	36.2	42.3	41.2	37.1	32.2	25.4	20.0	42.3
Min. Temperature (°C)	-19.2	-21.0	-18.5	-7.7	-1.2	4.3	4.9	7.0	-0.8	-4.2	-11.5	-15.4	-21.0

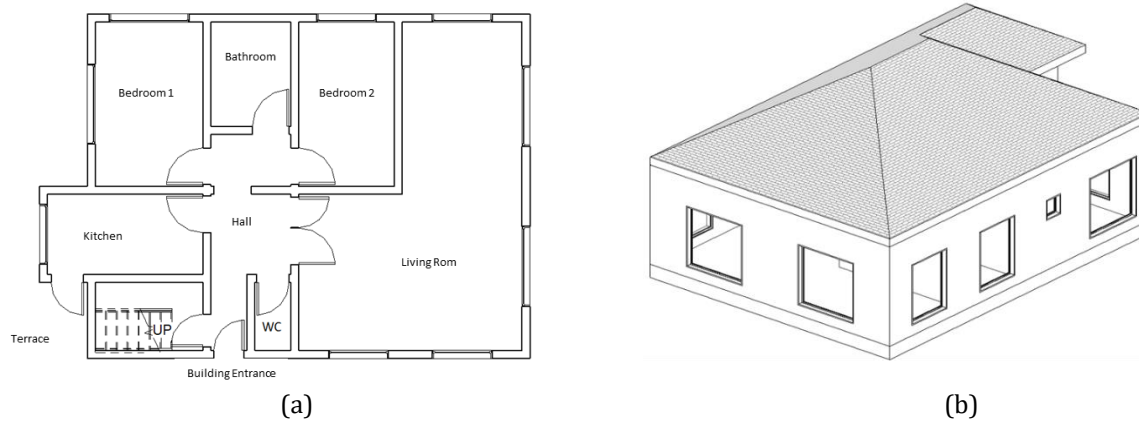


Figure 1. (a) Floor plan, (b) building perspective view

due to the cold winter months and the long sunshine time (Table 1) [11].

2.1. Building Geometry

An existing, single-storey building was chosen for the study. Three people live in the building that consists of seven thermal zones. Total occupancy area is 92 m². The perspective view and the floor plan are shown in the Figure 1.

2.2. Mathematical Model

The primary energy consumption and global cost calculation of the building was performed for investigating performance of solar assisted heating system [12]. General equations for primary energy consumption and global cost;

$$PEC = \sum (\dot{Q}_{consumption} \times K) \quad (1)$$

$$Cg(\tau) = CIn + \sum_j \left[\sum_i^{\tau} (Cy(\tau) + Cr(\tau)) - Vf, \tau(j) \right] \quad (2)$$

The details of these equations were detailed our previous work [13]. In global cost calculation, market interest rate (0.1765) and inflation rate (0.1114) were used by averaging long-term data [14]. The calculation period was defined as twenty years because of the system equipment life.

2.3. Numerical Simulation

The equations given in the previous section were solved simultaneously using the building energy simulation program. The details of building materials such as walls, floors, windows, and roofs used in the study are defined according to the values specified in TS 825 [15]. The construction information, indoor temperatures, occupancy profile, etc. information can be seen in the Table 2 [15, 16, 17]. On the other hand, the cooling is not covered in this study.

In the existing building, heating is provided by a gas fired boiler. The radiators are used for the heating system indoor units. The radiator capacities used for operation can be seen in the Table 3 [18]. With this information, the mechanical system of the reference system was established.

Table 2. Building characteristics

Main buildings dimensions					
Gross Length (N-S direction)	8.4 m		Gross Floor Area	91.91 m ²	
Gross Length (W-E direction)	10.9 m		Gross Volume	248.15 m ³	
Gross Height	2.7 m (1 floors)		Gross Roof Area	119.30 m ²	
Building geometry-residential					
	Total	North	East	South	West
Gross Wall Area (m ²)	135.82	36.60	36.30	26.33	43.56
Window Area (m ²)	28.98	9.52	5.74	6.41	9
Window-Wall Ratio (%)	21.34	26.23	15.81	24.32	20.66
Weather Data	ASHRAE Isparta IWEC		Number of zones	7 Thermal zones	
Environmental control					
	Heating (°C)	Heating set back (°C)	Cooling (°C)	Cooling set back (°C)	
Living Room	20	18	-	-	
Kitchen	20	18	-	-	
Hall	15	13	-	-	
Bedroom 1-2	20	18	-	-	
Bathroom	24	22	-	-	
Occupancy Profile					
Weekdays	Unoccupied between 08.00-17.00		Weekend	Occupied all time	
Construction					
U _{wall}	0.612 W/m ² K		U _{floor on the ground}	1.932 W/m ² K	
U _{ceiling (semi-exposed)}	2.654 W/m ² K		U _{windows}	2.673 W/m ² K	
U _{partition}	1.665 W/m ² K		Infiltration	0.8 ac/h	

Table 3. The radiator capacities by room

	Heating Capacity (W)
Kitchen	1798
Hall	1079
Living Room	6473
Bedroom 1	2158
Bedroom 2	1798
Bathroom	1438

The reference system consisted of two loop: the hot water (HW) loop and the domestic hot water (DHW) loop. The gas fired condensing boiler was used as the energy source for HW and DHW loop (Figure 2a). In addition to the reference system, solar assisted heating system was added to alternative systems (Figure 2b). The solar hot water produce system (solar loop) was installed not only to produce domestic hot water, but also to support space heating. The solar loop obtained

its energy from thermal solar collectors. The water returning from the radiators was firstly taken to the solar loop system and then to the boiler. If the water temperature obtained by solar energy was not sufficient, it was heated up to the desired level with the boiler.

The mechanical system information such as the boiler [19], water tank [20] and pump capacity [21] of the reference and alternative system models are given in Table 4. The boiler and domestic hot water information was the same with reference system. But, the extra water tank, pump and new thermal solar collector was added for solar loop. The water tank capacity and thermal solar collector area were variable for all alternative system. The system code and the variable properties of alternative systems are given in Table 5. The collector area changed from 10 to 40 m² and tank volume from 200 to 2000 liters.

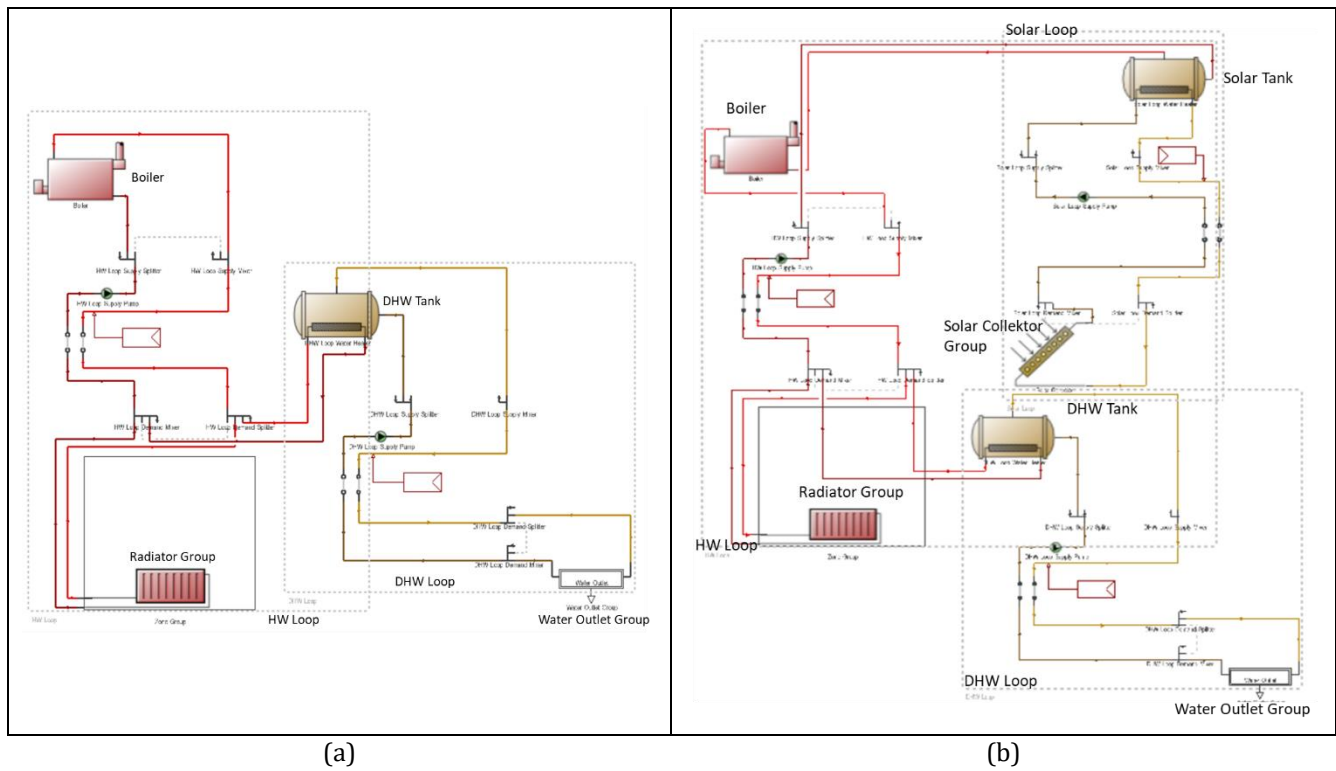


Figure 2. The heating and hot water system scheme for (a) the reference model (b) for the alternative models

Table 4. Technical specifications of devices used in the reference and alternative systems

Reference		Heating: Radiator + Boiler (Gas) ; DHW: Boiler (Gas)			
Boiler	Nominal Capacity	Nominal Efficiency	Design Loop Exit Temperature	Loop Design Temperature Difference	
	24 kW	0.89	75 °C	10 °C	
Water tank	Services	Tank Volume	Design Loop Exit Temperature	Loop Design Temperature Difference	
	DHW loop	0.06 m ³	56 °C	5 °C	
Pump	Services	Type	Head	Water Flow	Electric Power
	DHW loop	Variable speed	1 m (maks.)	0.5 m ³ /h (maks.)	7 W (maks.)
	HW loop	Variable speed	6 m (maks.)	2 m ³ /h (maks.)	70 W (maks.)
Alternative Systems		Heating: Radiator + Solar Assisted Boiler (Gas+ Solar) ; DHW: Solar Assisted Boiler (Gas+ Solar)			
Boiler	Nominal Capacity	Nominal Efficiency	Design Loop Exit Temperature	Loop Design Temperature Difference	
	24 kW	0.89	75 °C	10 °C	
Water tank	Services	Tank Volume	Design Loop Exit Temperature	Loop Design Temperature Difference	
	DHW loop	0.06 m ³	56 °C	5 °C	
	Solar loop	Variable	Variable	Variable	
Pump	Services	Type	Head	Water Flow	Electric Power
	DHW loop	Variable speed	1 m (maks.)	0.5 m ³ /h (maks.)	7 W (maks.)
	HW loop	Variable speed	6 m (maks.)	2 m ³ /h (maks.)	70 W (maks.)
	Solar loop	Variable	1 m (maks.)	0.5 m ³ /h (maks.)	7 W (maks.)
Thermal Solar Collec.	Area	Efficiency	Slope		
Variable		0.74 (maks)	Equal to latitude (37°)		

Table 5. The system code and the variable properties of alternative systems

CODE	Area (m ²)	Tank Volume (m ³)	CODE	Area (m ²)	Tank Volume (m ³)
SYS1	10	0.2	SYS11	30	0.2
SYS2	10	0.4	SYS12	30	0.4
SYS3	10	0.8	SYS13	30	0.8
SYS4	10	1.0	SYS14	30	1.0
SYS5	10	2.0	SYS15	30	2.0
SYS6	20	0.2	SYS16	40	0.2
SYS7	20	0.4	SYS17	40	0.4
SYS8	20	0.8	SYS18	40	0.8
SYS9	20	1.0	SYS19	40	1.0
SYS10	20	2.0	SYS20	40	2.0

3. Results and Discussion

The building's primary energy consumption and twenty-year global cost were calculated for the reference and other systems. The results obtained are seen in the Figure 3.

For the reference and other systems, the building's primary energy consumption and global cost were calculated as the result. On the Figure 3, each point represents the global cost and primary energy consumption of a system. The rightmost dot represented the reference system. The leftmost one was the SYS20 had the lowest primary energy consumption. In the bottom dot was SYS1 which had the lowest global cost. The optimum solution in terms of global cost and primary energy consumption was SYS7. So, for the study, if the nZEB building was desired, global cost could be ignored and SYS20 was appropriate. If the cost-optimized system was desired, SYS1 with the lowest global cost could be chosen. The energy consumption for monthly of Reference, SYS1, SYS7 and SYS20 are given in the Figure 4.

In the reference system, the energy was not consumed for heating between May and October, but it was consumed to produce hot water. In SYS1, energy was not consumed for heating and hot water during these months. On the other hand, between January-May and October-December, energy consumption for heating and hot water production decreased by approximately

13% compared to the reference system, thanks to the solar assisted heating system. This rate became 18% in SYS7 and %25 in SYS20. These rates were between 20% and 27% in the study by Mustafaraj et al [5]. When the primary energy consumption saving rates were examined; it was 12% in the study of Kalfa et al. [6] and it reached up to 66.4% in the study of Li et al [9]. In this study, the rates changed from 35% to 47%. When the results of the study were compared with the literature, it was seen that the results were compatible.

In SYS1 and SYS7, the energy was consumed to produce heating and hot water in October, while in SYS20 solar energy support was sufficient and energy was not consumed. Finally, the investment cost, annual cash flow and payback period of all systems are given in Table 6.

When the payback periods of all systems were examined, it was seen that the payback period of SYS10, SYS15, SYS17, SYS18, SYS19 and SYS20 was higher than the system lifetime. For other systems it ranged from 7.5 years to 17 years. It was seen that the payback period of SYS1, which has the lowest global cost, was 7.5 years. Since the building was not intended to be nZEB and as the payback period was the least solution, it could be said that SYS1 was the most appropriate system to be selected at the end of the study.

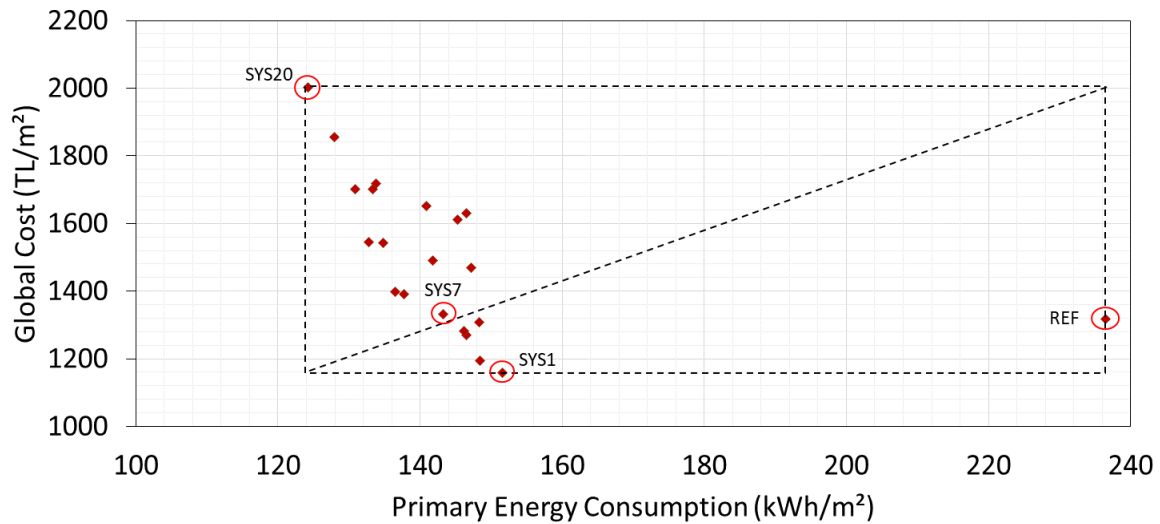
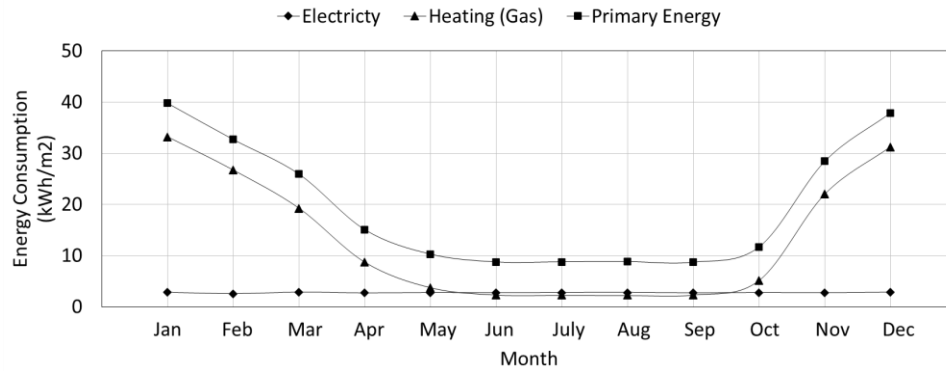


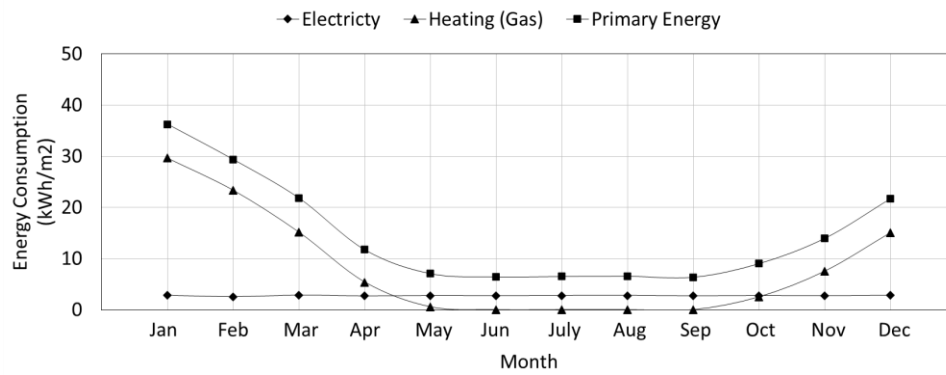
Figure 3. The primary energy consumption and global cost of all systems

Table 6. The investment cost, annual cash flow and payback period of all systems

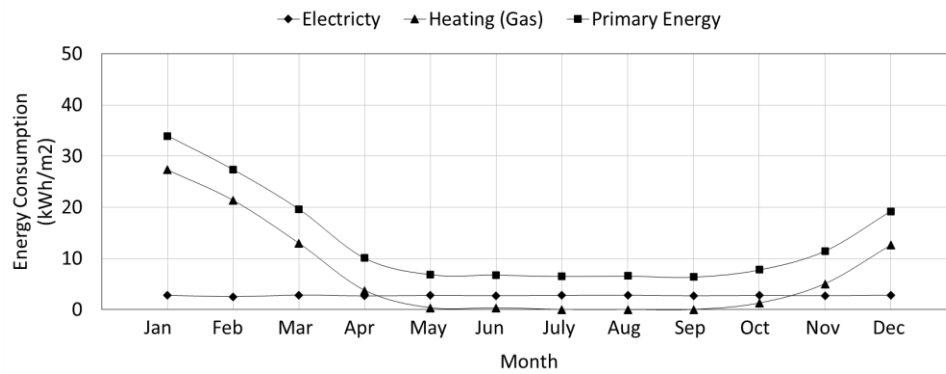
	Reference	Investment Cost	Annual Cost	Annual Cash Flow	Payback Period
	TL/m2	TL/m2	TL/m2	TL/m2	Year
SYS1	113.62	280.85	76.26	37.36	7.5
SYS2	113.62	332.39	74.91	38.72	8.6
SYS3	113.62	421.92	74.08	39.55	10.7
SYS4	113.62	434.40	73.91	39.72	10.9
SYS5	113.62	777.57	73.52	40.11	19.4
SYS6	113.62	450.79	74.85	38.77	11.6
SYS7	113.62	502.33	72.61	41.01	12.2
SYS8	113.62	591.86	70.22	43.40	13.6
SYS9	113.62	604.34	69.65	43.97	13.7
SYS10	113.62	947.51	68.45	45.18	21.0
SYS11	113.62	620.73	74.38	39.24	15.8
SYS12	113.62	672.27	71.99	41.64	16.1
SYS13	113.62	761.80	68.94	44.68	17.0
SYS14	113.62	774.28	68.02	45.61	17.0
SYS15	113.62	1117.45	65.91	47.71	23.4
SYS16	113.62	790.67	74.09	39.54	20.0
SYS17	113.62	842.21	71.62	42.01	20.1
SYS18	113.62	931.73	68.30	45.33	20.6
SYS19	113.62	944.22	67.17	46.45	20.3
SYS20	113.62	1287.39	64.27	49.35	26.1



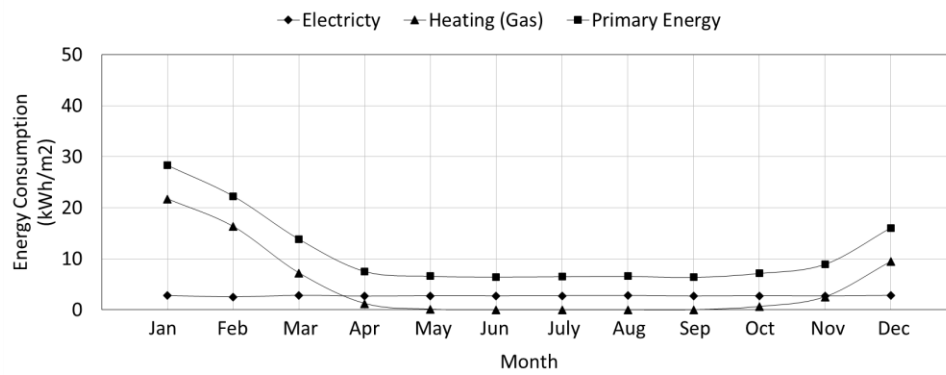
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 4. The energy consumption for monthly of (a) Reference, (b) SYS1, (c) SYS7 and (d) SYS20

4. Conclusions

This paper reports a numerical study to examine the effect of solar assisted heating system on the primary energy consumption of an existing building. The main conclusions are as follows:

- The solution that reduced primary energy consumption most was SYS20, but on the other hand this solution had the highest global cost. SYS1 was the solution that reduced global cost the most. The optimum solution in terms of global cost and primary energy consumption was SYS7.

- The primary energy consumption was reduced from 35% to 47% according to the different solutions. These rates were found to be consistent with other studies reviewed in the literature.

- The payback period of SYS10, SYS15, SYS17, SYS18, SYS19 and SYS20 was higher than the system lifetime. For other systems, it ranged from 7.5 years to 17 years.

- Since the payback period of this system is 7.5 years, SYS1 was the most suitable system at the end of the study.

As a result, it has been seen that energy consumption in existing or new buildings can be reduced by changes that can be made in the heating and domestic hot water production systems.

Nomenclature

PEC	: Primary energy consumption (kWh)
$\dot{Q}_{consumption}$: Energy consumption for heating, cooling, and electricity needs (kWh)
K	: Coefficient depending on the source of the consumed energy
$Cg(\tau)$: Global cost (TL/calculation period)
CIn	: Investment cost (TL)
$Cy(\tau)$: Annual Cost (TL/annual)
$Cr(\tau)$: Operation Cost (TL/annual)
$Vf, \tau(j)$: Component scrap value (TL)

References

[1] EPBD recast. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast); Official Journal of the European Union, 2010.

[2] International Energy Agency (IEA). Technology Roadmap: Energy Efficient Building Envelopes, Technology Roadmap Series, 2013.

[3] International Energy Agency (IEA). Solar Heating & Cooling Programme Solar and Heat Pump Systems, Task 44, 2013.

[4] Lerch W, Heinz A, Heimrath R. Direct use of solar energy as heat source for a heat pump in comparison to a conventional parallel solar air heat pump system. *Energy and Buildings*, 100, 34-41, 2015.

[5] Mustafaraj G, Marini D, Costa A, Keane M. Model calibration for building energy efficiency simulation. *Applied Energy*, 130, 72-85, 2014.

[6] Kalfa Maçka S, Haydaraslan E, Sümer Haydaraslan K, Yaşar Y. Getting buildings closer to the nearly zero-energy buildings by changes in heating and cooling system: The case of Izmir, the 5 th International Conference on Architecture and Built Environment with AWARDS, Venedik, İtalya, 22-24 May 2018.

[7] Ge Y, Han J, Ma Q, Feng J. Optimal configuration, and operation analysis of solar-assisted natural gas distributed energy system with energy storage. *Energy*, 246, 123429, 2022.

[8] Jia S, Shan S, Zhang F, Liu B, Zhang Q, Zhijun Z. Parametrical analysis of a novel CHP system based on solar gas assisted thermo-photovoltaic device. *Energy Conversion and Management*, 271, 116316, 2022.

[9] Li J, Wei S, Dong Y, Liu X, Novakovic V. Technical and economic performance study on winter heating system of air source heat pump assisted solar evacuated tube water heater. *Applied Thermal Engineering*, 221, 119851, 2023.

[10] Yang LW, Xu RJ, Zhou WB, Li Y, Yang T, Wang HS. Investigation of solar assisted air source heat pump heating system integrating compound parabolic concentrator capillary tube solar collectors. *Energy Conversion and Management*, 277 116607, 2023.

[11] Turkish State Meteorological Service. Meteorological data (1929 – 2016), 2018.

[12] EnergyPlus. <https://www.energyplus.net/documentation> (Accessed: 5.11.2022).

[13] Haydaraslan E. Faz değiştiren malzeme içeren duvar bloklarının ıçyapı formlarının Türkiye'deki İklim Bölgeleri için Belirlenmesi. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, 2022.

[14] Central Bank. <https://www.tcmb.gov.tr> (Accessed:10.06.2021).

[15] TSE Turkish Standards Institution. Thermal Insulation Requirements for Buildings, TS 825, Ankara, Turkey, 2008.

[16] ASHRAE Standart 55, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, ISSN 1041-2336, 2010.

- [17] Sümer Haydaraslan, K ve Yaşar, Y, Bina iç mekân sıcaklıklarının kullanıcı davranışına göre değişiminin enerji tüketimine etkisi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22(3), 1217-22, 2018.
- [18] Demirdöküm. <https://www.demirdokum.com.tr> (Accessed: 15.02.2023).
- [19] Eca. <https://www.eca.com.tr/> (Accessed: 16.02.2023).
- [20] Eykom. <https://www.eykom.com/> (Accessed: 17.02.2023).
- [21] Wilo. <https://wilo.com> (Accessed: 17.02.2023).



Araştırma Makalesi/Research Article

Gaz Yakıtlı Kombi Sisteminin Yapay Sinir Ağı ile Yakıt Miktarı Tahmini Isparta Örneği

Mehmet Erhan Şahin *1

¹Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, 32200, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Yapay Sinir Ağları
Enerji Yönetimi
Mikrodenetleyici
Otomasyon

Makale geçmişi:

Geliş Tarihi: 19.08.2022
Kabul Tarihi: 06.03.2023

Öz: Bir gaz yakıt olan doğalgazın çevreye duyarlı temiz enerji kaynağı olmasından dolayı dünyadaki kullanımı giderek artmaktadır. Türkiye’de doğalgaz çıkarımı noktasında çalışmalar gün geçtikçe yapılmaktadır. Ancak büyük miktarda dışa bağımlı olarak satın alınmaktadır. Doğalgaz Türkiye’de kullanımına bağlı olarak stok yapılmak durumundadır. Bu avantajından dolayı tüketmiş olduğumuz doğalgazın yıllık tüketim tahmini de son derece önem arz etmektedir. Özellikle son yıllarda doğalgaz maliyetlerinin artmasıyla birlikte ne kadarlık bir yıllık harcamanın yapılacağı konusunda önemli hesaplamalar yapılması gerekmektedir. Günümüzde, yönetsel enerji kullanımları sayesinde enerji maliyetlerinde düşüşler sağlanabilmektedir. Bu çalışmada, Isparta ilinde bulunan 120 m² büyüklüğünde doğu kuzey cepheli mantolaması bulunan 10 yıllık bir konut için doğalgaz yakıtlı kombi sistemi kullanan bir evde geliştiren bir ölçüm sistemi ile odaların, dış havanın sıcaklık değerleri ve sistemin yakıt miktarı ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Ekim, Kasım, Aralık, Ocak, Şubat, Mart aylarına ait 181 adet veri ele alınmıştır. Bu verilerin 141 tanesi eğitim, 10 tanesi doğrulama ve 30 tanesi test için kullanılmıştır. Oluşturulan yapay sinir ağı modeli eğitim verileri ile eğitilmiştir. Standart bir kış sezonunda oda sıcaklıklarına ve dış hava sıcaklığına göre tüketilen günlük doğalgaz miktarları, yapay sinir ağı (YSA) modeli yardımıyla eğitilmiş 0.118 MSE hata ile doğalgaz yıllık tüketim miktarı %98 oranında tahmin edilmiştir.

Atf için/To Cite:

Şahin M.E. Gaz Yakıtlı Kombi Sisteminin Yapay Sinir Ağı ile Yakıt Miktarı Tahmini Isparta Örneği. Ulusallararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 15(1), 11-18, 2023.

Gas Fired Combi System by Artificial Neural Network Fuel Quantity Estimation Example of Isparta

Keywords

Artificial Neural Networks
Energy Management
Microcontroller
Automation

Article history:

Received: 19.08.2022
Accepted: 06.03.2023

Abstract: The use of natural gas, which is a gas fuel, is increasing in the world because it is an environmentally friendly clean energy source. In Turkey, natural gas discharge protection is maintained during the day. However, a large amount of foreign dependency is purchased. Natural gas has to be stocked depending on its use in Turkey. Due to this advantage, the annual consumption estimate of the natural gas we consume is also extremely important. Especially with the increase in natural gas costs in recent years, it is necessary to make important calculations about how much annual expenditure will be made. Today, energy costs can be reduced by administrative energy use. In this study, the temperature values of the rooms, the outside air and the fuel amount of the system were measured and recorded with a measurement system developed in a house using natural gas fired combi boiler system for a 10-year-old house with an east-north facing sheathing of 120 m² in the province of Isparta. 181 data for the months of October, November, December, January, February, and March were collected. 141 of these data were used for training, 10 for validation and 30 for testing. The created artificial neural network model is trained with training data. In a standard winter season, daily natural gas amounts consumed according to room temperatures and outside air temperature, with the help of artificial neural network (ANN) model, the annual natural gas consumption amount was estimated at 98% with 0.118 MSE error.

1. Giriş

Ekolojik olarak, petrol ve katı yakıtlara göre kıyaslandığında doğalgaz çevre dostu bir enerji kaynağıdır. Yüksek yanma verimi, atık madde bırakmaması, çevre dostu, kontrol edilebilir bir enerji kaynağı olmasından dolayı konutlarda, sanayide, elektrik üretiminde ve ısınmada kullanılmaktadır. Ülkemiz doğalgazın büyük bir kısmını Rusya, Azerbaycan ve İran'dan temin etmektedir. Ayrıca Marmara Ereğlisi'ne Libya, Nijerya ve Cezayir'den gemilerle sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG) tedarik edilmektedir. İhtiyaca göre basınç altında doğalgaz sıvı ve gaz formlarında depolanabilmektedir. Yeraltı kaya tuzu, su gölleri, doğalgaz yatakları ve terk edilmiş madenlerde doğalgaz depolanabilmektedir [1]. Ülkemiz doğalgaz depolama hacmi küçük olduğundan yeni yatırımlarla, depolama kapasitesini artırmaktadır. Dışa bağımlı olduğumuz ve depolama kapasitemizin düşük olduğu doğal gaz sektöründe ileriye dönük planlar yapılması için arz-talep, iletim-dağıtım ve fiyatlandırma politikaları açısından önemlidir. Yapılacak doğalgaz tüketim planlama çalışmaları içerisinde en önemli konulardan birisidir. Doğal gaz yıllık tüketim miktarının doğru belirlenmesi, yıllık bazda doğalgaz maliyetlerinin düşmesine sebep olacaktır. Çünkü bazı yıllar uluslararası antlaşmalar çerçevesinde yüklü miktarda doğalgaz kapasitesi depolanamamakta ve bu da maliyetin oldukça artmasına sebep olmaktadır. Tüketilecek doğalgaz tahmini doğru olursa, yapılacak planlama çalışmaları da o maliyet açısından o kadar faydalı olacaktır.

Aras ve Aras, Eskişehir ili için aylara göre evlerdeki ısıtma zamanına göre doğal gaz enerji tüketimini ortaya koymak için zaman serisi modelleri oluşturulmuşlardır. Doğalgaz fiyatı, ortalama sıcaklık değerleri, dolar satış kuru ile tüketici fiyat endeksi doğal gaz talebini etkileyen değişkenler olarak ele almışlardır. Bunun dışında tüketicilerin ekonomik durumları da konutlardaki doğal gaz talebi üzerinde etkili olduğu görülmüştür [2].

Sarak ve Satman, Türkiye'de doğal gaz kullanımı yapan illerde doğal gaz tüketiminin konutlardaki ısıtma kullanımı incelemişlerdir. Buna göre illerin günlük sıcaklık değerleri ve nüfusları göre konutların hepsinde ısıtma için doğal gaz kullanılması durumunda, 2023'teki doğal gaz tüketimin 14.92 Gm³'e kadar ulaşabileceği sonucuna ulaşmışlardır [3].

Özçomak vd., Erzurum ilinde doğal gaz talebine etki eden faktörleri belirlemek için 1000 kişiye anket uygulamış evin niteliği potansiyel doğal gaz talebini negatif yönde etkilerken, geri kalan değişkenler pozitif yönde etkilediği sonucuna ulaşmışlardır [4].

Topçu; Ocak 1987 ile Ekim 2011 aylarındaki verileri mevsimsel durağan olmayan doğrusal stokastik modeli kullanılarak Türkiye doğal gaz ortalama tüketim miktarının, 2012 için 46,2 bcm, 2013 için 49,7 bcm ve 2020 yılı için 78,2 bcm olacağını öngörmüştür [5].

Oruç ve Çelik Eroğlu, Isparta ili için Ocak 2010 ile Nisan 2016 ayları arasındaki verileri kullanılarak Mayıs 2016 ile Aralık 2017 aylarındaki konutlarda doğal gaz tüketim miktarının tahmininde bulunmuşlardır. Buna göre Isparta ili için doğal gaz tüketimindeki artışın mevsimsel olarak artacağı sonucuna ulaşmışlardır [6].

Eren, nüfus verileri kullanılarak 2004 ile 2016 yılları arasında doğal gaz tüketim miktarını tahmin etmeye yönelik çalışmıştır. Buna göre doğal gaz tüketim miktarının 2020 yılında 63.613,39 milyon m³, 2030 yılında 104.007,61 milyon m³ olacağını tahmin etmiştir [7].

Elde edilen verilere göre doğalgaz tüketim tahmininde klasik zaman serileri ve yapay sinir ağları (YSA) kullanılmaktadır. Son yıllarda yapay sinir ağı modelleri yöntemi klasik yöntemlere göre tercih edilmektedir. Yapay sinir ağları insan beyninin fonksiyonel özelliklerine benzer şekilde; öğrenme, tahmin, sınıflandırma, optimizasyon, ilişkilendirme, genelleme, özellik belirleme konularında kullanılmaktadır. Yapay sinir ağları savunma sanayi, otomasyon, kontrol, haberleşme, üretim ve tıp gibi birçok farklı alanlarda kullanılabilir [8].

Bu çalışmada yapay sinir ağı modelinin tahmin etme özelliğinden yararlanılmıştır. Isparta ilinde yer alan bir konutta geliştirilen otomasyon sistemi ile oda sıcaklıkları ve dış hava sıcaklık değerleri ölçülüp, günlük doğalgaz yakıt miktarı kayıt altına alınmıştır. Bu amaçla toplanan günlük veriler, yapay sinir ağları yöntemi kullanılarak tahmini doğalgaz tüketim değerleri tahmin edilmeye çalışılmış, bu tahmin değerleri de gerçek değerler ile karşılaştırılmıştır.

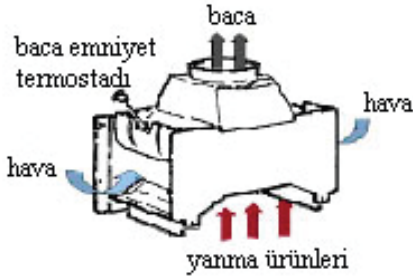
2. Materyal ve Metot

2.1. Gaz Yakıtlı Kombi Sistemi

Gaz yakıtlı kombiler, bulunduğu bölgenin ısıtmasını ve aynı zamanda sıcak su temininde kullanılmaktadırlar. 7500 ila 30.000 kcal/h arasında kapasite sahiptirler. Gaz yakıtlı kombilerle ısıtımı iyi yapılmış bir yerleşim alanında yaklaşık 300-350 m²'lik bir alanı ısıtabilmektedirler.

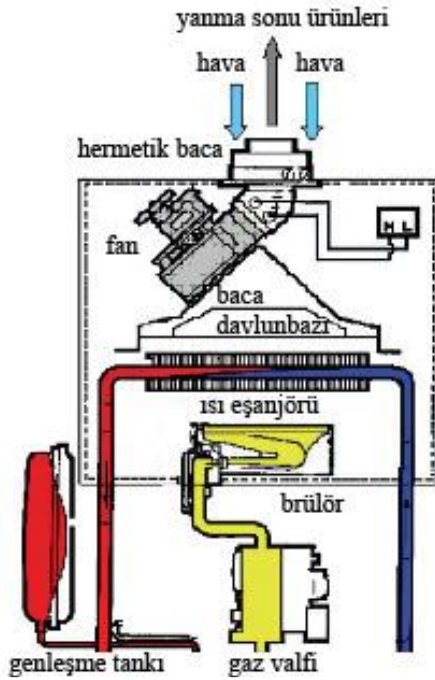
Gaz yakıtlı kombiler, bacalı ve hermetik olmak üzere iki farklı şekilde üretilirler. Bacalı tip kombilerde yakma havası kombinin monte edildiği alandan alındığı için, bu alanda dış ortamdan taze hava girişi için yeterli

büyükte bir menfez olmalıdır. Bacalı kombilerin monte edileceği alanlarla ilgili olarak minimum alanı, kullanım şekli gibi kısıtlamalar vardır.



Şekil 1. Bacalı kombi şematik gösterimi [9].

Hermetik kombiler kendi eş eksenli baca üzerinde bir fan yardımıyla çekerek yakma havasını dış ortamdan alırlar. Aynı şekilde duman gazlarını da dış ortama verirler. Taze hava menfezine ve bacaya gerek olmadığından montajı kolaydır.



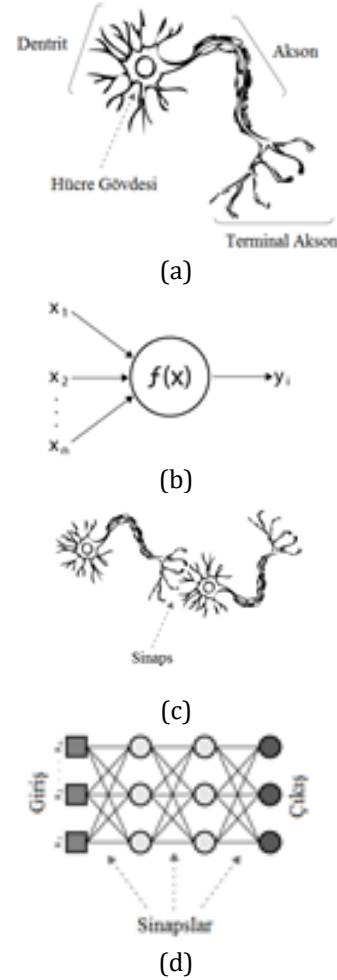
Şekil 2. Hermetik kombi şematik gösterimi [9].

Kombiler bulunduğu ortama kolay monte edilebilir, sessiz çalışırlar. Ayrıca donma emniyeti, alev sönmesi sonrası gazı kapatma, aşırı ısınma, baca tepmesi gibi birçok emniyet önlemi bulunmaktadır.

Günümüzde teknolojik gelişmelere ile birlikte oransal veya kademeli çalışan baca gazı, düşük sıcaklık kazanı sınıfı kombiler, yağuşma tekniği ve yanma kalitesi kontrollü olarak çalışmaktadır [10].

2.2. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları (YSA), orijinal olarak insan beyninin öğrenme sürecini kopyalamak için tasarlanmış bir yapay zeka modelidir. Öğrenme, tahmin, sınıflandırma, özellik belirleme, ilişkilendirme, genelleme ve optimizasyon işlemlerini yerine getirebilmektedir [11]. Yapay sinir ağı modeli üç ana katmandan oluşur: girdi veri katmanı, gizli katman veya katmanlar ve çıktı katmanı. Yapay sinir ağı, harici olarak sağlanan verilere cevap olarak birimler arasındaki bağlantıların gücünü veya ağırlığını ayarlamak için bir kurala sahiptir [12]. 1943 yılında nöroloji doktoru Warren McCulloch ve matematikçi Walter Pitts, insan beyninin hesaplama yapabilme özelliğini ele alarak, elektrik devreleri yardımıyla ilk basit bir sinir ağını modellemişlerdir [13].

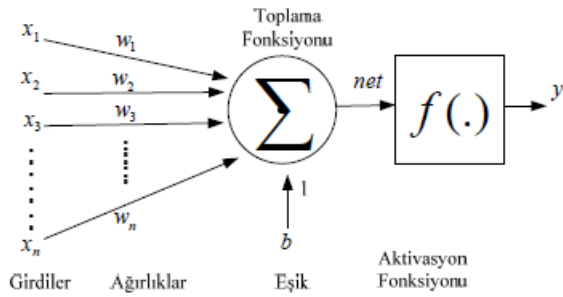


Şekil 3. (a) İnsan sinir hücresi (b) Yapay sinir ağı hücresi (c) Biyolojik sinir hücresi sinaps (d) Yapay sinir ağı sinapsları [14].

Yapay sinir ağları biyolojik sinir ağlarını taklit ettiğinden birbirlerine karşılık gelen kısımları Şekil 1'de görsel olarak, Çizelge 1'de de 5 temel kısma ayrılmış şekilde verilmiştir [15].

Çizelge 1. Sinir sistemi elemanlarının Yapay Sinir Ağı modelindeki karşılıkları

Sinir Hücresi	Yapay Sinir Ağı
Nöron	İşlemci Elemanı
Dentrit	Toplama Fonksiyonu
Hücre Gövdesi	Aktivasyon Fonksiyonu
Aksonlar	Yapay Nöron Çıkışı
Sinapslar	Ağırlıklar



Şekil 4. Yapay Sinir Ağ Modeli.

Şekil 4'de bir yapay sinir ağı modeli görülmektedir. Burada x (x_1, x_2, \dots, x_n) girdileri göstermektedir. n tane veri girişi yapılabilmektedir. Bu girdiler ağırlıklarla (w_1, w_2, \dots, w_n) çarpılır ve bu girdi ağırlık çarpım verilerinin hepsi toplanır. Sonra bias (b) eklenir. Toplam fonksiyonu Eşitlik 1 de verildiği gibidir.

$$net = \sum_{i=1}^n w_i x_i + b \quad (1)$$

Veri çıktısı (y) elde edilebilmesi için net girdi bir aktivasyon fonksiyonundan (f) geçirilir (Eşitlik 2).

$$y = f(net) = f(\sum_{i=1}^n w_i x_i + b) \quad (2)$$

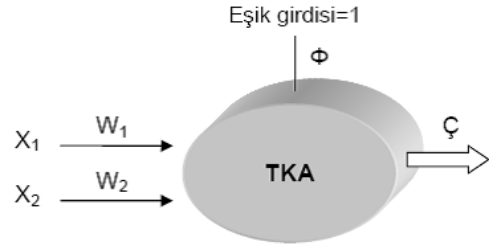
Aktivasyon fonksiyonu yapay sinir ağı modeli çıktısını belirleyen doğrusal ve ya doğrusal olmayan fonksiyonlardır. Sigmoid, hiperbolik tanjant, gaussian, doğrusal fonksiyon ve adım fonksiyonları aktivasyon fonksiyonu olarak kullanılır. Modelin çıktısını etkileyeceğinden dolayı bu fonksiyonun doğru seçilmesi önemlidir. Bunlardan sigmoid ve hiperbolik tanjant fonksiyonu en çok kullanılanlarıdır. Bir ağ modelinin ortalama davranışının öğrenilmesi isteniyorsa aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyon tercih edilir [16].

2.3. Yapay Sinir Ağ Modelleri

Yapay sinir ağlarını modelleyebilmek için tek katmanlı, çok katmanlı, ileri ve geri beslemeli yapay sinir ağları

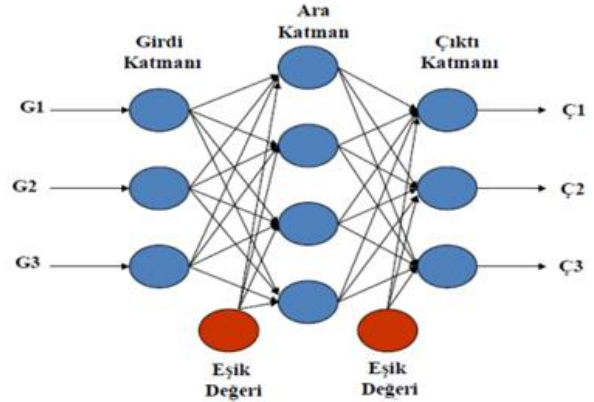
olan Perceptron, Adaline, Multiple Layer Perceptron (MLP), Lineer Vector Quantization (LVQ), Adaptive Resonance Theory (ART), Hopfield, Kohonen, Recurrent vb. çok çeşitli ağ yapıları ve modelleri kullanılmaktadır [1].

Tek katmanlı algılayıcılar Şekil 5'de olduğu gibi girdi ve çıktıdan oluşmaktadır. Bu modelde çıktı fonksiyonu lineerdir. Çıktı değeri 1 ise birinci sınıfta, -1 ise ikinci sınıfta yer aldığı kabul edilmektedir [17].



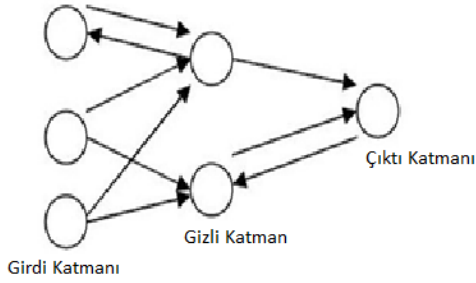
Şekil 5. Tek katmanlı ağ modeli [17].

Çok katmanlı algılayıcılar Şekil 6'de olduğu gibi yapısı itibariyle non-lineer aktivasyon fonksiyonu olan birden fazla nöronun belli bir üstünlük içerisinde bağlandığı yapılarıdır [18].



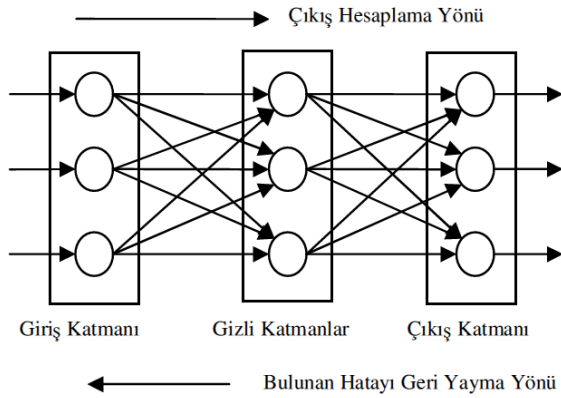
Şekil 6. Çok katmanlı ağ modeli [18].

İleri beslemeli yapay sinir ağlarında Şekil 7'de ki gibi nöronlar girişten çıkışa doğru tek yönlü olarak bağlıdır. Bir katmandan diğer bir katmana bağlantı kurarlarken, aynı katman içerisinde bağlantıları bulunmaz. Yapay sinir ağının girişine gelen bilgiler hiç bir değişikliğe uğramadan gizli katmandaki hücrelere iletilir. Daha sonra çıkış katmanına aktarılır.



Şekil 7. İleri beslemeli ağ modeli.

Geri beslemeli yapay sinir ağlarında Şekil 8'de olduğu gibi nöronun çıktısı kendinden önceki katmana nörona ya da kendi katmanında bulunan herhangi bir nörona girdi olarak bağlanabilir. Böylece, girişler hem ileri yönde hem de geri yönde aktarılmış olur. Bu yapı ile geri beslemeli yapay sinir ağları, non-lineer dinamik bir davranış göstermektedir [19].



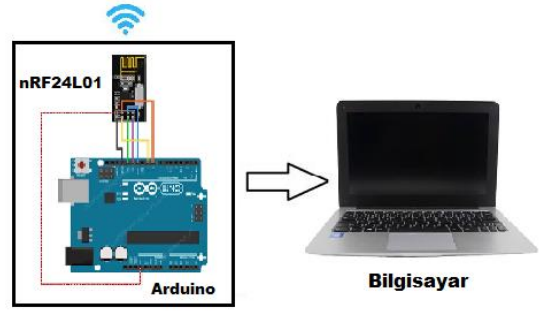
Şekil 8. Geri beslemeli ağ modeli [20].

Bu çalışmada alınan değerlerin değişken olmasından dolayı çok katmanlı ileri beslemeli (Multiple Layer Perceptron-MLP) yapay sinir ağı modeli kullanılmıştır.

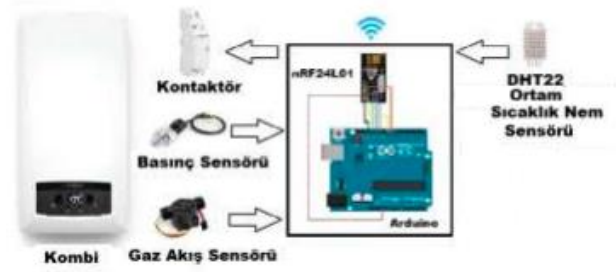
2.4. Veri setinin elde edilmesi

Veri setini elde edebilmek için mikroşlemci kontrollü bir ölçüm düzeneği gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sistemi için geliştirilen düzenek de; Şekil 9'de gösterildiği gibi bir alıcı ünitesi, Şekil 10'de olduğu gibi kombi için akış miktarını ve bulunduğu mutfağın sıcaklık değerlerini algılamak için bir verici ünitesi, oturma odası, salon, çocuk odası, yatak odası için ayrıca dört adet ayrı verici ünitesinden oluşmaktadır. Üniteler arası haberleşme nRF24L01 RF kablosuz iletişim modülü ve Arduino Uno mikrodenetleyicisi ile gerçekleştirilmektedir. Ortam sıcaklığı ve dış hava sıcaklık verileri DHT22 sensörü ile alınmaktadır. Bu sensör farklı ortamlarda nem ve sıcaklık değerinin ölçülmesini sağlar. Uzun süreli çalışmalar için uygun ve güvenlidir. İçerisinde 8 bit mikroşlemci bulunur, aynı zamanda yüksek ölçüm doğruluğuna da sahiptir. 3.3-5V/DC güç ile çalışır. -40

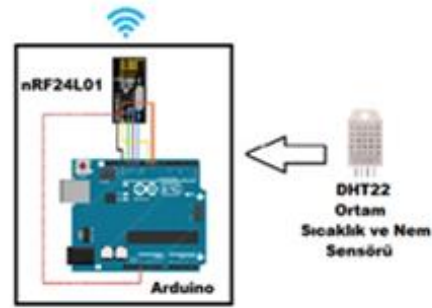
ile 80 °C aralığında sıcaklık 0 ile 100%RH aralığında ise nem ölçümü yapar. Okuma hızı 2 saniyedir.



Şekil 9. Alıcı ünitesi.



(a)



(b)

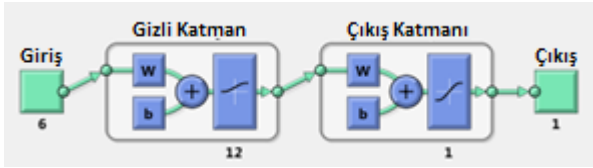
Şekil 10. (a) Kombi verici ünitesi (b) Odalarda bulunan verici ünitesi.

Verilerin görüntülenebilmesi ve verilerin kayıt edilebilmesi için alıcı ünitesine kablosuz olarak gelen veriler yazılan bir bilgisayar programı aracılığı ile yapılabilmektedir. Bu yazılım ile tüm ünitelerden gelen veriler saatlik, dakikalık, olarak kayıt altına alınabilmektedir. Ayrıca günlük, haftalık aylık periyotlar halinde listelenebilmektedir.

Bu çalışmada veri seti standart 120 m² büyüklüğünde doğu kuzey cephe mantolaması bulunan 10 yıllık bir konut için veriler alınmıştır. Veri seti için oluşturulan bu ölçüm düzeneği ve yazılım sayesinde elde edilen değerlerin günlük ortalama değerleri kullanılmıştır. Bu ortalama değer için bir gün için 10 dakika aralıklarda veri alınıp kayıt altına alınmıştır.

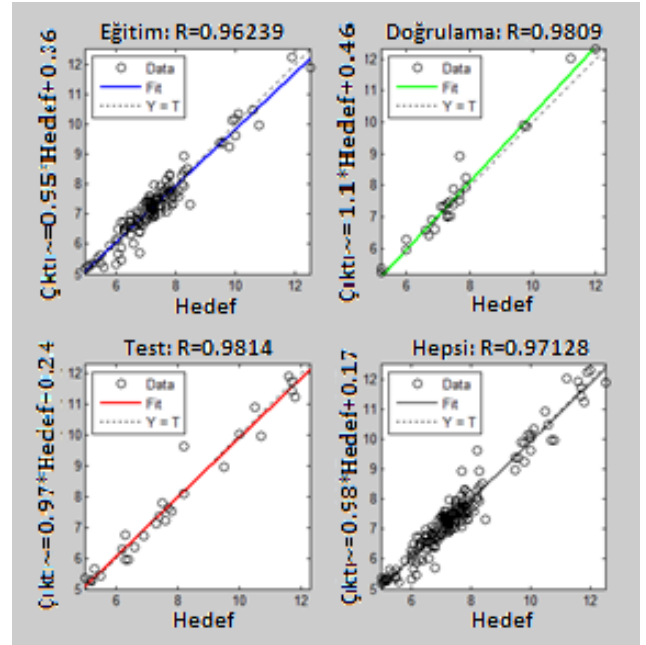
3. Bulgular

Yapay sinir ağının modellenmesi, eğitilmesi ve test edilmesi için MATLAB programının Neural Network uygulaması kullanılmıştır. Yapay sinir ağı modeli oluşturmak için ağı tipi, eğitim için girdi ve çıktı verileri, eğitim ve öğrenme için algoritmalar, performans fonksiyonu, giriş çıkış katman sayısı, varsa gizli katman sayısı ve aktivasyon fonksiyonu belirlenmiştir. Bir veri setine göre tahminde bulunabilmek için en çok kullanılan yöntem olan çok katmanlı ileri beslemeli geri yayılım algoritması ağı tipi olarak seçilmiştir. Girdi katmanı oturma odası, salon, çocuk odası, yatak odası, mutfak, dış hava sıcaklık değerleri içerdiğinden altı hücreden, çıktı katmanı ise yakıt miktarı bir hücreden oluşmaktadır. Bu çalışmamızda yapay sinir ağı modeli için birçok deneme gerçekleştirilmiş olup en iyi performansa sahip olan model seçilmiştir. Şekil 11’de oluşturulan yapay sinir ağı modeli görülmektedir.



Şekil 11. Oluşturulan yapay sinir ağı modeli.

Oluşturulan ağı modeline göre eğitimin gerçekleştirilmesi için momentum katsayısı, öğrenme katsayısı ve çevrim sayısı parametreleri belirlenir. Eğitim sonucunda; eğitim, doğrulama ve test kümelerine ilişkin ROC (Receiver Operating Characteristic) eğrisi regresyon grafiği Şekil 12’de gösterilmektedir. Bu grafiğe göre öğrenme 0.96239, doğrulama 0.9809 ve test 0.9814 değerinde başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 12. ROC eğrisi.

Eğitim sonucunda yapay sinir ağının girdi verilerine göre çıktı tahmininde bulunabilmesi için test işlemi gerçekleştirilmiştir.

Tahmin doğruluğunu ölçmek için Eşitlik 3’ de olduğu gibi basit hata sapma değeri kullanılmıştır. Burada (e) hata, (x) tahmin edilen değerleri ve (x') gerçekleşen değerleri göstermektedir [21].

$$e = x - x' \quad (3)$$

Tahmin değerlerinin yüzde hatası (% p) Eşitlik 4’de ki gibi hesaplanabilir.

$$p = \frac{e}{x'} \times 100 \quad (4)$$

Yapay sinir ağlarında tahmin sonuçlarının tutarlılığını ölçme için kullanılan hata ölçütlerinden bir tanesi Eşitlik 5’de gösterildiği gibi Ortalama Hata Kareleri (Mean Squared Error-MSE) yöntemidir.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x - x')^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (e)^2 \quad (5)$$

Yapay sinir ağı eğitim sonucuna göre test verileri ile ağı yakıt miktarı tahmin değerleri ile ölçülen gerçek değerleri, ölçülen ve tahmin edilen talep miktarları arasındaki sapma miktarları, yüzde hata miktarı Tablo 2’de verilmiştir. Buna göre ortalama hata kareleri değeri 0,118 olarak bulunmuştur.

Çizelge 2. Ölçülen gerçek akış miktarı değerleri ile tahmin edilen değerlerin karşılaştırılması

Ölçülen Gerçek Değerler (Akış m ³ /gün)	Tahmin Değerleri (Akış m ³ /gün)	Hata (e)	Yüzde Hata (% p)
6.9	6.8	0.1	1.470588
6.2	5.9	0.3	5.084746
6.5	6.6	-0.1	-1.51515
6.6	6.4	0.2	3.125
6.9	7.3	-0.4	-5.47945
6.1	6.5	-0.4	-6.15385
7.5	7.4	0.1	1.351351
7.0	7.1	-0.1	-1.40845
7.2	7.5	-0.3	-4
7.9	7.9	0	0
7.9	7.4	0.5	6.756757
7.6	7.6	0	0
10.6	10.6	0	0
12.0	12.3	-0.3	-2.43902
11.8	11.3	0.5	4.424779
7.8	7.8	0	0
6.8	5.7	1.1	19.29825
12.5	12.0	0.5	4.166667
8.0	7.8	0.2	2.564103
9.6	9.4	0.2	2.12766
7.2	7.7	-0.5	-6.49351
7.5	7.3	0.2	2.739726
6.9	6.7	0.2	2.985075
7.5	7.1	0.4	5.633803
7.2	7.4	-0.2	-2.7027
6.5	7.0	-0.5	-7.14286
6.3	6.0	0.3	5
5.4	5.6	-0.2	-3.57143
5.2	5.3	-0.1	-1.88679
5.1	5.3	-0.2	-3.77358

Çizelge 2'de tahmin için ayırdığımız 30 adet test verisinin gerçek değerleri ile yapay sinir ağının eğitim sonucunda tahmin ettiği veri değerleri grafiksel olarak gösterilmiştir. Bu grafiğe göre tahmin sonucunun gerçek değerlerine yakın olduğu ve yapay sinir ağının başarılı bir şekilde eğitildiği ve sonuç verdiği görülmektedir.

4. Tartışma ve Sonuç

Gelecekte neyin nasıl olacağını önceden kestirilmesi tahmindir. Hemen hemen bütün yönetsel kararlar ileriye yönelik tahminlere dayanmaktadır. Dolayısıyla bu çalışmada yapay sinir ağı kullanılarak gaz yakıtlı kombi kullanan bir ev ısıtma modelinin sıcaklık değerlerine göre Ekim, Kasım, Aralık, Ocak, Şubat, Mart aylarında bir kış sezonu boyunca günlük doğal gaz tüketim miktarı tahmin edilmiştir. Doğal gaz tüketim miktarı tahmininin başarılı bir şekilde gerçekleşip gerçekleşmediğini ölçebilmek için ölçüm alınan veriler ile yapay sinir ağının tahmin sonuçları karşılaştırılmıştır. Yapay sinir ağı modeli aralarında lineer ilişki bulunmayan birçok değişkene bağlı problemin çözümünde olumlu sonuçlar vermektedir.

Yapay sinir ağı için geliştirilen ölçüm düzeneği sayesinde günlük ortalama sıcaklık değerleri ve o güne ait tüketilen yakıt miktarı elde edilmiştir. Buna göre oturma odası, salon, çocuk odası, mutfak, yatak odası ve dış hava sıcaklık değerlerinin günlük ortalama değerleri giriş olarak, tüketilen doğalgaz akış miktarı çıkış olarak alınmıştır. Bir kış sezonu boyunca 6 aylık (Ekim, Kasım, Aralık, Ocak, Şubat, Mart) süredeki 181 adet veri ele alınmıştır. Bu verilerin 141 tanesi eğitim, 10 tanesi doğrulama ve 30 tanesi test için kullanılmıştır. Oluşturulan yapay sinir ağı modeli eğitim verileri ile eğitilmiştir. Eğitilen ağda test verileri ile tahmini değerler 0.118 MSE hata ile bulunmuştur. Bir kış sezonunda oda sıcaklıklarına ve dış hava sıcaklığına göre tüketilen günlük doğalgaz miktarları, yapay sinir ağı modeli yardımı ile %98 oranında tahmin edilmiştir.

Kaynaklar

- [1] Kaynar O, Taştan S, Demirkoparan F. Yapay Sinir Ağları İle Doğalgaz Tüketim Tahmini. Atatürk Ü. İİBF Dergisi, 10. Ekonometri ve İstatistik Sempozyumu Özel Sayısı, 463-474, 2011.
- [2] Aras, Haydar ve Aras, Nil (2002), "Konutsal Doğal gaz Talebinin Tahmini", http://www.emo.org.tr/ekler/2a2dcc36a08a345_e_k.pdf (Erişim Tarihi: 22.8.2020).
- [3] Sarak, H. ve Satman, A (2003), "The Degree-Day Method to Estimate the Residential Heating Natural Gas Consumption in Turkey: A Case Study", Energy, 28, s.929-939.
- [4] Özçomak, Mehmet Suphi., Oktay, Erkan, ve Özer, Hüseyin (2006), "Erzurum İlinde Potansiyel Doğal Gaz Talebini Etkileyen Faktörlerin Tespiti", EKEV Akademi Dergisi, 10(17), s.309-321.
- [5] Topçu, Görkem Yusuf (2013). Türkiye Doğal gaz Tüketim Tahmini. Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

- [6] Oruç, Kenan Oğuzghan ve Çelik Eroğlu, Şeyma (2017), "Isparta İli İçin Doğal Gaz Talep Tahmini", Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 22(1), s. 31- 42.
- [7] Eren, Tuğba (2017), Doğal gaz Tüketim Planlamasında Gri Tahmin Yöntemi ve Türkiye Uygulaması. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- [8] Zhang G, Patuwo B, Hu M Y. Forecasting with artificial neural networks: the state of the art, International Journal of Forecasting, 14, ss.35-62, 1998.
- [9] Ertür F. U. Yoğuşmalı Kombi Teknolojilerinin Çevresel, Ekonomik Kazanımları Ve Yeni Hedefler, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.
- [10] Türker A, Bireysel ve merkezi Isıtma Sistemlerinin Tanıtımı ve karşılaştırılması, <http://mmoteskon.org/wp-content/uploads/2014/12/2007DG-12.pdf>
- [11] Ağyar Z. Yapay Sinir Ağlarının Kullanım Alanları ve Bir Uygulama. Mühendis ve Makine 56(662), 22-23. 2015.
- [12] Stanley M, Alastair A, Dylan M, Patterson D. Neural Networks: The Prediction of Residential Values, Journal of Property Valuation & Investment, 16(1): 57 – 70, 1998.
- [13] [http://kod5.org/yapay-sinir-aglari-ysa nedir/](http://kod5.org/yapay-sinir-aglari-ysa-nedir/) (Erişim Tarihi: 18.04.2021).
- [14] Maltarollo V G, Honório K M, Da Silva A B F. Applications of Artificial Neural Networks in Chemical Problems. London: Intechopen, 2013.
- [15] Eğrioğlu E, Aladağ C H, Yolcu U, Uslu V R, Başaran M A. A new approach based on artificial neural networks for high order multivariate fuzzy time series. Expert Systems with Applications, 36(7), 10589-10594, 2009.
- [16] Khotanzad A, Elragal H, Lu Tsun-Liang. Combination of Artificial Neural-Network Forecasters for Prediction of Natural Gas Consumption", IEEE Trans. Neural Netw., 11, pp. 464-473, 2000.
- [17] Öztemel E. Yapay Sinir Ağları. İstanbul: Papatya, s.15-18, 2003.
- [18] Kabalcı E. Yapay Sinir Ağları, Ders Notları <https://ekblc.files.wordpress.com/2013/09/ysa.pdf> (Erişim Tarihi: 21.05.2021).
- [19] Keskenler M F, Keskenler E F. Geçmişten Günümüze Yapay Sinir Ağları ve Tarihçesi. Takvim-i Vekayi, 5 (2), 8-18, 2017.
- [20] Kurnaz K. Yapay Sinir Ağları İle Makine Öğrenmesi Uygulaması, Bitirme Tezi, 2014.
- [21] Bayır F. Yapay Sinir Ağları ve Tahmin Modellemesi Üzerine Bir Uygulama Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, 2006.



Research Article/Araştırma Makalesi

Fuzzy modeling applied to a microwave dryer: Cotton weaving fabric drying process

Feyza Akarşlan Kodaloğlu *1

¹Suleyman Demirel University, Engineering Faculty, Textile Engineering Department, 32200, Isparta-Türkiye

Keywords

Fuzzy logic control
Microwave dryer
Cotton weaving fabric
MATLAB/Simulink

Abstract: Microwave drying stands out because it is faster than traditional drying methods, drying in the product is more uniform and energy efficiency. In this study, fuzzy modeling of a microwave dryer was developed. Microwave dryer is considered as a non-linear dryer. The proposed fuzzy model is used to estimate the drying rate for different electrical powers and different drying times. Different experimental measurements were used to evaluate the reliability of this model. Compared to other modeling techniques, thanks to simulation, the fuzzy model of the dryer provides an immediate estimation of the drying rate. This study will provide drying rates under demanded conditions and help determining machine parameters for a given product providing time and energy saving. The behavior predicted by the fuzzy model confirms the suitability of the defined model.

Article history:

Received: 29.12.2022
Accepted: 30.04.2023

Atıf için/To Cite:

Kodaloğlu Akarşlan F. Fuzzy modeling applied to an microwave dryer: Cotton weaving fabric drying process. Ulusallararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 15(1), 19-26, 2023.

Mikrodalga kurutucu için bulanık modelleme: Pamuklu dokuma kumaş kurutma işlemi

Anahtar Kelimeler

Bulanık mantık kontrol
Mikrodalga kurutucu
Pamuklu dokuma kumaş
MATLAB/Simulink

Öz: Mikrodalga kurutma, geleneksel kurutma yöntemlerine göre daha çabuk olması, ürün içinde kurumanın daha düzgün olması ve enerji verimliliği sebebiyle öne çıkmaktadır. Bu çalışmada, bir mikrodalga kurutucunun bulanık modellemesi geliştirilmiştir. Mikrodalga kurutucu doğrusal olmayan bir kurutucu olarak kabul edilmiştir. Önerilen bulanık model, farklı elektriksel güçlerde ve farklı kuruma süreleri için kurutma hızının tahmin edilmesi için kullanılmıştır. Farklı deneysel ölçümler bu modelin güvenilirliğini değerlendirmek için kullanılmıştır. Diğer modelleme teknikleri ile karşılaştırıldığında simülasyon sayesinde, kurutucunun bulanık modeli, kurutma hızının anında tahmin edilmesini sağlar. Bu çalışma, belirli bir ürün için zaman ve enerji tasarrufu sağlayan makine parametrelerinin belirlenmesine yardımcı olacaktır. Bulanık model ile tahmin edilen davranış, tanımlanan modelin uygunluğunu doğrular niteliktedir.

Makale geçmişi:

Geliş Tarihi: 29.12.2022
Kabul Tarihi: 30.04.2023

1. Introduction

Microwave energy is widely used as a heat source due to its ability to heat products quickly. Microwave drying stands out because it is faster than traditional drying methods, drying in the product is more uniform, and energy efficiency [1].

Microwaves are electromagnetic waves that lie between radio waves and infrared rays in terms of

wavelengths and frequencies within the electromagnetic spectrum. Microwaves are one of the types of electromagnetic energy with wavelengths ranging from 1 mm to 1 m in the electromagnetic spectrum, with frequencies between 300 Mhz and 300 GHz, and which can be used for drying with radiation. Waves with a frequency of 2450 MHz are used in microwave ovens for drying. Microwave dryer works with the logic of converting electromagnetic energy into thermal energy by penetrating polar molecules in the

* İlgili yazar/Corresponding author: feyzaakarşlan@sdu.edu.tr

product. In this way, while maintaining the quality of the product, low cost and energy values are obtained [2]. Microwave drying systems can be operated at desired powers using control units. They pollute their environment to a minimum. Microwave systems operate faster and are more energy efficient than traditional methods. The obtained product quality is high and they can be operated in combination with other systems.

Microwave is an electromagnetic energy that is formed as a result of the intersection of vertical electrical and magnetic fields. Polar molecules in the material to be exposed to microwaves are normally arranged randomly in the material, but when they are exposed to electricity, they change their positions and line up in parallel. The constantly changing sinusoidal motion of the microwave causes the molecules to change their positions continuously. The energy generated as a result of this movement causes these materials to heat up. Another mechanism that causes heating, but not as effective as dipolar rotation, is ionic polarization. In this mechanism, the ions carrying the electric charge accelerate when they are exposed to the electric field. The kinetic energy received by the electric field is converted into heat when they collide with other ions, causing the material to heat up frequency and wavelength vary inversely [3]. As the wavelength increases, the penetration ability of the microwave increases, but in this case, the energy of the wave decreases. The energy of the microwave is inversely proportional to its penetration ability.

Microwave drying; Although it produces heat both inside and on the surface, other drying methods apply heat only to the surface. In a study conducted to determine the energy consumption of drying methods [4], the energy consumption of hot air drying, infrared drying, microwave drying and vacuum drying methods has been examined. In addition to these drying methods, another experiment was conducted in which microwave drying method was used as a pre-drying method before the hot air drying method. According to the results of the drying studies, it was seen that the highest energy consumption was obtained in the vacuum drying method, and the lowest energy consumption was obtained in the microwave drying method. It has been determined that the drying time and energy consumption in the drying studies in which microwave drying is applied as pre-drying are less than the drying time and energy consumption of the drying studies using only hot air. It is observed that the drying time and total energy consumption decrease with the increase in the temperature used in vacuum drying studies. It has been determined that the increase in air speed used in infrared drying studies increases energy consumption. As a result, considering the energy

consumption, it was determined that the best drying method was the hot air drying method with microwave pre-drying.

The nonlinear system is linearized into different operating points. Then, linear models corresponding to every operating point are established. The fuzzy model is described by a family of fuzzy IF-THEN rules where each one represents a linear input-output relation of the system. The global fuzzy model of the studied dryer was achieved by smoothly blending these linear models together through the fuzzy membership functions in order to give the overall nonlinear behavior of the dryer [5-6].

Fuzzy logic control is used to increase the energy efficiency of the washing machine and the cleaning behavior of the washing process. Matlab software was used for simulation. The mass of the material and the pollution level were selected as the input variables, and the engine speed was chosen as the output variable for washing the material. The material and pollution level increased the speed of the engine [7-8]. In a study, the treatment of wastewater obtained from the cotton textile industry was carried out by electrocoagulation (EC) method. Simultaneous control of temperature, conductivity and pH was made using fuzzy control method to increase the efficiency of the treatment. MATLAB/Simulink program was used in control experiments. As a result, it has been revealed that the EC process is an effective method in the treatment of textile industry wastewater and the efficiency increases with the fuzzy control method [9]. There are not many studies on microwave drying in the textile field. This situation reveals the originality of this study. In one study, the usability of microwave energy in the fixation of reactive prints was investigated. It has been found that fixation with microwave energy is possible [10].

Microwaves can instantaneously heat any materials that respond to microwave radiation based on rapid polarization and depolarization of charged groups [11-12]. Due to the deep penetration and relatively rapid and uniform heat distribution, mainly in the wet part of the exposed product, microwave radiation, which has lower energy consumption, accelerates the drying process [13-14].

Recently, modern methods and technologies have found application in the textile industry [15-18]. Expert systems are among the leading techniques [19-21]. With fuzzy logic, which is the basis of expert systems, machines are given the ability to work with the help of mathematical modeling created depending on each rule created by processing people's experiences and data [22-24]. Therefore, its main use is in system control

[25-29]. With these systems, energy consumption is reduced without sacrificing product quality [30].

In this study, fuzzy modeling of a microwave dryer was developed. This method has never been explored for microwave dryers. Microwave dryer is considered as a non-linear dryer. When the studies in the literature were examined, no study was found in which artificial intelligence method was used in the drying process of cotton woven fabrics in microwave dryers. The proposed fuzzy model is used to estimate the drying rate for different electrical powers and different drying times. Different experimental measurements were used to evaluate the reliability of this model. Compared to other modeling techniques, thanks to simulation, the fuzzy model of the dryer provides an immediate estimation of the drying rate. The behavior predicted by the fuzzy model confirms the suitability of the defined model.

2. Material and Method

Fabric products with dimensions of 20 x 20 cm were used as material in the drying process. The properties of 100% cotton woven fabrics used in the scope of the study are given in Table 1.

Table 1. Properties of cotton fabric

Fabric properties	Density	Yarn count (Nm)	Weight (g/m ²)	Weaving type
Weft	13	20	230	D 1/3 S
Warp	20	34		

In the experimental studies, a domestic digital microwave oven (Arçelik MD 595) was used as a microwave dryer. The technical specifications of the microwave oven are 50 Hz, 230 V and 2650 W. Five different microwave power outlets were used to dry the fabric samples and three repetitions were performed at each of these power outlets.

Fabric samples were first kept in laboratory conditions for 24 hours (65% humidity, 20±2°C) for conditioning. The conditioned fabric samples were weighed with a precision balance of 1/1000 sensitivity at ambient humidity (49-50%) measured with a hygrometer, and their weight in ambient humidity was determined. After that, the samples were wetted with distilled water so that the entire surface was moistened equally, and the water was rendered non-drip (pre-drying) and weighed again to determine their total moist weight. Meanwhile, the dryer was brought to the temperature conditions predicted for the experiment and set to the desired regime.

2.1. Fuzzy Logic

Almost all of the events that human beings encounter in the World is complex. This complexity generally arises from uncertainty, certainty, or inability to make a decision. People have the ability to operate with approximate and uncertain data and information. The concept of fuzzy logic is a logic system that overlaps with people's ability to think in imprecise terms. In other words, fuzzy logic compares the sharp world consisting of binary variables such as cold-hot, fast-slow, high-low to the real world with flexible qualifiers such as less cold-less hot, less fast-little slow, less high-little low.

2.2 Membership Functions and Fuzzification

A membership function is created for each selected fuzzy set. The membership function is a typical curve that translates the numeric value of the input in the range 0 to 1. This step is "blurring". Membership function can take various forms such as triangle, trapezoid and Gaussian. The triangle membership function is the simplest.

2.3. Fuzzy Rules

Fuzzy rules provide quantitative reasoning that relates input variables to output variables. A fuzzy rule base consists of a set of fuzzy if-then rules. For example, in the case of a three-input and single-output fuzzy system, the rule can be written as follows.

If A is low and B is medium then C is high

where A, B and C are variables representing two inputs and one output; low, medium and high are the fuzzy sets of A, B and C, respectively.

2.4. Defuzzification

The output of each rule is a fuzzy set. Output fuzzy sets are aggregated into a single fuzzy set. Finally, the resulting set is resolved by 'blurring' to a single exact number. There are various defuzzification methods such as center, center of gravity, average of maximums.

3. Findings

The fuzzy logic tables created in this study were described using the MATLAB program, and the resulting data were examined. With the fuzzy logic module of the MATLAB program, the Mamdani model with two inputs and one output has been established. In this model, the method of obtaining the results with the

center of gravity method is based. The fuzzy logic method used in solving the problem is given in Figure 1.

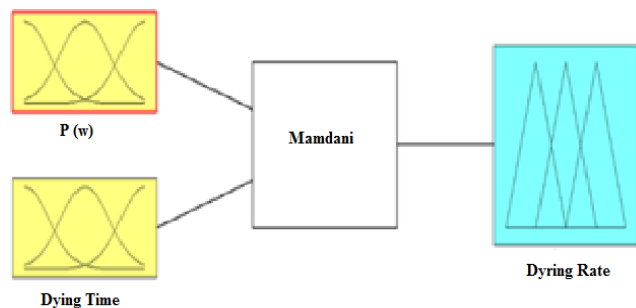


Figure 1. Structure of microwave dryer fuzzy system

Input P(W) to the first of the membership function sets. As seen in Figure 2 below, the values are processed into the fuzzy logic module of the MATLAB program.

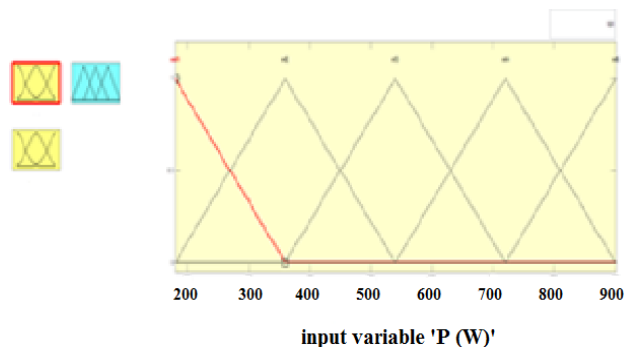


Figure 2. Membership functions of the first input set, P(W).

The second of the Input Membership function sets is drying time. As seen in Figure 3 below, the values are processed into the fuzzy logic module of the MATLAB program.

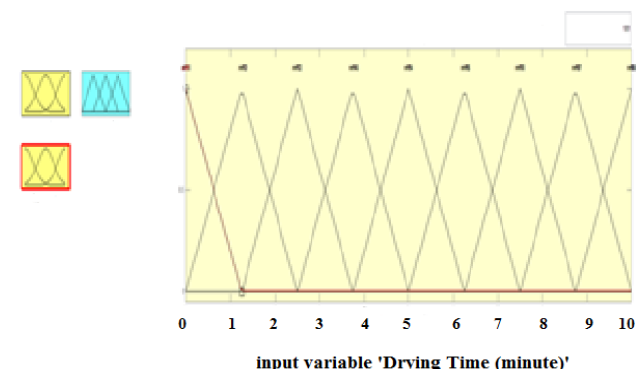


Figure 3. Drying time membership functions, which is the second set of inputs

Output the drying rate is given as a set of membership functions in Figure 4, the values are processed into the MATLAB program fuzzy logic module. Fuzzy rules, which are the heart of the fuzzy expert system,

determine the input-output relationship of the model. 90 self-explanatory fuzzy rules are prepared in matrix form.

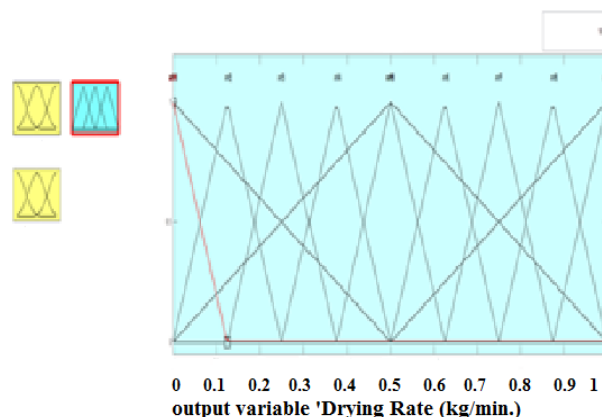


Figure 4. Drying rate membership functions with output set.

Fuzzy rules, which are the heart of the fuzzy expert system, determine the input-output relationship of the model. 90 self-explanatory fuzzy rules are prepared in matrix form. The rule table created between the input and output function sets is given in figure 5. Membership functions are entered in the MATLAB fuzzy logic editor. The values of the membership function are also entered in the rule editor. During the creation of the results, the centroid method was chosen as the blurring.

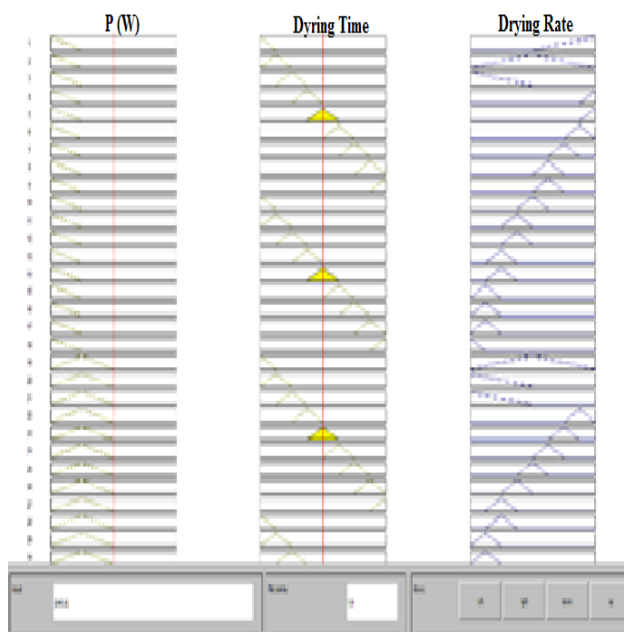


Figure 5. Rule table

In the study, the trimf method was chosen as the membership function type used in the input and output sets. Thus, the geometric shape, the triangle shape, was

obtained. In this way, approximate values are obtained within the framework of fuzzy logic rules. A total of ninety fuzzy rules were created and used for the output graphs.

After the membership functions are entered in the MATLAB fuzzy logic editor, the values of the membership function are also entered in the rule editor.

After the rule entries were completed, the results were monitored with the rule viewer. During the creation of the results, the center of gravity method was chosen as the defuzzification. After processing all the data, the system was described with the MATLAB program.

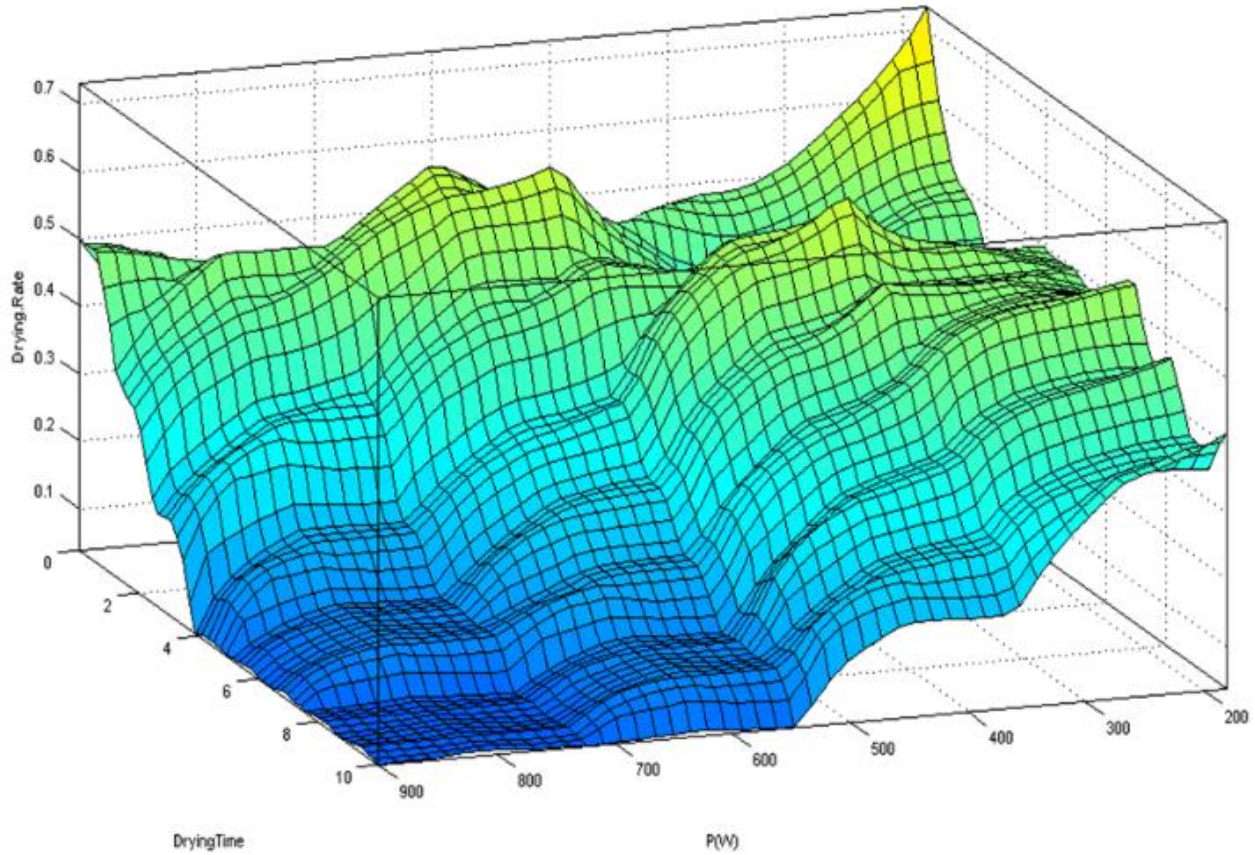


Figure 6. The result function obtained with the MATLAB program

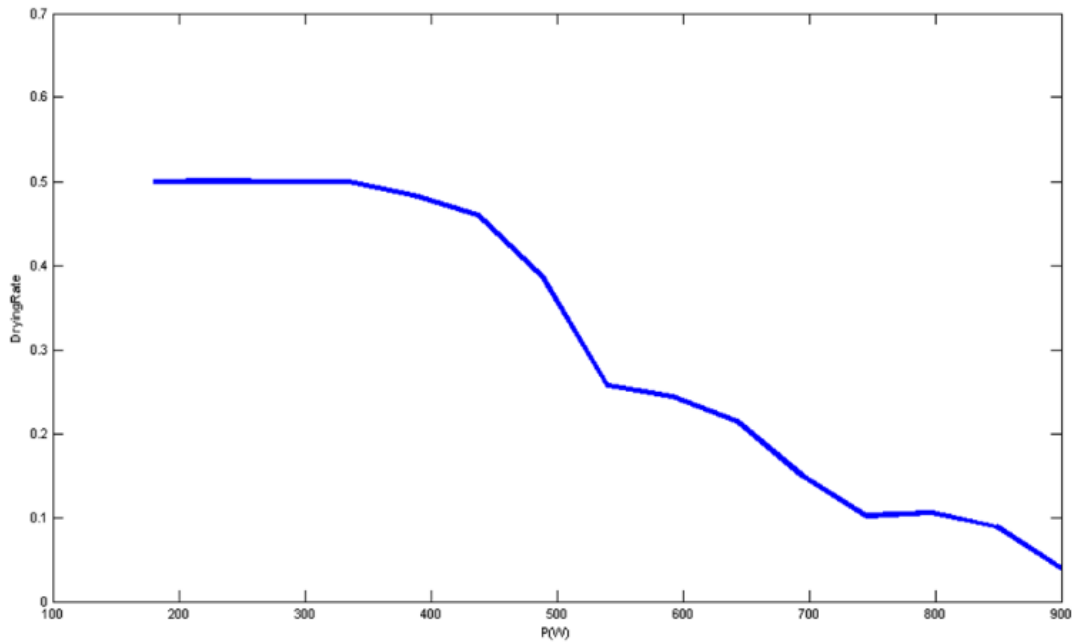


Figure 7. Drying rate- electrical power Graph

As seen in the figure 6, while low electrical power performed faster drying, drying time is longer when electrical power decreases. In the graphic, all intermediate value variations are also seen.

As seen in the Figure 7, drying rate is directly related to the electrical power. While the electrical power is at 200 W, the drying speed is 0.5 kg/min, while it does not change much up to 400 W, it quickly drops to 0.3 kg/min after 500 W. At 700 W, it drops to 0.1 kg/min.

In this study using fuzzy logic, while drying rates increases. electrical power and drying time decreases, Also loading electrical increase is found to correlate with decline in drying rate.

This study will provide drying runs under demanded conditions and help determining machine parameters for a given product providing time and energy saving. Thus, observation of behaviours to a given product would serve developing better approaches in product optimization. In this study, all intermediate value variations are also seen.

4. Results and Discussion

In this study, fuzzy logic is applied on microwave dryer system. This method has never been explored for microwave dryers. For the analysis, electrical power and drying time are evaluated as input parameters, whereas moisture variation depend on drying time (drying rates) is being the output parameters. Microwave dryer is considered as a non-linear dryer. When the studies in the literature were examined, no study was found in which artificial intelligence method

was used in the drying process of cotton woven fabrics in microwave dryers.

In fuzzy logic analysis, Mamdani expression system is used and the center of gravity method is applied during defuzzyfication. Experimental data in such an analysis, can be processed in a wanted convergence and easily inserted into rule base. Ninety rules were created by using experimental data and the effect of input parameters (electric power and drying time) on output parameter (drying speed) was investigated. While low electrical power performed faster drying, drying time is longer when electrical power decreases. Drying rate is directly related to the electrical power. While the electrical power is at 200 W, the drying speed is 0.5 kg/min, while it does not change much up to 400 W, it quickly drops to 0.3 kg/min after 500 W. At 700 W, it drops to 0.1 kg/min. Accordingly, reduction of moisture with the increase of electrical power and drying time were detected.

In this study using fuzzy logic, while drying rates increases. electrical power and drying time decreases, Also electrical power increase is found to correlate with decline in drying rate. This study will provide drying rates under demanded conditions and help determining machine parameters for a given product providing time and energy saving. Thus, observation of behaviours to a given product would serve developing better approaches in product optimization. Obtained fuzzy logic results and experimental data were found to be very close in comparison. The obtained results would be used as reference data in future studies. In future studies, neural network or neuro fuzzy system applications can be studied on different fabric types with different dryers.

References

- [1] Haghi AK, Amanifard N. Analysis of Heat and Mass Transfer During Microwave Drying of Food Products. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 25 (3), 491-501, 2008.
- [2] Uysal B, Özkal, SG. Limon Kabuklarının Sıcak Hava, Mikroalga ve Sıcak Hava-Mikroalga Kombinasyonu ile Kurutulması, *Journal of the Institute of Science and Technology*, 12 (4) , 2223-2236, 2022.
- [3] Coruk KS, Baltacıoğlu H. Determination of the Effect of Different Drying Methods on the Physicochemical Properties of Potato Powder Using Multivariate Analysis. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 10(7), 1300-1307, 2022.
- [4] Motevali A, Minaei S, Khoshtagaza MH. Evaluation of Energy Consumption in Different Drying Methods, *Energy Conversion and Management*, 1192 - 1199, 2011.
- [5] Zoukit A, El Ferouali H, Salhi I, Doubabi S, Abdenouri N. Fuzzy modeling of a hybrid solar dryer: experimental validation. *Journal of Energy Systems*, 3(1), 1-12, 2019.
- [6] Zoukit A, El Ferouali H, Salhi I, Doubabi S, Abdenouri N. Takagi Sugeno fuzzy modeling applied to an indirect solar dryer operated in both natural and forced convection. *Renewable Energy*, 133, 849-860, 2019.
- [7] Azhari Asyauqi MF, Apriaskar E, Djuniadi D. Simulasi Sistem Pencuci Bahan Tekstil Berbasis Logika Fuzzy, *JTE UNIBA (Jurnal Teknik Elektro Uniba)*, 5 (2), 109-113, 2021.
- [8] Hosseinpou S, Martynenko A. Application of fuzzy logic in drying: A review. *Drying Technology*, 40(5), 797-826, 2022.
- [9] Altınten A, Demirci Y, Pekel LC, Alpbaz M. Elektrokoagülasyon Reaktöründe Bulanık Kontrol Metodu ile Ph, İletkenlik ve Sıcaklığın Eş Zamanlı Kontrolü. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31 (4), 987-996, 2016.
- [10] Özerdem A, Tarakçıoğlu I, Özgüney A. Mikroalga Enerjisinin Reaktif Baskılı Pamuklu Kumaşların Fiksajında Kullanılabilirliği, *Tekstil ve Konfeksiyon*, 4, 289-296, 2008.
- [11] Chen L, Wang L, Wu X, et al. A process-level water conservation and pollution control performance evaluation tool of cleaner production technology in textile industry. *J Cleaner Prod.*, 143, 1137-1143, 2017.
- [12] Oktav Bulut M, and Sana NH. Modification of woolen fabric with plasma for a sustainable production. *Fibers Polym.*, 19, 1887-1897, 2018.
- [13] Rattanadecho P and Makul N. Microwave-assisted drying: a review of the state-of-the-art. *Drying Technol.*, 34, 1-38. 2016.
- [14] Katovic D, Vukusic SB, Grgac SF, et al. The effect of microwave drying on warp sizing. *Text. Res. Journal*, 78, 353-360, 2008.
- [15] Hosseinpour, S, & Martynenko, A. Application of fuzzy logic in drying: A review. *Drying Technology*, 40(5), 797-826, 2022.
- [16] Arief M, Nugroho F, et al. Analysis of Maizena Drying System Using Temperature Control Based Fuzzy Logic Method. *AIP Conference Proceedings; AIP Publishing*, 1941(1), 020005, March 2018.
- [17] Heriansyah H, Istiqphara I, Adliani N. Optimization of Herbal Dryer System Based on Smart Fuzzy and Internet of Thing (IOT). *Int. J. Eng. Sci. Appl.*, 6, 104-110, 2019.
- [18] Nadian H, Abbaspour-Fard H, Martynenko A, Golzarian R. An Intelligent Integrated Control of Hybrid Hot Air-Infrared Dryer Based on Fuzzy Logic and Computer Vision System. *Comput. Electron. Agric.*, 137, 138-149, 2017.
- [19] Sourveloudis C, Kiralakis L. Rotary Drying of Olive Stones: Fuzzy Modeling and Control. *WSEAS Trans. Syst.*, 4, 2361-2368, 2005.
- [20] Dayık M, Kodaloğlu M. Kondisyonlama Şartlarının İplik Rutubetine Etkisinin Yapay Zekâ Yardımıyla Tespiti. *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2, 25-32, 2007.
- [21] Kodaloğlu M, & Kodaloğlu, F. A. Evaluation of Thermal Comfort in Terms of Occupational Safety in Weaving Facilities By Fuzzy Logic. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 6(2), 273-279, 2022.
- [22] Atthajariyakul S, Leephakpreeda, T. Fluidized Bed Paddy Drying in Optimal Conditions via Adaptive Fuzzy Logic Control. *J. Food Eng.*, 75, 104-114, 2006.
- [23] Khodabakhsh Aghdam, H, et al. Modeling for Drying Kinetics of Papaya Fruit Using Fuzzy Logic Table Look-up Scheme. *Int. Food Res. J.*, 22, 1234-1239, 2015.
- [24] Bagheri N, Nazilla T, Javadikia, H. Development and Evaluation of an Adaptive Neuro Fuzzy Interface Models to Predict Performance of a Solar Dryer. *Agric. Eng. Int. CIGR J.*, 17, 112-121, 2015.
- [25] Jafari M, Ganje M, Dehnad D. Ghanbari, V. Mathematical, Fuzzy Logic and Artificial Neural Network Modeling Techniques to Predict Drying Kinetics of Onion. *J. Food Process*, 40, 329-339. 2016.
- [26] Abdenouri N, Zoukit A, Salhi I, Doubabi S. Model identification and fuzzy control of the temperature inside an active hybrid solar indirect dryer. *Solar Energy*, 231, 328-342, 2022.
- [27] Kayacan C, Dayık M, Çolak O, Kodaloğlu M. Velocity Control of Weft Insertion on Air Jet Looms by Fuzzy Logic, *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, Vol.12, No. 3(47), 29-33, 2004.
- [28] Bayhan M, Kodaloğlu M, Cengiz Y, Kaplan S. Drum ve Loop Sistemlerinde Atkı Hareketinin Dinamik

Modellenmesi ve Hızın Bulanık Mantıkla Kontrolü,
Tekstil Maraton Dergisi, 63-69, Mart / Nisan 2002.

[29] Kodaloğlu M, Dayık M, Çolak O, Kaplan S. Hava Jetli Dokumada İplik Tipinin Atkı Hızına Etkisinin Bulanık Mantıkla Tespiti, *Tekstil Maraton Dergisi*, 56-61, Mayıs / Haziran 2002.

[30] Júnior MP, et al. Energy savings in a rotary dryer due to a fuzzy multivariable control application. *Drying Technology*, 40(6), 1196-1209, 2022.



Araştırma Makalesi/Research Article

Korkuteli Sinaneddin Medresesi'nin deprem etkisi altında yapısal davranışının değerlendirilmesi

Mustafa Yılmaz İrban¹, Mehmet Fenkli²

¹Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim dalı, Isparta

²Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta

Anahtar Kelimeler

Tarihi Yapılar
Statik Analiz
Sonlu Elemanlar Modeli
Deprem Etkisi
Yığma Yapı

Makale geçmişi:

Geliş Tarihi: 28.01.2023

Kabul Tarihi: 30.04.2023

Öz: Bu çalışmada tarihi yığma yapılar hakkında verilen bilgiler ışığında bu yapıların modelleme teknikleri ve analiz yöntemlerine değinilmiştir. Antalya'nın Korkuteli ilçesinde bulunan ve tarihi 1319 yılına dayanan Sinaneddin Medresesi modellenmiş ardından yapının olası bir deprem esnasında göstereceği davranışının tahmini olarak saptanması için analizler yapılmıştır. Yapılan modellemede deprem kaynaklı kuvvetli yer hareketi için de söz konusu yapının bulunduğu alan için Kocaeli depreminin sismik kayıtları kullanılmıştır. Çalışmanın sonuç aşamasında yapılan modellemeler ve analizler ardından tarihi yapının deprem etkisi altında yapısal davranışı yorumlanarak çeşitli değerlendirmelerde bulunulmuştur.

Atif için/To Cite:

İrban MY. Fenkli M. Korkuteli Sinaneddin Medresesi'nin deprem etkisi altında yapısal davranışının değerlendirilmesi. Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 15(1), 27-36, 2023.

Evaluation of structural behavior Korkuteli Sinaneddin Madrasah under the earthquake effect

Keywords

Historical Buildings
Static Analysis
Finite Element Model
Seismic Effects
Masonry Structures

Article history:

Received: 28.01.2023

Accepted: 30.04.2023

Abstract: In this study, in the light of the information given about historical masonry structures, modeling techniques and analysis methods of these structures are mentioned. The Sinaneddin Madrasa, which is located in the Korkuteli district of Antalya and dates back to 1319, was modeled, and then analyzes were made to predict the behavior of the building during any disaster. In the modeling, seismic records that match the ground structure of the area where the said structure is located were used for strong ground motions caused by earthquakes. After the models and analyzes made at the conclusion of the study, the structural behavior of the historical building under the influence of earthquakes was interpreted and various evaluations were made.

1. Giriş

Aktif olarak devam etmekte olan fay hatları hareketleri sonrası oluşan kuvvetli depremler tüm dünyada etkisini göstermektedir. Çoğu zaman yıkıcı sonuçlar doğuran deprem, ulusal ekonomiler ve kültürel miraslar üzerinde ağır kayıplara yol açmaktadır. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı istatistikleri incelendiğinde fay hattı hareketi aktif şekilde devam eden ülkemizde de bu afetin oldukça etkili olduğu aşikardır. Ancak şunu rahatlıkla belirtebiliriz ki ülkemiz diğer ülkelere kıyasla

genellikle yıkıcılığı çok daha az olan depremlerle karşılaşmaktadır. Bu durum her ne kadar avantaj gibi görünse de dezavantajlarının yaşandığı göz ardı edilemez. Zira yıkıcılığı az olan depremler sebebiyle sismik araştırmalar yapan ve çözüm üreten bilim adamlarımız yüksek şiddetli depremler için nasıl önlemler alınacağını, yapılarda hangi malzemeler kullanılacağını ve bu önlemlerin en düşük maliyetle nasıl sonuçlandırılacağı hakkında bilgi sahibi olmakta eksik kalmaktadırlar.

Herhangi bir yapının olası bir depremde risk arz edip etmediğini anlamak için bir takım araştırma ve hesaplama yapmak gerekmektedir. Ayrıca incelenecek yapının tarihi geçmişi hakkında da incelemelerde bulunmak doğru sonuçlara ulaşmak açısından önem arz etmektedir. Yapılan bu genel incelemeler altında tarihi yapıların hangi malzemelerden yapıldığı, bulunduğu yerin bölgesel özellikleri, yapının geçmişteki onarımları araştırılmalıdır. Yapı hakkında yapılacak araştırma ve incelemeler ardından güvenilirliği yüksek olan sonlu elemanlar prensibine göre üç boyutlu modelleme yapılır. Modelleme sonrasında yapısal özellikler programa tanımlanır. Tanımlama sonrası yapılacak statik ve dinamik analizler sonucunda hasar görme ve çökme olasılığı olan bölgeler bu sonuçlar ışığında yorumlanır.

Bulduğumuz coğrafi konum sebebiyle ülkemiz yağma yapıların sıklıkla görüldüğü yerlerden biridir. Yağma yapılar, deformasyon özelliği az, enerji sönmemesi düşük, taşıyıcı sistemi duvarlardan oluşmuş ve beşerî faaliyetlerin sıklıkla yer aldığı yani insan emeği olması sebebiyle hatalara sıklıkla yer verilen yapılardır. Buradan da anlaşılacağı üzere hatası çok, malzemesi dayanıksız ve sağlamlığı düşük olan yağma yapıların olası bir depremde en çok zararı alacak yapıların başında geldiği aşikardır. Hal böyle olunca coğrafyamızda sıklıkla görülen ve gelecek nesillere miras kalacak yağma yapıların olası yıkıcı depremler esnasında en az hasar alması, kalıcı olması ve ülke ekonomisine en uygun şekilde güçlendirilmesi oldukça önemlidir.

Bu çalışmada, Antalya'nın Korkuteli ilçesinde bulunan ve günümüzün en eski yağma yapılarından biri olan Sinaneddin Medresesi, sonlu elemanlar metodu kullanılarak SAP2000 programı ile analiz edilmiş ve yapının deprem etkisi altındaki yapısal davranışının değerlendirilmesi yapılmıştır. Günümüzde mevcudiyetini koruyan tarihi yağma yapıların deprem etkisi altında davranışlarının değerlendirilmesiyle örnek teşkil edecek çıkarımlarda bulunulmuştur.

2. Kaynak araştırması

Ülkemizde ve dünyada var olan tarihi yapılar ele alarak araştırmalarda bulunulmuştur. Hazırlanan yüksek lisans tez çalışmasında her türlü teknikten ve detaydan bahsedilmiş, bu tür tarihi yağma yapıların korunması için gerekli yöntemlerden bahsedilmiştir. Sonlu elemanlar metodu ile bilgisayar ortamında modellenip analiz yaptırıldıktan sonra gerekli karşılaştırmalar ışığında gözlemlenen yapı elemanlarının basınca çalıştığı kanıtlanmıştır. [1]

Isparta'ya 105 km uzaklıkta olan Yalvaç ilçesinde 19. Yüzyılda Osmanlı dönemine ait Çarşı veya Hamidiye

Camii olarak anılan yapının deprem etkisi altında davranışı değerlendirilmiştir. Hazırlanan yüksek lisans tez çalışmasında analizler sonucunda yer değiştirme, kütle katılım oranı, yapıda oluşan gerilmeler tespit edilerek sonuçları sunulup yapıda herhangi bir tehlikenin olmadığı saptanmıştır. [2]

Amasya Taşhan örnek alınarak tarihi yapılar hakkında yapılan çalışmalar değerlendirilmiştir. Yapı hakkında detaylı bilgiler verildikten sonra bilgisayar ortamında sonlu elemanlar metodu ile deprem etkisi altında senaryolar uygulanarak yapıya uygun olan güçlendirme teknikleri belirlenmiş ve bu teknikleri uygularken bu konuda deneyimli kişiler tarafından uygulanması vurgulanmıştır.[3]

Yüksek lisans tez çalışmasında Osmanlı'nın baş mimarı Mimar Sinan tarafından 1550-1557 yılları arasında inşa edilen Süleymaniye Camini ele alarak bilgisayar ortamında sonlu elemanlar metoduyla makro modelleme tekniğine uygun olarak kayıtlı depremler etkisi altında davranışı değerlendirilmiştir. [4]

1889 da inşa edilen tarihi Konya Gazi Lisesi'nin mevcut durumu gözlemlenip kat planları çıkarıldıktan sonra ETABS programı ile modellenmiş ve 2007 deprem yönetmeliğindeki şartlara uygun olarak deprem etkisi altında yapısal davranışı değerlendirilmiştir. Hazırlanan tez çalışmasında deprem anında en çok güçlük çeken bölgelerin, kapı kenarları ve pencere boşlukları olduğu saptanıp, gözlemler sonucunda çatlakların onarılması hakkında tavsiyeler verilmiştir.[5]

Hazırlanan çalışmada 1529 yılında inşa edilen Trabzon İskender Paşa Camisi'nin onarımı sonrasındaki dinamik karakteristikleri deneysel olarak belirlenmiştir. Dinamik karakteristikleri elde edilmesinde modal analiz metodu kullanılmıştır.[6]

3. Materyal ve yöntem

Bu çalışma kapsamında, aktif fay hatları sonucu oluşan depremlerde yağma yapıların; genel durumunu, mevcut konumunu ve zemin özelliklerini dikkate alarak genel bir araştırma yapılmıştır. Sonlu elemanlar metodu yardımıyla SAP2000 programı üzerinde modellenmiştir. TBDY 2018 'e göre deprem yükleri hesaplanmış ve programa tanımlanmıştır. TS-498'den döşemelerde kullanılacak olan düşey yük değerleri belirlenmiştir. Hazırlanan çalışmada Korkuteli Sinaneddin Medresesi incelenerek analiz edilmiştir.

3.1. Tarihi yığma yapılarda kullanılan malzemeler

Tarihte sıklıkla ve neredeyse her coğrafyada karşılaşılan yığma yapılar doğal hayatın sonucu olarak buldukları dönem ve mevcut imkanlardan etkilenmişlerdir. Öyle ki dönemin kültürel yapısına, bölge eğitim düzeyine ve ekonomisine ışık tutarlar. [7]

Her ne kadar günümüzde kullanılan yapı malzemeleri sınıfı çeşitlilik gösterse de tarihi yapılar incelendiğinde dayanıklılık ve ekonomik açıdan tercih edilebilir sınırlı malzeme bulunmaktaydı. Çağın getirdiği imkanlardan tarihi yığma yapılar etkilenmiş olup şu malzemeler sıklıkla kullanılmaktaydı; ahşap, tuğla, doğal taş, kagir. Sözü geçen malzemeler çeşitli bağlayıcılarla (harç) birleştirilerek kullanılarak inşa edilir.

3.2. Korkuteli Sinaneddin Medresesi

3.2.1. Coğrafi konum

Antalya'nın Korkuteli ilçesi Alaaddin mahallesi 41 ada 1 parsel de olan Sinaneddin Medresesi pek bilinmeyen bir yığma yapıdır. Medresenin bölgedeki baraj inşası sebebiyle arazinin yapısı değişmiş ve batısı Şekil 1'de görüldüğü üzere tepe haline gelerek kapanmıştır. Şehir merkezinin 3 kilometre uzağında bulunmaktadır. Medresenin yakınlarında geçmişin izlerini taşıyan yapılar bulunmaktadır. Bu yapılardan bir tanesi tarihi Alâaddin Camii'dir.



Şekil 1. Sinaneddin medresesinin konumu

Akdeniz bölgesinde yer alan Antalya'nın yeryüzü bakımından 2471 km²'lik alanıyla en büyük ilçelerinden biri olan Korkuteli ilçesi bulunduğu bölge açısından coğrafi olarak oldukça önemli bir konuma sahiptir (Şekil 1). Korkuteli deniz seviyesinden 1020 m yüksekliktedir. Buna bağlı olarak bulunduğu coğrafyanın iklim şartlarına kıyasen daha sert bir iklime sahiptir. Öyle ki Korkuteli'nde hava sıcaklığı yaz mevsiminde ortalama +25°C, kış mevsiminde ise ortalama -5 °C olarak yaşanmaktadır.

Korkuteli tarihte birçok medeniyete ev sahipliği yapmıştır. Tarihsel ve coğrafi açıdan zengin olan bu ilçenin ilk yerleşim yeri, araştırmamızda da bahsi geçen medresenin de bulunduğu Alaaddin Mahallesidir.

3.2.2. Mevcut durum ve yapısal özellikler

Tarihi yığma yapı olan Sinaneddin Medresesi batı cephesinin (taç kapının olduğu yer) uzunluğu 22.78m, kuzey cephesinin uzunluğu 24.83m, güney cephesinin uzunluğu 24.82m, doğu cephesi 22.86m uzunluğunda olup kareye yaklaşık dikdörtgenimsi, açık avlusu olan iki katlı bir medresedir.

Yapıdaki kitabe, niş kemeri içinde bulunan basık kemerli kapının üst bölgesinde beş satır şeklinde kazılmış halde bulunmaktadır. Yapının batı cephesinde taç kapı yer almaktadır. Taç kapının her iki tarafında dikdörtgen şekilde konumlandırılmış pencere ve üst bölgesinde üçer tane mazgal pencere bulunmaktadır. Şekil 2'de görüldüğü üzere yapının kuzey cephesinin üst bölgesinde altı tane mazgal pencere, alt bölgesinde ise üç adet mazgal ve bir büyük pencere yer almaktadır.



Şekil 2. Yapının Kuzey-Batı cephesi

Şekil 3'te görüldüğü üzere yapının güney cephesinde ise altı tane mazgal pencere yer almaktadır. Yapının doğu cephesinin zemin katında üç adet dikdörtgen pencere bulunmaktadır. Bunlardan ikisinin üst tarafında dörder mazgal pencere, ortaya konumlanmış pencerenin üstünde ise sivri kemerli pencere yer almaktadır. Şekil 3'te görüldüğü üzere yapının doğu cephesinde simetrik bir anlayış sergilenmiştir.



Şekil 3. Yapının Güney-Doğu cephesi

Taç kapıda yer alan basık kemerli giriş kapısından giriş yapıldıktan sonra Şekil 4'te görüldüğü üzere dar giriş eyvanı yer almaktadır. Eyvanın her iki bölgesinde ise basık kemerli kapıların açıldığı dikdörtgen şeklinde planlanmış köşe odaları bulunmaktadır.

Giriş eyvanını ise büyük bir avlu takip etmektedir. Şekil 4'te görüldüğü üzere avlunun iki tarafında üçer sütunla taşınan revak kemerleri yer almaktadır. Avlunun iki tarafında üst kattaki revak zeminine açılan merdivenler yer almaktadır. Giriş eyvanını takip eden ana eyvan bölgesine göz atıldığında bir dikdörtgen pencere ve üst tarafında yer alan sivri kemerli bir adet pencere yer almaktadır.[8]



Şekil 4. Yapının giriş eyvanı, avlusu ve ana eyvanı

3.3. Model özellikleri

Model özellikleri, malzeme parametreleri ve emniyet gerilmeleri çeşitli literatürler incelenerek belirlenmiş, SAP2000 programında sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur.

Yapıda kullanılan duvarlar, sütunlar, kemerler solid (katı) eleman kullanılarak, döşemeler ve çatı shell (kabuk) eleman kullanılarak modellenmiştir. Modellemede yük aktarımı, mesnetlerdeki elemanların sınır koşullarına uygun şekilde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca modellemede mesnetler sabit mesnet olarak kabul edilmiştir.

Modelde zemin kat ve birinci kat döşemelerinde yönetmelikler ve standartlar gereğince hareketli yükler 5 kN/m^2 , sabit yükler 2 kN/m^2 olarak düzgün yayılı bir şekilde etkilmiştir. Ayrıca programda çatıya kar yükü 0.75 kN/m^2 hareketli olarak yüklenmiştir [9][10].

Medresedeki taş yapı malzemeleri katı eleman olarak modellenmiş, dayanım ve özellikleri literatürdeki araştırmalara göre programa girilmiştir. Fakat modelleme hassas biçimde tasarlanmış ve yapı elemanlarının kalınlıkları gösterilmemiştir. Buradaki

amaç gerilme dağılımlarının daha hızlı ve rahat bir şekilde incelenmesini sağlamaktır.

Korkuteli Sinaneddin Medresesi'nin SAP2000 programında tasarlanan sonlu eleman modelinde kullanılan düğüm noktası sayısı 14654'tür, katı ve kabuk eleman sayısı ise 13585'tir.

3.4. Malzeme parametreleri

Sinaneddin Medresesi gibi yapılarda inceleme yapmak ve numune almak yapının tarihi yapısının bozulmak istenmemesi sebebiyle zordur. Literatür araştırmaları sonucunda ortalama olarak malzeme parametrelerine ilişkin kabuller Tablo 1'de verilmiştir.

Korkuteli Sinaneddin Medresesi'nin, yapılan gözlemler ve incelemeler sonucunda genel olarak moloz taş malzemeden yapıldığı tespit edilmiştir. SAP2000 yazılımında modelleme yapıldıktan sonra kullanılan yapı elemanların özellikleri çeşitli literatür çalışmalarından yararlanılarak Tablo 1'de verilmiştir.[11]

Tablo 1. SAP2000 yazılımında kullanılan malzeme parametreleri [11]

Yapı Elemanı	Model Tipi	Elastisite Modülü (MPa)	Özkütle (kg/m ³)	Poisson Oranı
Döşemeler	Kabuk	3000	1800	0.18
Duvarlar	Katı	10000	2200	0.2
Çatı	Kabuk	3000	1800	0.18

Yapılan araştırmalar sonucunda, Medresenin temelleriyle ilgili herhangi bir sondaj ve kazı çalışmasına rastlanılmamıştır.

Medresenin dış çevre duvarlarının kalınlıkları; zemin katta bölgesel olarak farklılık göstererek 94-133 cm, birinci katta 95-134cm arasında değişmektedir. Medresenin iç bölmesindeki duvarların kalınlıkları; zemin katta bölgesel olarak farklılık göstererek 92-114 cm, birinci katta 63-116 cm arasında değişim göstermektedir.

Duvar basınç emniyet gerilmesini TBDY-2018'deki çizelgeden 0.3 MPa olarak alınmıştır.

4. Bulgular

Korkuteli Sinaneddin Medresesi'nin model analizi gerçekleştirilirken yapıda ilk 50 Mod incelenmiştir. Analiz sonucunda Şekil 5'te verilen değerler değerlendirildiğinde, Mod 1'de (y-y) yönünde periyot 0,5599 saniye, Mod 2'de (x-x) yönünde periyot 0,559838 saniyedir. Ayrıca yapıda genel kütlelerin etkin

olduğu modlar Mod 32 ve Mod 33 olduğu anlaşılmaktadır.

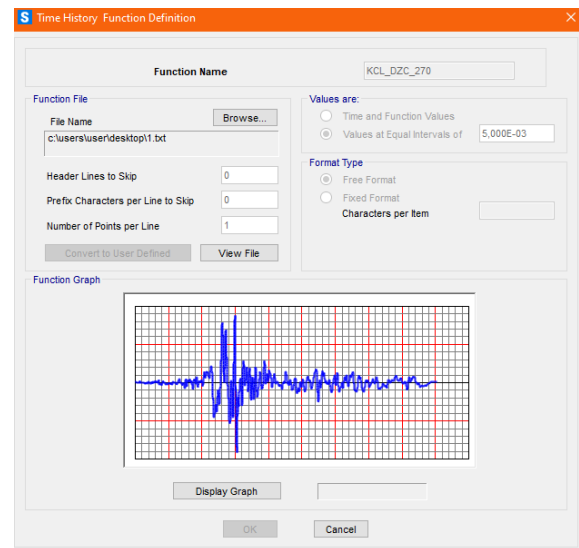
Tablo 2'de görüldüğü üzere, Mod 32'de x doğrultusunda yapının %28'lik kütle katılım oranı, Mod 33'te ise y doğrultusunda yapının %26'lık kütle katılım oranı olduğu gözlemlenmiştir. İki doğrultudaki kütle katılım oranlarının birbirine çok yakın değer olması medresenin geometrisinden (simetrik olmasından) dolayı olduğu söylenebilir.

Tablo 2. Yapının periyot ve kütle katılım oranları

Modal Participating Mass Ratios				
StepNum	Period	UX	UY	UZ
Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless
1	0,5599	2,09E-07	1,61E-07	0,00077
2	0,559838	6,97E-11	0,00032	4,2E-07
32	0,133489	0,278	1,01E-05	0,00013
33	0,132063	1,65E-06	0,259	2,46E-07

Modellemede deprem kaydı olarak Mw=7.54 büyüklüğünde 17 Ağustos 1999 saat 03.02'de meydana gelen, resmî belgelere göre 18.373 kişinin öldüğü, 48.901 yaralanmanın olduğu, 505 kişinin sakat kaldığı Kocaeli depreminin Düzce istasyonundaki kayıtlar kullanılmıştır.

SAP2000 yazılımına Peer (Pacific Earthquake Engineering Research Center) sitesinden alınan veriler tanıtılmıştır (Şekil 5). Akabinde analiz aşamasında iki yönlü (G+Q+EX ve G+Q+EY) yüklemeleri yapılarak medresede oluşması beklenen yer değiştirmeler ve gerilmeler saptanmıştır.



Şekil 5. Analiz programına yüklenen deprem kaydı

Tablo 3. G+Q+Ex yüklemesi altında meydana gelen yer değiştirmeler

Joint Displacements			
Joint	OutputCase	CaseType	U3
Text	Text	Text	mm
12572	G+Q+EX	Combination	-83,48536
11761	G+Q+EX	Combination	-81,49206
11234	G+Q+EX	Combination	-45,23353
12148	G+Q+EX	Combination	-40,18792
11637	G+Q+EX	Combination	-40,08657
13036	G+Q+EX	Combination	-5,561632
10854	G+Q+EX	Combination	-4,282104
13087	G+Q+EX	Combination	-2,12302

Tablo 3'te verilen (G+Q+EX) yüklemesinden, yapının güney cephesindeki çatıda, avluya bakan kısım ile batı cephesi tarafı arasında 81.49 mm ve dışarıya bakan tarafında 40.08 mm'lik yer değiştirme saptanmıştır. Ayrıca yapının kuzey cephesindeki çatıda, avluya bakan kısım ile batı cephesi tarafı arasında 83.48 mm ve dışarıya bakan tarafında 40.18 mm'lik yer değiştirme saptanmıştır. Taç kapının olduğu cephedeki, çatının avluya bakan tarafında 4.28 mm, çatının dışarıya bakan tarafında 2.12 mm'lik yer değiştirme saptanmıştır. Yapının doğu cephesindeki çatıda, avluya bakan kısımda 45.23mm ve dışarıya bakan tarafında 5.56 mm'lik yer değiştirme gözlemlenmiştir.

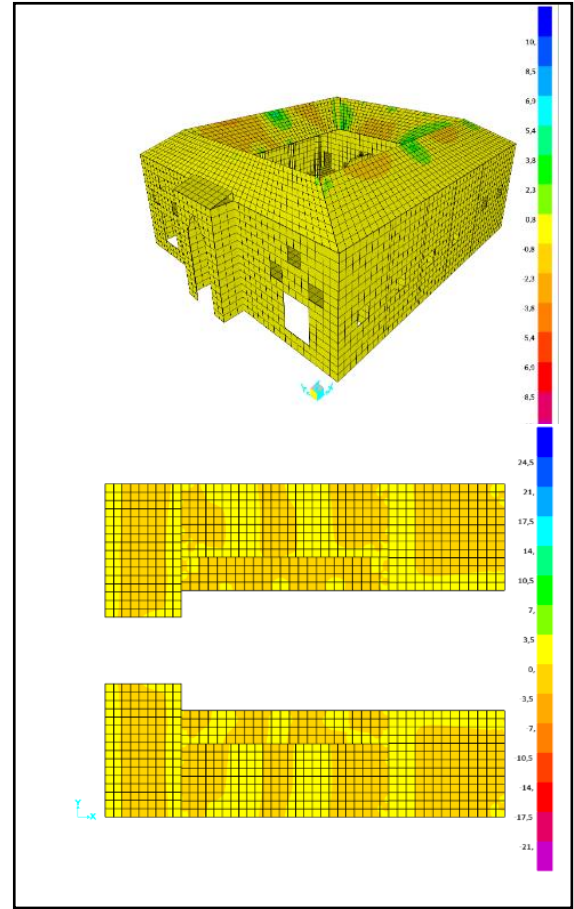
Tablo 4. G+Q+Ey yüklemesi altında meydana gelen yer değiştirmeler

Joint Displacements			
Joint	OutputCase	CaseType	U3
Text	Text	Text	mm
12614	G+Q+EY	Combination	-81,54323
11805	G+Q+EY	Combination	-79,94664
12156	G+Q+EY	Combination	-36,38279
11632	G+Q+EY	Combination	-27,88224
11675	G+Q+EY	Combination	-26,96904
10785	G+Q+EY	Combination	-5,451652
9440	G+Q+EY	Combination	-4,281821
11649	G+Q+EY	Combination	-1,958261

Tablo 4'te verilen (G+Q+EY) yüklemesinden, yapının kuzey cephesindeki çatıda, avluya bakan kısım ile batı cephesi tarafı arasında 81.54 mm ve dışarıya bakan tarafında 26.97 mm'lik yer değiştirme saptanmıştır. Ayrıca yapının güney cephesindeki çatıda, avluya bakan kısım ile batı cephesi tarafı arasında 79.94 mm ve dışarıya bakan tarafında 27.88 mm'lik yer değiştirme saptanmıştır. Yapının doğu cephesindeki çatıda, avluya bakan kısımda 36.38 mm ve dışarıya bakan tarafında 5.45 mm'lik yer değiştirme gözlemlenmiştir. Taç kapının olduğu cephedeki, çatının avluya bakan tarafında 4.28 mm, çatının dışarıya bakan tarafında 1.95 mm'lik yer değiştirme saptanmıştır.

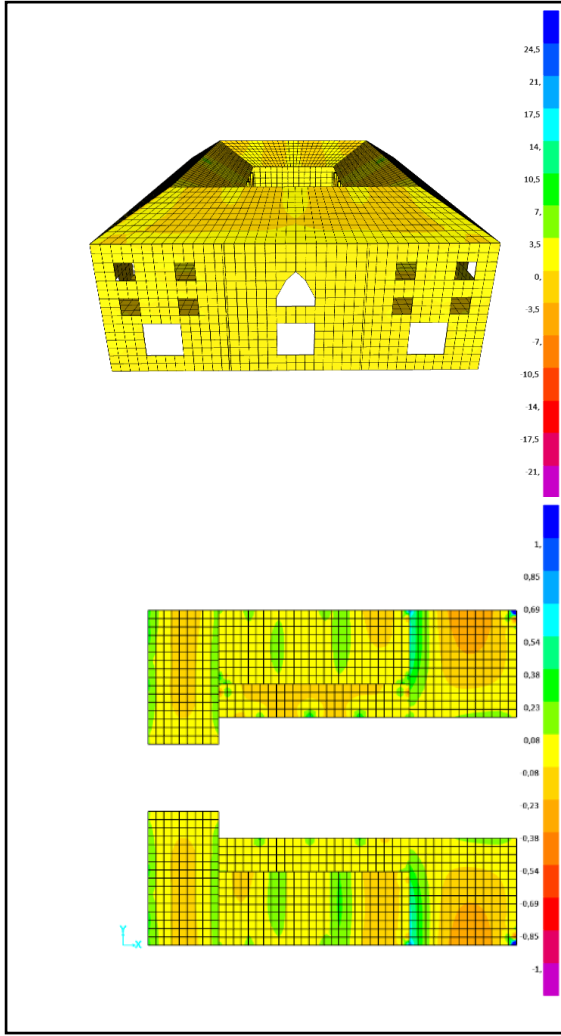
Medresenin geneli incelendiğinde (Tablo 3. ve Tablo 4.), G+Q+Ex ve G+Q+Ey yüklemeleri altında medresede meydana gelen yer değiştirmelerin literatüre göre beklenen düzeyde olduğu anlaşılmıştır.

Dinamik analiz sonuçları neticesinde (G+Q+EX) yüklemesi altında S11 gerilmeleri incelendiğinde; yapının kuzey cephesinde çatıda 0.28 MPa, batı cephesinde çatıda 0.47 MPa gerilme, güney cephesinde çatıda 0.35 MPa gerilme ve doğu cephesinde çatıda 0,41 MPa gerilme oluşmuştur. Ayrıca birinci kat döşemeleri ile sütunların birleştiği bölgelerde 0.50 MPa gerilme gözlemlenmiştir (Şekil 6).

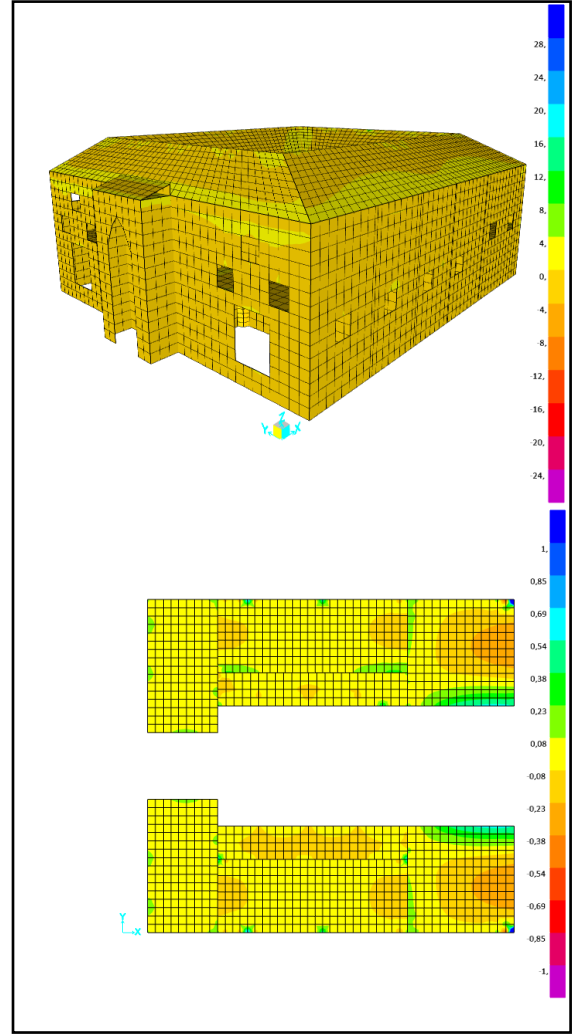


Şekil 6. Medresenin S11 gerilmeleri (G+Q+EX), MPa

Dinamik analiz sonuçları neticesinde (G+Q+EY) yüklemesi altında S11 gerilmeleri incelendiğinde; yapının kuzey cephesinde çatıda 0.3 MPa, batı cephesinde çatıda 0.45 MPa gerilme, güney cephesinde çatıda 0.38 MPa gerilme ve doğu cephesinde 0,48 MPa gerilme oluşmuştur. Ayrıca birinci kat döşemelerinde çeşitli bölgelerde 0.52 MPa gerilme gözlemlenmiştir (Şekil 7).



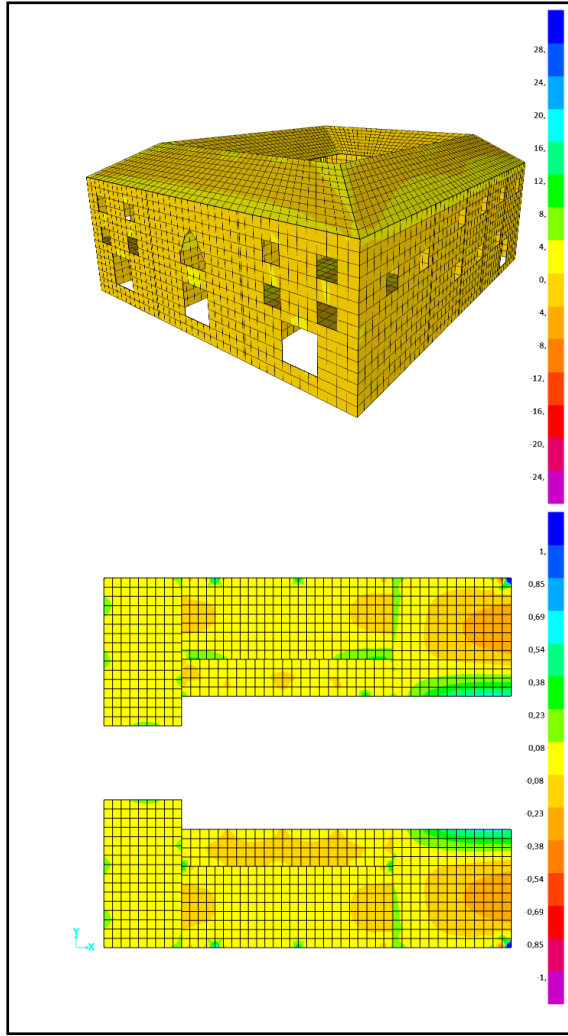
Şekil 7. Medresenin S11 gerilmeleri (G+Q+EY), MPa



Şekil 8. Medresenin S22 gerilmeleri (G+Q+EX), MPa

Dinamik analiz neticesinde medresede Şekil 8'de gösterilen (G+Q+EX) yüklemesi etkisinde S22 gerilmeleri incelendiğinde, yapının doğu cephesindeki duvarlarda çeşitli bölgelerde 0.36 MPa, kuzey cephesindeki duvarlarda çeşitli bölgelerde 0.45 MPa, güney cephesindeki duvarlarda çeşitli bölgelerde 0.42 MPa, batı cephesindeki duvarlarda çeşitli bölgelerde 0.4 MPa gerilme tespit edilmiştir. Ayrıca yapının kuzey cephesinde çatıda 0.41 MPa, batı cephesinde çatıda 0.48 MPa gerilme, güney cephesinde çatıda 0.44 MPa gerilme ve doğu cephesinde 0.3 MPa gerilme oluşmuştur. Yine Şekil 8'de görüldüğü üzere döşemelerin çeşitli bölgelerinde 0.51 MPa gerilmeler mevcuttur.

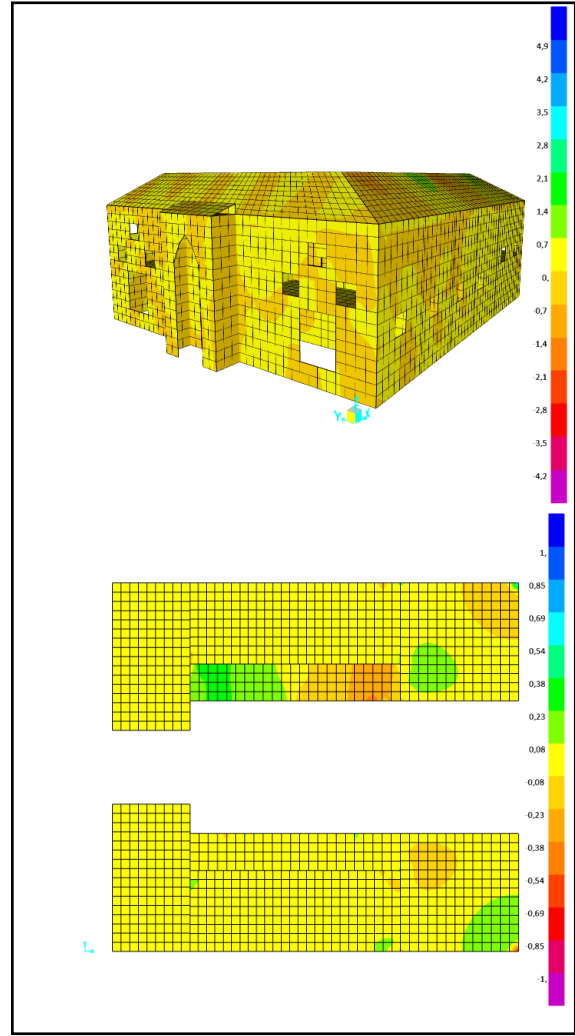
Dinamik analiz sonucunda medresede Şekil 9'da gösterilen (G+Q+EY) yüklemesi etkisinde S22 gerilmeleri incelendiğinde, yapının batı cephesindeki duvarlarda çeşitli bölgelerde 0.41 MPa, kuzey cephesindeki duvarlarda çeşitli bölgelerde 0.44 MPa, güney cephesindeki duvarlarda çeşitli bölgelerde 0.49 MPa ve doğu cephesindeki duvarlarda çeşitli bölgelerde 0.41 MPa gerilme tespit edilmiştir.



Şekil 9. Medresenin S22 gerilmeleri (G+Q+EY), MPa

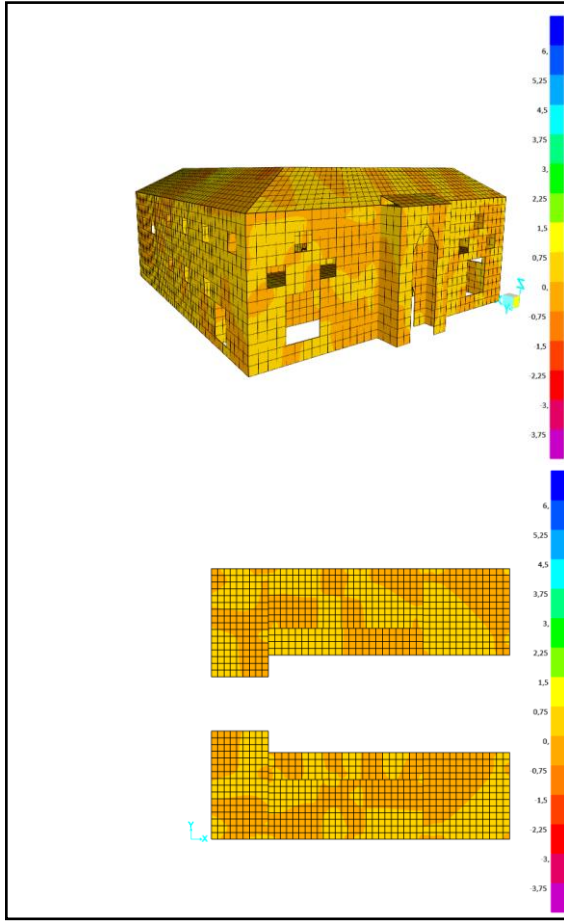
Ayrıca yapının doğu cephesinde 0.43 MPa, batı cephesinde çatıda 0.45 MPa gerilme, güney cephesinde çatıda 0.47 MPa gerilme ve kuzey cephesinde çatıda 0.44 MPa gerilme oluşmuştur. Şekil 9'da görüldüğü üzere döşemelerin çeşitli bölgelerinde 0.53 MPa gerilmeler mevcuttur.

Dinamik analiz neticesinde medresede Şekil 10'da gösterilen (G+Q+EX) yüklemesi etkisinde S12 kayma gerilmeleri incelendiğinde, yapının kuzey cephesinde çatıdaki birleşim yerlerinde 0.25 MPa, batı cephesinde çatıda 0.28 MPa gerilme, güney cephesinde çatıda 0.21 MPa gerilme ve doğu cephesinde 0.31 MPa gerilme oluşmuştur. Yine Şekil 10'da görüldüğü üzere döşemelerin çeşitli bölgelerinde 0.29 MPa gerilmeler mevcuttur.



Şekil 10. Medresenin S12 kayma gerilmeleri (G+Q+EX), MPa

Dinamik analiz neticesinde medresede Şekil 11'de gösterilen (G+Q+EY) yüklemesi etkisinde S12 kayma gerilmeleri incelendiğinde, yapının kuzey cephesinde çatıdaki birleşim yerlerinde 0.3 MPa, batı cephesinde çatıda 0.27 MPa gerilme, güney cephesinde çatıda 0.22 MPa gerilme ve doğu cephesinde 0.32 MPa gerilme oluşmuştur. Yine Şekil 11'de görüldüğü üzere döşemelerin çeşitli bölgelerinde 0.31 MPa gerilmeler mevcuttur.



Şekil 11. Medresenin S12 kayma gerilmeleri (G+Q+EY), MPa

Medresenin geneli incelendiğinde, G+Q+Ex ve G+Q+Ey yüklemeleri altında yapıda meydana gelen gerilmeler beklenen düzeyde olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 5. Taban kesme kuvvetleri ve momentleri

Base Reactions							
Output Case	Step Type	Global FX	Global FY	Global FZ	Global MX	Global MY	Global MZ
Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
G+Q		-3,596 E-10	1,651 E-10	46482, 136	46442 5,44	-55718 4,69	5,884E -09
G+Q+E X	Max	167,9 76	1,855	46487, 568	46449 6,13	55645 4,04	2472,0 965
G+Q+E X	Min	-251,2 57	-3,152	46477, 231	46436 4,76	-55838 2,36	-1657,0 898
G+Q+E Y	Max	1,857	62,79 1	46486, 417	46455 9,64	-55714 0,25	738,86 32
G+Q+E Y	Min	-3,155	-62,36 9	46479, 105	46432 6,81	-55725 0,44	-738,48 01

SAP2000 programının tablolar kısmından alınan, taban kesme kuvvetleri ve momentleri Tablo 5'te gösterilmektedir. Analiz sonucunda elde edilen değerlerin literatüre göre beklenen düzeyde olduğu anlaşılmaktadır.

5. Sonuç

Hazırlanan çalışmada coğrafyamızda önemli yere sahip tarihi yapıda yukarıda bahsedilen bilinçle incelenerek gelecek nesillere dayanıklı şekilde aktarılabilmesi için değerlendirilmeler yapılmıştır. Buna göre Korkuteli Sinaneddin Medresesi'nin deprem etkisi altında yapısal davranışının değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda tarihi yapılar hakkında detaylı incelemeler yapılmış ardından kullanılan taşıyıcı malzemeler ve elemanlar ile ilgili araştırmalarda bulunulmuştur. Sonrasında Korkuteli Sinaneddin Medresesi'nin coğrafi konumu belirlenerek modelin yapısal nitelikleri ve mevcut durumu hakkında incelemeler yapılmıştır. Medresenin ince ayrıntısına kadar üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemiyle modellenerek analizleri yapılmıştır. Statik analiz yapılırken medreseye ait olan sabit ve hareketli düşey yükler tesirinde yapının ağırlığı altındaki durumu değerlendirilmiştir. Deprem etkisi altındaki analiz için zaman tanım alanı (Time History) metodu tercih edilerek seçilen Kocaeli depremi ivmeleri, yapının bölgesine özgü olarak tek boyutlu eşdeğer doğrusal analiz yapılmıştır. Bunun nedeni bölgenin özellikleri altında daha gerçekçi bir çözümleme yapılmıştır. Aşağıda maddeler halinde bu çözümlemeye elde edilen veriler özetlenmiştir.

✚ Modelin (G+Q) yüklemesine göre statik analize göre, çatının birleşim bölgelerindeki ve birinci kat döşemesinin sütunlar ile birleştiği bölgelerde gerilmelerin yoğunluğunun fazla olmasından kaynaklı zamanla hasar oluşma olasılığı vardır. Bazı döşeme kenarlarında düşey gerilmeler sınır değere çok yakın olmasından kaynaklı bu bölgelerde çatlak oluşma ihtimali vardır. Modelin geneline bakılarak yapının kendi öz ağırlığı altında, düşey yükler etkisinde meydana gelen gerilmelerin ve yer değiştirmelerin güvenli tarafta olduğu ve modelin bütünlüğünü bozacak kadar bir hasara vesile olmayacağı değerlendirilmiştir.

✚ Deprem yükleri altında dinamik analize göre, çatı da meydana gelen birkaç birleşim bölgelerindeki yer değiştirmeler dışında önemli derecede bir deplasman görülmemiştir. Ayrıca mesnetlerde oluşan kesme kuvvetleri ve

momentlerde de yapıyı etkileyecek bir duruma rastlanılmamıştır.

- ✚ (G+Q+EX) yüklemesi neticesinde, S11 gerilmeleri değerlendirilecek olursa modelin birinci kat döşemeleri ile sütunların birleştiği bölgelerde 0.50 MPa'lık gerilme sınır değere yakındır. S22 gerilmeleri incelenecek olursa modelde döşemelerin çeşitli bölgelerinde 0.51 MPa'lık gerilmeler sınır değere yakındır. S12 gerilmeleri neticesinde önemli derecede gerilme meydana gelmemiştir.
- ✚ (G+Q+EY) yüklemesi neticesinde, S11 gerilmeleri değerlendirilecek olursa modelin birinci kat döşemeleri ile sütunların birleştiği bölgelerde 0.52 MPa'lık gerilme sınır değere yakındır. S22 gerilmeleri incelenecek olursa modelde döşemelerin çeşitli bölgelerinde 0.53 MPa'lık gerilmeler sınır değere yakındır. S12 gerilmeleri neticesinde önemli derecede gerilme meydana gelmemiştir.

Yapılan çalışma neticesinde günümüzün geçmişe ışık tutan tarihi eserleri hakkında verilen bilgiler ve özelleştirilerek incelenmiş tarihi yapı hakkında yapılan değerlendirmeler kapsamında elde edilen sonuçlar ile önümüzdeki süreçlerde bu konular hakkında yapılacak çalışmalara öncü olunması hedeflenmiştir. Ayrıca geçmişini koruma bilinciyle yapılacak bu çalışmaların tarihi medeniyetlere saygı ve farklı taşıyıcı sistemleri anlamlandırabilmek için önem arz ettiği kanısına varılmaktadır.

Kaynaklar

- [1] Armağan, K., (2012). *Tarihi Yapılarında Kullanılan Fonksiyonelliğin İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)
- [2] Durutürk, G., (2012). *Yalvaç Hamidiye Cami Deprem Analizi*. (Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)
- [3] Pergel, Ş., (2013). *Tarihi Yapılarda Onarım-Güçlendirme Çalışmaları ve Amasya Taşhan Örneği*. (Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)
- [4] Aslan, A. (2016). *Süleymaniye Camii'nin Yerel Zemin Koşullarına Bağlı Deprem Performansının Değerlendirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)
- [5] Uğuz, S. (2016). *Tarihi Yığma Bir Binanın Deprem Güvenlik Analizi: Tarihi Konya- Gazi Lisesi (Darü'l Muallim) Örneği*. (Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)
- [6] Günaydın, M. (2018). *Tarihi Bir Yığma Minarenin Onarım Sonrasındaki Dinamik Karakteristiklerinin*

Deneyisel Olarak Belirlenmesi. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, (2), 381-395. doi:10.17714/gumusfenbil.380711.

- [7] Korkmaz, S. Z., (2007). *Kırsal Konutların Deprem Güvenliğinin Arttırılması*. (Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)
- [8] Binler, H. & Kılıcı, A. (1995). *Vakıflar Dergisi*. Vakıflar Genel Müdürlüğü Yayınları, 25, 165-197.
- [9] TBDY-2018, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği.
- [10] TS-498, (1997). Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yüklerin hesap değerleri standardı, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [11] Çal, G., (2015). *Ortaköy Büyük Mecidiye Camii'nin deprem etkisi altında yapısal davranışının değerlendirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)

Research Article

Performance assessment of PV/T driven transcritical Rankine Cycle: A Comparative study on supercritical working fluids

Gamze Soytürk *1¹Isparta University of Applied Sciences, Faculty of Technology, Mechanical Engineering, 32200, Isparta, Turkey

Keywords

Photovoltaic/Thermal
Supercritical fluids
Transcritical Rankine Cycle
Energy
Exergy

Article history:

Received: 22.03.2023
Accepted: 25.04.2023

Abstract: The proposed study aims to examine the performance of a combined solar power generation system. The system comprises photovoltaic/thermal (PV/T) panels, a pump, a capacitor, and a turbine. R744, R170, and R41 were used as working fluids. The Engineering Equation Solver (EES) program is used to perform the performance evaluation of the system. Comparative thermodynamic analyzes and parametric studies are conducted to determine the best fluid. The results demonstrate that the highest power production rate of 0.4669 kW is calculated for the cycle using R41, followed by R744. Additionally, the highest energy efficiency and efficiency of exergy are calculated when R41 fluid is used, while the lowest energy and efficiency of exergy are calculated when R170 fluid is used. R170 is determined to have the highest irreversibility, with a destruction rate of exergy of 20.57 kW. According to the results of this analysis, the best working fluid was determined as R41. Parametric analyzes were performed to determine the effects of P_1/P_2 and solar irradiation on the performance of the system, like power production, efficiency of energy, destruction of exergy, and efficiency of exergy. It has been shown that power generation, energy efficiency, and efficiency of exergy increase with P_1/P_2 and solar irradiation for all fluids. While the destruction of exergy decreases with increasing pressure ratio, exergy destruction increases with increasing solar irradiation.

Atıf için/To Cite:

Performance Assessment of PV/T Driven Transcritical Rankine Cycle: A Comparative Study on Supercritical Working Fluids. International Journal of Technological Sciences, 15(1), 37-48, 2023.

PV/T destekli transkritik Rankine döngüsünün performans değerlendirilmesi: süperkritik çalışma akışkanları üzerine karşılaştırmalı bir çalışma

Anahtar Kelimeler

Fotovoltaik/Termal
Süperkritik akışkanlar
Transkritik Rankine Çevrimi
Enerji
Ekserji

Makale geçmişi:

Geliş Tarihi: 22.03.2023
Kabul Tarihi: 25.04.2023

Öz: Bu çalışmanın amacı, birleşik bir güneş enerjisi üretim sisteminin performansını incelemektir. Sistem, Fotovoltaik/Termal (PV/T) paneller, bir pompa, bir kondansatör ve bir türbinden oluşmaktadır. Çalışma akışkanı olarak R744, R170 ve R41 kullanılmıştır. Sistemin performans değerlendirmesini gerçekleştirmek için Engineering Equation Solver (EES) yazılım programı kullanılmaktadır. En iyi çalışan akışkanı belirlemek için karşılaştırmalı termodinamik analizler ve parametrik çalışmalar yapılır. Sonuçlar, en yüksek güç üretim oranının 0.4669 kW ile R41 ve ardından R744 kullanılan çevrim için hesaplandığını göstermektedir. Ayrıca, en yüksek enerji ve ekserji verimi ise R41 akışkanı kullanıldığında, en düşük enerji ve ekserji yok etme oranı ile en yüksek tersinmezliğe sahip olduğu bulunmuştur. Bu analiz sonuçlarına göre en iyi çalışma akışkanı R41 olarak belirlenmiştir. P_1/P_2 ve güneş ışınımının sistem performansı üzerindeki güç üretimi, enerji verimliliği, ekserjinin yok edilmesi ve ekserji verimliliği gibi etkilerini belirlemek için parametrik analizler yapılmıştır. Tüm akışkanlar için P_1/P_2 ve güneş ışınımı ile güç üretim hızı, enerji verimliliği ve ekserji veriminin arttığı gösterilmiştir. Artan basınç oranı ile ekserji yıkımı azalırken, artan güneş ışınımı ile ekserji yıkımı artmaktadır.

1. Introduction

Global energy demand continues to rise due to the significant increase in population and industrial development. Fossil fuels are the most used energy resource on the planet. These traditional energy resources have serious negative environmental consequences, like global warming, greenhouse impact, and pollution of air. To reduce the change of climate and to boost the cycle efficiencies of sustainable and unrenowable technologies, it is crucial to assist the penetration of renewables. Solar energy, which is widely used among renewable energy resources, has gained importance in recent years to meet increasing energy needs. Solar energy is an inexhaustible, clean, environmentally friendly, free energy source that does not emit sulfur, carbon, and gas. Also, due to the consequences of fossil fuels, the development of solar-driven cycles is becoming increasingly important. Improvements to current solar energy-integrated technology are therefore required. Compared to conventional energy sources, these systems provide higher advantages [1].

Solar energy is mainly used for two different purposes: thermal energy and electrical energy. While various technologies are used for these aims, the efficiency of these technologies is rising fast. The conversion of solar energy to thermal energy takes place by solar collectors [2]. Photovoltaic (PV) technologies are widely used to obtain electrical energy directly from solar energy [3]. While PV energy is widely used in small-size applications, PV energy is the most potent option for investigation and improvement for larger-scale use as the manufacture of cheaper PV systems becomes actuality [4]. With PV systems used to obtain electrical energy from solar energy, 15-20% of solar energy can be transformed into electricity, and the remaining energy is converted into thermal energy. This thermal energy can be easily absorbed by the PV device and causes the operating temperature to rise to 80°C [5]. The temperature of the PV solar panel decreases by nearly 0.2-0.5% for each degree Celsius as the solar irradiation increases [6]. This issue can be resolved by using a fluid circulation system that is either naturally occurring or artificially created. PV/T systems, which include combined PV cells and heat sinks, have created an efficient alternative for PV systems by simultaneously supplying electrical and thermal energy [7]. PV/T systems combine thermal collectors and photovoltaic cells to enable the generation of thermal and electrical energy at low temperatures. A schematic representation of a typical PV/T panel is shown in Figure 1. In these systems, the PV cells in contact with the absorber surface convert some of the solar radiation into electrical energy, and the surplus heat energy produced in the PV cells is accepted as the input of the

thermal system. During the operation of the system, the heat carrier eliminates this heat from the absorber cells and the surface. Thus, the cells are cooled to obtain thermal energy, and the panel efficiency increases [8]. Different refrigerants, such as air, water, and chemical fluids, can be used in PV/T plants. In addition, according to the physical design of the panels, there are building integrated type, flat plate type, or concentrated PV/T systems [9].

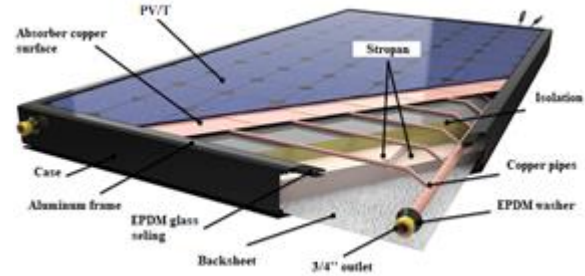


Figure 2. PV/T panel schematic representation [10]

One of the most effective processes for converting thermal energy into power on a big scale is the steam Rankine cycle. H₂O is the best fluid for higher temperature applications and massive centralized systems due to its advantageous features. By choosing a suitable fluid, water-related issues in small and medium-sized power plants can be partially alleviated. In so-named Organic Rankine Cycles (ORC), organic molecules with larger molecular masses and low critical temperatures than water have been suggested [11]. By converting heat into electric energy, ORC, as a lower-grade heat usage technique, can increase energy usage [12]. The ORC can be used in many low-temperature processes, including solar, biomass, geothermal, oceanic, and thermal [13].

Most studies have attempted to improve the system designs and choose the optimum working fluids, such as zeotropic mixes or pure organic fluids, to raise the ORC thermodynamic efficiency [14]. The working fluid has a big impact on how well ORCs perform. Since the application involves a blend of thermal performance, cost, and environmental effects with various heat resource circumstances, it is still difficult to define a global ORC fluid choice criterion. The heat source's energy potential, which also defines the ORC power production system design and the fluid employed, has an important impact on the ORC power production performance of the system [15]. The effects of the single ORC component working fluids' characteristics have also been the subject of numerous investigations. Bahrami et al. [16] proposed three different categories of working fluids with a worldwide warming potential (GWP) of less than 150, including hydrocarbons, hydro fluorochemicals, and mixture working fluids, and evaluated the performance of ORCs in different

configurations based on various performance indicators. Thurairaja et al. [17] investigated how an ORC performed with various working fluids. They used about 100 working fluids that were appropriate for ORCs to carry out the analyses for various temperature ranges. Economic and thermodynamic analyses were carried out for an ORC with PEM electrolyzer by Ganjehsarabi [18]. Analyzes were made using a mixture of pentane, butane, and isopentane as fluid. Yu et al. [19] assessed the effectiveness of an ORC for 22 fluids. The most energy-efficient fluids, according to the data, were R290, R125, R290, and R143a for applications without the use of waste heat and R290, R134a, and R170 for applications that did. To examine how fluid dryness and critical temperature affect the power plant, Song et al. [20] examined a transcritical ORC for 52 various working fluids. This investigation is possibly the most inclusive study carried out for fluids. Xu et al. [21] examined the ORC operating with zeotropic fluids to assess the system's performance advancement. When the studies in the literature were examined, no studies were found on the assessment of the performance of the PV/T-supported ORC cycle for various fluids. Wang et al [22]. presents a zeotropic mixture selection method for ORC with variable heat source temperature. Han et al [23]. proposed the thermodynamic analysis and optimization of an organic Rankine cycle using different zeotropic fluid mixtures as the working fluid, and a flash binary geothermal cycle for both power generation and hydrogen production. In this research, unlike the studies in the literature, it is aimed to examine the performance of the PV/T supported Rankine cycle for R744, R170 and R41 supercritical working fluids. For exergy and energy analysis, a transcritical Rankine cycle is run with the power generated by the PV/T panels. Comparative evaluations of the efficiency of the power cycle are made for various fluids. In addition, parametric studies are carried out to determine the effect of P_1/P_2 and solar radiation on system performance.

2. Choosing Working Fluids

The grade of the ambient temperature, heat resource temperature, the temperature of the coolant liquid, and other factors are taken into consideration while choosing the fluid, which is a crucial step in the ORC process. When developing heat recovery systems, high system efficiency is the major objective, but environmental factors must also be considered for safety and practical reasons. An appropriate fluid for an ORC must meet several specifications. High efficiency, lower global warming potential (GWP), low specific volumes, affordability, moderate pressures, lower toxicity, and lower ozone depletion potential (ODP) are all desirable characteristics. The latter is especially crucial because several high GWP fluids are being

phased out as part of ongoing efforts to minimize greenhouse gas emissions. Lastly, safety factors like the maximum permissible concentration and the explosion limit should be considered [24,25]. Additionally, to having zero ODP and low or no GWP, natural refrigerants offer alternatives to several hydrochlorofluorocarbons (HCFC), chlorofluorocarbons (CFC), and hydrofluorocarbon (HFC) type refrigerants [26]. These are substances that are found in nature, like CO₂, hydrocarbons, water, ammonia, and air. These materials can serve as cooling agents in air conditioners and refrigerators [27]. The common properties of the fluids are given in Table 1. The critical properties of the fluids given in the table were gained using the EES software. As can be seen from the table, the chosen natural refrigerants have very lower GWP values and zero ODP values. In addition, their atmospheric lifetime is relatively short.

Table 1. Features of supercritical working fluids [1]

Working fluid	ODP	GWP	T _{cr} (°C)	P _{cr} (kPa)
R41	0	92	44.13	5897
R170	0	6	32.17	4872
R744	0	1	30.978	7377

3. System Description

The proposed study aims to examine the performance of a combined solar power generation system. The system comprises photovoltaic/thermal (PV/T) panels, a pump, a capacitor, and a turbine. R744, R170, and R41 were used as working fluids. The system schematic representation is given in Figure 2. The Engineering Equation Solver (EES) program is used to perform the performance evaluation of the system. In the present research, the PV/T system converts solar energy into heat energy and electricity, and the electrical energy produced by the PV/T drives the transcritical Rankine cycle. In this cycle, the fluid is heated by the PV/T up to a supercritical state and sent to the turbine, and the thermal energy is transformed into electrical energy.

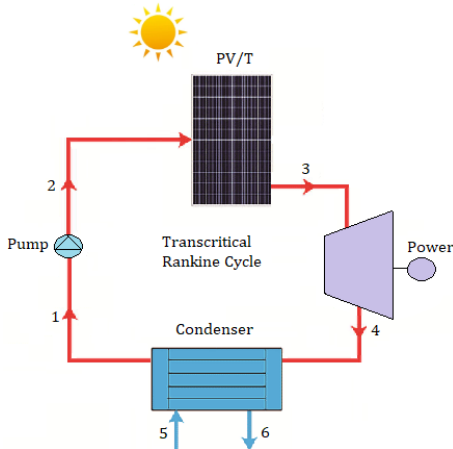


Figure 2. Schematic illustration of PV/T driven transcritical Rankine cycle

The design parameters of the integrated system used in the current research are given in Table 2.

Table 2. Design parameters for the proposed multi-generation system

Parameters	Values
Temperature of reference, T_0 (°C)	19
Pressure of reference, P_0 (kPa)	101.325
Solar irradiation, I_{solar} (W/m ² K)	750
Wind speed, V_{wind} (m/s)	2
Pressure ratio, P_1/P_2	1.3
PV/T [28,29]	
Area, $A_{PV/T}$ (m ²)	1.63
Cell area, A_{cell} (m ²)	1.47
Thickness, L_{si} (m)	300x10 ⁻⁶
Thermal conductivity, K_{si} (W/mK)	0.036
Tedlar thickness, L_T (m)	0.0005
Tedlar thermal conductivity, K_T (m)	0.033
Glass thickness, L_g (m)	0.003
Glass thermal conductivity, K_g (m)	1
Absorptivity, α	0.85
Transmissivity, τ	0.9
Emissivity, ϵ	0.88
Packing factor, PF	0.9
Reference efficiency, η_{el} (%)	14.3
Temperature coefficient, β (1/K)	0.0045
Number of pipes, n_{pipe}	10
Number of PV/T, $n_{PV/T}$	20
External diameter of pipe, D_{out} (m)	0.008
Internal diameter of pipe, D_{in} (m)	0.006
Insulation thickness, L_i (m)	0.05
Insulation conductivity K_i (m)	0.035
Total mass flow rate, \dot{m} (kg/s)	0.0005
Transcritical Rankine Cycle	
Isentropic efficiency of pump, $\eta_{pump,is}$ (%)	90
Isentropic efficiency of turbine, $\eta_{turbine,is}$ (%)	88

4. Thermodynamic Balance Equations

In this study, the thermodynamic analysis is made under the following assumptions:

- The steady-state and steady-flow conditions are chosen for all system elements.
- The heat losses from the pump, turbine, and compressors are neglected.

- The pressure drops through the pipelines are neglected.
- The turbine and pump operations are assumed to be adiabatic.
- Dead state temperature and pressure are taken as 18°C and 101.325 kPa, respectively.
- The heat transfer between the layers of the PV/T panel is taken into account.

The EES program is used to analyze energy and exergy for the purposes of evaluating the system's performance. The mass and energy balance equations for both steady state and continuous flow systems are expressed as [30]:

$$\sum \dot{m}_{in} = \sum \dot{m}_{out} \quad (1)$$

where, \dot{m} demonstrates the mass flow rate, and subscripts "in" and "out" show the input and output states. Energy balance equality in an overall method is calculated by Equation (2) [31]:

$$\sum \dot{m}_{in} \left(h + \frac{v^2}{2} + gz \right)_{in} + \sum \dot{Q}_{in} + \sum \dot{W}_{in} = \sum \dot{m}_{out} \left(h + \frac{v^2}{2} + gz \right)_{out} + \sum \dot{Q}_{out} + \sum \dot{W}_{out} \quad (2)$$

where, \dot{Q} illustrates the heat energy transfer rate, \dot{W} shows the power transfer rate, h indicates the specific enthalpy, v represents the velocity, z denotes the elevation, and g displays the gravitational acceleration. Entropy balance equality is calculated by Equation (3) as follows:

$$\sum \dot{m}_{in} s_{in} + \sum \frac{\dot{Q}}{T} + \dot{S}_{gen} = \sum \dot{m}_{out} s_{out} \quad (3)$$

In the equation above, s shows the specific entropy, and \dot{S}_{gen} demonstrates the generation rate of entropy. An exergy balance equality of any system could be calculated as [32]:

$$\begin{aligned} \sum \dot{m}_{in} ex_{flow} + \sum \dot{E}x_{in}^Q + \sum \dot{E}x_{in}^W \\ = \sum \dot{m}_{out} ex_{flow} + \sum \dot{E}x_{out}^Q \\ + \sum \dot{E}x_{out}^W + \dot{E}x_{dest} \end{aligned} \quad (4)$$

where ex_{flow} represents the exergy of flow, $\dot{E}x_{in}^Q$ displays the exergy related to heat flow across the control volume of the process, $\dot{E}x_{in}^W$ is the exergy related to work and $\dot{E}x_{dest}$ is the destruction of exergy. In the above equation, each term can be calculated as follows:

$$\dot{e}x_{flow} = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (5)$$

$$\dot{E}x^Q = \dot{Q} \left(\frac{T - T_0}{T} \right) \quad (6)$$

$$\dot{E}x^W = \dot{W} \quad (7)$$

$$\dot{E}x_{dest} = T_0 \dot{S}_{gen} \quad (8)$$

The capacity of energy, destruction rate of energy, and efficiency of exergy of each system component can be determined by applying the above overall balance equations to individual system components as follows:

Turbine

$$\dot{W}_T = \dot{m}_3(h_3 - h_4) \quad (9)$$

$$\dot{E}x_{dest,T} = \dot{E}x_3 - \dot{E}x_4 - \dot{W}_T \quad (10)$$

Condenser

$$\dot{Q}_C = \dot{m}_6(h_6 - h_5) \quad (11)$$

$$\dot{E}x_{dest,C} = \dot{E}x_4 + \dot{E}x_5 - \dot{E}x_1 - \dot{E}x_6 \quad (12)$$

Pump

$$\dot{W}_P = \dot{m}_1(h_2 - h_1) \quad (13)$$

$$\dot{E}x_{dest,P} = \dot{E}x_1 - \dot{E}x_2 + \dot{W}_P \quad (14)$$

PV/T panel

The useful heat obtained from the PV/T panel is calculated by Equation (15) [28]:

$$\dot{Q}_u = F_R [I_{solar}(\alpha\tau)(A_{cell} - A_{cell}\eta_{el}) - A_{cell}U_L(T_{f,in} - T_{amb})] \quad (15)$$

where, \dot{Q}_u (W) is the useful heat provided by the panel, F_R represents the PV/T panel's heat removal factor, I_{solar} (W/m²) denotes the solar irradiation, $(\alpha\tau)$ shows the absorbance-permeability coefficient, A_{cell} (m²) is the cell area of PV/T panels, η_{el} indicates electrical efficiency of PV/T panels, U_L (W/m²K) represents demonstrates the overall heat loss coefficient, $T_{f,in}$ (K) shows the fluid inlet temperature and T_{amb} (K) shows ambient temperature. F_R is calculated by Equation (16) as follows [33]:

$$F_R = \frac{\dot{m}c_p}{A_{cell}U_L} \left[1 - \exp \left(\frac{-A_{cell}U_L F'}{\dot{m}c_p} \right) \right] \quad (16)$$

Here, \dot{m} (kg/s) denotes the mass flow rate of the heat transfer coefficient, c_p (J/kgK) shows the specific heat capacity, and F' is the panel efficiency factor. The value of F' is a dimensionless number and varies between 0-1 [31]. In this study F' value is accepted as 0.9 U_L (W/m²K), comprises convection, conduction, and irradiation losses from the PV/T panel to the environment, and is calculated by Equation (17) [29]:

$$U_L = U_b + U_{tf} \quad (17)$$

Here, U_b (W/m²K) is the back surface heat loss coefficient from fluid to surroundings (W/m²K), and, U_{tf} (W/m²K) shows the general heat transfer coefficient from glass to air. U_b (W/m²K) could be calculated as follows [29]:

$$U_b = \left[\frac{L_i}{K_i} + \frac{1}{h_{conv}} \right]^{-1} \quad (18)$$

where, L_i (m) denotes insulations thickness on the back surface, and K_i (W/mK) shows thermal conductivity on the back surface. The convection heat transfer coefficient is h_{conv} (W/m²K) expressed as follows [29]:

$$h_{conv} = 2.8 + 3V_{wind} \quad (19)$$

Here, V_{wind} (m/s) shows wind speed. U_{tf} (W/m²K) should be calculated from Equation (6) [29]:

$$U_{tf} = \left[\frac{1}{h_f} + \frac{1}{U_{tT}} \right]^{-1} = \frac{U_{tT}h_f}{U_{tT} + h_f} \quad (20)$$

where, h_f (W/m²K) is the convection heat transfer coefficient of the fluid in the pipe, and U_{tT} (W/m²K) denotes the heat transfer coefficient from glass to Tedlar and is described by Equation (21) [29]:

$$U_{tT} = \left[\frac{1}{U_t} + \frac{1}{U_T} \right]^{-1} = \frac{U_t U_T}{U_T + U_t} \quad (21)$$

Here, U_t (W/m²K) is a general heat transfer coefficient from the solar cell to the environment through glass cover (W/m²K). U_T (W/m²K) represents the conductive heat transfer coefficient from the solar cell to flowing fluid through Tedlar and could be expressed as follows [29]:

$$U_T = \left[\frac{L_{si}}{K_{si}} + \frac{L_T}{K_T} \right]^{-1} \quad (22)$$

where, L_{si}/K_{si} is the conductive resistance term, L_T (m) denotes the thickness of Tedlar, and K_T (W/mK) shows Tedlar thermal conductivity. U_t (W/m²K) could be expressed as given [29]:

$$U_t = \left[\frac{L_g}{K_g} + \frac{1}{h_{conv}} + \frac{1}{h_{rad}} \right]^{-1} \quad (23)$$

Here, L_g (m) denotes glass thickness, K_g (W/mK) shows the thermal conductivity of glass, h_{rad} (W/m²K) is the irradiation heat transfer coefficient and is described as follows [29]:

$$h_{rad} = \varepsilon_g \sigma (T_{sky} + T_{cell})(T_{sky}^2 + T_{cell}^2) \quad (24)$$

where, ε_g displays the emissivity of the glass, σ (W/m²K⁴) demonstrates Stefan-Boltzmann's constant, T_{sky} (K) is the sky temperature, and T_{cell} (K) denotes the PV/T panel's cell temperature. T_{sky} (K) is calculated by Equation (25) as follows [28]:

$$T_{sky} = 0.0552T_{amb}^{1.5} \quad (25)$$

The convection heat transfer coefficient of the fluid in the pipe, h_f (W/m²K), can be calculated as follows [34]:

$$h_f = \frac{Nuk}{D_{in}} \quad (26)$$

Here, k (W/mK) represents the thermal conductivity of the fluid. To determine the heat transfer coefficient of the fluid, the *Reynolds* (Re) number must be calculated first. Re number is calculated by Equation (27) as follows [34]:

$$Re = \frac{4\dot{m}}{\pi D_{in} \mu} \quad (27)$$

where, D_{in} (m) represents the inner diameter of the pipe, and μ_{CO_2} (kg/ms) is the dynamic viscosity of the fluid. Nu can be expressed as follows [34]:

$$Nu = 0.023Re^{0.8}Pr^{0.4} \quad (28)$$

Here, Pr denotes the Prandtl number. PV/T surface temperature $T_{PV/T}$ (K) is calculated by Equation (29) [28]:

$$T_{PV/T} = T_{f,in} + \left(\frac{\dot{Q}_u}{A_{cell} F_R U_L} \right) (1 - F_R) \quad (29)$$

The outlet temperature of the fluid from the PV/T panels T_{HTF} (K), is calculated by Equation (30) [28]:

$$T_{f,out} = \frac{\dot{Q}_u}{\dot{m}c_p} + T_{f,in} \quad (30)$$

The electrical power obtained from PV/T is calculated as follows [26]:

$$P_{el} = \eta_{el} I_{solar} (\alpha\tau) A_{cell} n_{pipe} \quad (31)$$

η_{el} , which expresses the electrical efficiency of the panels, should be calculated as given [28]:

$$\eta_{el} = \eta_{el,ref} [1 - \beta(T_{cell} - T_{amb,ref})] \quad (32)$$

where, $\eta_{el,ref}$ represents the electrical efficiency at the reference point, β (1/K) is the temperature power coefficient, and $T_{amb,ref}$ (K) is the reference temperature of the PV/T panel under standard test conditions. The thermal efficiency of PV/T can be determined by Equation (33) [35]:

$$\eta_{th} = \frac{\dot{m}c_p(T_{f,out} - T_{f,in})}{I_{solar} A_{cell}} \quad (33)$$

The total efficiency of PV/T panels is calculated by Equation (34):

$$\eta_{top} = \eta_{el} + \eta_{th} \quad (34)$$

The energetic and exergetic efficiency equations for the system could be written as follows:

$$\eta_{en} = \frac{\dot{W}_{net} + P_{el}}{\dot{Q}_{solar}} \quad (35)$$

$$\eta_{ex} = \frac{\dot{W}_{net}}{\dot{E}x_{\dot{Q}_{solar}}} \quad (36)$$

where \dot{W}_{net} is the net power obtained from the system, \dot{Q}_{solar} is solar energy, $\dot{E}x_{\dot{Q}_{solar}}$ is the exergy of the sun and is calculated with the following equations:

$$\dot{W}_{net} = \dot{W}_T - \dot{W}_P \quad (37)$$

$$\dot{Q}_{solar} = n_{PV/T} A_{PV/T} I_{solar} \quad (38)$$

$$\dot{E}x_{\dot{Q}_{solar}} = \dot{Q}_{solar} \left[1 - \frac{4}{3} \frac{T_0}{T_{sun}} + \frac{1}{3} \left[\frac{T_0}{T_{sun}} \right]^4 \right] \quad (39)$$

where T_{sun} denotes the temperature of the sun and is 5770°C [36].

5. Results and Discussion

In this research, the thermodynamic performance of the PV/T-supported transcritical Rankine cycle was investigated. At the same time, parametric studies were performed to examine the effects of P_1/P_2 and solar irradiation on cycle performance. In this system, R744, R170, and R41 working fluids are used as heat transfer

fluids. The characteristics of the points for the PV/T-based power cycle seen in Figure 2 are listed in Table 3 for the working fluids. The data shown in the table were determined using the EES software, and the exergy and exergy ratios specific to each point were determined

using the equations described in the previous part. As can be seen in the table, some values at points 5 and 6 are negative. This is because of the chosen reference point.

Table 3. Thermophysical properties of each point under specified states

State	Fluid	T (°C)	P (kPa)	\dot{m} (kg/s)	h (kJ/kg)	s (kJ/kgK)	ex (kJ/kg)	\dot{E}_x (kW)
0	R744	19	101.3	-	-6.026	-0.01944	-	-
	R170	19	101.3	-	-12.4	-0.03986	-	-
	R41	19	101.3	-	619.5	3.208	-	-
1	R744	20	5729	0.1	-250.9	-1.551	202.6	20.26
	R170	20	3766	0.1	-342.1	-2.07	263.4	26.34
	R41	20	3407	0.1	256.3	1.19	226.3	22.63
2	R744	26.28	9590	0.1	-245.5	-1.549	207.6	20.76
	R170	26.08	6334	0.1	-333.9	-2.067	270.8	27.08
	R41	25.72	7666	0.1	264.1	1.193	233.3	23.33
3	R744	45.59	9590	0.1	-137.1	-1.201	214.2	21.42
	R170	43.85	6334	0.1	-220.9	-1.702	277.2	27.72
	R41	52.35	7666	0.1	371.7	1.536	240.8	24.08
4	R744	20	5729	0.1	-146.9	-1.197	203	20.3
	R170	20	3766	0.1	-232.7	-1.697	263.8	26.38
	R41	20	3407	0.1	359.2	1.542	226.7	22.67
5	R744	15	101.3	0.9933	63.08	0.2244	85.96	85.39
	R170	15	101.3	1.045	63.08	0.2244	92.34	96.51
	R41	15	101.3	0.9837	63.08	0.2244	-539.5	-530.7
6	R744	17.5	101.3	0.9933	73.54	0.2606	85.87	85.29
	R170	17.5	101.3	1.045	73.54	0.2606	92.24	96.41
	R41	17.5	101.3	0.9837	73.54	0.2606	-539.6	-530.8

Figure 3 demonstrates the net power from the PV/T-based cycle for various working fluids. According to the analysis results, the highest net power output of 0.4669 kW was obtained for supercritical fluid R41, succeeded by R744 and R170.

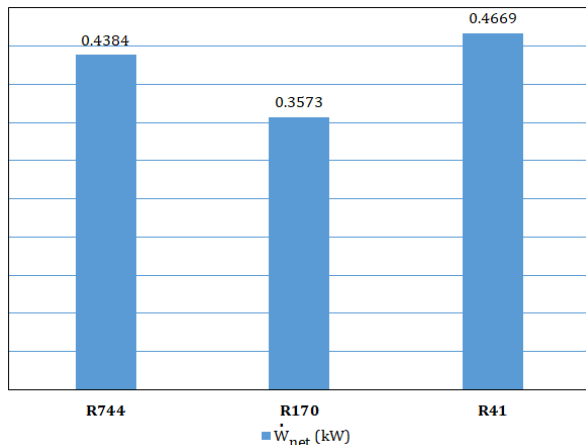


Figure 3. Net power from PV/T based power cycle for working fluids

Figure 4 demonstrates the efficiency of energy and exergy for the fluids. As seen in the figure, the highest efficiency of energy, with 10.09 %, is when R41 is used. The lowest energy efficiency is 9.86% when R170 is used. Parallel to this, the highest exergy efficiency emerged when R41 was used, as in energy efficiency. The lowest exergy efficiency was calculated as 10.57% when using R170 fluid.

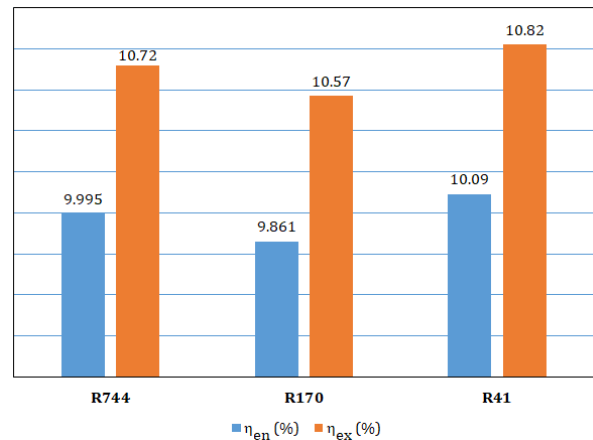


Figure 4. Efficiencies of energy and exergy from PV/T-based power cycle for working fluids

Figure 5 shows the PV/T surface temperature and the outlet temperature of the working fluid. As seen in the figure, the highest PV/T surface temperature was calculated when 56.48°C and R41 fluid were used. In addition, the exit temperature of the R41 fluid from the PV/T is the highest among the fluids at 52.35°C. It has been determined that the lowest PV/T surface temperature and the lowest outlet temperature of the fluid occur when R170 fluid is used.

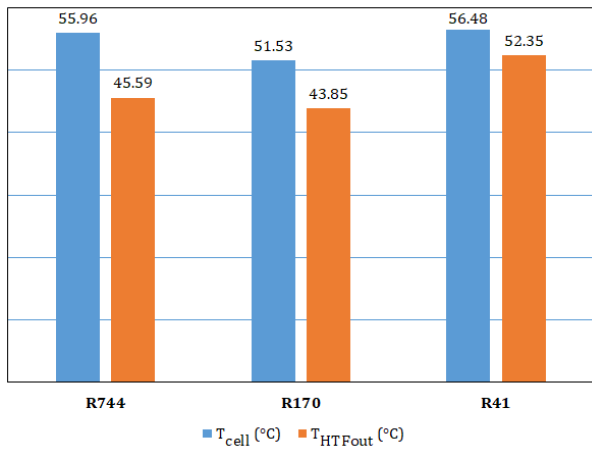


Figure 5. PV/T surface temperature and heat transfer fluid outlet temperature for working fluids

Figure 6 gives the result of exergy destruction. Contrary to the exergy efficiency analysis result, the maximum destruction of the exergy rate was determined for R170, succeeded by R744 and R41. The results show that 20.57 kW of exergy was destroyed using R170 for PV/T assisted power cycling, which corresponds to the minimum efficiency of exergy among selected fluids with a value of 10.57%.

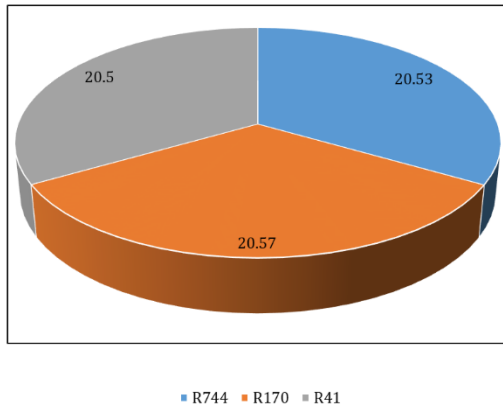


Figure 6. Exergy destruction of PV/T-based power cycle for working fluids

To determine the impact of P_1/P_2 , that is the inlet pressure of the turbine, on PV/T driven system performance, a parametric analysis was conducted. All other variables remained constant while the pressure ratio was changed between 0.8 and 1.6. Figure 7 indicates the change in the net power obtained from the PV/T-based system with the pressure ratio. The chart shows that for whole fluids, the net power production rises with increasing P_2/P_1 . But the rate of rise begins to somewhat slow down about 1.3, and beyond 1.6, there is no further increase in power generation. The fundamental cause of this is because as the pressure ratio rises, the pump's energy consumption does as well. Figure 8 shows how the efficiency of energy varies with

P_1/P_2 for various working fluids. The net power generation and energy efficiency given in Figure 7 show almost the same trend.

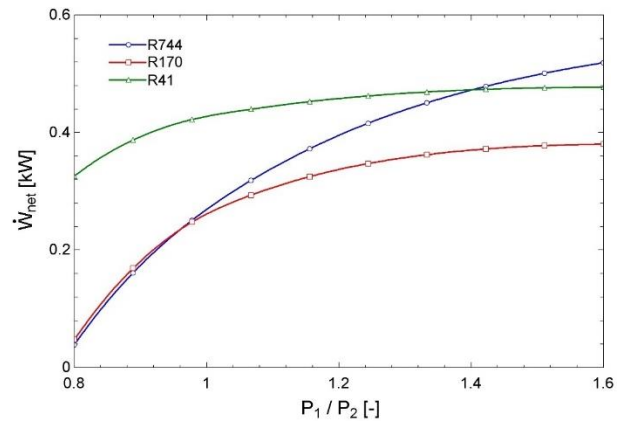


Figure 7. Change of the net power gained from the PV/T-based system with the P_1/P_2

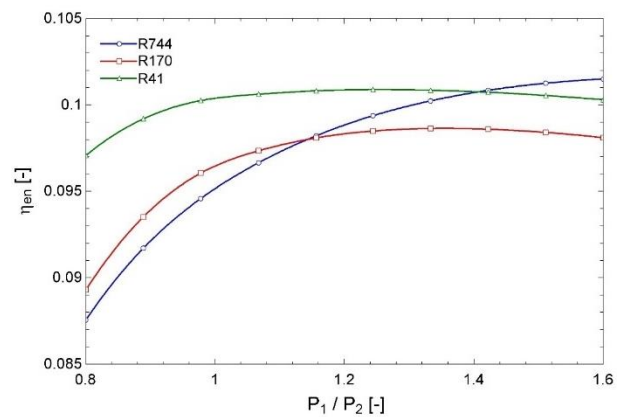


Figure 8. Change of the efficiency of energy obtained from the PV/T-based system with the pressure ratio

Figures 9 and 10 are displayed for the destruction rate of exergetic and efficiency of exergetic, respectively, for the effect of P_1/P_2 on the second law properties of the PV/T-based cycle. For all supercritical fluids, as the P_1/P_2 rises, exergy destruction decreases. But near 1.6 P_2/P_1 , the exergy efficiency starts to follow an almost direct line, meaning there is no change in exergy destruction. On the other hand, the efficiency of exergy rises for whole working fluids. As with exergy destruction, the exergy efficiency starts to be constant near the 1.6 P_2/P_1 . These results basically count on the thermophysical characteristics of the fluids.

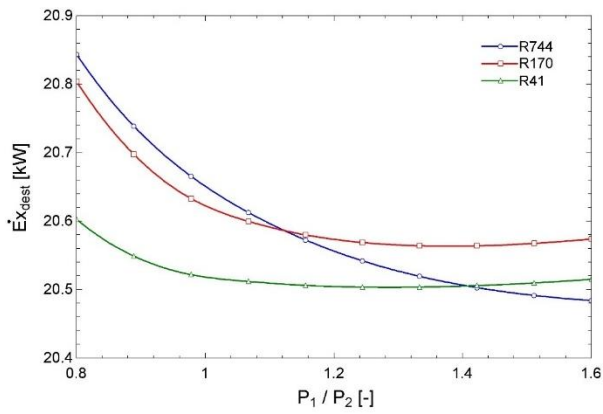


Figure 9. Change of the destruction of exergy obtained from the PV/T-based system with the pressure ratio

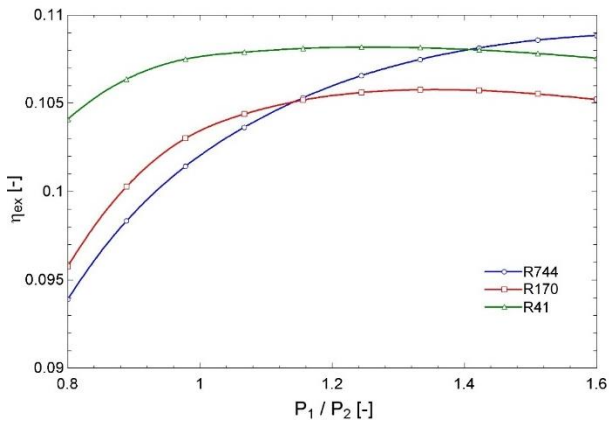


Figure 10. Change of the efficiency of exergy gained from the PV/T-based system with the pressure ratio

Another significant parameter affecting system performance is solar irradiation. For this purpose, parametric analyzes were conducted to examine the effect of solar irradiation on net power production, the efficiency of energy, destruction rate of exergy, and efficiency of exergy. Figure 11 illustrates the net power production versus solar radiation. As can be seen from the figure, the R170 has the lowest power production. Figure 12 demonstrates the efficiency of energy change with solar irradiation. Efficiency of energy for all working fluids increases with temperature. But after about 700 W/m² for R744, the slope of rise is almost constant after 1000 W/m² for R170 and R41.

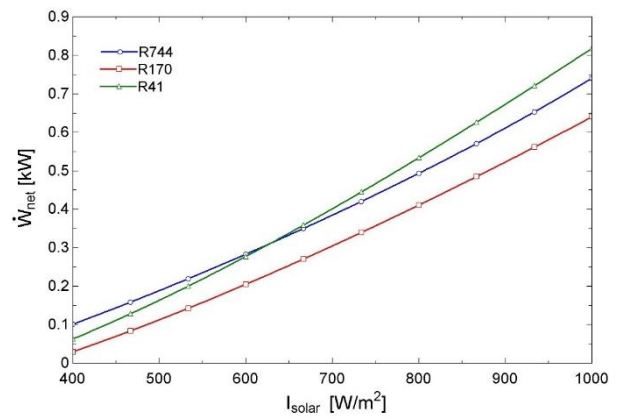


Figure 11. Change of the net power gained from the PV/T-based system with solar irradiation

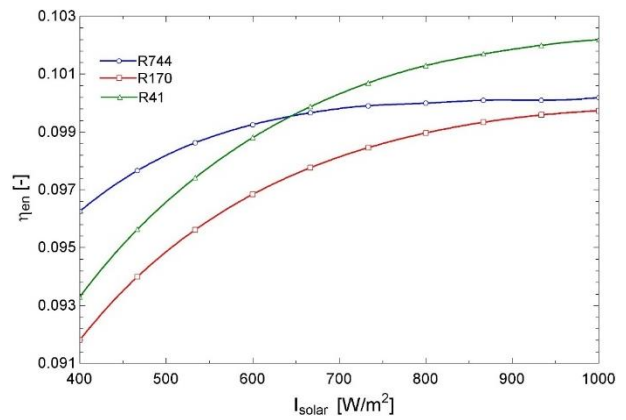


Figure 12. Change of the efficiency of energy obtained from the PV/T-based system with solar irradiation

The influence of solar irradiation on the destruction of exergy and the efficiency of exergy is given in Figures 13 and 14. As seen in Figure 13, exergy destruction is almost the same for all fluids, and exergy destruction increases as solar irradiation increases. Likewise, the exergy efficiency increases with solar irradiation, as seen in Figure 14. As in Figure 12, the exergy efficiency became constant after about 700 W/m² solar irradiation value for R744 and after about 1000 W/m² solar irradiation value for R170 and R41. The highest exergy efficiency belongs to R744, with approximately 10.35% at 400 W/m² solar irradiation. When solar irradiation rises to 1000 W/m², the highest exergy efficiency belongs to R41, with about 11%.

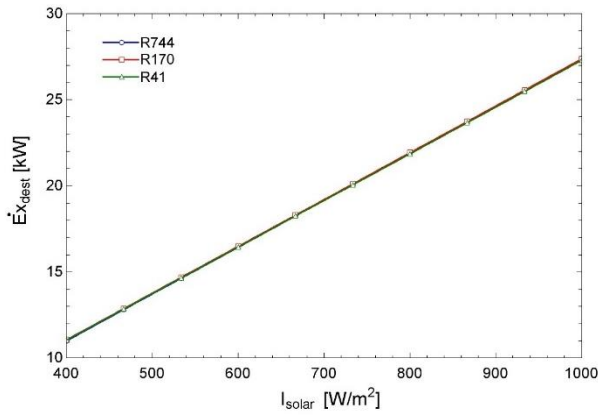


Figure 13. Change of the destruction of exergy obtained from the PV/T-based system with solar irradiation

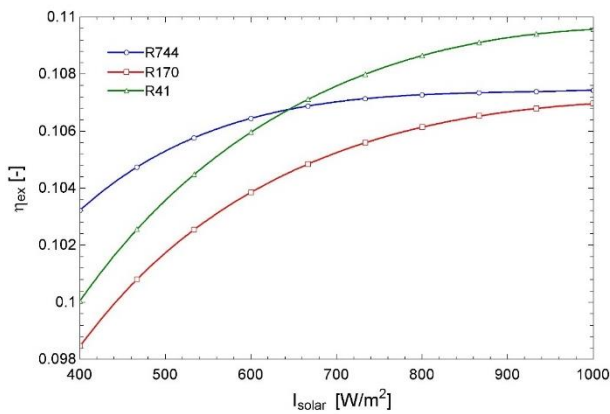


Figure 14. Change of the exergy efficiency obtained from the PV/T-based system with solar irradiation

6. Conclusions

In this research, a performance assessment of a PV/T-driven transcritical Rankine cycle was performed for various supercritical fluids. Analyzes were conducted for three different supercritical fluids, R744, R170, and R41. According to the results of the analysis, it was calculated that the highest power production rate was observed for the system using R41 with 0.4669 kW net power and 10.82% efficiency of energy. It was found that after R41, the best working one was R744, followed by R41 and R170. The fluids selected are both natural and non-toxic working fluids with zero ODP and relatively lower GWP. R41 has a critical temperature of about 44 °C, R744 and R170 about 30 °C. However, while R170 is flammable, R744 is not, so special attention should be paid to the use of R170. According to the analysis, the highest destruction rate of exergy occurred in the cycle using R170 with a value of 20.57 kW, followed by R744 and R41. These results indicate that among the fluids studied in this research, R41 and R744 have great potential for transcritical power production applications using lower-order thermal

energy. Additionally, parametric analyzes were performed to determine the effects of P_1/P_2 and solar irradiation on the performance of the system, like power production, efficiency of energy, destruction of exergy, and efficiency of exergy. It has been shown that power generation rate, energy efficiency, and efficiency of exergy increase with P_1/P_2 and solar irradiation for all fluids. While the destruction of exergy decreases with increasing pressure ratio, exergy destruction increases with increasing solar irradiation. As a result, the use of supercritical working fluids in thermodynamic cycles has some advantages because of their low critical points. However, further research needs to be done to investigate the utilization of these fluids for different system parameters such as ambient temperature, cooling water temperature, environmental concerns, economic criteria, etc. The results of this research give short knowledge about the use of supercritical fluids in PV/T assisted transcritical power cycle. In future studies, it is aimed to examine the system performance by using new generation working fluids.

References

- [1] Kizilkan Ö. Evaluation of Transcritical Rankine Cycle Driven by Low - Temperature Geothermal Source for Different Supercritical Working Fluids. *International Journal of Technological Sciences*, 3(11), 155-169, 2019.
- [2] Soytürk Yıldırım G. *Faz Değiştiren Madde ile Güneş Enerjisinin Depolanmasının ve Isıtma Uygulamalarında Kullanımının İncelenmesi*. MSc Thesis, Süleyman Demirel University, Isparta, Turkey, 2018 (In Turkish).
- [3] Kazemian A, Taheri A, Sardarabadi S, Ma T, Fard MP, Peng J. Energy, Exergy and Environmental Analysis of Glazed and Unglazed PVT System Integrated with Phase Change Material: An Experimental Approach. *Solar Energy*, 201, 178-189, 2020.
- [4] Shiroudi A, Taklimi SRH, Mousavifar SA, Taghipour P. Stand-Alone PV-Hydrogen Energy System in Taleghan-Iran Using HOMER Software: Optimization and Technoeconomic Analysis. *Environmental Development and Sustainable*, 15, 1389-1402, 2013.
- [5] Ma T, Yang H, Zhang Y, Lu L, Wang X. Using Phase Change Materials in Photovoltaic Systems for Thermal Regulation and Electrical Efficiency Improvement: A Review and Outlook. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 1273-1284, 2015.
- [6] Babayan M, Mazraeh AE, Yari M, Niazi NA, Saha SC. Hydrogen Production with a Photovoltaic Thermal System Enhanced by Phase Change materials,

- Shiraz, Iran case study. *Journal of Cleaner Production*, 215, 1262-1278, 2019.
- [7] Gül M, Akyüz E. Hydrogen Generation from a Small-Scale Solar Photovoltaic Thermal (PV/T) Electrolyzer System: Numerical Model and Experimental Verification. *Energies*, 13, 2997, 2020.
- [8] Sachit FA, Rosli MAM, Tamaldin N, Misha S, Abdullah AL. Nanofluids used in Photovoltaic Thermal (PV/T) Systems: A Review. *International Journal of Engineering & Technology*, 7, 599-611, 2018.
- [9] Zulkepli A, Ibrahim H, Alias A, Azran Z, Basrawi F. Review on the Recent Developments of Photovoltaic Thermal (PV/T) and Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) Based Hybrid System. *MATEC Web of Conferences*, 74, 00019, 2016.
- [10] Solimpeks. <https://www.solimpeks.com.tr/> (Date of Access: 17.03.2023)
- [11] Tchanche BF, Lambrinos G, Frangoudakis A, Papadakis G. Low-Grade Heat Conversion into Power Using Organic Rankine Cycles – A Review of Various Applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 3963-3979, 2011.
- [12] He C, Liu C, Gao H, Xie H, Li Y, Wu S, Xu J. The Optimal Evaporation Temperature and Working Fluids for Subcritical Organic Rankine Cycle. *Energy*, 38, 136-143, 2012.
- [13] Peris B, Navarro-Esbrí J, Moles F, Collado R, Mota-Babiloni A. Performance Evaluation of an Organic Rankine Cycle for Power Applications from Low Grade Heat Sources. *Applied Thermal Engineering* 75, 763-769, 2015.
- [14] Sun J, Liu Q, Duan Y. Effects of Evaporator Pinch Point Temperature Difference on Thermo Economic Performance of Geothermal Organic Rankine Cycle Systems. *Geothermics*, 75, 249 - 258, 2018.
- [15] Wang X, Levy EK, Pan C, Romero CE, Banerjee A, Maya CB, Pan L. Working Fluid Selection for Organic Rankine Cycle Power Generation Using Hot Produced Supercritical CO₂ from a Geothermal Reservoir. *Applied Thermal Engineering*, 149, 1287–1304, 2019.
- [16] Bahrami M, Pourfayaz F, Kasaeian A. Low Global Warming Potential (GWP) Working Fluids (WFs) for Organic Rankine Cycle (ORC) Applications. *Energy Reports*, 8, 2976-2988, 2022.
- [17] Thurairajaab K, Wijewardane A, Jayasekara S, Ranasinghe C. Working Fluid Selection and Performance Evaluation of ORC. *Energy Procedia*, 156, 244-248, 2019.
- [18] Ganjehsarabi H. Mixed Refrigerant as Working Fluid in Organic Rankine Cycle for Hydrogen Production Driven by Geothermal Energy. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44, 18703-18711, 2019
- [19] Yu H, Kim D, Gundersen T. A Study of Working Fluids for Organic Rankine Cycles (ORCs) Operating Across and Below Ambient Temperature to Utilize Liquefied Natural Gas (LNG) Cold Energy. *Energy*, 167, 730-739, 2019.
- [20] Song C, Gu M, Miao Z, Liu C, Xu J. Effect of Fluid Dryness and Critical Temperature on Transcritical Organic Rankine Cycle. *Energy*, 174, 97-109, 2019.
- [21] Xu W, Deng D, Zhang Y, Zhao D, Zhao L. How to Give a Full Play to the Advantages of Zeotropic Working Fluids in Organic Rankine Cycle (ORC). *Energy Procedia*, 158, 1591-1597, 2019.
- [22] Wang E, Zhang M, Meng F, Zhang H. Zeotropic Working Fluid Selection for an Organic Rankine Cycle Bottoming with a Marine Engine. *Energy*, 243, 123097, 2022.
- [23] Han J, Wang X, Xu J, Yi N, Talesh SSA. Thermodynamic Analysis and Optimization of an Innovative Geothermal-Based Organic Rankine Cycle Using Zeotropic Mixtures for Power and Hydrogen Production. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45, 8282-8299, 2020.
- [24] Karellas S, Schuster A. Supercritical Fluid Parameters in Organic Rankine Cycle Applications. *International Journal of Thermodynamics*, 11(3), 101-108, 2008.
- [25] Radulovic J. Utilisation of Fluids with Low Global Warming Potential in Supercritical Organic Rankine Cycle. *Journal of Thermal Engineering*, 1(1), 24-30, 2015.
- [26] Bolaji BO, Huan Z. Ozone Depletion and Global Warming: Case for the Use of Natural Refrigerant. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 18, 49-54, 2013.
- [27] Refrigerants naturally, C/O Heat International, <http://www.refrigerantsnaturally.com/> (Date of Access: 16.03.2023)
- [28] Sakellariou E, Axaopoulos P. An Experimentally Validated, Transient Model for Sheet and Tube PVT Collector. *Solar Energy*, 174, 709-718, 2018.
- [29] Sarhaddi F, Farahat S, Ajam H, Behzadmehr A, Adeli MM. An Improved Thermal and Electrical Model for a Solar Photovoltaic Thermal (PV/T) Air Collector. *Applied Energy*, 87, 2328-2339, 2010.
- [30] Cengel YA, Boles MA. *Thermodynamics: An Engineering Approach 8th Edition*, 2015.
- [31] Bejan A, Moran MJ. *Thermal Design and Optimization*, New York: John Wiley & Sons, 1996.
- [32] Dincer I, Rosen MA. *Exergy: Energy, Environment and Sustainable Development*, 2013.
- [33] Kalogirou S. *Solar Energy Engineering Processes and System*. Elsevier, 2009
- [34] Çengel YA. *Heat and Mass Transfer*. İzmir Güven Bookstore, Güven Scientific, 2011 (in Turkish)

- [35] Yazdanifard F, Ebrahimnia-Bajestan E, Ameri Mehran. Investigating the Performance of a Water-Based Photovoltaic/Thermal (PV/T) Collector in Laminar and Turbulent Flow Regime. *Renewable Energy*, 99, 295-306, 2016.
- [36] Soteris A, Sotirios K, Konstantinos B, Camelia S, Viorel B. Exergy Analysis of Solar Thermal Collectors and Processes. *Progress in Energy and Combustion Science*, 56, 106-137, 2016.