



BEYKENT ÜNİVERSİTESİ

FEN VE MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ DERGİSİ BEYKENT UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE AND ENGINEERING

Beykent Üniversitesi Yayınları, No 164

Cilt/Volume: 15 Sayı/Number: 1 Yıl/Year: 2022 Bahar/Spring

ISSN: 1307 - 3818

T.C.
BEYKENT ÜNİVERSİTESİ
**FEN VE MÜHENDİSLİK
BİLİMLERİ DERGİSİ**



**BEYKENT UNIVERSITY
JOURNAL OF SCIENCE AND ENGINEERING**

Sertifika No:

46286

Beykent Üniversitesi Yayınları, No 164

Cilt/Volume: 15 Sayı/Number: 1 Yıl/Year: 2022 Bahar/Spring

www.beykent.edu.tr

Her hakkı saklıdır. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi yılda iki kez yayımlanan, hakemli bir dergidir. Yayın dili Türkçe ve İngilizce'dir. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi'nde yayımlanan makalelerdeki görüş ve düşünceler yazarların kişisel düşünceleri olup, hiçbir şekilde Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi'nin veya Beykent Üniversitesi'nin görüşlerini ifade etmez. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi'ne gönderilen makaleler iade edilmez.



SAHİBİ/PROPRIETOR

Prof. Dr. Ali Murat FERMAN

Beykent Üniversitesi adına / on behalf of Beykent University

EDİTÖR/EDITOR

Prof. Dr. Şahika Sena BAYAZİT

EDİTÖR YARDIMCILARI/ASSISTANT EDITORS

Dr. Öğr. Üyesi Ferda CİVAN ÇAVUŞOĞLU

Dr. Öğr. Üyesi Atınc YILMAZ

ALAN EDİTÖRLERİ/EDITORIAL BOARD

Prof. Dr. Adnan KAYPMAZ

Dr. Öğr. Üyesi Cengiz ÖZBEK

Dr. Öğr. Üyesi Ferda CİVAN ÇAVUŞOĞLU

Dr. Öğr. Üyesi Ediz ŞAYKOL

Doç. Dr. Arzum ÖZGEN

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Orkun ÖZÜER

Dr. Öğr. Üyesi Ziya MÜDERRİSOĞLU

Doç. Dr. Emre DİL

Dr. Öğr. Üyesi Özlem Ayşe TOSYALI

YAYIN KURULU/PUBLISHING BOARD

Prof. Dr. Adnan KAYPMAZ

Prof. Dr. Ayşe Uğur TÜTENGİL

Prof. Dr. Kazım SARI

Prof. Dr. Şeyma AYDINOĞLU

Prof. Dr. Suat YILMAZ

Prof. Dr. Şah KIRBAŞLAR

Prof. Dr. Recep BURKAN

Dr. Alen Murat KUYUMCU

Dr. Öğr. Üyesi Ömer ÇETİN

Dr. Öğr. Üyesi Yücel Batu SALMAN

Doç. Dr. Özge KUYUMCU

DANIŞMA KURULU/ADVISORY BOARD

Prof. Dr. Hüseyin CÖMERT

Prof. Dr. Ayla ANTEL

Prof. Dr. Argun KOCAMAN

Doç. Dr. Benoît CAGNON

Doç. Dr. Marius Sebastian SECULA

Dr. İrem FIRTINA ERTİŞ

Dr. Öğr. Üyesi İhsan KARAGÖZ

Dr. Öğr. Üyesi Sabahattin Kerem AYTULUN



Dr. Öğr. Üyesi Bilge YILDIRIM GÖNÜL

Prof. Dr. Emin DEMİRBAĞ

Prof. Dr. Başar ÖZTAYŞI

Prof. Dr. Ümit IŞIKDAĞ

Prof. Dr. Gökhan SİLAHTAROĞLU

Prof. Ayşe Nilay EVCİL

Prof. Dr. Gündüz HORASAN

Prof. Dr. Ali PINAR

Prof. Dr. Filiz KARAOSMANOĞLU

Doç. Dr. Ömer OĞUZ

Prof. Dr. Salih OFLUOĞLU

Prof. Dr. Osman PALAMUTÇUOĞULLARI

Prof. Dr. Tanay Sıdkı UYAR

Prof. Dr. Nihal ARIOĞLU

YAYINEVİ MÜDÜRÜ/PUBLISHING MANAGER

Can EKŞİ

DERGİ ASİSTANLARI/JOURNAL ASSISTANTS

Arş. Gör. Seda KILIÇER

Arş. Gör. Gülsüm ÖZÇELİK

YAYIN SEKRETERİ/PUBLISHING SECRETARY

Arş Gör. İrem ACET

TÜRKÇE DİL EDITÖRÜ/TURKISH LANGUAGE EDITOR

Dr. Öğr. Üyesi Ali ŞEYLAN

İNGİLİZCE DİL EDITÖRÜ/ENGLISH LANGUAGE EDITOR

Dr. Öğr. Üyesi Seval ARSLAN

TEKNİK EDITÖR/TECHNICAL EDITOR

Arş. Gör. Nazlı ÖZDEMİR

Arş. Gör. Yasemin KAPTAN

İNDEKS SORUMLULARI/INDEX RESPONSIBILITIES

Arş. Gör. Selin YALÇIN

Arş. Gör. Ayşe KALE

MİZANPAJ EDITÖRLERİ/LAYOUT EDITORS

Arş. Gör. Gülsüm ÖZÇELİK

Arş. Gör. Yasemin KAPTAN

Arş. Gör. Seda KILIÇER



İÇİNDEKİLER

EXPERIMENTAL TESTS ON HEAT TRANSFER IN COIL CONDENSERS DESIGNED FOR BUILT-IN REFRIGERATORS Alper TEZCAN, Ahmet CİHAN, Kamil KAHVECİ.....	1-10
THE PERCEPTION OF PERSONAL SPACE AND CROWDING DURING COVID-19: AN EXAMPLE OF GROCERY SHOPPING Betül ŞAHİN.....	11-22
MÜHENDİSLİK ÖĞRENCİLERİNDE COVID-19 PANDEMİSİNİN ERGONOMİK KOŞULLAR VE BEL AĞRISI ÜZERİNE ETKİSİ Sabahattin Mert BERKMEN, Yunus CAN	23-36
TÜRKİYE'DE İLK VE TEK, 'VİRÜS-FREE KAMPÜS': DOĞUŞ ÜNİVERSİTESİ ATAŞEHİR DUDULLU YERLEŞKESİ Tarık BAYKARA	37-54
COMPARISON OF THERMAL ENERGY STORAGE WITH PHASE CHANGE MATERIALS IN PHOTOVOLTAIC PANELS AND PV/T SYSTEMS Ecem ŞEN, Melih Soner ÇELİKTAŞ.....	55-76



EXPERIMENTAL TESTS ON HEAT TRANSFER IN COIL CONDENSERS DESIGNED FOR BUILT-IN REFRIGERATORS

ANKASTRE BUZDOLAPLARI İÇİN TASARLANAN SERPANTİN YOĞUŞTURUCULARIN ISI TRANSFERİ ÜZERİNE DENEYSEL TESTLERİ

<https://doi.org/10.20854/bujse.989788>

Alper Tezcan^{1,*}, Ahmet Cihan², Kamil Kahveci³

Abstract

A vapor compression refrigeration cycle is a closed cycle consisting of a compressor, a condenser, an expansion valve and an evaporator. The performance of the cooling system is significantly dependent on the condenser. The aim of this study is to conduct heat transfer tests on the compact condensers of built-in refrigerators and to propose improvement suggestions according to the test results. In the introduction section, information is given about the type of condenser used in built-in refrigerators and the parameters affecting the heat transfer. In the material and methods section, the selected coil type condenser and the constraints on the component where it is mounted are explained. Explanatory information about the experimental setup to be used can also be found in this section. In the results section, the results of the experiments on the coil condenser are given. The test results in the discussion section were examined and suggestions were made to increase the performance of the condenser on the refrigerator. The results show that the heat transfer capacity, which is an important parameter determining the condenser performance, and the pulldown temperature are directly related to the condenser surface. It can also be concluded that even if the condenser thermal capacity is sufficient, the pulldown temperature should also be taken into account. Although the thermal capacity of the coil condenser meets the requirements, it is observed that the pulldown temperature is not at the desired values.

Özet

Bir buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi, bir kompresör, bir yoğuşturucu, bir genişleme valfi ve bir buharlaştırıcıdan oluşan kapalı bir çevrimdir. Soğutma sisteminin performansı önemli ölçüde yoğuşturucuya bağlıdır. Bu çalışmanın amacı, ankastre buzdolaplarının kompakt yoğuşturucusunun üzerinde ısı transferi testleri yapmak ve test sonuçlarına göre iyileştirme önerileri sunmaktır. Giriş bölümünde ankastre buzdolaplarında kullanılan yoğuşturucu tipi ve ısı transferini etkileyen parametreler hakkında bilgi verilmiştir. Malzeme ve yöntemler bölümünde seçilen serpantin tipi yoğuşturucu ve monte edildiği yer üzerindeki kısıtlamalar anlatılmaktadır. Kullanılacak deney düzeneği hakkında açıklayıcı bilgiler de bu bölümde bulunabilir. Sonuçlar bölümünde ise serpantin kondenser üzerinde yapılan deneylerin sonuçları verilmiştir. Tartışma bölümündeki test sonuçları incelenmiş ve yoğuşturucunun buzdolabındaki performansının artırılmasına yönelik önerilerde bulunulmuştur. Sonuçlar, yoğuşturucu performansını belirleyen önemli bir parametre olan ısı transfer kapasitesinin ve aşağı çekme sıcaklığının yoğuşturucu yüzeyi ile doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir. Ayrıca, yoğuşturucu ısı kapasitesi yeterli olsa bile, aşağı çekme sıcaklığının da dikkate alınması gerektiği sonucuna varılabilir. Serpantin yoğuşturucunun ısı kapasitesi gereksinimleri karşılamasına rağmen, aşağı çekme sıcaklığının istenilen değerlerde olmadığı görülmektedir.

Keywords: Coil Condenser, Cooling System, Heat Transfer, Optimization, R134a, Refrigerators

Anahtar Kelimeler: Serpantin Yoğuşturucu, Soğutma Sistemi, Isı Transferi, Optimizasyon, R134a, Buzdolapları

^{1,*} Corresponding Author: T.C. Istanbul Arel University, Istanbul, Turkey, alpertezcan@arel.edu.tr, orcid.org/0000-0002-4603-906

² Beykent University Istanbul, Turkey, ahmetcihan@beykent.edu.tr, orcid.org/0000-0002-4022-9585

³ Trakya University Edirne, Turkey, kamilk@trakya.edu.tr, orcid.org/0000-0003-2492-8690

1. INTRODUCTION

In built-in refrigerators, serviceability is of great importance in the design of components, especially as the volume is large and the device cannot be moved. In normal household type conventional refrigerators, static type wire-on-tube condensers located behind the appliance is used. In built-in refrigerators, on the other hand, compact condensers must be used instead of static wire-on-tube condensers in terms of ease of access to the condenser compartment, that is, its serviceability. A compact condenser is a type of heat exchanger which is specially designed to achieve a large heat transfer surface area per unit volume (Cengel & Gajar, 2020). Compact condensers are usually placed in the machine room part of the device, which is called the aggregate area.

As the surface areas of compact condensers are smaller than static type wire-on-tube condensers, static air contact is not sufficient for heat transfer. For this reason, to increase the heat transfer in compact condensers, the air is directed over the condenser with the help of a fan and thus heat transfer is increased. There are studies on the determination of the performance of an air-cooled condenser. The effect of various parameters on condenser performance was investigated in a study (He et al., 2013). As the aim of this study is to reveal the effect of condenser design on heat transfer, fan size and parameters will be out of the scope of this study. Figure 1 shows the condenser and fan located in a built-in refrigerator.

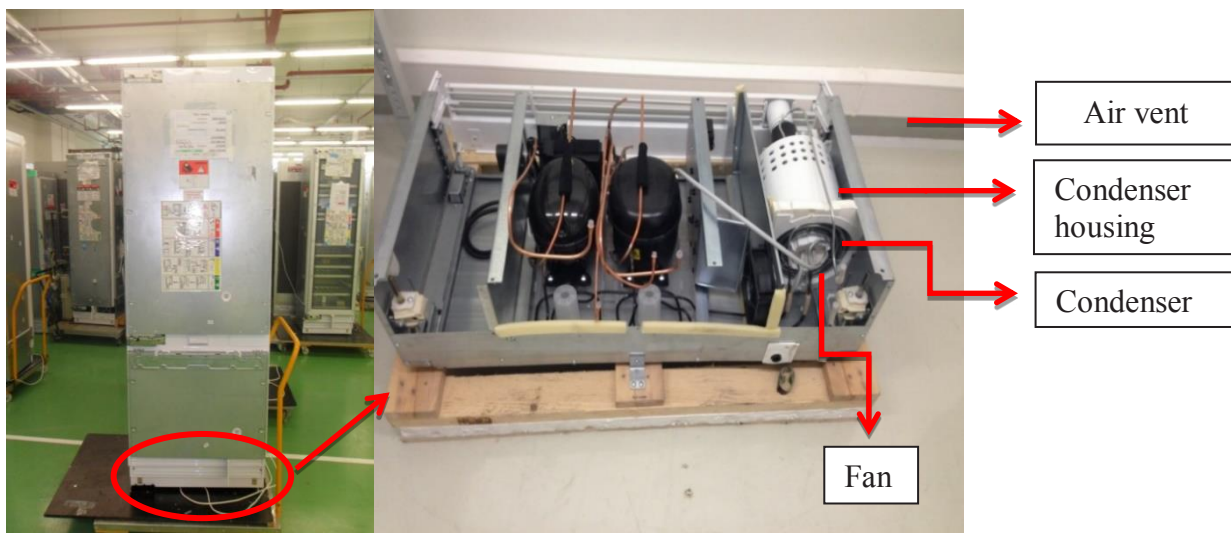


Figure 1: Compact condenser location in built-in refrigerators.

R134A refrigerant passes through the cooling system of the refrigerator. Heat is transferred to R134A inside the refrigerator compartments through the evaporator and later heat is transferred to the environment by the condensing process in the condenser.

There are two criteria to measure the suitability of condensers. The first of these is the heat transfer capacity of the condenser. Another criterion as important as heat transfer capacity is the saturation temperature of the refrigerant at the outlet of the compressor. The pressure corresponding to the saturation temperature is a factor that affects the operation of the compressor. The upper limit of the pulldown temperature value is determined by the compressor manufacturers by performing lifetime tests and it is requested not to exceed a certain temperature. For this reason, it is not enough if only the heat transfer capacity of the condenser meets the requirements. At the same time, the pulldown temperature must be below the limit value.

The aim of this study is to experimentally investigate the heat capacity and pulldown temperature of the condenser and to make suggestions for the designed condenser and test method according to the results.

2. MATERIALS AND METHODS

In the study, a built-in refrigerator called the bottom mount was used. The freezer section with drawers is located at the bottom and the fridge section is at the top. The built-in refrigerator can be seen in Figure 2.

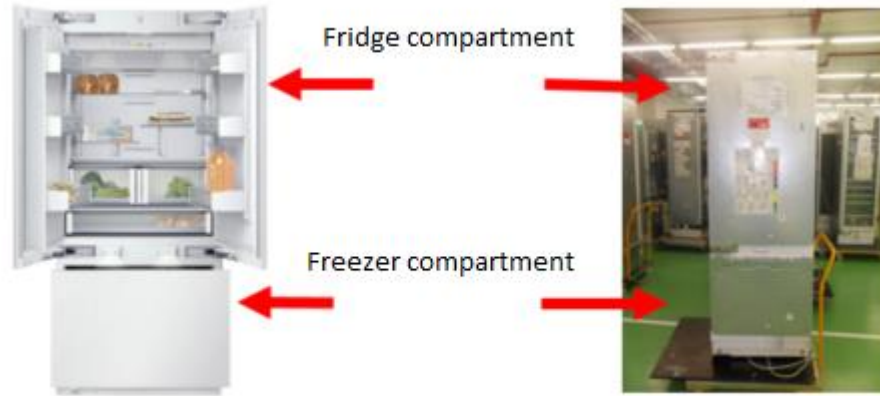


Figure 2: Bottom mount built-in refrigerator.

The condenser used in built-in refrigerator is coil type. The structure of the condenser made of aluminum pipes can be seen in Figure 3. It is placed in a housing so that air flow can be provided into the condenser. The condenser has two refrigerant inlets and outlets. The refrigerants of the refrigerator and freezer compartments pass through these inlets and outlets separately. The fluids of these separate compartments do not mix with each other. The physical properties and dimensions of the coil condenser pipes are given in Table 1.

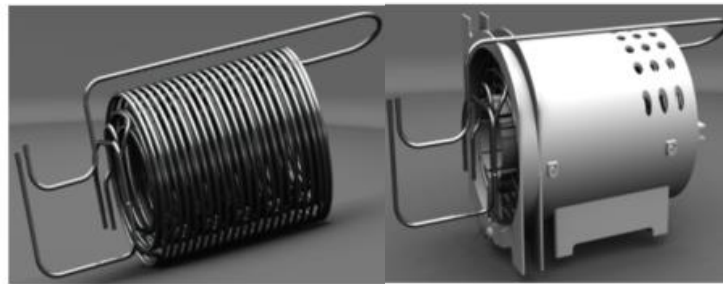


Figure 3: Compact coil condenser and housing (Tezcan, 2018).

Table 1: Physical properties and dimensions of coil condenser pipes.

Material	Aluminum
Outer diameter (mm)	4.76
Thickness (mm)	0.7
Thermal conductivity λ (W/mK)	200
Fridge compartment pipe length (mm)	14088
Freezer compartment pipe length (mm)	12503

As a basic principle, the coil condenser is produced by displacing a rotating shaft forward by means of a worm gear screw and taking shape with the effect of this rotation and progression of the pipe on it. The process is shown in Figure 4.

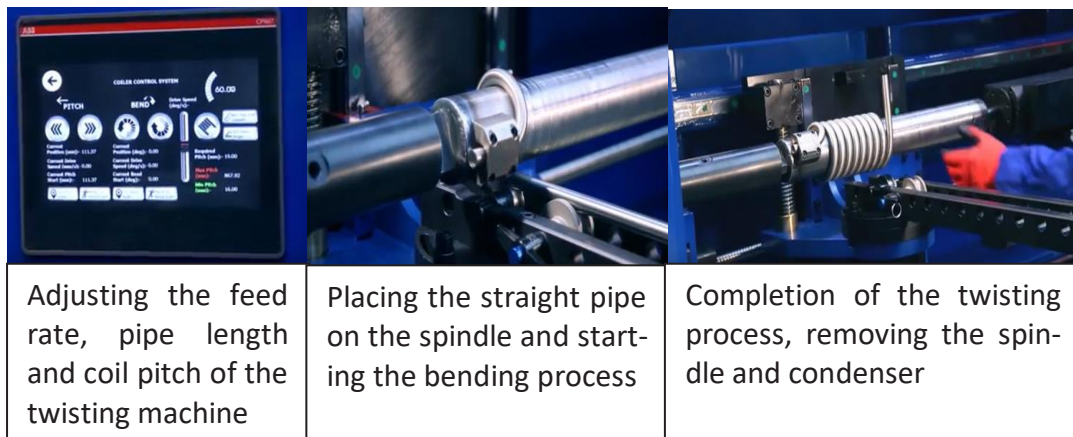


Figure 4: Coil condenser production method.

This production methodology and condenser types used in built-in appliances are well-known technology. There are different patent applications for the condenser type obtained by horizontally forward translation of the pipe in a helical rectangular or circular form (Heisen, 1998), (Arslankiray, 2008).

Two different test systems have been considered to evaluate the performance of the condenser. First study was performed on the performance of condenser on the refrigerator by getting the result for pulldown temperature. The second study was performed on single condensers to get heat capacity test results of them.

2.1. Pulldown Temperature Tests on The Refrigerator

The energy level measurement tests of the refrigerator are out of the scope of this study. However, when the condenser is mounted to the refrigerator, it can use the same test setup to measure the inlet and outlet temperatures. The test chambers shown in Figure 5 were used to determine the temperatures of critical points in the BM-type refrigerator. By placing the device to be measured in these test chambers, measurements can be made under previously set temperature and relative humidity conditions. The measurements made were collected at a service provider and data graphics are automatically gathered by means of user interaction graphics and results.



Figure 5: Refrigerator with temperature sensors connected in the test chamber.

PT100 thermocouples were used to measure the temperatures. Thermocouples were attached to the area where the temperature is measured with aluminum tape. The aluminum band provides a homogeneous temperature distribution on the thermocouple, helping to make the measurement sensitively. The application for installing thermocouples is shown in Figure 6.



Figure 6: Thermocouple mounted on the compressor outlet pipe.

2.2. Heat Capacity Measurement Test System

A test setup specially designed to measure the thermal capacity of the condenser was used. The condenser to be tested was placed in an air duct. Airflow was provided by an exhaust fan. The volumetric flow of the air was measured with a nozzle and a pressure transmitter. A flow regulator is used to achieve uniform flow in the air duct.

R134a gas was used as the refrigerant in the test setup. The inlet temperature of the tested condenser was controlled by changing the heater heating output or evaporator cooling output parameters in the heat exchanger. The temperature of the fluid exiting the condenser was lowered by the super cooling up to the set value. The mass flow rate of the fluid was measured with a flow meter placed after the super cooling. The flow rate changes according to the constant inlet and outlet temperatures of the condenser. The fluid flows from the super cooler to the evaporator. The refrigeration cycle is completed when the fluid leaving the evaporator goes into the compressor. The thermal capacity of the condenser with known temperature

values and flow rate is calculated automatically by the system. Constant temperature values and test parameters for each compartment is given in Table 2.

Table 2: Condenser heat capacity measurement system test parameters.

Divison	Test chamber temperature (°C)	Super heating (°C)	Super cooling (°C)	Condensing temperature (°C)	Refrigerant
Freezer	22	5	7	46	R134a
Fridge	13	5	7	38	R134a



Figure 7: Condenser heat capacity measurement test system, a) control panel, b) air channel.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Compressor outlet saturation temperatures of the freezer and refrigerator of refrigerant compartments are given in Figure 8 as a result of the tests performed to find the pulldown temperatures on the refrigerator. x axis on the figure refers time as second (s) as y axis shows temperature as °C. The comparative list of the results can be seen in Table 3.

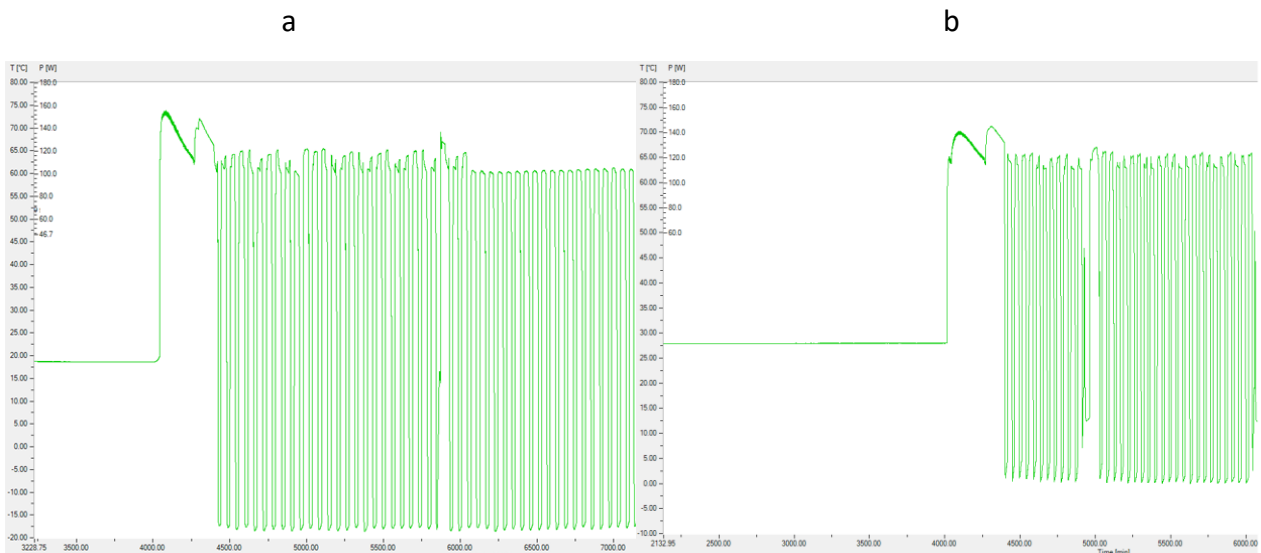


Figure 8: Saturation temperatures of refrigerant at the compressor outlets for the freezer and refrigerator compartments, a) Freezer compartment compressor outlet, b) Fridge compartment compressor outlet.

Table 3: Compressor outlet saturation temperatures of the compartments according to the refrigerator operating status.

Operation mode	Maximum compressor outlet saturation temperature for freezer	Maximum compressor outlet saturation temperature for fridge	Operation mode
Start-up	73.8	71.2	Start-up
Cycle	69.1	67	Cycle

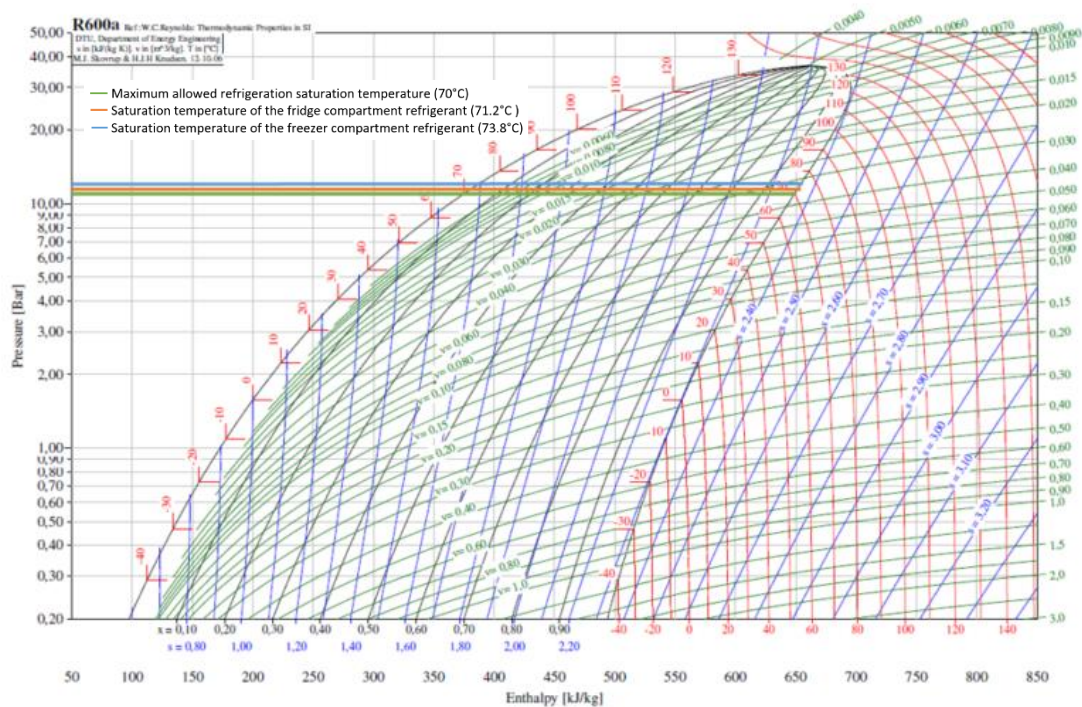
Results of condenser heat capacity determination tests are given in Table 4.

Table 4: Condenser heat capacity test results.

Division	Length (m)	Heat Transfer Capacity (W)	Refrigerant mass flow rate (kg/h)	Air mass flow rate (m ³ /h)
Fridge	14.09	311.5	6.49	196.4
Freezer	12.5	249.7	4.97	185.2

The pulldown temperature should not exceed 70°C during start-up. According to the test results on the refrigerator, these temperature values during start-up are 71.2°C for the fridge compartment and 73.8°C for the freezer compartment. Likewise, after the device works in the cycling, this temperature value is 67 °C for the fridge compartment and 69.1 °C for the freezer compartment.

The saturation temperature of the fluid can be derived from the pressure-enthalpy (P-h) diagram. The pressure corresponding to the pulldown temperature values can be seen in Figure 9 and Figure 10.

**Figure 9:** Saturation pressure of refrigerant in P-h diagram during refrigerator start-up.

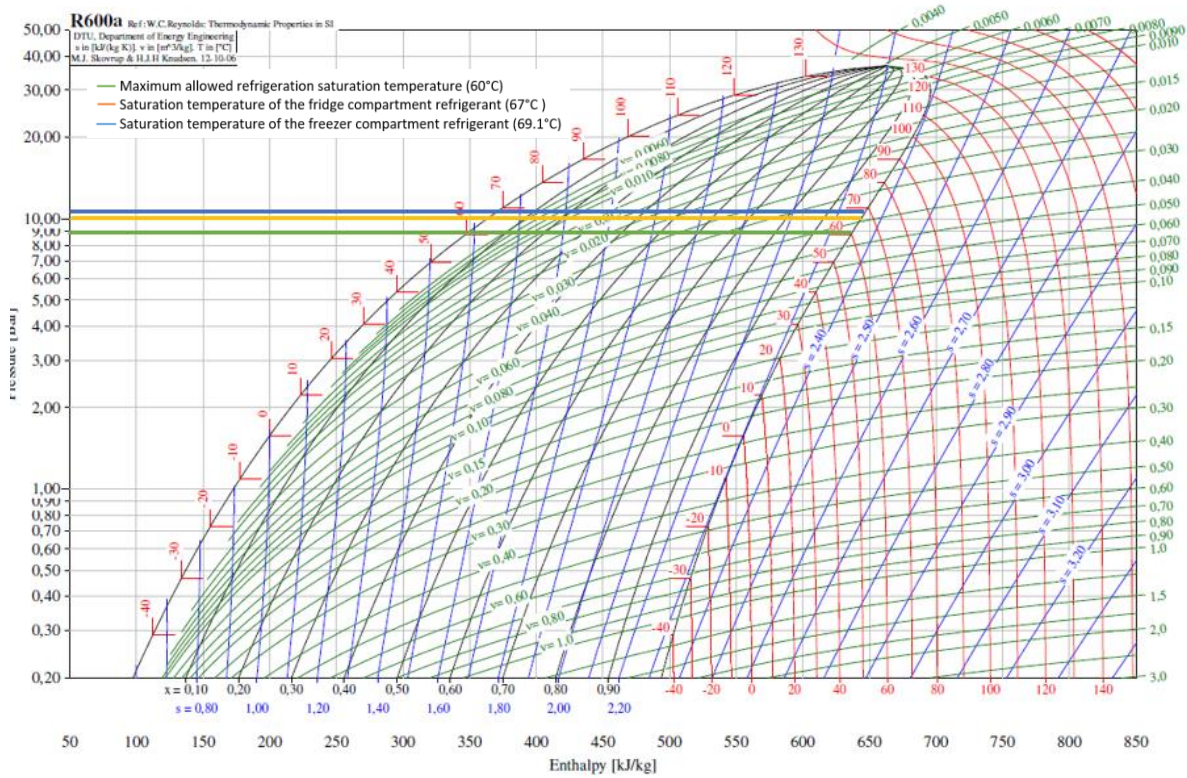


Figure 10: Saturation pressure of refrigerant in P-h diagram during refrigerator cycling.

As seen from the P-h diagram, during start-up of the refrigerator, the saturation pressure for the saturation temperature value of 70°C is 12 bar, and the saturation pressure corresponding to the maximum saturation temperature of 60°C in cycling is 9 bar. It should be noted that these pressure values are the maximum values allowed for the compressor in start-up and cycling operation. The refrigerant temperatures for both operating conditions are above the maximum allowable operating pressures for the compressor. The pressures corresponding to the saturation temperature during refrigerator start-up and cycling conditions are taken from the P-h diagrams presented above and shown in Table 5.

Table 5: Saturation pressures corresponding to saturation temperatures.

Refrigerator operation status	Division	Refrigerant saturation temperature (°C)	Refrigerant saturation pressure (bar)	Max. operation pressure (bar)
Start-up	Fridge	71.2	12.5	12
Start-up	Freezer	73.8	13	12
Cycling	Fridge	67	10	9
Cycling	Freezer	69.1	10.7	9

As seen from Table 5, refrigerant pressure is higher than the maximum allowable pressure of the compressor, which is one of the basic components of the cooling system. Operating pressure at these levels is not desirable. The pressures must be brought to the desired levels by considering the entire cooling system. Especially the condenser design is of great importance. It should be noted that not only the condenser design, but also other cooling system elements should be taken into consideration. However, as the aim of this study is to specify the optimum condenser design, the improvement suggestions will be limited to this component.

In order to reach the appropriate working pressure for the compressor, the heat transfer to the environment via the condenser should be increased. As seen from Table 4, the heat transfer capacities of the cooler and freezer compartments are 311.5 W and 249.7 W respectively. It is recommended to increase the heat transfer capacities of both compartments to reduce the saturation temperature at the compressor outlet and thus the saturation pressure. The changes that can be made on the condenser to increase the heat transfer can be listed as follows.

3.1. Changing the configuration of the tube coil

There are studies in the literature indicating that changing the coil configuration can significantly change the heat transfer capacity. By using the appropriate configuration, 7.85% increase in air volume and 5.29% increase in heat transfer can be achieved (Lee et al., 2010). The increase ratio is different according to different design configurations. Also according to an experimental and theoretical study on coolers with helical type tube condenser, it has been shown that the efficiency coefficient of the cooler increases with decreasing helix diameter in the geometric parameter range considered (Elsayed et al., 2012). Different designs in which complete geometrical restrictions allow should be considered and re-tested. But also it should be noted that, because of location restrictions of refrigerator aggregate area, design with different coil configuration is not so simple.

3.2. Increasing the heat transfer area by increasing the condenser tube length

Heat transfer capacity increase of the condenser can be achieved by a higher heat transfer area. The way of the increase of the heat transfer area is to increase pipe length. Increasing the length of the pipes of the existing condenser does not seem so possible due to the geometrical restrictions of the housing where the condenser is located in. Additionally, the effect of the length increase should be tested because of some possible negative effects on heat transfer. Heat transfer in standard type wire-finned tube condensers used in domestic refrigerators was investigated. It is determined that with an increase in the condenser length, there would be an increase in the temperature of the air surrounding the condenser which caused a decrease in the heat transfer coefficient (Hofmanas & Paukstaitis, 2012). Therefore, optimization of pipe length is important. For this reason, a different design may be preferred rather than the current design. It is thought that such a design may be possible, especially in compact wire-on-tube condenser types.

3.3. Using wire fins to further increase the heat transfer surface

The current condenser design does not allow the heat transfer surface to be increased with wire fins due to both geometrical restrictions and welding impossibility of the aluminum material. By switching the design to wire-on-tube type condenser mentioned in the previous solution, the heat transfer surface can be significantly increased. Researches show that fin number and height have an important effect on heat transfer (Honda & Wang, 2001).

4. CONCLUSION

The effects of the coil condenser designed for built-in refrigerators on the cooling system and especially on the compressor operation were studied in this study. The results show that

although the currently designed coil condenser gives good results on the system in terms of cooling capacity, the pressure of the refrigerant at the compressor outlet is above the desired levels. In its current form, it is not possible to increase the heat transfer amount of this condenser type because of geometric concerns and it is not possible to add wire fins to increase the heat transfer rate. It is expected that the heat dissipation capacity of the tubular and wire condenser can be much higher due to both possibilities of increasing the length of the tube and attaching the wire fins.

REFERENCES

- Arslankiray, Z. (2009). Cooling device with coil condenser. (European Patent No. EP2359079A1). European Patent Office. <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/041844602/publication/EP2359079A1?q=pn%3DEP2359079A1>
- Cengel, Y.A. & Ghajar, A.J. (2020). Heat and mass transfer: Fundamentals&Applications (6th ed.). McGrawHill Education
- Elsayed, A., Al-dadah R.K., Mahmoud, S. & Rezk, A. (2012). Experimental and theoretical investigation of small-scale cooling system equipped with helically coiled evaporator and condenser. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part C-Journal of Mechanical Engineering Science. 226(3), 724-737. doi: 10.1177/0954406211414790
- He W., Dai Y., Wang J., Li, M. & Ma, Q. (2013). Performance prediction of an Air-cooled steam condenser Using UDF method, Applied Thermal Engineering. 50(1), 1339-1350. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2012.06.020
- Heisen, K. (1998). Coil type condenser for refrigerator, Daewoo Elelectronics Co Ltd, Application number: JP2000018849A.
- Hofmanas, I. & Paukstaitis, L. (2012). Numerical heat transfer investigation of wire-and-tube condenser. Mechanica, 18(2), 82-87.
- Lee, T-S., Wu, W-C., Chuah Y-K. & Wang S-K. (2010). An improvement of airflow and heat transfer performance of multi-coil condensers by different coil configurations. International Journal of Refrigeration, 33(7), 1370-1376. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2010.05.008>
- Tezcan, A. (2018). Modelling and optimization of double cycled condenser where is used on built in refrigerators [Doctoral dissertation, Trakya University]. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=3xxmjynPhagreYodateTA&no=WCdfFtC5URxqXT4jqQrsQ>
- Wang, H.S. & Honda, H. (2001). Effects of tube diameter and tube side fin geometry on the heat transfer performance of air-cooled condensers. Journal of Enhanced Heat Transfer, 8(5), 315-327. doi: 10.1615/JEnhHeatTransf.v8.i5.30



THE PERCEPTION OF PERSONAL SPACE AND CROWDING DURING COVID-19: AN EXAMPLE OF GROCERY SHOPPING

COVID-19 SÜRECİNDE KALABALIK VE KİŞİSEL ALAN ALGISI: MARKET ALIŞVERİŞİ ÖRNEĞİ

<https://doi.org/10.20854/bujse.1001630>

Betül Şahin^{1,*}

Abstract

Covid-19 has reshaped the daily lives of people all around the world. Many regulations and changes have been made by the authorities in order to reduce the risk of transmission of the virus. Significantly, the regulations made by the government aim to reduce the number of people per square meter in closed areas and to increase the social distance between people. These regulations bring along new personal space and crowding perceptions. In this context, people's behaviors in many public spaces, from public transportation to grocery shopping, have gained a new texture. This change not only affected the perspective of the place but also caused a shift in the perspective of people for one another. In this paper, environmental regulations aiming to adapt people's behaviors to social distance due to Covid-19 are examined in terms of personal space and crowding concepts. The purpose is to conduct an online interview with a retrospective approach and present the data as a narrative to determine the participants' perceptions of the random sampling method about personal space and crowding concepts before and after the pandemic. The research data were analyzed using the content analysis method in the QRS Nvivo qualitative data analysis program. In the results of the study, it was revealed through the example of grocery shopping that people's need for personal space in closed areas increased, and the crowding perception differed from the pre-pandemic period due to psychological reasons.

Özet

Covid-19 salgını, dünyanın her yerinde insanların günlük yaşamlarını yeniden şekillendirmiştir. Yetkililer tarafından virüsün bulaşma riskini azaltmak için birçok düzenleme ve değişiklik yapılmıştır. Dünya Sağlık örgütü tarafından yapılan uyarılar ve merkezi otoritelerce yapılan düzenlemeler kapalı alanlarda metrekareye düşen kişi sayısını azaltmayı ve insanlar arasındaki sosyal mesafeyi artırmayı hedeflemektedir. Bu düzenlemeler yeni kişisel alan ve kalabalık algılarını beraberinde getirmektedir. Bu bağlamda toplu taşımadan market alışverişine kadar birçok kamusal alanda insanların davranışları yeni bir doku kazanmıştır. Bu değişim bireylerin sadece mekana bakış açılarını değiştirmekle kalmamış, aynı mekanda bulunduğu diğer insanlara bakış açılarının da değişmesine neden olmuştur. Bu çalışmada, Covid-19 nedeniyle insanların davranışlarını sosyal mesafeye uyarlamayı amaçlayan çevre düzenlemeler, kişisel alan ve kalabalık kavramları açısından incelenmektedir. Amaç, içinden geçilen değişim sürecinin bireyin kişisel alan ve kalabalık algıları üzerindeki etkisini market alışverişi örneği üzerinden ortaya koymaktır. Çalışmada katılımcıların pandemi öncesi ve sonrasında kişisel alan ve kalabalık kavramlarına ilişkin algılarını belirlemek için retrospektif bir yaklaşımla çevrimiçi görüşmeler yapılarak veri toplanmıştır. Araştırma verileri QRS Nvivo nitel veri analiz programında içerik analizi yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışmanın sonuçlarında market alışverişi örneği üzerinden Covid-19 salgını süresince insanların kapalı alanlarda kişisel alan ihtiyacının arttığı, kalabalık algısının psikolojik nedenlerle pandemi öncesine göre farklılaştığı ortaya konulmuştur.

Keywords: Covid-19, Crowding, Grocery Shopping, Personal Space

Anahtar Kelimeler: Covid-19, Kalabalık, Market Alışverişi, Kişisel Alan

^{1,*} Corresponding author: Beykent University, Ayazağa, Hadım Koruyolu St. No:19, 34398 Sarıyer/İstanbul, betulsahin@beykent.edu.tr, orcid.org/ 0000-0001-6653-3246

1. PURPOSE OF THE STUDY

The built environment is shaped to meet people's needs and is used as a tool to convey cultural values (Aiello & Thompson, 1980). Regulations in the built environment under pandemic conditions ensure the implementation and adoption of health measures apart from the transfer of cultural values. The amount of space available in the room is a factor in determining people's personal distance (Fredman, 1975). With the regulations made to contribute to social distance protection and to reduce the rate of spread of the coronavirus, the maximum number of people to be in one place is determined, and personal spaces between people are also defined. This is also effective in shaping the crowding perception in public spaces. Besides, comprehensive studies on personal space are handled together with the concept of crowding due to the effect of population density on personal space (Little, 1965). Therefore, it is thought that using the concepts of personal space and crowding together in the study will provide meaningful data.

This study aimed to examine the changing personal space and crowding perceptions in society due to Covid-19. In this way, the study will allow inferences to be made for new spatial arrangements that may be needed in closed public spaces in the pandemic or post-pandemic period. Supermarkets, in which rules and constraints determined by the authorities are applied to make a clear assessment of spatial perception, have been determined as research sample. Supermarkets now take part in almost everyone's lives even more than before during the pandemic process as they meet primary needs, and they constitute an important part of the daily life. Consequently, it is thought that supermarkets will provide rich data to examine the perception change of personal space and crowding.

2. CONCEPTUAL BACKGROUND

While culture is a significant determinant of crowding and personal space perception, the Covid-19 pandemic has caused a change beyond cultural influences worldwide. Individuals who are not yet infected have also been affected by the pandemic all over the world (Shields et al., 2020), and this has caused a behavioral change for anyone who is afraid of getting infected. Since the relationship and interaction of the concepts of personal space and crowding have gained dominance, especially in the public sphere with the effect of the pandemic, the research examines these two concepts.

2.1. Personal Space

The concept of personal space does not have an exact numerical counterpart; it can vary with the person, the context, and the culture (Sommer, 2002). Hall (1959; 1966), defines some distance measure: 1.5 ft– 4 ft for personal distance, 4 ft–12 ft for social distance, and 12 ft–25 ft for public distance.

Aiello and Thompson (1980) define two functions of personal space as follows:

It protects against possible psychologically and physically uncomfortable social encounters by regulating and controlling the amount and quality of sensory stimulation, and it communicates information about the relationship between the interactants and the formality of the interaction by making available to others (as well as to the self) cues as to the preferred distance which has been chosen.

Accordingly, the personal space has a regulatory function in communication and creates a psychological and physical boundary in the social environment. Personal space is a means of protection against external threats, and more personal space is needed in case of stress (Dosey & Meisels, 1969). With this reference, considering that coronavirus is an external threat, the personal space needed in the public sphere has also increased with the effect of the stress caused by the risk of transmission.

The personal space, defined by Sommer (1974) as the invisible borders surrounding the human being, is secured with stimuli reminding the maintenance of social distance in public spaces during the pandemic.

2.2. Crowding

When other people are around, the individual decides on his/her needs, movements, and position in the space considering others' presence (Epstein, 1981). Zlutnich & Altman (1972) mention that crowding is examined in two ways: the number of people per unit in space and physiological reactions and subjective emotions. Under pandemic conditions, the number of people per square meter is effective in the authorities' control of the crowd in a space, and it is noteworthy that subjective feelings, especially anxiety and worry, are influential in shaping individuals' behavior and crowding perception. When an environment gets crowded, one person's activities can interfere with another person's activities (Epstein, 1981). It is possible to see the effect of other people's behavior in the environment on the movement flow of the individual in the Covid-19 period, where people are making great efforts to stay away from one another. Accordingly, it can be stated that crowding practices also have significantly varied on an individual scale. Shield et al. (2020) state that mandatory or optional quarantines and the use of products such as face masks during the pandemic process generate crowding practices and new public behaviors.

2.3. Covid-19 Effects on Grocery Shopping

Grocery shopping is an action that enables people to meet their basic needs such as nutrition. Especially in urban life, individuals have many options for grocery shopping, such as chain markets, small local businesses, and online shopping. With the effect of the Covid-19 pandemic, the distances between people, especially in indoor spaces, and the intersections in movement flows and regulations have become serious issues that need attention (World Health Organization, 2020; Sabri Ulker Foundation, 2020). Throughout the Covid-19 pandemic, during which leaving home restrictions were applied in many countries, individuals were able to leave their homes to meet their basic needs. In this way, it was possible to shop for groceries even during the obligation of staying home. According to O'Conner's (2020) article, based on the research of Gehl People conducted in almost 70 countries, 59% of people felt crowded in places of essential errands which mainly include groceries. For this reason, it is valuable to examine the concepts of personal space and crowding through market shopping.

According to Morgan (2020), who stated that the most significant change in grocery shopping is in online shopping, 81% of consumers had never shopped groceries online before the pandemic in the U.S., while 79% of customers have bought groceries online during the pandemic. Li et al. (2020) pointed out that online grocery shopping helps to reduce the risk of infection, and according to their research in China, online grocery shopping, which had an 11% market share before the pandemic, increased to 38% after the pandemic. Similarly, Chang and Meyerhoefer argue that online food shopping services will slow the transmission of Covid-19

and help protect at-risk consumers from the virus by reducing physical contact, which will also benefit public health (Chang & Meyerhoefer, 2021).

Consumer behavior is shaped by people's fears and concerns about the virus (Grashuis et al., 2020). This change may be reflected in the behaviors in the physical shopping process as well as in the preference in online shopping. Another issue pointed out by Morgan (2020) is that shoppers try to spend as less time as possible in the supermarket and try to shop without going beyond their needs.

According to their research in China in the early period of the pandemic, Li et al. concluded that there were changes in grocery shopping habits, but local small businesses did not lose customers (Li et al., 2020).

During the pandemic, many regulations are also made by the authorities to ensure the safest shopping. According to the Covid-19 guidelines of the Republic of Turkey Ministry of Health (2020), everyone, shoppers and employees, must have at least 4 square meters of space in the market. Similarly, some initiatives have published guidelines to make grocery shopping safer, such as maintaining social distance during shopping and disinfecting the hands and the surfaces touched (Sabri Ulker Foundation, 2020).

3. FIELDWORK

3.1. Data Collection Method

The research data were obtained through qualitative research methods, as it enables participants to see their perspectives and reveal data on processes (Yıldırım & Şimşek, 2018). Since qualitative methods are used to determine variables instead of controlling them (Corbin & Strauss, 2008), it was deemed appropriate to be used in a study investigating perception change. During the research process, ten people (6 women, 4 men) were interviewed. Participants were selected by excluding those under 18 and over the age of 65 who have strict restrictions during the pandemic process. In the study, the most populated cities of Turkey were chosen as the sample (TUIK, 2022), and the number of participants that would provide data richness was determined according to the population density in the cities (3 Istanbul, 2 Ankara, 2 Izmir, 2 Bursa, 1 Antalya). In this way, all participants in city centers can go to similar market chains, allowing them to reach similar spatial contexts. By asking open-ended questions to the participants, interviews were conducted online, which also allowed them to tell their memories. In these interviews, voice recording was taken with the participants' permission, and then the interviews were transcribed.

3.2. Data Analysis Method

Content analysis was chosen as the analysis method, as it allows focusing on the concepts within the data and the relationships between concepts (Yıldırım & Şimşek, 2018). In the analysis process, the qualitative data analysis program named QSR Nvivo was used as it made vital contributions to digital analysis data management, idea management, querying on data, data visualization, and reporting data (Bazeley & Jackson, 2019), and the graphics resulting from these analyses were presented to the reader.

According to Creswell (2017), good qualitative research should include the researcher's comments considering their socioeconomic and cultural backgrounds. Qualitative research containing narrative data should not be presented as a scientific report but should be

presented in a way that includes narratives to facilitate the reader's understanding of the subject (Creswell, 2017). In the analysis and findings section, in addition to the graphics presenting the outputs of the content analysis, researcher comments and participant narratives were included.

3.3. Analysis and Result

In order for the reader to get a general impression of the sampling, the table containing the participants' demographic characteristics, their distance to the market, and the way they go to the market are given below (Table 1).

Table 1: Characteristics of the participants.

	City	Age	Gender	Distance of the nearest grocery shop	Preference to go shopping
P1	Istanbul	27	W	10-15 mt	On foot
P2	Izmir	52	M	150	On foot
P3	Antalya	52	W	50	On foot
P4	İstanbul	29	M	600	By car
P5	Bursa	28	W	125	On foot
P6	Ankara	28	W	800	By car
P7	Izmir	59	W	100	On foot
P8	Ankara	28	M	150	On foot
P9	Istanbul	33	W	1500	By car (generally)
P10	Bursa	28	M	500	On Foot

As seen in the table, all the participants live in one of Turkey's five most populous cities, and all the participants are in different age groups. On the other hand, in the evaluation of the research data, it was determined that the distance of the participants to the market was influential on their choice of the way of going to the market. However, it was not the only factor in this matter.

In the process of content analysis of interview data, while evaluating the concepts of the crowding and personal space in grocery shopping, personal space, crowding, and grocery shopping are determined as themes (Table 2). At this stage, QRS Nvivo qualitative data analysis program was used to carry out the content analysis systematically and to visualize the results. After the coding of the participants' data, the thematic content analysis was completed by listing the codes under their related themes. Under the theme of grocery shopping, codes do not directly indicate the concepts of the crowding or personal space or both. In addition, other codes (hygiene, excuse to go to the market, lockdown, and confidence) that contain restrictions and requirements depending on the epidemic situation are under the theme of others.

It was noted that the participants who stated that they did not care about personal space before the pandemic paid attention to personal space and interpersonal distance during the pandemic process. Physical contact makes most participants think that their personal space has been violated before the pandemic. Statements such as "If there is no annoying smell, it is okay for me" and "It bothered me when he came to the distance where I could feel the smell of sweat" demonstrate that for some participants, the scent is also a criterion for determining personal distance. However, it has been observed that all the participants' personal space needs in public spaces are now increasing. Taking a step back to protect the personal space when someone approaches, warning the other person in case this cannot be done, and using

the shopping cart as a means of determining the distance with people are the preferred actions during grocery shopping. The number of statements regarding the participants' personal space theme can be seen in the figure below (Figure 1).

Table 2: Reference numbers of themes and codes.

Name	Files	References
PERSONAL SPACE	10	113
using shopping carts to determine distance	4	6
step back - walk away	9	17
standing position in line	5	5
reactions and responses	9	17
interpersonal distance	10	64
contact	2	2
smell	3	4
physical contact	10	18
CROWDING	10	135
waiting to stay away from the crowd	7	14
time and speed	6	20
stress	8	24
public transportation	5	6
prefer the spacious one	7	14
physiological reactions and subjective emotions	4	4
observation before entering the market	6	10
obligations to control crowd	4	7
number of people per unit	7	10
change in shopping time	7	10
change in the perception of crowding	8	11
GROCERY SHOPPING	10	69
the order of taking products according to human density	9	11
small local businesses	6	10
shopping list	5	8
shopping frequency	7	12
product price and quality	6	8
outdoor market	2	2
online shopping	7	7
increase in online shopping	3	4
avoiding window shopping	6	7
Others	10	19
lockdown	3	3
hygiene	4	5
excuse to go for a walk	2	4
confidence	4	7

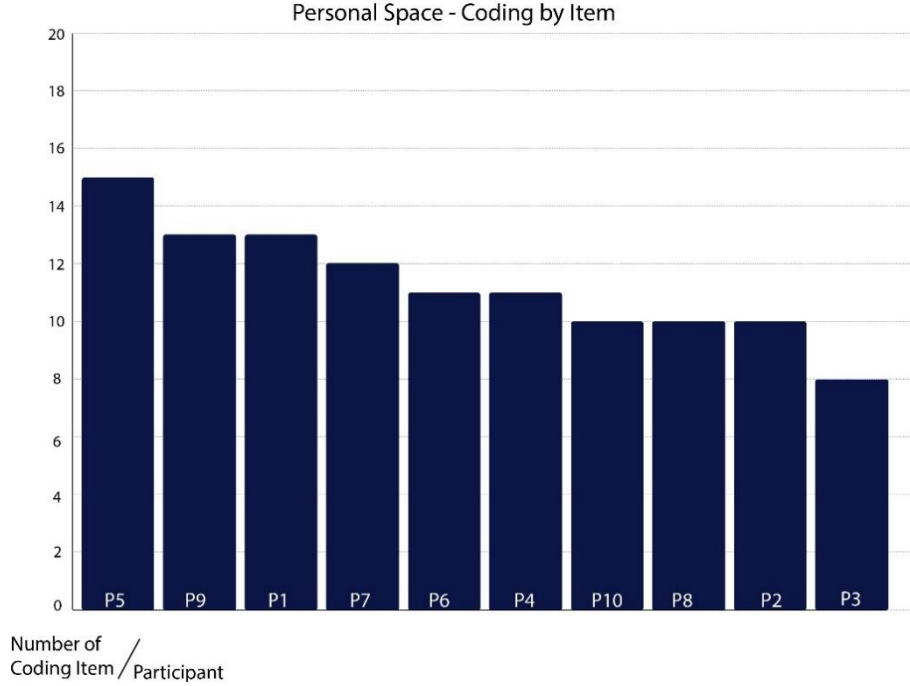


Figure 1: The number of participants referencing the personal space theme.

According to Figure 1, even the participant who had the least related expression with the crowding theme referred to this theme 8 times. This shows that the crowding theme is a remarkable factor in the spatial approach of grocery shopping. Furthermore almost all of the participants talked about the significant changes in crowding perceptions during the pandemic process. The following statements show the extent of this change:

“While a place with 20 people was not crowded before, now even ten people seem like a crowd.”

“Normally, I do not like crowds, but 3-5 people would not bother me, now even if there are 2 people, I feel like playing around the corner.”

“The pre-pandemic crowd and the perception of crowd in the pandemic process are very different; even one more person is crowded for me now.”

Some strategies developed by people to avoid exposure to crowds during grocery shopping can be listed as follows: observation before entering the market, waiting to stay away from the crowd, trying to spend less time and being quick in the market, using shopping lists, preferring the spacious one, changing shopping time, etc. The number of statements regarding the participants' crowding theme can be seen in the figure below (Figure 2).

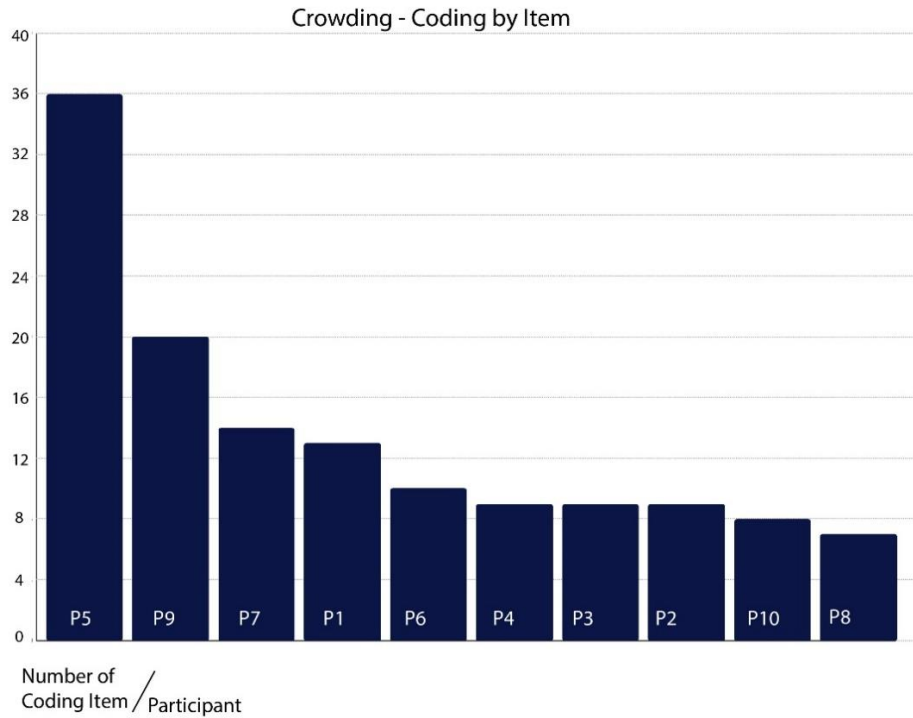


Figure 2: The number of participants referencing the crowding theme.

The personal space theme is similar to the crowding theme. However, it is noteworthy that the two most referencing participants within this theme have high reference numbers. This remarkable difference may indicate extra sensitivities and vulnerabilities about personal space. Additionally, it has been observed that product quality and prices are still effective for many people in choosing the market for shopping. Most participants do not think that small local businesses are an excellent alternative to supermarkets during the epidemic process. It has been determined that most of the participants have a change in the frequency of going to the market. This change may be due to the increase in the frequency of online shopping, as well as preferring to go to the market frequently to spend a short time in the market, to buy a small number of products at a time, or to choose to accumulate their needs and buy them at once in order to decrease the number of visits to the market. Also, many people avoid window shopping to shorten their time at the grocery store. People produce different strategies to minimize the risk of virus transmission during the grocery shopping process. The number of statements regarding the participants' grocery shopping theme can be seen in the figure below (Figure 3).

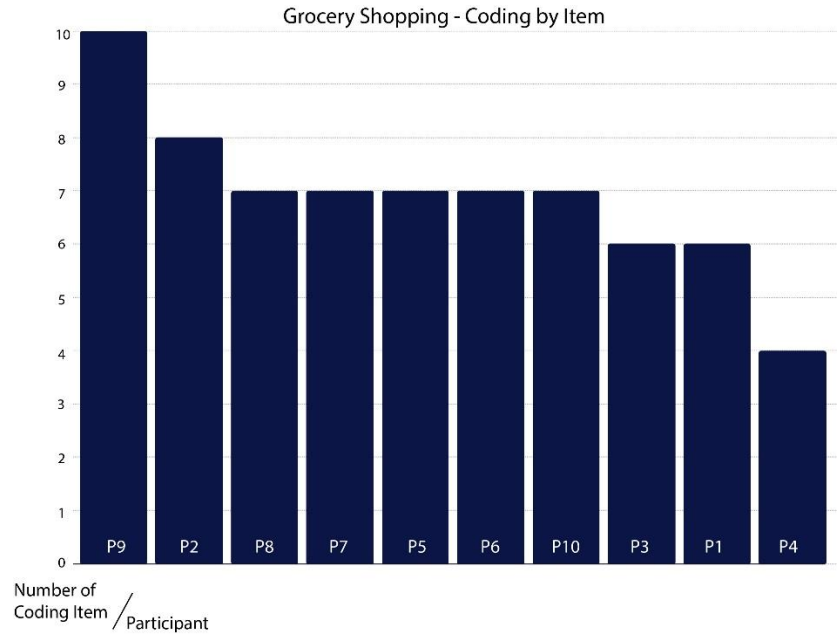


Figure 3: The number of participants referencing the grocery shopping theme.

4. DISCUSSION AND CONCLUSION

Shields et al. (2020) state that distance has so far been dependent on interpretation and individual performance and that avoidance required stepping off pathways. Similar to this statement, it was seen that all of the research participants had different perceptions of personal space and needs before the pandemic. Also, this need varies depending on the place and the possibilities of the space. For example, a participant who needs more space in a shopping center stated that he would accept less because he knew that public transport could not have such a space. Although social distance rules have been determined for many public spaces due to the pandemic, it is seen that people who are sensitive about this issue still prefer to step back or change their paths when they encounter people who do not pay attention to distance (Shields et al., 2020). Evans and Howard (1973) demonstrate that the need for personal space can vary according to gender and person.

Nevertheless, in this study, it was observed that the need for personal space during the pandemic process was shaped regardless of gender. It is noteworthy that the participants put the shopping cart between themselves and other people to protect their personal space and stay away from the crowd. Goffman (2020) describes the area as any place surrounded to some extent by barriers to perception. In this example, too, what people do is to use the shopping cart as an obstacle to identify a region where they protect their personal space.

The main conclusions of the study are that the perception of personal space is relatively stripped of demographic features due to the risk of contamination, the perception of the crowd in public spaces differs greatly, and that people produce different methods to stay away from the crowd and protect their personal space during their grocery shopping process.

In the light of these discussions, it can be clearly stated that individuals' perceptions of personal space and crowding differ with the effect of the Covid-19 pandemic for supermarkets, shopping places, which are an example of a public closed space. Even if it is predicted that the transmission rate of the Covid 19 pandemic or the decrease in virus activity

will initiate a new change in the spatial perception of individuals, it is thought that this change will not result in a return to their pre-pandemic perceptions when the statements of the research participants are considered. In addition to online shopping, small businesses and outdoor markets create an alternative to reduce contact in grocery shopping. Furthermore, it is noteworthy that in cases where reducing contact with people is among the primary concerns, window shopping decreases, and the density of people in the space is effective in the product purchase decision and shopping order. Accordingly, it would be beneficial to reconsider the plan and movement flows in closed public areas.

REFERENCES

- Aiello, J. R., & Thompson, D. E. (1980). Personal space, crowding, and spatial behavior in a cultural context. In *Environment and Culture* (pp. 107–178). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-0451-5_5
- Bazeley, P. & Jackson, K. (2019). *Nvivo ile nitel veri analizi*, (A. Bakla, & S. B. Demir, Trans.) Anı Yayıncılık. (Original work published 2013)
- Chang, H. H., & Meyerhoefer, C. D. (2021). Covid-19 and the demand for online food shopping services: Empirical evidence from Taiwan. *American Journal of Agricultural Economics*. 103(2), 448–465. <https://doi.org/10.1111/ajae.12170>
- Corbin, J. and Strauss, A. (2008). *Basics of qualitative research: Techniques and procedures for developing grounded theory*, Sage Publications.
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2017). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. Sage publications.
- Dosey, M. A., & Meisels, M. (1969). Personal space and self-protection. *Journal of Personality and Social Psychology*, 11(2), 93-97. <https://doi.org/10.1037/h0027040>
- Epstein, Y. M. (1981). Crowding stress and human behavior. *Journal of Social Issues*, 37(1), 126-144. <https://doi.org/10.1111/j.1540-4560.1981.tb01060.x>
- Evans, G. W., & Howard, R. B. (1973). Personal space. *Psychological Bulletin*, 80(4), 334–344. <https://doi.org/10.1037/h0034946>
- Freedman, J. L. (1975). *Crowding and behavior*. W. H. Freedman.
- Goffman E. (2020). *Günlük yaşamda benliğin sunumu*. (B. Cezar, Trans.). Metis Yayınları. (Original work published 1956)
- Grashuis, J., Skevas, T., & Segovia, M. S. (2020). Grocery shopping preferences during the Covid-19 pandemic. *Sustainability*, 12(13), 5369. <https://doi.org/10.3390/su12135369>
- Hall, E. T. (1959). *The silent language*. Doubleday & Company, Inc.
- Hall, E. T. (1966). *The hidden dimension*. Anchor Books Doubleday.
- Li, J., Hallsworth, A. G., & Coca-Stefaniak, J. A. (2020). Changing grocery shopping behaviours among Chinese consumers at the outset of the Covid-19 outbreak. *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie*, 111(3), 574-583. <https://doi.org/10.1111/tesg.12420>

- Little, K. B. (1965). Personal space. *Journal of Experimental Social Psychology*. 1(3), 237–247. [https://doi.org/10.1016/0022-1031\(65\)90028-4](https://doi.org/10.1016/0022-1031(65)90028-4)
- Morgan, B. (2020, December 14) 3 lasting changes to grocery shopping after Covid-19, *forbes*. <https://www.forbes.com/sites/blakemorgan/2020/12/14/3-lasting-changes-to-grocery-shopping-after-covid-19/?sh=5cafbe8454e7>
- O’Connor E. (2020) Public space plays vital role in pandemic. <https://gehlpeople.com/blog/public-space-plays-vital-role-in-pandemic/>
- Republic of Turkey Ministry of Health. (2020). Covid-19 salgın yönetimi ve çalışma rehberi. <https://covid19.saglik.gov.tr/Eklenti/39265/0/covid-19salginyonetimivecalismarehberipdf.pdf>
- Sabri Ulker Foundation, (2020). Salgın hastalıklara karşı sağlıklı yaşam rehberi. https://sabriulkerfoundation.org/tr/pdf/salgın_hastalıklara_karsi_saglikli_yasam_rehberi.pdf
- Shields, R., Schillmeier, M., Lloyd, J., & Van Loon, J. (2020). 6 feet apart: Spaces and cultures of quarantine. *Space and Culture*, 23(3), 216–220. <https://doi.org/10.1177/1206331220938622>
- Sommer, R. (1974). Looking back at personal space. In *Designing for human behavior: Architecture and the behavioral sciences* (pp.202 – 209), Hutchinson & Ross.
- Sommer, R. (2002). Personal space in a digital age. In *Handbook of environmental psychology* (pp. 647-660). John Wiley & Sons, Inc.
- TUIK. (2022). Adrese dayalı nüfus kayıt sistemi sonuçları. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2021-45500>.
- World Health Organization. (2020). Advice for the public on Covid-19 – World Health Organization. <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public>
- Yıldırım, A. & Şimşek, H. (2018). *Nitel araştırma yöntemleri*, Seçkin Yayıncılık.
- Zlutnick, S., & Altman, I. (1972). Crowding and human behavior. In *Environment and the social sciences: Perspectives and applications* (pp. 44–58). American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/10045-004>



MÜHENDİSLİK ÖĞRENCİLERİNDE COVID-19 PANDEMİSİNİN ERGONOMİK KOŞULLAR VE BEL AĞRISI ÜZERİNE ETKİSİ

THE EFFECT OF COVID-19 PANDEMIC ON ERGONOMIC CONDITIONS AND LOW BACK PAIN IN ENGINEERING STUDENTS

<https://doi.org/10.20854/bujse.1036232>

Sabahattin Mert Berkmen^{1,*}, Yunus Can Özalp²

Özet

Ergonomi, insanların kullanımı için verimli ve güvenli bir şekilde etkileşime girecek ve verimliliği artıracak şekilde şeyleri tasarlamak ve düzenlemek için kullanılan uygulamalı bir bilimdir. Çalışmamız, kesitsel türde olup evrenini Mühendislik-Mimarlık Fakültesi öğrencilerinden 85 Endüstri Mühendisliği öğrencisi ve 66 Makine Mühendisliği öğrencisi olarak toplam 151 kişi oluşturmuş ve veriler online olarak toplanıp analiz edilmiştir. Bu çalışmada, ergonominin temel ve bilimsel ilkelerini mühendislik fakültelerinde COVID-19 pandemisinin ergonomik koşullar ve buna bağlı gelişen sonuçlar üzerine olan etkisi incelenmiş olup pandemi öncesi ve sonrası olarak mukayese edilmiştir. Çalışmamızda, katılımcıların %50'sinden fazlası Endüstri Mühendisliği öğrencisi olan, 18-22, yaş aralığında, genel akademik not ortalaması (GANO) 2.1-2.9 olan, masa başında 5 saatten fazla vakit geçiren, sigara kullanmayan, pandemi öncesi D vitamini takviyesi almayan, düzenli egzersiz ve spor alışkanlığı olmayan, herhangi bir bel ağrısı şikâyeti olmayan ve ergonomik koşullara kısmen de olsa önem gösteren profildedir. Pandemi sonrasında da yine katılımcıların %50'sinden fazlasında pandemi öncesi gösterilen profil devamlılık gösterip D vitamini takviyesi alımı, bel ağrısı şikâyetleri, ergonomik koşullara gösterdikleri özen ve kilo almaları artarken düzenli egzersiz-spor alışkanlıkları ise azalmıştır.

Abstract

Ergonomics is the applied science of designing and arranging things for human use in such a way that they interact and increase productivity in an efficient and safe manner. Our study is of cross-sectional type and the population of the study was composed of 85 Industrial Engineering students and 66 Mechanical Engineering students from the Faculty of Engineering and Architecture, and a total of 151 people, and the data were collected and analyzed online. In this study, the basic and scientific principles of ergonomics in engineering faculties, the effect of the COVID-19 pandemic on ergonomic conditions and the resulting results were examined and compared before and after the pandemic. In our study, more than 50% of the participants were Industrial Engineering students, between the ages of 18-22, with a GPA of 2.1-2.9, spending more than 5 hours at the desk, non-smoker, pre-pandemic vitamin D supplementation. It is in the profile that does not take regular exercise and sports habits, does not have any complaints of low back pain, and pays attention to ergonomic conditions, albeit partially. After the pandemic, the profile shown before the pandemic continued in more than 50% of the participants, and vitamin D supplement intake, low back pain complaints, attention to ergonomic conditions and weight gain increased, while regular exercise-sport habits decreased.

Anahtar Kelime: Bel Ağrısı, COVID-19, Ergonomi, GANO, Mühendislik Öğrencileri

Keywords: Low Back Pain, COVID-19, Ergonomics, GPA, Engineering Students

^{1,*} Sorumlu Yazar: Beykent Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği, mertberkmen@gmail.com, orcid.org/0000-0001-7273-954X

² İstanbul Medipol Üniversitesi Tıp Fakültesi, yunuscanozalp@gmail.com, orcid.org/0000-0003-3248-3716

1. GİRİŞ

Antik çağlarda insanlar zamanlarını ya hareket ederek ya da dinlenerek geçiriyorlardı; ancak oturma sonradan kazanılan bir özelliktir. İnsan anatomisi oturma pozisyonuna elverişli değildir; çünkü oturma sırasında omurgaya binen yük, yatma ve yürümeye göre çok daha fazladır (Choudhary vd., 2020).

Yeni koronavirus, SARS-COV-2, Çin'in Wuhan kentinde 2019'un Aralık ayında COVID-19 ismiyle raporlandıktan sonra, 11 Mart 2020'de Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından pandemi olarak ilan edildi ve pandemi ilanı, çalışanların çalışmalarını da değiştirdi (Erdem, 2020).

COVID-19 pandemisi dünya üzerinde milyonlarca kişiyi evlerine hapsetti ve insanların masa başında uzun süreli çalışmalarını zorunlu hale getirdi (Kürtüncü & Kurt, 2020; Roser vd., 2020). Okullar, kolejler ve diğer eğitim kurumları kapatıldı (Sahu, 2020; Viner vd., 2020). Bu durum çevrimiçi sınıflara, eğitimlere ve toplantılara bağımlılığa yol açtı. Böylece çalışanlar; dizüstü bilgisayarlarda, masaüstü bilgisayarlarında ve diğer cihazlarda daha fazla zaman geçirmeye başladı (Wang vd., 2020).

Evden çalışmak, çalışanları COVID-19'a karşı korumaya yardımcı olurken aynı zamanda beklenmedik sonuçlara da yol açmaktadır (Junkin, 2020). Bu beklenmedik sonuçların başlıca sebeplerinden biri de insanların anatomik ve antropometrik özelliklerini, fiziksel kapasitelerini ve toleranslarını göz önüne alarak çalışma ortamındaki tüm faktörlerin etkisi ile olabilecek organik ve psiko-sosyal stresler karşısında, sistem verimliliği ve insan-makine-çevre uyumunun temel yasalarını ortaya koymaya çalışan disiplinli bir araştırma geliştirme aracı olan ergonominin ve koşullarının ihmal edilmesidir (Türkdemir, 2003).

Ergonomi, insanların kullanımı için verimli ve güvenli bir şekilde etkileşime girecek ve verimliliği artıracak şekilde şeyleri tasarlamak ve düzenlemek için kullanılan uygulamalı bir bilimdir (Gupta vd., 2014).

Farkındalık eksikliğinden dolayı ergonomi genellikle göz ardı edildi; ancak şimdi uygun çalışma koşullarına eskisinden daha fazla odaklanması gerekmektedir (Pragati vd., 2020; Fischer vd., 2021).

Mevcut COVID-19 salgın durumuyla birlikte, ergonominin önemi, kas-iskelet sistemi bozukluklarıyla ilgili güvenliğinin ötesinde artmıştır (Öztürk & Özer Kaya, 2020).

COVID-19 salgın döneminde, Dubai'de 10-18 yaş arası tamamı öğrenci olan 186 katılımcılı anket çalışmasında, katılımcıların çalışma ortamlarının düzeni, ders dinlerken masa başında geçirilen oturma süreleri, ekran kullanım süreleri, göz ve ekran ilişkisi, bel ve oturma ilişkisi, klavye ve bilgisayar kullanım düzenleri incelenmiştir. Uzaktan eğitime katılan öğrencilerin büyük çoğunluğunda sırt ağrısı, bel ağrısı, el ve bilek ağrıları, gözlerde kuruma, baş ağrısı, uykusuzluk görüldüğü, davranış değişiklikleri geliştiği ve ilerleyen zamanlarda bu semptomların kalıcı hasarlara sebebiyet verebileceği öngörülmüştür. Ayrıca araştırmacılar, pandemi sonrası ergonominin ilkökul ve ortaokullarda ders müfredatına eklenmesi gerektiğini belirtmişlerdir (Choudhary vd. 2020).

Kas-iskelet sistemi bozuklukları; kasların, tendonların ve sinirlerin çok çeşitli enflamatuar ve dejeneratif bozukluklarını ifade eder. Bu bozukluklar boyun, sırt, bel, omuzlar, dirsekler, bilekler ve eller gibi birçok vücut bileşenini etkileyen ağrı ve fonksiyonel bozulmaya neden olabilir (Punnett & Wegman, 2004). Çalışanlar; edinilmiş yanlış duruşlar, tekrarlayan strain

(gerilme) yaralanmaları, kümülatif travma bozuklukları ve kas-iskelet sistemi bozuklukları ile ilişkili olarak kendilerinde gelişen sorunların farkında olamadılar (Cipollaro vd., 2020).

Bel ağrısı, modernleşen toplumlarda her geçen gün artan, kas iskeleti sisteminde fonksiyon bozukluğundan oluşan günümüz toplumunun önemli sorunlarından biridir (Solak Kabataş vd., 2012). Erişkin yaştaki insanların %80'i, yaşamlarının herhangi bir döneminde sıklıkla da 45-60 yaş arasında bel ağrısıyla karşılaşır. Çalışan nüfusun her yıl %25-50'si bel ağrılarında yakalanmaktadır (Solak Kabataş vd., 2012). Çalışma hayatında oldukça rastlanan bu durum, insanları ekonomik ve yaşam kalitesi bakımından olumsuz etkilemektedir. Özellikle gelişmiş ülkelerde ücret ve iş gücü kaybı nedeniyle bel ağrısı tedavi maliyetini arttıran bir problemdir. Ayrıca, kanser ağrısından sonra en fazla iş gücü kaybı ve sağlık giderlerine sebep olan kronik ağrı durumudur (Ceran, 2015; Suyabatmaz vd., 2011) ve nedenleri yaş, cinsiyet ve vücut yapısı, fiziksel ve işle ilgili risk faktörleri, psikososyal faktörler, fizyolojik faktörler, davranışsal faktörler olarak sınıflandırılmıştır (Gündüz, 2019).

Öğrenciler için eğitim alanlarında ergonomik koşullara gösterilen önem, öğrenme kalitesini artırır (Smith, 2011; Legg, 2007). 2020 yılında İran'da yapılan bir çalışmada, COVID-19 salgın döneminde, uzaktan eğitimin öğrencilere olan etkisi, ergonomik koşullar gözetilerek araştırılmıştır. Araştırma yapılan koşullar; aydınlatma, gürültü, oda sıcaklığı, hava kalitesi ve iç mekân fiziksel şartlarıdır. Araştırmada, uzaktan eğitimde bu önemli ergonomik koşulların sağlanamadığı ve buna bağlı olarak ilgi ve motivasyon kaybı yaşadıkları sonucuna varılmıştır (Soltaninejad, 2021).

Bu çalışma; COVID-19 pandemisi süresince evden çalışmak zorunda olan Endüstri ve Makine Mühendisliği öğrencilerinde pandemi öncesi ve sonrası değişen koşullar ile karşılaştıkları bel ağrılarının ergonomik açıdan incelenmesi, ergonomi farkındalıkları ve bel ağrılarını etkileyen faktörlerin incelenmesi amacıyla tanımlayıcı olarak yapılmıştır.

2. YÖNTEM

2.1. Örneklem

Araştırmamız, kesitsel türde olup örneklem Mühendislik Mimarlık Fakültesi öğrencilerinden 85 Endüstri Mühendisliği öğrencisi ve 66 Makine Mühendisliği öğrencisi olarak toplam 151 kişi oluşturmuştur. Araştırmanın izni ve katılımcılara ulaşılabilirliği açısından uygun olduğu için bu üniversite seçilmiştir. Örnek büyüklüğü hesaplanmayıp evrenin tamamına ulaşılması hedeflenmiştir.

2.2. Uygulama

Bu çalışma Medipol Üniversitesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu tarafından 15/04/2021 tarih ve 415 numaralı kurul kararı ile onaylanmıştır. Araştırma için katılımcılardan aydınlatılmış rıza metni alınmıştır. Araştırmanın verileri, COVID-19 pandemisi nedeniyle online olarak toplanmıştır. Ölçeğin ortalama yanıtlanma süresi 2 dakika olup tam olarak yanıtlayan 151 katılımcının formları değerlendirilmiştir.

2.3. Veri Toplama Araçları

Veri toplama aracı olarak Microsoft Forms programı üzerinden online soru formu uygulanmıştır. Araştırmada uygulanan soru formu; katılımcıların demografik bilgileri, belli alışkanlıkları, sağlık durumları ve bel ağrısı varlığını sorgulamak için literatür taraması

sonucunda elde edilen bilgiler değerlendirilerek katılımcılara sosyodemografik özellikler olarak okuduğu bölümler, yaş grupları, cinsiyetleri, Genel Akademik Not Ortalaması (GANO), gün içerisinde masa başında geçirdiği süre, sigara kullanım durumu ve COVID-19 pandemisi öncesi ve sonrası günlük D vitamini takviyesi alıp almadığı, düzenli spor/egzersiz yapıp yapmadığı, bel ağrısı şikâyeti olup olmadığı, ergonomik koşullara özen gösterip göstermediği ve kilo alıp almadığı gibi bağımsız değişken olarak kabul edilen sorular yönlendirilmiştir.

Çalışmanın kısıtlılığı, bel ağrısı varlığının ölçek kullanılmadan ortaya konması ve anket sorularına katılımcıların cevap vermekte zorlanmasına sebep olan hafıza faktörüdür.

2.4. Veri Analizi

Toplanan veriler, IBM SPSS Statistics 26.0 programında analiz edilmiştir. Tanımlayıcı istatistikler olarak sayı ve yüzde hesaplanmıştır. Gruplar arası farkların belirlenmesi için önemlilik testi olarak ki-kare testi, çoklu doğrusal regresyon analizi ile lojistik regresyon analizleri kullanılmıştır. Tüm testlerde istatistiksel önemlilik düzeyi $p < 0,05$ kabul edilmiştir.

3. SONUÇLAR

Çalışmamıza Mühendislik öğrencilerinde katılımın sırasıyla %56,3 Endüstri Mühendisliği, %47,3 Makine Mühendisliği öğrencisi katılmıştır (Tablo 1).

Araştırmaya katılan öğrencilerin %68,2'sinin 18-22 yaş aralığında, %31,8'inin 23-27 yaş aralığında olduğu saptanmıştır. Mühendislik öğrencilerinin %36,4'ü (n=55) kadın, %63,6'sı (n=96) erkektir (Tablo 1).

Katılımcıların %6,6'sının 2,0 ve altı, %50,3'ünün 2,1-2,9 arasında, %27,8'inin 3,0-3,40 arasında ve %15,2'sinin de 3,5 ve üzeri akademik not ortalamasına sahip olduğu bulunmuştur. (Tablo 1).

Katılımcıların %45'i (n=68) 1-4 saatleri arasında %55'i (n=83) ise 4 saat ve daha fazla masa başında oturduklarını belirtmişlerdir (Tablo 1).

Mühendislik öğrencilerinin %64,9'u sigara kullanmıyorken, %21,9'u 10'dan daha az içtiklerini, %13,2'si ise 10 ve daha fazla sigara kullandıklarını belirtmişlerdir (Tablo 1).

Katılımcıların %22,5'i, Covid-19 pandemisi öncesi D vitamini takviyesi alıyorken, bu oran Covid-19 pandemisi sonrası %27,2'ye çıkmıştır. Aynı şekilde Covid-19 pandemisi öncesinde D vitamini takviyesi almayanların oranı %77,5 iken bu oran Covid-19 pandemisi sonrası %72,8'e kadar gerilemiştir.

Katılımcıların %41,7'si Covid-19 pandemisi öncesinde düzenli spor ve egzersiz yapıyorken bu oran Covid-19 pandemisi sonrasında %31,8'e kadar gerilemiştir.

Covid-19 pandemisi öncesinde ergonomik koşullara özen gösteren ve kısmen özen gösteren katılımcılar sırasıyla %44,4 (n=67) %34,4 (n=52) iken bu oran Covid-19 pandemisi sonrasında %57,6 (n=87), %21,9 (n=33) olarak belirtilmiştir. Covid-19 pandemisi öncesi ergonomik koşullara özen göstermeyenlerin oranı %21,2 (n=32) iken Covid-19 pandemisi sonrası bu oran 20,5(n=31) kişiye kadar gerilemiştir.

Covid-19 pandemisi öncesinde katılımcıların %26,5'inin bel ağrısı şikâyeti varken bu oran pandemiden sonra %45'e kadar çıkmıştır. Katılımcıların %36,4'ü pandemi sonrasında kilo

almazken %35,1'i 1-3 arasında, %17,2'si 4-6 arasında ve %11,3'ü 6 üzeri kilo aldıklarını belirtmişlerdir (Tablo 1).

Pandemi öncesi ergonomik koşullara özen gösteren Endüstri Mühendisliği ve Makine Mühendisliği öğrencileri sırasıyla %49,25 (n=33), %50,75 (n=34) olarak tespit edilmiştir (p>0,05). Bu oranın pandemi sonrası sırasıyla %51,72 (n= 45) %48,28 (n= 42) olduğu görülmüştür (Tablo 2).

Pandemi öncesi ergonomik koşullara özen gösteren 18-22 yaş grubu ve 23-27 yaş grubu öğrenciler, sırasıyla %70,15 (n= 47) ve %29,85 (n=20) olarak tespit edilmiştir. (p>0,05). (Tablo 2). Aynı oran, pandemi sonrasında sırasıyla %60,92(n=53), %39,08 (n= 34) olarak bulunmuştur (p>0,05) (Tablo 3).

Pandemi öncesi ergonomik koşullara özen gösteren ve göstermeyen 2,1-2,9 GANO'ya sahip öğrenciler, sırasıyla %52,24 (n=35), %31,25 (n=10) olarak bulunmuştur. Bu oranların pandemi sonrası sırasıyla %16,09 (n=14), %12,9 (n=4) olduğu görülmüştür (Tablo 2).

Pandemi öncesi ergonomik koşullara özen gösteren ve masa başında 1-4 saat oturan ile 5 saat ve daha fazla oturan grup sırasıyla %46,27 (n=31), %53,73 (n= 36); ergonomik koşullara özen göstermeyenler sırasıyla %50 (n=16), %50 (n=16); ergonomik koşullara kısmen özen gösterenlerin ise sırasıyla %40,39 (n=21), %59,61 (n=31) olduğu bulunmuştur (p>0,05) (Tablo 2).

Bu oran, pandemi sonrasında sırasıyla ergonomik koşullara özen gösteren öğrencilerde %43,68 (n=38), %56,32 (n=49); ergonomik koşullara özen göstermeyen öğrencilerde sırasıyla %61,3 (n=19), %38,7 (n=12); kısmen dikkat eden öğrencilerin ise sırasıyla %33,33 (n=11), %66,67(n=22) olduğu görülmüştür (p>0,05) (Tablo 3).

Pandemi öncesi ergonomik koşullara özen gösterip aynı zamanda D vitamini takviyesi alan ve almayan öğrenciler sırasıyla %26,87 (n=18), %73,13 (n=49) iken ergonomik koşullara özen göstermeyip D vitamini takviyesi alan ve almayan öğrenciler ise sırasıyla %28,12 (n=9), %71,88 (n= 23) olduğu tespit edilmiştir (Tablo 2).

Pandemi öncesi ergonomik koşullara özen gösterenlerin ve günlük 10 ve üzeri sigara kullananların oranı %11,94 (n=8) (Tablo 2) iken bu oran pandemi sonrasında %14,94 (n=13) olduğu belirlenmiştir (Tablo 3).

Pandemi öncesi, ergonomik koşullara özen göstermeyip bel ağrısı şikâyeti olanlar ve olmayanlar sırasıyla %28,12 (n=9), % 71,83 (n= 23) (Tablo 2). İken bu oran pandemiden sonra sırasıyla %38,7 (n=12), %61,3 (n=19) olduğu görülmüştür (Tablo 3).

Katılımcıların pandemi öncesinde ve sonrasında ergonomik koşullara özen gösterme düzeylerinin bağımsız değişkenlere göre karşılaştırılması Tablo 2 ve Tablo 3'te gösterilmiştir. Pandemi öncesinde düzenli spor veya egzersiz yapanlarda, ergonomik koşullara özen gösterme düzeyi daha yüksektir. (p=0,024). Pandemi öncesinde, katılımcıların %71,83'ünde bel ağrısı saptanmamış olup gruplar arası fark, istatistiksel olarak önemlidir (p<0,0001).

Pandemi öncesi düzenli egzersiz ve spor yapan katılımcıların %43,68'i ergonomik koşullara özen gösteriyordur (p<0,001). Pandemi sonrasında, katılımcıların %56,32'sinde bel ağrısına saptanmış olup gruplar arası fark, istatistiksel olarak önemlidir (p<0,002).

Ergonomik koşullara özen gösterme düzeylerinin bağımsız değişkenlere göre karşılaştırılması, ki-kare analizi ile yapılmıştır. Ergonomik koşul düzeyleri ayrı ayrı gruplara ayrılarak belirtilmiş ve p değerleri gösterilmiştir. Ki-kare analizinin amacı, ergonomik koşullara özen gösterme

düzeylerini belirleyen değişkenlerin etkilerinin bulunmasıdır. Bu analizde, alfa %95 olarak belirlenmiş, $p < \alpha$ olan değişkenlerin istatistiksel olarak anlamlı olduğu ve ergonomik koşulları düzeyini etkilediği görülmüştür.

Tablo 5'te, regresyon analizi sonuçları gösterilmiştir. Regresyon analizine dâhil olacak değişkenlerin seçiminde Tablo-4'te (Ki-kare analizi ile) belirlediğimiz gruplar arası farkın anlamlı olduğu değişkenler seçilmiş ve analiz uygulanmıştır. Regresyon analizi kısmında, ilgili değişkenlerin %95 güven aralıklı değerleri verilmiş ve p değerleri belirtilmiştir.

Çok değerli analizde, pandemi öncesi ve sonrası düzenli spor veya egzersiz yapma ve bel ağrısı şikâyeti ergonomik düzeyi etkileyen değişkenler olarak tespit edilmiştir (Tablo 5).

Tablo 1: Katılımcıların genel özellikleri.

Bölüm	Sayı	Yüzde
Endüstri Mühendisliği	85	56,3
Makine Mühendisliği	66	43,7
Yaş	Sayı	Yüzde
18-22	103	68,2
23-27	48	31,8
Cinsiyet	Sayı	Yüzde
Kadın	55	36,4
Erkek	96	63,6
Genel Akademik Not Ortalaması	Sayı	Yüzde
2,0 ve altı	10	6,6
2,1-2,9	76	50,3
3,0-3,4	42	27,8
3,5 ve üzeri	23	15,2
Gün İçerisinde Masa Başında Oturma Süresi	Sayı	Yüzde
1,00-4,00	68	45
≥ 5	83	55
Sigara Kullanım Durumu	Sayı	Yüzde
Kullanmıyorum	98	64,9
<10	33	21,9
≥ 10	20	13,2
Covid-19 Pandemisi Öncesi D Vitamini Takviyesi Alıp Almama	Sayı	Yüzde
Evet	34	22,5
Hayır	117	77,5
Covid-19 Pandemisi Sonrası D Vitamini Takviyesi Alıp Almama	Sayı	Yüzde
Evet	41	27,2
Hayır	110	72,8
Covid-19 Pandemisi Öncesi Düzenli Egzersiz veya Spor Yapıp Yapmama	Sayı	Yüzde
Evet	63	41,7
Hayır	88	58,3
Covid-19 Pandemisi Sonrası Düzenli Egzersiz veya Spor Yapıp Yapmama	Sayı	Yüzde
Evet	48	31,8
Hayır	103	68,2

Covid-19 Pandemisi Öncesi Bel Ağrısı Şikâyetinin Olup Olmaması	Sayı	Yüzde
Evet	40	26,5
Hayır	111	73,5
Covid-19 Pandemisi Sonrası Bel Ağrısı Şikâyetinin Olup Olmaması	Sayı	Yüzde
Evet	68	45
Hayır	83	55
Covid-19 Pandemisi Öncesi Ergonomik Koşullara Özen Gösterme	Sayı	Yüzde
Evet	67	44,4
Hayır	32	21,2
Kısmen	57	34,4
Covid-19 Pandemisi Sonrası Ergonomik Koşullara Özen Gösterme	Sayı	Yüzde
Evet	87	57,6
Hayır	31	20,5
Kısmen	33	21,9
Covid-19 Pandemisi Sonrası Kilo Alma Durumu	Sayı	Yüzde
Kilo Almadım	55	36,4
1,00-3,00	53	35,1
4,00-6,00	26	17,2
6,00 ve üzeri	17	11,3

Tablo 2: Pandemi öncesi ergonomik koşullara özen gösterme durumları.

Bölüm	Pandemi Öncesi					
	Ergonomik Koşullara Özen Gösteriyor					
	Evet		Hayır		Kısmen	
	Sayı	Yüzde	Sayı	Yüzde	Sayı	Yüzde
Endüstri Mühendisliği	33	49,25	20	62,5	32	61,54
Makine Mühendisliği	34	50,75	12	37,5	20	38,46
p: 0,296						
Yaş						
18-22	47	70,15	21	62,5	35	67,3
23-27	20	29,85	11	34,4	17	32,7
p: 0,889						
Cinsiyet						
Kadın	25	37,31	10	31,25	20	38,46
Erkek	42	62,69	22	68,75	32	61,54
p: 0,784						
Genel Akademik Not Ortalaması						
2,0 ve altı	5	7,46	2	6,25	3	5,77
2,1-2,9	35	52,24	10	31,25	31	59,61
3,0-3,4	19	28,36	12	37,5	11	21,15
3,5 ve üzeri	8	11,94	8	25	7	13,47
p: 0,246						

Gün İçerisinde Masa Başında Oturma Süresi						
1,00-4,00	31	46,27	16	50	21	40,39
≥ 4,00	36	53,73	16	50	31	59,61
p: 0,666						
Sigara Kullanma Durumu						
Kullanmıyorum	43	64,18	18	56,25	37	71,16
<10	16	23,88	7	21,88	10	19,23
≥10	8	11,94	7	21,87	5	9,61
p: 0,496						
Covid-19 Pandemisi Öncesi D Vitamini Takviyesi Alıp Almama						
Evet	18	26,87	4	12,5	12	23,08
Hayır	49	73,13	28	87,5	40	76,92
p: 0,276						
Covid-19 Pandemisi Öncesi Düzenli Egzersiz veya Spor Yapıp Yapmama						
Evet	36	53,73	9	28,12	18	34,61
Hayır	31	46,27	23	71,88	34	65,39
p: 0,0224						
Covid-19 Pandemisi Öncesi Bel Ağrısı Şikâyetinin Olup Olmaması						
Evet	17	25,37	9	28,12	14	26,92
Hayır	50	74,63	23	71,83	38	73,08
p: 0,0001						

Tablo 3: Pandemi sonrası ergonomik koşullara özen gösterme durumları.

Bölüm	Pandemi Sonrası					
	Ergonomik Koşullara Özen Gösteriyor					
	Evet		Hayır		Kısmen	
	Sayı	Yüzde	Sayı	Yüzde	Sayı	Yüzde
Endüstri Mühendisliği	45	51,72	22	70,96	18	54,54
Makine Mühendisliği	42	48,28	9	29,04	15	45,46
p: 0,174						
Yaş						
18-22	53	60,92	23	74,19	27	81,81
23-27	34	39,08	8	25,81	6	18,19
p: 0,065						
Cinsiyet						
Kadın	53	60,92	18	58,06	25	75,75
Erkek	34	39,08	13	41,94	8	24,25
p: 0,248						
Genel Akademik Not Ortalaması						
2,0 ve altı	6	6,9	3	9,68	1	3,03
2,1-2,9	44	50,57	15	48,39	17	51,52
3,0-3,4	23	26,44	9	29,03	10	30,3
3,5 ve üzeri	14	16,09	4	12,9	5	15,15

p: 0,964						
Gün İçerisinde Masa Başında Oturma Süresi						
1,00-4,00	38	43,68	19	61,3	11	33,33
≥ 4,00	49	56,32	12	38,7	22	66,67
p: 0,074						
Sigara Kullanma Durumu						
Kullanmıyorum	55	63,22	19	61,3	24	72,73
<10	19	21,84	9	29,03	5	15,15
≥10	13	14,94	3	9,67	4	12,12
p: 0,674						
Covid-19 Pandemisi Sonrası D Vitamini Takviyesi Alıp						
Almama						
Evet	28	32,18	4	12,9	9	27,27
Hayır	59	67,82	27	87,01	24	72,73
p: 0,117						
Covid-19 Pandemisi Sonrası Düzenli Egzersiz veya Spor						
Yapıp Yapmama						
Evet	38	43,68	4	12,9	6	18,18
Hayır	49	56,32	27	87,01	27	81,82
p: 0,001						
Covid-19 Pandemisi Sonrası Bel Ağrısı Şikâyetinin Olup						
Olmaması						
Evet	49	56,32	12	38,7	7	21,21
Hayır	38	43,68	19	61,3	26	78,79
p: 0,002						
Covid-19 Pandemisi Sonrası Kilo Alma Durumu						
Kilo almadım	33	37,93	9	29,03	13	39,4
1,00-3,00	31	35,63	9	29,03	13	39,3
4,00-6,00	14	16,09	6	19,36	6	18,18
6,00 ve üzeri	9	10,35	7	22,58	1	3,03
p: 0,335						

Tablo 4: Katılımcıların pandemi dönemi öncesi ve sonrası ergonomik koşullara özen gösterme durumları (Ki-kare analizi sonuçları).

	Pandemi Öncesi	Pandemi Sonrası
	Ergonomik Koşullara Özen Gösterme	Ergonomik Koşullara Özen Gösterme
	P DEĞERİ (Kİ-KARE ANALİZİ)	P DEĞERİ (Kİ-KARE ANALİZİ)
Bölümünüz	0,296	0,174
Yaşınız	0,889	0,065
Cinsiyetiniz	0,784	0,248
GANO	0,246	0,964
Gün İçerisinde Masa Başında Oturma Süresi	0,666	0,074
Sigara Kullanımınız	0,496	0,674
Pandemi öncesi D vitamini takviyesi alıyorsunuz musunuz?	0,276	0,117
Pandemi öncesi düzenli spor veya egzersiz yapıyor musunuz?	0,024	0,001

Pandemi öncesi bel ağrısı şikâyetiniz var mı?	0,0001	0,002
-----------------------------------------------	--------	-------

Tablo 5: katılımcıların ergonomik koşullara özen gösterme düzeyi açısından gruplar arası fark bulunan değişkenlere ait çok değişkenli regresyon analizi sonuçları.

	B	P	% 95 GA
Pandemi öncesi düzenli spor veya egzersiz yapıyor musunuz?	0,32	0,024	(0,035) - (0,605)
Pandemi öncesi bel ağrısı şikâyetiniz var mı?	-0,033	0,0001	(-0,357) - (0,29)
Pandemi sonrası düzenli spor veya egzersiz yapıyor musunuz?	0,453	0,001	(0,179) - (0,727)
Pandemi sonrası bel ağrısı şikâyetiniz var mı?	0,473	0,002	(0,219) - (0,727)

4. TARTIŞMA

Çalışmamız; ergonominin temel ve bilimsel ilkelerini mühendislik fakültelerinde akademik düzeyde ders olarak gören mühendislik öğrencilerindeki ergonomi farkındalığı ve koşullarını günlük hayatlarında uygulayıp uygulamadıklarını incelemeyi amaçlamasının yanı sıra yaş, cinsiyet, sigara kullanımı, D vitamini kullanımı, masa başında geçirdikleri süre, düzenli spor alışkanlığı, GANO ve COVID-19 pandemisi gibi faktörlerin ergonomik koşullar üzerine etkileriyle kilo alımı ve bel ağrısı gibi sonuçların incelendiği çok yönlü bir araştırmadır.

Bu çalışmada, COVID-19 pandemisinin ergonomik koşullar ve buna bağlı gelişen sonuçlar üzerine olan etkisi incelenmiş olup pandemi öncesi ve sonrası olarak mukayese edilerek pandeminin ergonomik koşullar üzerindeki etkisinin ortaya konulması amaçlanmıştır.

Bu çalışmanın literatürdeki diğer çalışmalardan farkı, daha önce henüz çalışılmamış olan bağımsız değişkenleri kullanarak ergonomik koşullar üzerine etkilerinin olup olmadığını tespit etmek ve bu konuda yapılacak olan bir sonraki çalışmalara referans olmaktır.

Çalışmamızda, katılımcıların %50'sinden fazlası Endüstri Mühendisliği öğrencisi olan, 18-22 yaş aralığında, genel akademik not ortalaması (GANO) 2,1-2,9 olan, masa başında 5 saatten fazla vakit geçiren, sigara kullanmayan, pandemi öncesi D vitamini takviyesi almayan, düzenli egzersiz ve spor alışkanlığı olmayan, herhangi bir bel ağrısı şikâyeti bulunmayan ve ergonomik koşullara kısmen de olsa önem gösteren niteliktedir (Tablo 2).

Pandemi sonrasında da yine katılımcıların %50'sinden fazlasında pandemi öncesi gösterilen profil devamlılık gösterip D vitamini takviyesi alımı, bel ağrısı şikâyetleri, ergonomik koşullara gösterdikleri özen ve kilo alımları artarken düzenli egzersiz-spor alışkanlıkları ise azalmıştır (Tablo 3).

Vücut D vitamini seviyesinin gerek immün sistemin düzenlenmesi (Grant vd., 2020; Hewison 2012) ve gelişmesine (Baeke vd., 2010; Prietl vd., 2013) katkı sağladığı gerekse COVID-19 pandemisi vakalarında bulaş ve ölüm riskleri ile ilişkili olduğu literatürde bildirilmişken (Raharusun vd., 2020) yine çalışmamızda, D vitamini takviyesinin alımının artması da bu doğrultuda bir farkındalık olduğunun göstergesidir (Tablo 3).

İran Bilim ve Teknoloji Üniversitesin’de 2012 yılında yapılan bir araştırmaya göre mühendislik öğrencilerinin %71’inde ergonomi ve gelecekteki mesleklerinde önemi hakkında açık bilgiye sahip olmadığı gösterilmiştir (Naeini & Mosaddad, 2013).

Yine 2020 yılında, Türkiye’de yapılan bir çalışmada, uzaktan eğitim alan öğrencilere verilen duruş ve ergonomi eğitiminin kas-iskelet sistemi bozuklukları, egzersiz düzeni, karar verme dengesi ve fiziksel aktivite düzeylerindeki etkileri araştırılmıştır. İki grup üzerinde yapılan araştırmada, ergonomi eğitimi verilen grup ile verilmeyen grup arasındaki NMQ-E ve IPAQ-SF anketleriyle yapılan kıyaslama sonucunda ergonomi eğitimi alan grup ile almayan grubun bel ağrısı düzeyleri arasında bir fark bulunamamıştır (Aytar vd., 2020). Çalışmamızda, ergonomiyi akademik düzeyde ders olarak alan endüstri mühendisleri ve almayan makine mühendisleri kıyaslandığında ergonomik koşullara gösterilen önem arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır (Tablo 4).

Çalışmamızda, ergonomik koşullara gösterilen önem pandemi öncesi ve sonrası cinsiyete bağlı olarak değişkenlik göstermiştir (Tablo 1 ve Tablo 2). 2021 yılında yapılan bir çalışmada da Hindistan’ın çeşitli bölgelerinden 651 elde taşınabilen elektronik cihaz kullanıcılarına, COVID-19 döneminde yaşadıkları kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarını araştıran bir anket uygulanmış olup çalışmanın sonucunda, cinsiyete bağlı olarak rahatsızlıkların değişkenlik gösterdiği bulgularına ulaşılmıştır (Jain vd., 2021).

Bel ağrısı fiziksel, psikolojik ve sosyal risk faktörlerinden etkilenen ve multidisipliner bir yaklaşım gerektiren bir semptomdur (Manchikanti vd., 2002). Yapılan çalışmalarda, bu risk faktörleri arasında öğrenim durumu ve mesleğin ilk sıralarda yer aldığı belirtilip (Dionne vd., 2001) çalışmamızda da teyit edilmiştir (Tablo 4).

Sigaranın bel ağrısı ile ilişkili olduğu (Fertig vd., 1986; Iatridis vd., 1997) ve olmadığı (Albayrak vd., 2010; Leboeuf-Y de C., 1999) konusunda çalışmalar mevcut olup çalışmamızda, sigara kullanımının bel ağrısı ile pozitif yönde bir ilişkisinin olmadığı saptanmıştır (Tablo 4).

Doğru postür alışkanlıklarının bel ağrısına karşı koruyucu olduğu literatürde belirtilmiştir (O’Sullivan vd., 2012). Çalışmamız sonucunda, ergonomik koşullara gösterilmesi gereken önemin, doğru egzersiz ve düzenli spor alışkanlığının geliştirilmesi gibi şartların bel ağrısından koruduğunu göstermiştir (Tablo 4).

Yeterli düzeydeki ergonomi bilgisi sırtın anatomisini, nesnelerin etkili bir şekilde nasıl kaldırılıp taşınacağı ve ayrıca etkili bel ağrısının potansiyel risk faktörlerini de içerir (Salman vd., 2022; Sowah vd., 2018; Steele vd., 2006) etkili öz yönetim en uygun yoldur (Briggs & Jordan, 2010). Bu sebeple mühendislik fakülteleri gibi akademik düzeyde ergonomi eğitimi veren ilgili branşlarda, ergonomi eğitimlerinde verilen teorik bilginin yanı sıra gündelik hayata entegre edilebilecek düzeyde, ergonomik uygulamaların insan sağlığını korumak, güvenlik seviyesini artırmak, insanın hata yapma olasılığını azaltmak, etkili ve düzgün bir iletişim kurmak, işlerin süreçlerini inceleyerek işin daha kolay yapılabilmesini sağlamak, hızlı öğrenme imkânı sunmak, daha fazla stabilite sağlamak, yeni tasarımlara olan ihtiyacı azaltmak, iş akışını düzenleyerek arıza veya duraksama zamanlarını azaltmak gibi avantajlarının (Kurtay vd., 2021) önemini belirterek uygulamalı eğitimlerin önemli ölçüde artırılması, araştırmanın gösterdiği sonuçlarla da önem arz etmektedir.

COVID-19 pandemisi sonrası ergonomik koşulların önemsenmemesi ve buna bağlı gelişen istenmeyen sonuçların önlenmesi ve yönetilebilmesi için ülkelerin Sağlık Bakanlıkları ile ilgili global ve yerel kuruluşların koordineli bir şekilde organize olup halk için anlaşılabilir bir dil

kullanılarak yapılacak kamu spotlarıyla konvansiyonel ve sosyal medya aracılığıyla halkı bilinçlendirmeleri gerekmektedir. Ayrıca, bu konuda farkındalık oluşturulması amaçlanmalı ve bilgi kirlilikleri giderilmelidir.

KAYNAKÇA

- Albayrak, İ., Şahin, N., Karahan, A.Y. & Uğurlu, H. (2010). Sigara kullanımının bel ağrısı ile ilişkisi. Genel Tıp Dergisi 20, 55–59.
- Aytar, A., Altıntaş, A., & Aytar, A. (2020). Effects of posture and ergonomics training for students receiving distance education during the covid-19 pandemic on musculoskeletal pain, exercise behaviordecision-making balance, and physical activity level. Journal of Exercise Therapy And Rehabilitation, 7(2), 137-144.
- Baeke, F., Takiishi, T., Korf, H., Gysemans, C. & Mathieu, C. (2010). Vitamin D: Modulator of the immune system. Current Opinion in Pharmacology 10, 482–496.
- Briggs, A. M., & Jordan, J. E. (2010). The importance of health literacy in physiotherapy practice. Journal of Physiotherapy, 56(3), 149–151.
- Ceran, A. (2015). Bel ağrısı olan ofis çalışanlarında ergonomi bilgi düzeyinin bel ağrısı şiddeti ve fonksiyonellik üzerine etkisi. Doktora Tezi,. T.C Haliç Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Choudhary, M., Choudary, A., Jamal, S., Kumar, R. & Jamal, S. (2020). The Impact of ergonomics on children studying online during COVID-19 lockdown. Journal of Advances in Sports and Physical Education 3, 117-120.
- Cipollaro, L., Giordano, L., Padulo, J., Oliva, F. & Maffulli, N. (2020). Musculoskeletal symptoms in SARS-CoV-2 (COVID-19) patients. Journal of Orthopaedic Surgery and Research 15.
- Dionne, C.E., Von Korff, M., Koepsell, T.D., Deyo, R.A., Barlow, W.E. & Checkoway, H. (2001). Formal education and back pain: A review. Journal of Epidemiology and Community Health 55, 455–468.
- Erdem, İ. (2020). Koronavirüse (Covid-19) karşı Türkiye'nin karantina ve tedbir politikaları. Journal of Turkish Studies Volume 15, 377–388.
- Fertig, J.B., Pomerleau, O.F. & Sanders, B. (1986). Nicotine-produced antinociception in minimally deprived smokers and ex-smokers. Addictive Behaviors 11, 239–248.
- Fischer, K., Thatcher, A. & Zink, K. (2021). Human factors and ergonomics for sustainability. Handbook of Human Factors and Ergonomics, 1512-1527.
- Grant, W.B., Lahore, H., McDonnell, S.L., Baggerly, C.A., French, C.B., Aliano, J.L. & Bhattoa, H.P. (2020). Evidence that vitamin d supplementation could reduce risk of influenza and covid-19 infections and deaths. Nutrients 12, 1–19.
- Gupta, G., Gupta, A., Mohammed, T. & Bansal, N. (2014). Ergonomics in dentistry. International Journal of Clinical Pediatric Dentistry 7, 30–34.
- Gündüz, C. (2019). Hemşirelerde bel ağrısı ve bel ağrısıyla baş etme yöntemleri. Doktora Tezi,. T.C Kırklareli Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Kırklareli.

- Hewison, M. (2012). Vitamin D and immune function: An overview. *Proceedings of the Nutrition Society* 71, 50–61.
- Iatridis, J.C., Setton, L.A., Weidenbaum, M. & Mow, V.C. (1997). Alterations in the mechanical behavior of the human lumbar nucleus pulposus with degeneration and aging. *Journal of Orthopaedic Research* 15, 318–322.
- Jain, R., Rana, K. B., & Meena, M. L. (2021). Association of individual and device usage factors with musculoskeletal disorders amongst handheld devices users during homestay due to pandemic. *International Journal of Workplace Health Management*, 14(6), 605-619.
- Junkin, J.A. (2020). COVID-19 & ergonomics: wait, what? *Professional Safety* 65, 46-46.
- Kurtay, K. G. , Gökmen, Y. , Dağıştanlı, H. A. & Topaklı, R. S. (2021). Askeri ergonomi çalışmaları için literatür taraması . *International Journal of Engineering Research and Development* , December 2021 Special Issue , 58-74.
- Kürtüncü, M. & Kurt, A. (2020). COVID-19 Pandemisi döneminde hemşirelik öğrencilerinin uzaktan eğitim konusunda yaşadıkları sorunlar. *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi* 7, 66-77.
- Leboeuf-Y de C. (1999). Smoking and low back pain. A systematic literature review of 41 journal articles reporting 47 epidemiologic studies. , 1463–70.
- Legg S. Ergonomics in schools. *Ergonomics*. 2007;50:1523- 9.
- Manchikanti, L., Singh, V., Fellows, B. & Pampati, V. (2002). Evaluation of influence of gender, occupational injury, and smoking on chronic low back pain of facet joint origin: A subgroup analysis. *Pain Physician* 5, 30–35.
- Naeini, H. & Mosaddad, S. (2013). The Role of ergonomics issues in engineering education. *Procedia-Social and Behavioral Sciences* 102, 587-590.
- O’Sullivan, K., O’Sullivan, P., O’Sullivan, L., & Dankaerts, W. (2012). What do physiotherapists consider to be the best sitting spinal posture? *Manual Therapy*, 17(5), 432–437.
- Öztürk, O. & Özer Kaya, D. (2020). COVID-19 ’ un kas iskelet sistemine etkisi. *İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi* 5, 179–182.
- Pragati, R.A., Singhal, R. & Rastogi, P. (2020). Importance of ergonomics during and Post COVID-19 for dental practitioners. *IDAUPSDJ* 1, 108–116.
- Priehl, B., Treiber, G., Pieber, T.R. & Amrein, K. (2013) Vitamin D and immune function. *Nutrients* 5, 2502–2521.
- Punnett, L. & Wegman, D. (2004). Work-related musculoskeletal disorders: the epidemiologic evidence and the debate. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 14, 13-23.
- Raharusun, P., Priambada, S., Budiarti, C., Agung, E. & Budi, C. (2020). Patterns of COVID-19 mortality and vitamin D: an indonesian study. *SSRN Electronic Journal* 7, 1–12.
- Roser, M., Ritchie, H., Ortiz-Ospina, E. & Hasell, J. (2020). Coronavirus pandemic (COVID-19)- statistics and research- Our World in Data. Our World in Data. Available from: <https://ourworldindata.org/coronavirus> (26 Mayıs 2021)

- Sahu, P. (2020). Closure of universities due to coronavirus disease 2019 (COVID-19): Impact on education and mental health of students and academic staff. *Cureus* 4, 4-9.
- Salman, M., Bettany-Saltikov, J., Kandasamy, G., Whittaker, V., Hogg, J., & Racero, G. A. (2022). PROTOCOL: The effect of education programmes for improving knowledge of back health, ergonomics and postural behaviour in university students: A systematic review. *Campbell Systematic Reviews*, 18, e1213.
- Smith TJ. The ergonomics of learning: educational design and learning performance. *Ergonomics*. 2007;50:1530-46.
- Solak Kabataş, M., Kocuk, M. & Küçükler, Ö. (2012). Sağlık çalışanlarında bel ağrısı görülme sıklığı ve etkileyen faktörlerin incelenmesi. *Fırat Üniversitesi Sağlık Bilimleri Tıp Dergisi* 2, 65–72.
- Soltaninejad, M., Babaei-Pouya, A., Poursadeqiyan, M., & Feiz Arefi, M. (2021). Ergonomics factors influencing school education during the COVID-19 pandemic: A literature review. *Work (Reading, Mass.)*, 68(1), 69–75.
- Sowah, D., Boyko, R., Antle, D., Miller, L., Zakhary, M., & Straube, S. (2018). Occupational interventions for the prevention of back pain: Overview of systematic reviews. *Journal of Safety Research*, 66, 39-59.
- Steele, E. J., Dawson, A. P., & Hiller, J. E. (2006). School-based interventions for spinal pain: A systematic review. *Spine*, 31(2), 226–233.
- Suyabatmaz, Ö., Çağlar, N.S., Tütün, Ş., Özgönel, L., Burnaz, Ö. & Aytakin, E. (2011). Kronik bel ağrılı hastalarda bel okulunun etkinliğinin araştırılması. *İstanbul Tıp Dergisi* 12, 5–10.
- Türkdemir, A.H. (2003). Ergonominin tanımı ve tarihçesi (İş Sağlığı Doktora Programı Dönem Ödevi). Ankara Üniversitesi Halk Sağlığı Ana Bilim Dalı, Ankara.
- Viner, R., Russell, S., Croker, H., Packer, J., Ward, J., Stansfield, C., Mytton, O., Bonell, C. & Booy, R. (2020). School closure and management practices during coronavirus outbreaks including COVID-19: a rapid systematic review. *The Lancet Child & Adolescent Health* 4, 397-404.
- Wang, C., Cheng, Z., Yue, X. & McAleer, M. (2020). Risk management of COVID-19 by Universities in China. *Journal of Risk and Financial Management* 13, 36.



TÜRKİYE'DE İLK VE TEK, 'VİRÜS-FREE KAMPÜS': DOĞUŞ ÜNİVERSİTESİ ATAŞEHİR DUDULLU YERLEŞKESİ

FIRST AND ONLY IN TURKIYE, 'VIRUS-FREE CAMPUS': DOĞUŞ UNIVERSITY, ATEŞEHİR DUDULLU CAMPUS

<https://doi.org/10.20854/bujse.1076118>

Tarık Baykara^{1,*}

Özet

Halen daha yoğun bir biçimde ve yeni varyantlarıyla Covid-19 salgını sürmektedir. Ne zaman sonuçlanacağına dair kesin bir zamanlama da verilememektedir. Sürekli tekrarlanan korunma ve tedbirler kapsamındaki yöntemlerin (maske, mesafe ve temizlik) yanı sıra UVC ışınlarının virüslere karşı etkin bir dezenfektan olduğu bilinmektedir. UVC sistemlerinden oluşmuş ışımaya donanımlarının Covid-19 virüsüne karşı etkin bir önlem olabileceği değerlendirilmiş ve Doğuş Üniversitesi yeni taşındığı Ataşehir-Dudullu Kampüsünün (HVAC) havalandırma sistemi içerisine ve yeni kampüsün farklı mekanlarına 254 nm'de ışımaya yapan UVC donanımları monte edilmiştir. Böylelikle, Doğuş Üniversitesi ülkemizin ilk ve tek "Virüs-Free Kampüsü" olma özelliğini kazanmıştır. 254 nm'de UVC ışımaya işlevi ile bakteri, virus, mantar, spor ve benzeri mikroorganizmaların etkisiz hale getirilme mekanizması incelenmiş ve bu yöntemin Covid-19 için de etkin bir biçimde kullanılabileceği değerlendirilmiştir. Ardından, yeni kampüsün havalandırma sistemleri incelenmiş, uygun kısımları etüd edilmiş ve buralara etkin dezenfektan ve sterilizasyon işlevselliği olan HVAC TİPİ UVC donanımları monte edilerek tüm öğrenciler ve çalışanlarımız için önemli düzeyde ve güvenlikte bir koruma sağlanmıştır. Uygulamanın ilk 3 aylık verileri ele alınmış ve bu süreçte monte edilen donanımların etkinliği gösterilmiştir. Özellikle çalışanlar ve akademik personel arasındaki vaka/giriş yüzdeleri son derece düşüktür. Haftalık olarak son derece yüksek sayıda bir araya gelen böylesi bir kalabalık ortamda (haftalık 14000-25000 kişi), özellikle öğrenciler arasındaki pozitif vaka sayısının düşük olduğu görülmektedir.

Abstract

Covid-19 pandemic is still continuing intensely with new variants. A definite timing for its ending couldn't be predicted. Other than the precautions (mask, distance and disinfection) that are repeatedly pointed, it has been known that UVC emissions against the viruses are effective disinfectants. UVC emission systems against Covid-19 virus are evaluated and 254 nm UVC systems are mounted in various places in the new Dudullu campus of the Doğuş University. In this regard, Doğuş University is the first and only "Virus-Free Campus". Using 254 nm wavelength UVC emissions for disinfecting bacteria, viruses, fungus, spor and other microorganisms were investigated and decided to be used effectively. Thereafter, climatization system of the new campus were examined, appropriate locations were studied. The first three monthly data demonstrated the effectiveness of the mounted system. Specifically, among the academicians and the staff members, data showing the case/input percentage was found to be considerably low. Weekly data among students entering into the campus (14000-25000 per week), Covid-19 positive cases are low.

Anahtar Kelime: 254 nm, Covid-19, Dezenfektasyon, Pandemi, UVC Emisyonu

Keywords: 254 nm, Covid-19, Disinfection, Pandemic, UVC Emission

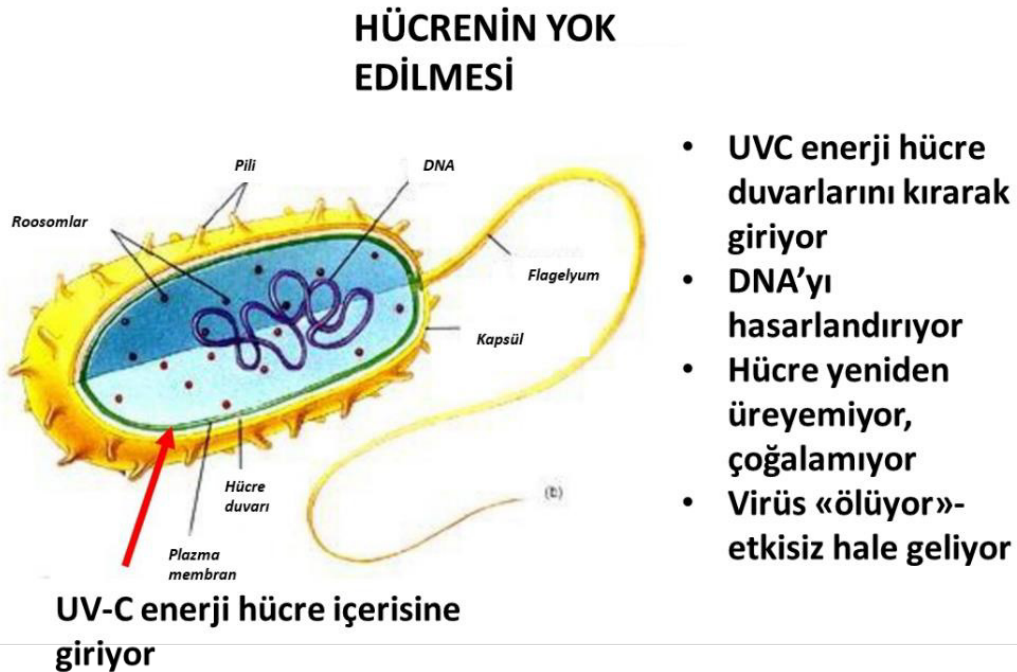
^{1,*} Sorumlu Yazar: Doğuş Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği, 34775 Ümraniye/İSTANBUL, tbaykara@dogus.edu.tr, orcid.org/0000-0002-7480-9537

1. GİRİŞ

2019 yılı sonlarına doğru dünya çapında patlak veren Covid-19 pandemisi, daha önceden bilinen ve yaygın olarak kullanılan antimikrobiyal-antiviral UVC ışımalarının dezenfektasyon amaçlı kullanım ve uygulamalarını yeniden gündeme getirmiştir. Pek çok bulaşıcı mikroorganizmanın 253.7 nm dalga boyunda ışımaya ile etkisizleştirildiği gösterilmiştir (FDA, 2021; Kowalski, 2009; Luaidi et al., 2021; Sgnify, 2020). Çok uzun süreden beri, bir dezenfektasyon yöntemi olarak UVC ışımaları, etkin olarak ve saklı ışımaya sağlanmış vaziyette su arıtmada, ısıtma-klima tesisatında ve hastahane, ameliyat odaları ve biyoloji laboratuvarlarında kullanılmaktadır. Pek çok ülkede hava yoluyla tüberküloz yayılımına karşı kullanıldığı bilinmektedir. ABD’de ise bazı sağlık ve medikal kuruluşlarında, otonom mobil üniteler vasıtasıyla her türden ortamda (hasta odaları, ameliyathaneler) kullanımı sürdürülmektedir. UVC ışımalarının son derece sınırlı ve kontrolü kolay bazı mahsurları haricinde, hem hava hem de her türden yüzeyde dezenfektasyon etkinliği ve etkisi kanıtlanmıştır (FDA, 2021; Kowalski, 2009; Luaidi et al., 2021; Signify, 2020).

1.1. Antimikrobiyal UVC Işımaları

Antimikrobiyal UVC ışımaları, kısa-dalga boyuna sahip UV ışınlarının (ışımaya enerjisi) bakteri ve sporları öldürdüğü, mantar (fungi) ve virüsleri pasif hale getirdiği kanıtlanmıştır. UVC olarak bilinen ve dalgaboyu aralığı 200-280 nanometre olan ışımaların, son derece etkin bir biçimde dezenfektasyon sağladığı ilgili mekanizmaları ile birlikte açıkça gösterilmiştir (Şekil 1).



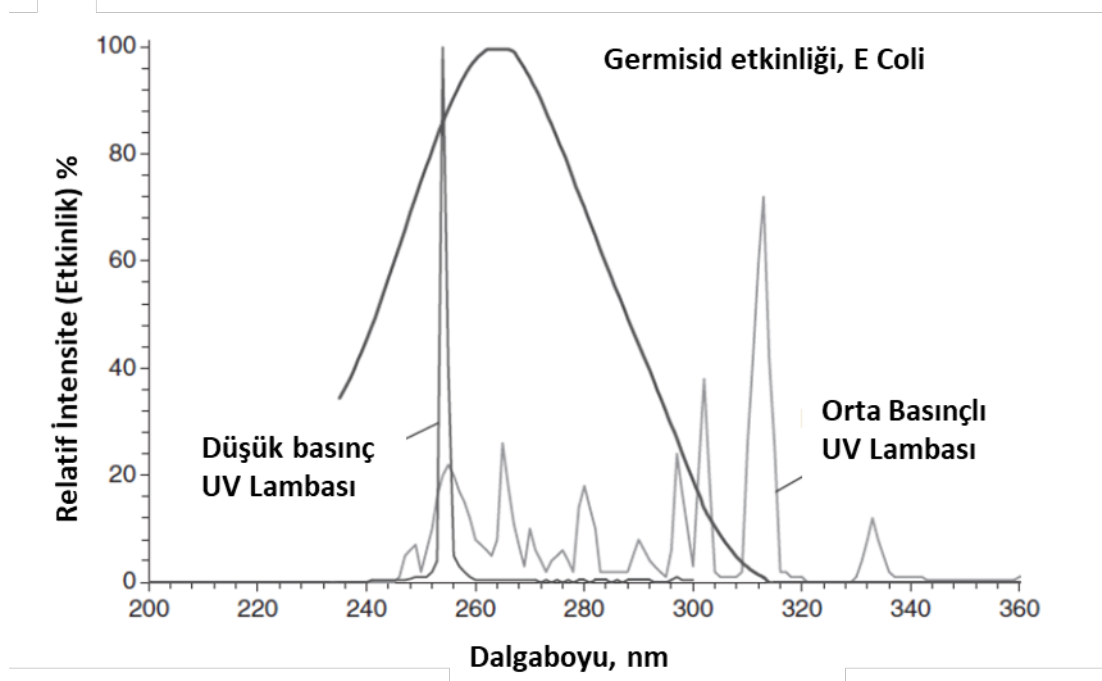
Şekil 1: 254 nm UVC ışımaya ile viral hücrenin etkisizleştirilmesi (Saputa, 2015).

UVC ışımaları bakterileri öldürmekte ayrıca yaşayan bir organizma olmadığı bilinen virüsleri “etkisiz” hale getirmektedir (ISO-15714, 2019). Enerjetik UVC fotonları fotokimyasal olarak bir virüsün DNA ve RNA molekülleriyle etkileşime girmekte ve bunları pasifize (inactivation)

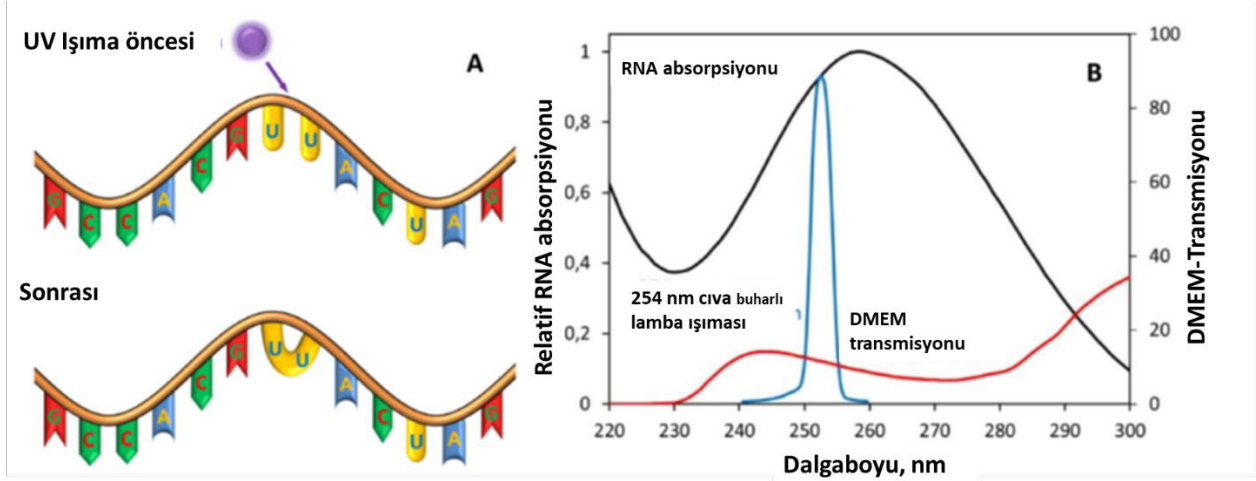
ederek bulaşıcı olmaktan çıkarmaktadır (Şekil 1). 230-285 nm aralığındaki UVC ışık kaynağının, mikroorganizmaların genetik yapısını tekrar üreyemeyecekleri şekilde bozunuma uğrattığı gösterilmiştir. Pik noktası 265 nm civarında olmakla birlikte, konvensiyonel olarak floresan tüplerden ışıyan 254 nm dalga boyundaki radyasyon, çok yüksek oranda (>%80) DNA/RNA tarafında bozunuma sebep olmaktadır.

UVC ışması, doğru dalga boyunda uygulandığında etkin ve etkili bir dezenfektandır. 254 nm dalga boyunda bireylerin gözleri ve derilerine zararlı olduğu için göze ve deriye doğrudan kesinlikle tutulmamalıdır. 254 nm UVC ışması ile el dezenfektasyonu asla yapılamaz. Bu ışma hava ve her türden yüzeyi sterilize ve dezenfekte eder ve en üst düzeyde hijyenik bir ortam oluşmasını sağlar. Bilindiği üzere mikrop/virüsler havada asılı kalarak (hapşırma, öksürme ya da bir yüzeyden bir şekilde üfürülerek havaya karışma şeklinde) 1-5 mikron boyutunda damlacıklar olarak, dakikalarca hatta saatlarca havada kalmaktadır. Maske, temizlik, mesafe, havalandırma ve benzeri tedbirlerin yanı sıra, etkin bir biçimde uygulanan UVC ışma ile özellikle mekanların üst kısımlarında yoğunlaşan havanın en yüksek etkinlikte dezenfektasyon sağladığı gösterilmiş ve kanıtlanmıştır (ISO-15714, 2019).

Genelde antiviral/antimikrobiyal UVC Lambaları 254 nm UV ışma enerjisi yayarlar. Bu ışma enerjisi, virüsün RNA ve DNA'sını hasarlandırarak mutasyonlarını durdurur, pasifize eder ve çoğalmalarını dolayısı ile yayılmalarını ve bulaşıcılıklarını ortadan kaldırır (Heßling et al., 2020; Kowalski, 2009) (Şekil 2 ve Şekil 3).



Şekil 2: UV dalga boylarına göre 254 nm'de mikrobiyal etkinlik (*E. coli*'ye karşı) (Kowalski, 2009).



Şekil 3: (A) UV-RNA hasarlandırma mekanizmasının dimer formasyonu ile gerçekleşmesi; (B) RNA absorpsiyon spektrasi (Heßling et al., 2020).

Şekil 3’de gösterilen pasifizasyon/inaktivasyon mekanizmasında, UV ışınmasının RNA ve DNA molekülleri tarafından absorplanmasıyla birlikte, pirimidin dimerlerinin oluşması ile dezenfektasyonun 254 nm UVC ışınmasıyla başladığı görülmektedir (Heßling et al., 2020). Bu dalga boyundaki ışınmanın en etkin, en yüksek enerjetik fotonlarla birlikte fotokimyasal olarak aktif hale geldiği bilinmektedir (FDA, 2021; Heßling et al., 2020; ISO-15714, 2019; Kowalski, 2009; Luaidi et al., 2021; Signify, 2020). UVC ışınmasıyla birlikte hasarlanan ve bozulan RNA ve DNA molekülleri yeniden üreme yeteneklerini kaybetmekte ve zararsız hale gelmektedir. Bu süreçteki en etkin oluşumun pirimidin dimerlerin formasyonu olduğu belirtilmiştir. Burada, yan yana timin veya sitosin bazlı bağlar oluşarak çift sarmal yapı bozulmaktadır. Pirimidin dimerli DNA molekülleri artık işlevsizleşmekte ve çoğalamamaktadır. Bir nevi molekülün ölümüne sebep olmaktadır (ISO-15714, 2019). Farklı amaçlara uygun olarak ayarlanabilen ışınma süreleriyle, başarılı bir inaktivasyon sürecinin çok yüksek oranda gerçekleşeceği gösterilmiştir (Chiappa et al., 2021; CR-2-20, 2019; Heßling et al., 2020; ISO-15714, 2019; Kennedy, 2019).

Tablo 1: Yayınlanmış bazı kaynaklarda 254 nm UVC ışınması ve fotoinaktivasyon durumu çalışmalarından örnekler (Heßling et al., 2020).

Virüs	Işıma dalgaboyu (nm)	Log-düşme dozu (mJ/cm ²)	Örnek koşulları	Değerlendirme
MERS-Koronavirüs	254	Başarılı inaktivasyon	damlacık	Doz bilgisi yok
Bulaşıcı Broşit Koronavirüsü	254	13,84	yüzeyde	-
SARS-Covid	254	Başarılı inaktivasyon	Sıvı halde (tuz solüsyonu)	-
Canine Koronavirüs (CCoV I-71)	254	10,55	Sıvı (ince hücre kültürü ortamında fetal bovin serumuyla)	Işıma dozu lamba verisi ve ışınma süresiyle hesaplanmış
İnsan Koronavirüs HCoV-229E	254	Başarılı inaktivasyon	Sıvı (serum içerisinde hücre kültürü)	Yüksek ölçüde absorplanma ihtimali

SARS-CoV Hanoi	254	22.67	Sıvı (ince hücre kültürü ortamında fetal bovin serumuyla)	Yüksek ölçüde absorplanma ihtimali
SARS-CoV P9	254	40.5	Sıvı (ince hücre kültürü ortamında fetal bovin serumuyla)	Yüksek ölçüde absorplanma ihtimali

Halen daha yoğun bir biçimde önlemler kapsamında süren Covid-19 salgını ile mücadelede UVC ışınlarının etkili olduğu gösterilmiştir. Tablo 1’de verilen örneklerde farklı virus türleriyle korona virüsü üzerinde 254 nm UVC ışınmasıyla yapılan çalışmalardan bazı örnekler verilmiştir.

Mikrobiyal/viral etkinlik ışımının dozuyla/miktarıyla doğru orantılıdır. Işıma zamanı milijul/santimetrekare (mJ/cm^2), ışım miktarı ve ışım süresinin hesaplanmasıyla bulunur. Işıma miktar ve süresinin artmasıyla dezenfektasyon etkinliği ve verimi %99’a kadar çıkabilmektedir. Bu doz/miktar yarı yarıya indirildiğinde verimlilik ve etkinlik %90’a düşer. Belirlenen bir doz ile dezenfektasyon süreci “tek-log öldürücü” olarak verilir. Pratik olarak bu 3 veya 4 “log öldürücü” süreç olarak uygulanırsa etkinlik %99.99’a kadar çıkar. Hesaplanmış doz üst limiti $10.6 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ ancak daha hassas bir hesaplamayla bu dozun $3.7 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ olduğu gösterilmiştir (Heßling et al., 2020; ISO-15714, 2019; Kennedy, 2019).

Boston Üniversitesi’nin Signify (bilinen adıyla Philips) ile birlikte yaptığı ve Covid-19 virüsü üzerine UVC etkilerini araştırdığı çalışmanın 16 Haziran 2020 tarihinde yayımlanan sonuçlarına göre, $5 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ dozu Covid-19 virüsünü %99 oranından daha fazla yok edebilmektedir (Signify, 2020).

2021 yılında taşındığı Ataşehir-Dudullu Kampüsünün (HVAC) havalandırma sistemi içerisine monte edilen ve farklı tasarıma sahip yatay, dikey ve diğer UVC sistemleriyle birlikte Doğu Üniversitesi ülkemizin ilk “VİRÜS-FREE KAMPÜSÜ” olma özelliğini kazanmıştır. Bu çalışmada (Baykara, 2019), yeni kampüsün havalandırma sistemi incelenmiş uygun kısımları etüd edilmiş ve buralara etkin dezenfektan ve sterilizasyon işlevselliği olan HVAC TİPİ UVC donanımları monte edilerek yeni kampüsümüzde tüm öğrenciler ve çalışanlarımız için belirgin olarak koruma sağlanmıştır.

Bunun yanı sıra, genel zemin dezenfektasyon üniteleri ve diğer yatay/dikey dezenfektasyon cihazları ile de çalışma yapılarak adet ve kapasiteleri ile birlikte tespit edilmiş ve montaj aşamasına geçilmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında HVAC sistemine monte edilen UVC lambaları ve kampüsün özellikle yoğun bir biçimde kullanılan geniş mekanlarına (kütüphane, yemekhane, spor salonu, kampüs giriş mekanları ve diğer) duvara ve/veya tavana monte UVC sistemlerinin montesi ve zemin dezenfektasyon teçhizatı ile birlikte dezenfektasyon kabinleri etkin “virüs-free” ortamların sağlanmasına yönelik olarak çalışılmış ve doğrudan mekana uygulanmıştır. Uygulama ardından günlük HES verileri üzerinden Doğu Üniversitesi, Dudullu Kampüsüne giriş yapan tüm öğrenciler, akademisyenler ve çalışanların durumları haftalık olarak izlenmiş ve değerlendirilmeye alınmıştır.

2. UYGULAMA ÇALIŞMALARI

Çalışma kapsamında kullanılan UVC lambalarının temel özellikleri ve nitelikleri Tablo 2’de verilmektedir.

Tablo 2: Kullanılan UVC germisid lambalarının temel özellikleri ve nitelikleri (LTC, 2022).

PHILIPS TUV T5 36T5 HO 4P SE UNP/32	
Yararlı kullanım ömrü:	9000 saat; (9000 saat sonrasında %5 azalma bulunmaktadır)
Sistem tanımı:	Yüksek çıktı
Renk kodu:	TUV
Güç:	75 W/ampül
Lamba akımı:	0,8 A
Voltaj:	97 V
UVC ışımaya 100 saat:	25 W
EAN- European Article Number/UPC- Universal Product Code:	8711500869708

Burada, ayrıca yatay tasarımı UVCpectra Tube-Hava Dezenfeksiyonu; dikey tasarımı UVCpectra Tower-Ortam Dezenfeksiyonu; sabit konumlu UVCpectra kabin kıyafet dezenfeksiyonu; ve UVCpectra Explorer Zemin Dezenfeksiyonu sistemleri etkililik hesaplamalarıyla birlikte değerlendirilmiş ve en uygun sayı ve düzeyde sistemlerle ilgili etüdüleri tamamlanmış ve gerekli iş akış adımlarına geçilmiştir. Şekil 4’te bu sistemlerin görselleri yer almaktadır:



Şekil 4: Uygulama kapsamında kullanılan dikey ve yatay UVC ışımaya sistemleri ve zemin dezenfektasyon ünitesi.

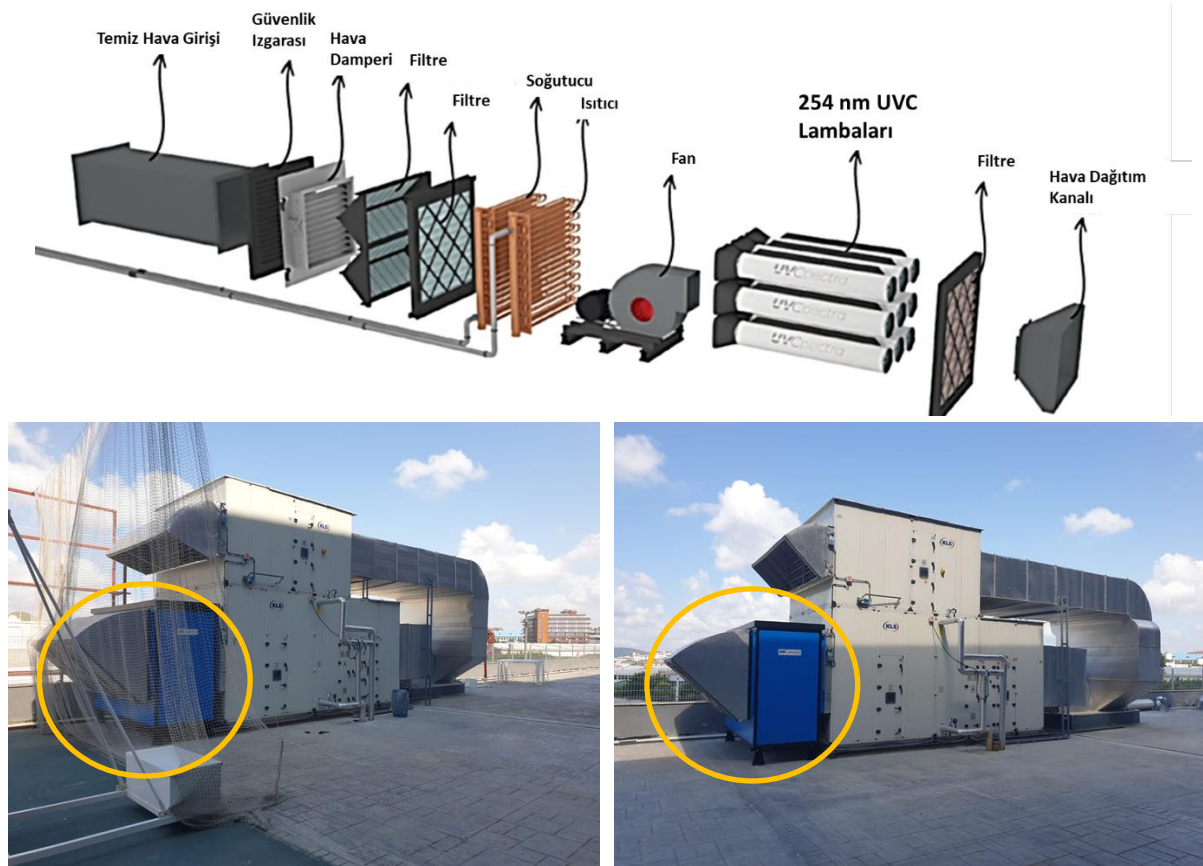
Şekil 4’te gösterilen her bir üniteye 3 adet UVC lamba kullanımıyla 75 W gücünde ve 0.425 lamba akımıyla voltaj 176 V olarak verilmektedir. 100 saatte UV-C ışımaya: 25/31 W olarak hesaplanmıştır. Sabit UV çıktısı, azami dezenfektasyon güvencesi ve yüksek verimde çalışma lamba üreticisi Philips markasıyla taahhüt edilmektedir (LTC, 2022; Philips-Lighting, 2022).

PHILIPS TUV T5 36T5 HO 4P SE UNP/32 germisid lambalar içme suyu dezenfektasyonu, atık sularda, yüzme havuzlarında, gıda işleme ve paketlemede kullanılır. Ana kullanım alanlarından en önemlisi, her türden mekânsal hava ve klima ile hava ve ortamın dezenfektasyonunda kullanılabilmesindedir (Philips-Lighting, 2022).

Bu çalışma kapsamında üretici kuruluş LTC firmasıyla birlikte geliştirilen UVCpectra Explorer Zemin Dezenfeksiyonu içerisinde zemine yönelik maksimum 60 mm mesafeden uygulanan 2 adet 36 Watt Philips TUV PL-L 36W/4P 1CT/25 marka ve modeli UVC lamba bulunmaktadır. Dakikada 60 metre yol alması koşuluyla %99 oranında virüs elimine edebilen bu ürün

(5mj/cm²), dakikada 30 metreye ayarlandığında %99,99 oranında (10mj/cm²) virüs elimine etmesi beklenmektedir. Bu sistemle ilgili patent başvurusu yapılmış olup ilgili süreç devam etmektedir.

HVAC Sistemi, DOÜ Dudullu Yerleşkesinde gerekli yerlere getirilerek montesi yapılmış ve “virüs-free” çalışmalar için hazır hale getirilmiştir. Aşağıda gösterilen Şekil 5’ten de görüleceği üzere gereken montajların yapıldığı HVAC sistemleri kurulmuş ve çalışmaya hazır hale getirilmiştir.



Şekil 5: (üst) HVAC sistem şeması; (alt) Doğuş Üniversitesi Dudullu Yerleşkesine kurulan HVAC Sistemleri.

3. TESTLER VE DEĞERLENDİRMELERİ

Aktif mikroorganizmaların test edilmesiyle ilgili pek çok farklı yaklaşım bulunmaktadır. Özellikle pandemi döneminde doğrudan Covid-19 virüsüne yönelik sertifikeli edilmiş bir test laboratuvarının bulunmaması nedeniyle, literatürden hareketle değerlendirmeler yapılmıştır. Bununla beraber doğrudan bakterisidal etkinlik testi ve ozon testi ile kullanılan sistemlerle ilgili sonuçlar belirlenmiştir (Foarde et al., 2006). DOÜ Virüs Free Kampüs çalışmaları kapsamında uygulanan UV-C lambaların değerlendirilmesinde aşağıdaki testler göz önüne alınmıştır. Bunlar:

1. Aktif madde içermeyen UV-C lambanın “Bakterisidal Etkinlik” testi
2. Ozon testi

3.1. Aktif Madde İçermeyen UV-C Lambanın “Bakterisidal Etkinlik” Testi

Testlerde deneysel olarak, mevcut imkanlardan dolayı UV-C lambaların *Staphylococcus* mikroorganizmalarına karşı etkinliği incelenmiş ve ölçümler yapılmıştır. Tablo 3’te test koşulları ve Tablo 4’te sonuçlar gösterilmektedir.

Tablo 3: Aktif madde içermeyen UVC lambanın bakterisidal etkinlik testi koşulları.

İstenilen test ve çalışılan mikroorganizma	Aktif madde içermeyen UVC lambanın bakterisidal etkinlik testi; <i>Staphylococcus albus</i> 8032
Bakteri Akış Hızı	28,3 L/dak
Toplam Deneysel Akış Süresi	16 dak
Test Alanı	30 m ³
Test Koşulları	(25±2,5) °C ve (50±10) % bağıl nem
Test Mikroorganizması	<i>Staphylococcus albus</i> 8032
<i>Staphylococcus albus</i> 8032 (kob/mL) konsantrasyonu	2,0x10 ⁵ kob/mL
Kullanılan Bakteri Süspansiyon Hacmi	6 mL
Kontaminasyon Süresi (dak)	Test kabini 10 dak süreyle nebulizör spreyleme yöntemi ile kontamine edilmiştir
İnkübasyon süresi/sıcaklık	24 saat/35 °C±2 °C

Tablo 4: Aktif madde içermeyen UVC lambanın bakterisidal etkinlik testi sonuçları.

Üreyen Bakteri Sayısı			
16 dak			
<i>Staphylococcus albus</i> 8032	Kontrol Grubu (A)	Hava Sterilizasyon Cihazı (B)	Ortalama
Bakteri Sayısı (kob/100 L)	9,00x10 ⁷	7,95	% 94,56
Logaritma	4,90x10 ⁶	6,69	
Değerlendirme	Hava sterilizasyon cihazı <i>Staphylococcus albus</i> 8032 bakterisine karşı 16 dak sonunda log _{1,26} cihaz etki göstermiştir.		

3.2. Ozon Testi

ASTM D4490-96 (ASTM-D4490-96, 2016) standardına uygun olarak zehirli gaz ve buharların tespitine yönelik test uygulanmıştır. Laboratuvar ortam koşullarında, gündüz saatlerinde belirlenen bir noktada, ortamda zehirli gaz ve buhar konsantrasyonları ölçümleri yapılmıştır. Ölçüm yapılan parametreye ait ölçüm sonuçları aşağıdaki Tablo 5’te belirtilmiştir.

Tablo 5: Ortamda ozon gazı ve buhar konsantrasyonları ölçümleri.

No	Ölçüm yapılan bölüm	Tapılan işin tanımı	Ölçüm yapılan parametre	Ölçüm saati	Ölçüm süresi, Ölçüm sayısı	Çevre koşullar, sıcaklık, nem	Ölçüm sonucu (ppm)	Sınır Değer (ppm)
Z-1	Laboratuvar Alanı	UVC Lamba	Ozon O ₃	15:30	1 dak 10 tekrar	Sıcaklık 21,7 °C	0,0038	0,05

Seri no:
CpTU3002103
04-JPM08/09

Nem %36

Tablo 5’ten de görüleceği üzere UVC sistemlerinde yapılan ozon ölçümlerinde, ölçüm sonucu 0,0038 ppm olarak bulunmuş ve tespit edilmiştir. Sınır değerin 0,05 ppm olduğu ilgi standartta verilmiş olup, tespit edilen ölçüm sonucu bu sınır değerin çok altındadır.

4. SİSTEM TANIMLAMA

4.1. HVAC Sistemi için UVC Lambalarının Montajı ve Uygulama

Şekil 6’da gösterilen fotolarda, HVAC sistemine UVC lambaların montaj çalışmaları gösterilmektedir. Burada, 254 nm ışıklı PHILIPS TUV T5 36T5 HO 4P SE UNP/32 lambalar kullanılmış olup bu lambaların Philips taahhüdü ve sertifikasıyla nitelikleri şu şekilde verilmektedir: 16 mm çaplı küçük boyutlu bu lambalar sabit UV çıktı, azami dezenfektasyon güvencesi ve yüksek verimde çalışma sağlamaktadır (Tablo 2).



Şekil 6: HVAC Sistemine monte edilen UVC lambalar.

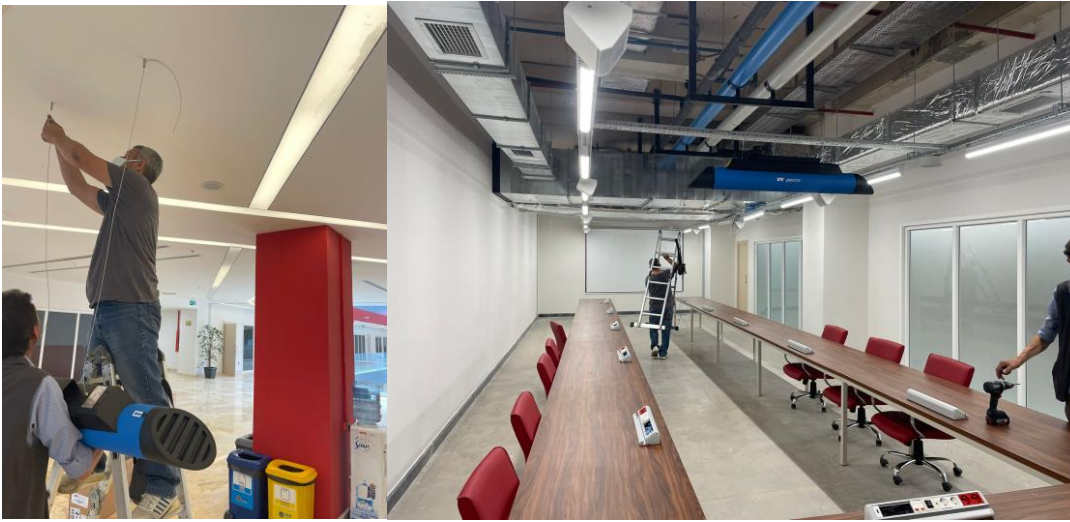
Aşağıdaki Şekil 7’de verilen fotolarda UVC lambaların HVAC sistemine montajı ve montaj sonrası görüntüler verilmektedir.



Şekil 7: UVC lambalarının monte edildiği HVAC sisteminin önden görünüşü.

1.1. Ortam Dezenfektasyonu için Yatay ve Dikey Sistemler

Yatay ve dikey olarak kullanılan UVCpectra Tube Hava Dezenfeksiyon Cihazlarının, yaklaşık her 230 m³ kapalı alan için 1 adet kullanılmasını, ve ortamda bulunan yaklaşık her 10 kişi için 1 adet kullanılmasını, hacim veya kişi başı hesaplamalara bağlı olarak, bunlardan hangisi daha çok gerektiriyorsa, o kadar sayıda kullanılması gereklidir. Bu çalışmada, yerleşke mekanlarındaki verilere uygun olarak sayılar tespit edilmiş ve özellikle öğrencilerin yoğun olarak bulunabileceği alanlar, başta koridorlar, kütüphane, yemekhane, toplantı salonları, anfiler, spor salonu gibi yerlere montesine karar verilmiştir. Bunun yanı sıra dikey ve mobil sistemlerin pratik olarak, yoğunluk olabilecek toplantı salonlarına mobil olarak kurulması planlanmış ve buna uygun olarak uygulama başlatılmıştır (Şekil 8).



Şekil 8: Yatay sistemlerin Yerleşke’deki farklı alanlara monte edilmesi.

1.2. Zemin Dezenfektasyonu için Sistemler

Zemin Yüzey Sterilizasyon Cihazı; halı, parke, kağıt, sentetik malzeme, epoksi kaplama, ahşap kaplama, ahşap, seramik vitrifiye malzemeleri gibi mimari zemin kaplama malzemeleri üzerinde oluşabilecek spor, mantar, mikrop, bakteri ve virüs formundaki bulaş mikroorganizmalarının DNA yapısını, içerisindeki yönlendirilmiş UV-C frekansı sterilizasyon ışık kaynağı ile bozarak sterilizasyonu, ilave sentetik kimyasal malzeme veya doğal sabun türevlerine ihtiyaç duymadan sterilize edebilmektedir. İçerisinde en az üç tekerlek, bir yönlendirme sistemi, güç kaynağı ve bağlantıları ile sadece yere doğru yönlendirilmiş, diğer yönlerde doğru ışık sızdırmazlığı sağlanmış UV-C ışık sistemi özellikli ana gövdeyi oluşturur.



UV-Cpectra Explorer
Zemin Dezenfeksiyonu

Şekil 9: Zemin için geliştirilen (patent süreci devam etmektedir) UVC Zemin dezenfektasyon ünitesi.

Bu sistemin en önde gelen niteliği, tasarım ve yenilikçi fikir olarak Doğuş Üniversitesinden Prof. Dr. Tarık Baykara ve Prof.Dr. Sunullah Özbek'in de bulunduğu bir grup olarak patent başvurusu T.Baykara, A.Demirural, S.Özbek, K.Kartal "ZEMİN YÜZEY STERİLİZASYON MAKİNASI" 2020/06369 numarayla yapılmış olmasıdır. Patent başvuru ve değerlendirme süreci devam etmektedir. Bu yönüyle son derece yenilikçi bir ürün Doğuş Üniversitesi Yerleşkesinde ilk kez uygulanmış olacaktır.

1.3. Nesnelerin Dezenfektasyonu için UV-C Işıma Sistemi



Şekil 10: Dolap formunda UVC ışıklı nesnelerin dezenfektasyonu sistemi.

Dolap formunda UVC ışması ile birlikte gündelik hayatta sık kullanılan her türden nesnenin dezenfektasyonu etkin olarak yapılabilecektir. Gündelik hayatta kullanılan cep telefonları, anahtarlıklar, cüzdan ve benzeri her türden eşya çok kısa sürelerde bu ışmaya tabi tutularak dezenfekte edilebilecektir.

Bu sistemin çalışma prensibi şu şekilde açıklanmıştır:

“Ultraviyole Antiseptik Isınlama (Germicidal UVC Light) Ultraviyole Antiseptik Isınlama uzun yıllarca yapılan yüzlerce test ve tezlerde gücünü göstermiştir. 254 nm ısınlar patojen etkisi olan bulaş özellikli zararlı varlıkların DNA’sı ile reaksiyona girerek tymin köprülerini yıkar”.
<http://uvcpectra.com/tr/cabin>

2. DİKEY VE ASILI UV-C SİSTEMLERİN KAMPÜS UYGULAMASI

Aşağıdaki Şekil 11 ve 12’de verilen fotolarda, UV-C lambalarından oluşturulmuş UV-C tüp sistemlerinin Doğu Üniversitesi Kampüsündeki görüntüleri verilmektedir. Doğu Üniversitesi Dudullu Yerleşkesinin öğrenci, çalışanlar ve öğretim elemanlarınca kalabalık ortamlarda olacakları koridorlar, kütüphane, spor salonu, yemekhane ve kalabalık anfilere system monte edilmiş ve çalıştırılmaya başlanmış ve halen aktif durumdadır.

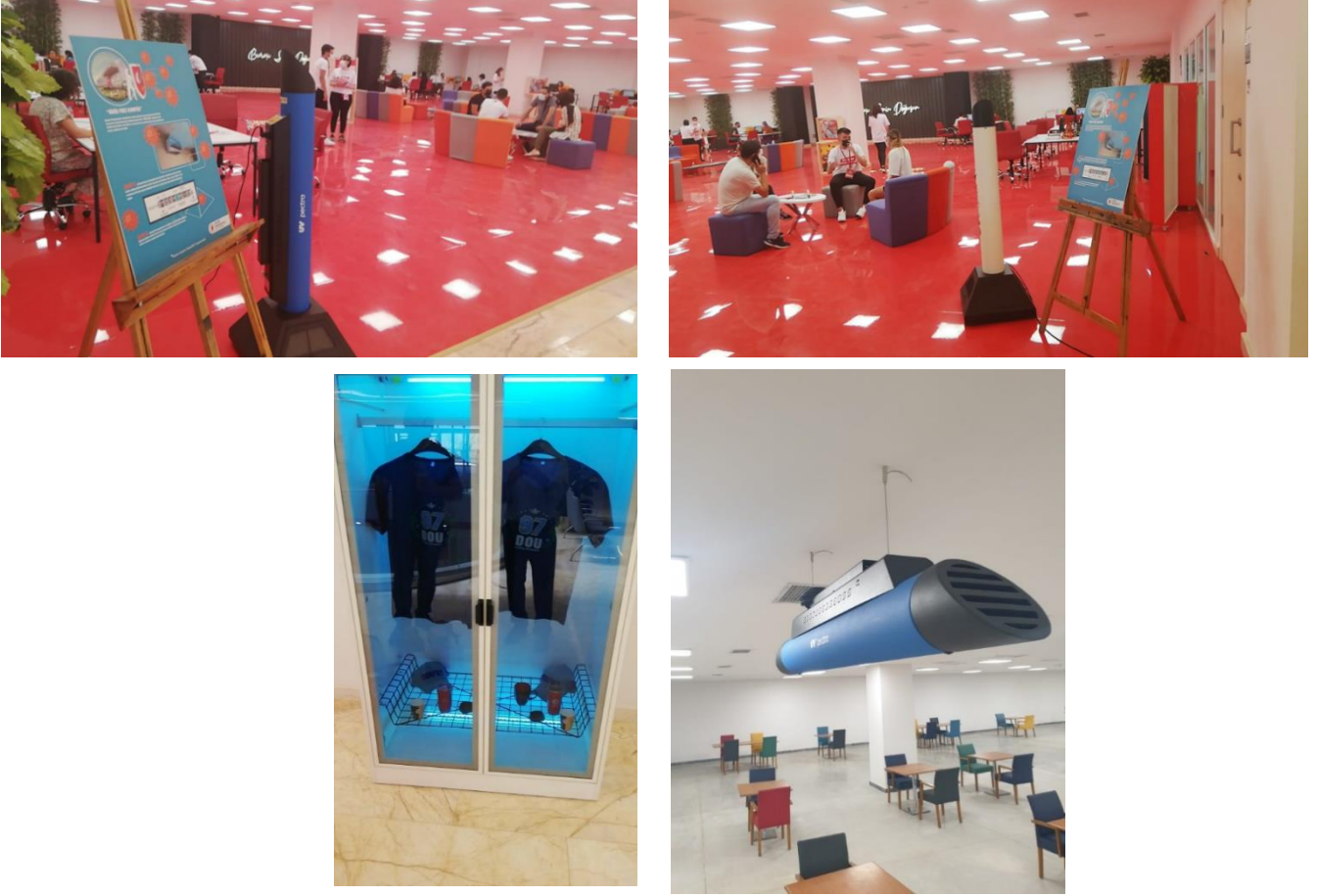


Şekil 11: UV-C Tüp Sistemlerinin Yerleşkenin koridor ve toplantı salonlarına takılması işlemleri.



Şekil 12: UV-C Tüp Sistemlerinin Yerleşkenin koridor ve toplantı salonlarına takılması işlemleri.

2.1. Dikey ve Mobil UV-C Sistemler Montajı ve Uygulanması



Şekil 13: Farklı UVC sistemleri DOÜ Dudullu Yerleşkesinin kalabalık mekânlarına monte edilmiş ve çalıştırılmaya başlanmıştır.

Şekil 13’de verilen fotolarda, UV-C lambalarından oluşturulmuş yatay ve dikey UV-C tüp sistemlerinin Doğu Üniversitesi Kampüsündeki görüntüleri verilmektedir. Ayrıca UV-C sterilizasyonu için hazırlanan dolapta kritik parçaların arındırılması da gerçekleştirilmektedir.

Tüm UVC sistemlerin son aşamada Dudullu Yerleşkesinde uygulanması için UVC sızdırmazlık ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Mobil UVC ölçüm cihazıyla başta HVAC sistemlerinde olmak üzere cihazlarda sızdırmazlık testleri yapılmış ve tamamında hiçbir sızdırma olmadığı tespit edilmiştir.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRİLMELERİ

Halen daha yoğun bir biçimde önlemler kapsamında süren Covid-19 salgını ile mücadelede UVC ışınlarının etkili olduğu bilinmekte olup konuyla ilgili yayınlar devam etmektedir (Alvarenga et al., 2022; Chiappa et al., 2021; Lualdi et al., 2021). Potansiyel enfekte alan ya da enfekte alan dezenfeksiyonu için filtrasyon sistemine ek olarak HVAC sistemine entegre edilecek HVAC TİPİ UVC (Ultraviyole) ekipmanları ile saha güvenliği tam olarak sağlanabilmektedir.

Doğuş Üniversitesi, Ataşehir-Dudullu Kampüsünün havalandırma sistemi içerisine monte edilen HVAC TİPİ UVC donanımı ve diğer etkin UVC system ve cihazları ile Doğuş Üniversitesi ülkemizin ilk ve tek “VİRÜS-FREE KAMPÜSÜ” olma özelliğini kazanmıştır. İlgili HVAC sisteminde mevcut filtrasyon ve benzeri önlemlerin tek başına yeterli olamayacağı bilinmektedir. Böylelikle, yeni kampüsün havalandırma sistemine etkin dezenfektan ve sterilizasyon işlevselliği olan HVAC TİPİ UVCspectra donanımları monte edilmiş ve yeni kampüsümüzde tüm öğrenciler ve çalışanlarımız için belirgin düzeyde ve güvenlikte bir koruma sağlanmıştır.

Tablo 6: DOÜ Virus-Free Kampüs ilk 3 aylık performans verileri.

2020 yılı verileri	Toplam Giriş	% vaka/giriş	ÖĞRENCİ +	ÇALIŞAN +	AKADEMİK +
EKİM					
1-10 Ekim	1657	0,06	1	0	0
11-17 Ekim	2606	0,03	1	0	0
18-24 Ekim	24248	0,06	15	0	0
25-31 Ekim	17186	0,1	25	0	0
KASIM					
1-8 Kasım	7961	0,3	22	4	0
9-14 Kasım	16089	0	0	0	0
15-21 Kasım	19519	0	0	0	0
22-30 Kasım	24531	0,02	4	0	1
ARALIK					
1-6 Aralık	18555	0,005	0	0	1
7-13 Aralık	26556	0	0	0	0
14-20 Aralık	13929	0,05	6	1	0
21-27 Aralık	14856	0,2	35	2	2
28 Aralık	2815	0,4	11	0	0
29 Aralık	2507	1,1	26	1	1
30 Aralık	2534	0,4	11	0	0
31 Aralık	875	1,7	13	2	0
28-31 Aralık	8731	0,7	61	3	3

Tablo 6’da 2021 yılı Ekim-Aralık ayları arasında DOÜ Dudullu Kampüsündeki haftalık giriş sayıları ve bunun yanı sıra HES verilerinden alınmış, testi pozitif çıkan öğrenciler, çalışanlar ve akademik personel sayıları verilmektedir. 2021 Güz Döneminin 18 Ekim 2021 tarihinde başladığı dikkate alındığında, bu tarihten sonra artış gösteren sayılarla salgının Doğuş Üniversitesi Dudullu Kampüsündeki durumu izlenebilmektedir. Veriler haftalık toplam sayıları vermekte olup, 21-27 Aralık haftasındaki omicron varyantının ülkemizde de görülmesine bağlı olarak belirgin bir artış izlenebilmektedir. Ancak, bunun öncesindeki veriler dikkate alındığında tüm gruplar için pozitif vaka sayıları vaka/giriş yüzdeleri olarak son derece düşük seyretmektedir. Özellikle çalışanlar ve akademik personel arasındaki vaka/giriş yüzdelerinin son derece düşük olması, bu kesimdeki kişilerin hem aşılama hem de diğer tedbirler yönünden daha dikkatli olduklarını göstermektedir.

Hiç kuşkusuz ki Tablo 6’daki verilerin doğrudan pandemiye karşı koruma performansı tam olarak yansıtmayacağı açıktır. HES verilerine bağlı pozitif vakaların kaynağının salt Kampüs çıkışlı olması söz konusu değildir. Ancak, haftalık son derece yüksek sayıda bir arada olan böylesi bir ortamda (haftalık 14000-25000 kişi) özellikle öğrenciler arasındaki pozitif vaka sayısının düşük olduğu görülmektedir.

Bu çalışmanın neticelendirilmesi ile Doğu Üniversitesinin yeni Dudullu Kampüsünde, daha steril, temiz ve göreceli olarak güvenli bir ortama sahip olmasının sağlanması gerçekleştirilmiştir.

Çalışma boyunca, UVC fotonizer sistemlerinin seçimi, tedarigi ve montesi gerçekleştirilmiştir. Buna bağlı olarak günlük girişler ve HES kayıtlarından pozitif vaka sayıları izlenmekte olup belirli bir süreç sonunda tam olarak sistemin performansı ortaya çıkmış olacaktır.

Sistemin monte edilmesi ve işletilmesi aşamasında giriş ve çıkış hava ölçümleri, anti-bakteryel ve antiviral etkilerin ölçülmesi için gerekli sistemlerin tasarımı, tedarigi ve montajı ve bakımları sürekli olarak yapılmıştır.

Çalışmada, HVAC TİPİ UVCspectra donanımının hiçbir biçimde bina içerisinde zararlı olabilecek etkilerinin en sıkı bir biçimde kontrolü ve yüzde yüz risksiz bir biçimde çalıştırılmasının sağlanmak üzere sızdırmazlık testleri yapılmıştır. Sistemin sürdürülebilir olması ve yıllarca etkin bir biçimde çalışması için gerekli danışmanlık, bakım, izleme ve denetleme sistematiği yerine getirilecektir. Mobil/taşınabilir havalandırma+dezenfektan+sterilizasyon ünitesi kolaylıkla taşınabilir bir tasarımla açık atmosfere maruz kesimlerde ve mahallerde kullanılmak üzere yapımı sağlanmıştır.

Özellikle yenilikçi bir anlayışla zemin dezenfektasyonu da sağlayan mobil bir “süpürge” görünümlü sistem tasarlanmış ve patent başvurusu yapılmıştır. Doğu Üniversitesi Kampüsünde sürekli olarak kullanılacak bu sistemlerle zemin dezenfektasyonu da etkin bir biçimde yerine getirilecektir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı 2019-20-D2-B01 “Virüs-Free Kampüs: DOÜ Ataşehir-Dudullu” BAP Projesiyle destekleyen Doğu Üniversitesi Mtevelli Heyeti Başkanlığına ve Rektörlüğüne teşekkür ederim.

KAYNAKÇA

- Alvarenga, M. O. P., Veloso, S. R. M., Bezerra, A. L. C. A., Trindade, B. P., Gomes, A. S. L., & Monteiro, G. Q. de M. (2022). Covid-19 outbreak: Should dental and medical practices consider uv-c technology to enhance disinfection on surfaces? – A systematic review. *Journal of Photochemistry and Photobiology*, 9, 100096. <https://doi.org/10.1016/J.JPAP.2021.100096>
- ASTM-D4490-96. (2016). Standard Practice for Measuring the Concentration of Toxic Gases or Vapors Using Detector Tubes. ASTM International. https://www.techstreet.com/standards/astm-d4490-96-2016?product_id=1932713
- Baykara, T. (2019). VİRÜS-FREE KAMPÜS: DOÜ ATAŞEHİR DUDULLU. Doğu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP).
- Chiappa, F., Frascella, B., Vigezzi, G. P., Moro, M., Diamanti, L., Gentile, L., Lago, P., Clementi, N., Signorelli, C., Mancini, N., & Odone, A. (2021). The efficacy of ultraviolet light-emitting technology against coronaviruses: a systematic review. *Journal of Hospital Infection*, 114, 63–78. <https://doi.org/10.1016/J.JHIN.2021.05.005/ATTACHMENT/319623E4-5D0E-4A2E-8CB0-58F7E81FCB85/MMC1 DOCX>
- CR-2-20, I. C. R. (2019). FAQs- Illuminating Engineering Society. Illuminating Engineering Society. <https://www.ies.org/standards/committee-reports/ies-committee-report-cr-2-20-faqs/>

- FDA. (2021). UV Lights and Lamps: Ultraviolet-C Radiation, Disinfection, and Coronavirus | FDA. The U.S. Food & Drug Administration. <https://www.fda.gov/medical-devices/coronavirus-covid-19-and-medical-devices/uv-lights-and-lamps-ultraviolet-c-radiation-disinfection-and-coronavirus>
- Foarde, K., Franke, D., Webber, T., Hanley, J., & Owen, K. (2006). HVAC In-Duct UV Light Systems- American Ultraviolet- [PDF Document]. The U.S. Environmental Protection Agency (EPA). <https://vdocuments.net/hvac-in-duct-uv-light-systems-american-ultraviolet-.html>
- Heßling, M., Hönes, K., Vatter, P., & Lingenfelder, C. (2020). Ultraviolet irradiation doses for coronavirus inactivation – review and analysis of coronavirus photoinactivation studies. *GMS Hygiene and Infection Control*, 15, 1–8. <https://doi.org/https://doi.org/10.3205/dgkh000343>
- ISO-15714. (2019). Method of evaluating the UV dose to airborne microorganisms transiting in-duct. INTERNATIONAL ISO STANDARD. <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/267e7d55-216f-48b3-b531-bde73184f410/iso-15714-2019>
- Kennedy, H. E. (2019). ULTRAVIOLET AIR AND SURFACE TREATMENT. ASHRAE Handbook—HVAC Applications.
- Kowalski, W. (2009). UVGI Disinfection Theory. *Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook*, 17–50. https://doi.org/10.1007/978-3-642-01999-9_2
- LTC. (2022). Light Trade Centre- UVCpectra. Light Trade Center. <https://lighttradecentre.com/tr/uvcpectra>
- Lualdi, M., Cavalleri, A., Bianco, A., Biasin, M., Cavatorta, C., Clerici, M., Galli, P., Pareschi, G., & Pignoli, E. (2021). Ultraviolet C lamps for disinfection of surfaces potentially contaminated with SARS-CoV-2 in critical hospital settings: examples of their use and some practical advice. *BMC Infectious Diseases*, 21(1), 1–13. <https://doi.org/10.1186/S12879-021-06310-5/TABLES/3>
- Philips-Lighting. (2022). UV-C disinfection | Philips lighting. Philips Lighting. <https://www.lighting.philips.co.uk/products/uv-c>
- Saputa, D. (2015). What does ASHRAE say about Ultraviolet Germicidal Lamps (UV-C)?- ppt video online download. Slideplayer.Com. <https://slideplayer.com/slide/12134678/>
- Signify. (2020). Signify and Boston University validate effectiveness UVC light sources | Signify Company Website. Signify.Com. <https://www.signify.com/global/our-company/news/press-releases/2020/20200616-signify-boston-university-validate-effectiveness-signify-uvc-light-sources-on-inactivating-virus-that-causes-covid19>



COMPARISON OF THERMAL ENERGY STORAGE WITH PHASE CHANGE MATERIALS IN PHOTOVOLTAIC PANELS AND PV/T SYSTEMS

FOTOVOLTAİK PANELLERDE VE PV/T SİSTEMLERDE FAZ DEĞİŞTİREN MADDE KULLANILARAK ENERJİ DEPOLANMASININ KARŞILAŞTIRILMASI

<https://doi.org/10.20854/bujse.1071145>

Ecem Şen¹, Melih Soner Çeliktas^{2,*}

Abstract

Solar energy has advantages such as accessibility, applicability, and predictability compared to other renewable energy sources. This energy source is used for many purposes in the world. Photovoltaic panels provide applications such as generating electricity from solar energy or heating and cooling. Their performance changes depending on the PV panel material, the amount of solar radiation, and the operating temperature factors. In the electrical energy conversion of PV systems, overheating of the PV module leads to a decrease in power generation and causes a decrease in efficiency. Therefore, there are cooling methods, divided into two categories as passive and active for cooling of PV panels. In this study, the properties of the phase change material (PCM) used in the cooling of PV panels are given. Furthermore, experimental and numerical studies of PCM in PV cooling and PV/T systems are reviewed in order to improve PV panel efficiency. PCM is reported to reduce the temperature of PV panels and increase the efficiency and power output data obtained.

Özet

Güneş enerjisi, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına kıyasla erişilebilirlik, uygulanabilirlik ve öngörülebilirlik gibi avantajlara sahiptir. Bu enerji kaynağı dünyada birçok amaç için kullanılmaktadır. Örneğin, fotovoltaik (FV) paneller ile güneş enerjisinden elektrik üretimi ısıtma veya soğutma gibi uygulamalar sağlanmaktadır. FV panel malzemesine, güneş ışınım miktarına ve çalışma sıcaklığı faktörlerine bağlı olarak panel performansları değişmektedir ve FV sistemlerde elektrik enerjisi dönüşümünde FV modülünün aşırı ısınması, güç üretiminin azalmasına ve verimin düşmesine neden olur. Bu nedenle FV panellerin soğutulması için soğutma yöntemleri kullanılmakta olup, bunlar pasif ve aktif olarak ikiye ayrılmaktadır. Bu çalışmada FV panellerin soğutulmasında kullanılan faz değıştiren malzemelerin (FDM) özellikleri verilmiştir. Ayrıca, FV panellerin sıcaklığını düşürmek için FDM kullanan çalışmalar ve termal enerjiden faydalanırken FDM kullanarak sistem verimliliği artıran deneysel ve sayısal çalışmalar verilmiştir. Yapılan çalışmalarda, FDM kullanıldığında FV panelin sıcaklığının düşürüldüğü ve buna bağlı olarak sistemin veriminin ve güç çıkışının arttırıldığı görülmüştür.

Keywords: Phase Change Materials, PV Cooling, PV/T, Solar Energy, Thermal Energy Storage

Anahtar Kelimeler: Faz Değıştiren Madde, FV Soğutma, PV/T, Güneş Enerjisi, Termal Enerji Depolama

¹ Ege University Solar Energy Institute, Evka 3,119/1. St. No:2, 35100 Bornova, İzmir, Turkey, ecemsen@gmail.com, orcid.org/0000-0001-9852-9348

^{2,*} Corresponding author: Ege University Solar Energy Institute, Evka 3,119/1. St. No:2, 35100 Bornova, İzmir, Turkey, soner.celiktas@ege.edu.tr, orcid.org/0000-0003-0597-5133

1. INTRODUCTION

Energy is one of the basic needs for people to survive. Due to the increasing population in the world, energy consumption and the need for energy are increasing day by day. Along with the increasing demand, the use of new sources has become mandatory due to the fact that fossil fuels are non-renewable energy sources, and the concerns about global warming have increased. As a result of this situation, renewable energy, which is a cleaner and more sustainable source, has started to be preferred. Solar energy, which is one of these energy sources, has great potential in terms of use in the world. Conversion of sunlight into usable energy forms, which are electrical and thermal energy, is carried out with a photovoltaic (PV) system. The use of photovoltaic systems has become widespread as they can be used both connected to the grid and independent from the grid (Shukla et al., 2017). The majority of solar energy is transformed to heat and lost to the environment via radiation and convection (Haidar et al., 2018). However, using this heat is possible by photovoltaic thermal (PV/T). In these systems, both electrical and thermal energy become available. Efficiency of photovoltaic cells decreases depending on the increase in temperature, and PV cells can be cooled with the use of these systems (Yıldız & Gürel, 2020). The heat transfer in the panel is depicted in Figure 1. Climate variables such as wind velocity, ambient temperature, relative humidity, dust, and radiation cause the temperature of the panel to increase (Elbreki et al., 2016). Therefore, panel cooling techniques are an important factor in increasing the electrical efficiency, reducing the rate of cell deterioration and, accordingly, increasing the lifetime of the panel (Siecker et al., 2017).

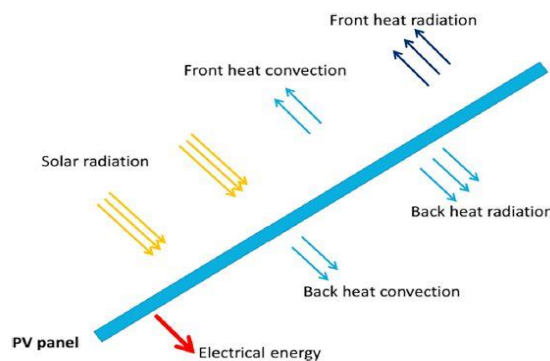


Figure 1: Radiations affecting the PV panel (Haidar et al., 2018).

The amount of heat transfer and the thermal conductivity of the working fluid change depending on the working fluid used, which is one of the most critical parameters in cooling systems (Özeriç et al., 2010). Today, some cooling techniques are used to keep the panel temperature at the desired level. These techniques are divided into active and passive cooling techniques. Passive cooling methods are mostly air, liquid (water, nanofluid, etc.), phase change materials and radiator based (Nižetić et al., 2017), and it is used to lower the surface temperature of solar panels through conduction or natural convection (Tan et al., 2017). In active cooling techniques, air, water or nanofluids as coolants provide cooling of the panel by using an extra energy, and it is more effective but more costly than passive cooling (Ma et al., 2018). The cooling used in active cooling systems is water-based and for photovoltaic/thermal (PV/T) configurations that reduce the high temperature in the PV panel (Nižetić et al., 2018). The use of PV/T systems by using different fluids is a trendy topic in recent years (Joshi & Dhoble, 2018; Sultan & Ervina Efsan, 2018). Apart from generating electricity, the installation

of photovoltaic energy systems on building facades or roofs have become widespread for heating of water and various spaces.

Phase change materials, which have large latent heat capacity, are materials that can act as heat sinks and absorb the heat transferred from the PV cells (Atkin & Farid, 2015; Kakaç et al., 2012). There are types of phase change materials that solidify or melt at different temperatures, allowing the usage in different energy storage methods (Sharma et al., 2009). Detailed studies have recently been carried out on PCMs that have the ability to store latent heat (Sharma et al., 2009; Velmurugan et al., 2021). When phase change materials are used as a passive cooling method, no extra electricity or fluid is required, so less costly or less maintenance may be required compared to the cooling techniques used in PV/T systems (Ma et al., 2019). Moreover, research has been done to increase efficiency and performance of thermal systems, phase change materials are preferred as a good option as thermal storage batteries (Joshi & Dhoble, 2018). The most important role in PCM applications in order to increase the thermal performance in photovoltaic systems is the selection of the PCM. In the article, working principle of PCMs, advantages and disadvantages of PCMs according to their categories, the classification of PCMs and PCM selection criteria investigation are shown in the first section (Part 2). In part 3, PCM applications provided to decrease the temperature of PV panel and PCM applications used in heat (thermal) energy storage are discussed.

2. PROPERTIES AND WORKING PRINCIPLE OF PHASE CHANGE MATERIALS

PCMs are compounds that can absorb and store heat energy during phase change. This heat is called “latent heat”. PCMs can absorb heat energy from the environment and release this energy by changing phase from liquid to solid. Thus, thermal energy is conserved and stored. A solid-liquid phase change process by melting or solidification in PCMs can store large amounts of heat if a suitable material is selected (Yang et al., 2021). PCMs are divided into four according to the phase change which are solid-solid, liquid-gas, solid-liquid, and solid-gas respectively. Solid-liquid PCMs are generally used in thermal energy storage systems due to their high latent heat and small volumetric changes. Moreover, solid-liquid PCMs are classified as organic, inorganic, and eutectics. Organic materials are generally divided into two as paraffin and non-paraffin (Ma et al., 2019). Inorganic materials consist of metallic and hydrated salts while eutectic materials consist of a mixture of two or more PCMs to reach the desired melting temperature (Veerakumar & Sreekumar, 2016). The advantages of the materials are: Organic PCMs have high heat storage capacity, no supercooling, and show good chemical stability over time without decomposition. Inorganic PCMs have almost twice the thermal storage capacity and higher thermal conductivity compared to organic PCMs. Eutectic PCMs combine and solidify harmoniously without causing segregation and allow the phase change temperature to be brought to the desired level with the mixture of different materials. Disadvantages are as follows: Organic PCMs have low thermal conductivity, are flammable, and may show instability at high temperatures. Inorganic salts may show incompatible fusion and precipitation (Cárdenas-Ramírez et al., 2020). Eutectic PCMs show similar properties to organic and inorganic PCMs. The classification of PCMs is presented in Figure 2. PCM phase transition is illustrated in Figure 3.

In PCM applications, the material in the liquid phase can leak out from where it is and can be retained by encapsulation and shape stabilization, as this can cause losses and yield reduction (Cárdenas-Ramírez et al., 2020). Encapsulation is a preferred method as it provides better heat

transfer while preventing possible reactions between the phase transition. Thermal stability and heat transfer efficiency vary according to the particle size used (Ghalambaz et al., 2021). Different encapsulation methods and types have been reported in the literature. For instance, Khadiran et al. (2015) compiled encapsulation techniques for organic PCMs and thermal properties of encapsulated organic PCMs. Huang et al. (2019) valuated the advantages and disadvantages of porous materials (metal foams, graphite, carbon nanotubes, porous silica, etc.) used in shape-stabilized PCMs and their effects on the phase change behavior of PCMs. Milián et al. (2017) classified the methods of core-shell and shape-stabilized encapsulated inorganic PCMs and analyzed the effect on their thermophysical properties, and Kirilovs (2021) integrated the microencapsulated phase change material into the board used in the building indoor wallboard, and the calorific value of the boards increased by 28% when 5% microencapsulated PCM was mixed into the sheet. This showed that the need for cooling in summer can be reduced.

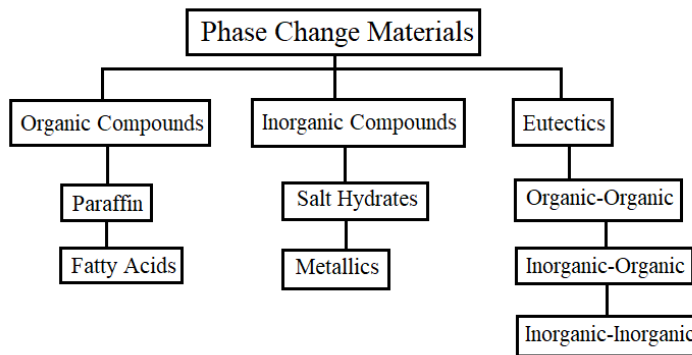


Figure 2: Classification of the PCMs (Cabeza et al., 2011).

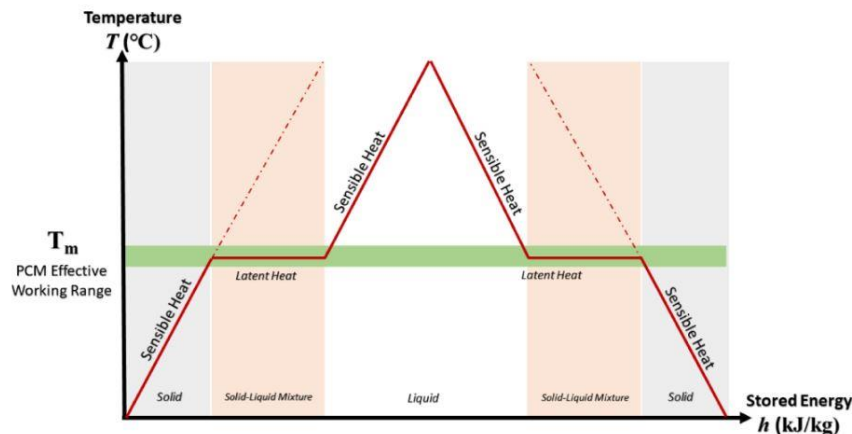


Figure 3: Graph of phase change of PCM (Faraj et al., 2021). (Permission obtained from the publisher).

2.1. Organic Phase Change Materials

Organic PCMs which are carbon-based compounds are the most widely used materials in PV-PCM systems (Ma et al., 2018; Veerakumar & Sreekumar, 2016). These materials can be open chain saturated alkanes, fatty acids, and paraffins, which are vegetable oils (Chandel & Agarwal, 2017). Wide temperature range for phase transition, high latent heat fusion, no subcooling process, chemical stability within 500°C and recyclability, and excellent

compatibility with other materials are all advantages of organic PCMs. However, it has lower thermal conductivity (0.2 W/m K) and a wide surface area is required to increase the heat transmission rate. There are two types of organic PCMs: paraffin and non-paraffin materials (Zhou et al., 2012).

2.1.1. Paraffin

Paraffin is widely used in thermal and solar energy storage systems due to its large latent heat, non-corrosive and non-toxicity features. However, the limited thermal conductivity of paraffin can be a disadvantage for larger storage applications (Sahan & Paksoy, 2014). Paraffin consists of a mixture of straight chain alkanes ($\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_3$). The latent heat is released during the phase change, and it occurs as a result of the crystallization of the CH_3 chain. Since the melting point and latent heat of fusion may rise with the change of chain length, it may be utilized in a wide range of temperatures. Paraffin is inert, stable and forms low vapor pressure in the liquid state below 500°C (Sharma et al., 2009).

2.1.2. Non-paraffin

Fatty acids, esters, and alcohols from non-paraffin materials are also used in photovoltaic systems. However, they are more unstable in comparison to paraffin. Fatty acids are among the most extensively used organic molecules that have been investigated in recent years, and fatty acids have many promising properties for thermal energy storage. They are reasonably affordable and widely employed in a variety of applications (Ma et al., 2019). Fatty acids, which are more preferred than others, are relatively inexpensive, preferred for wide phase change temperature range and large-scale thermal energy storage systems, and the melting points of fatty acids are between 7 and 71°C (Kenisarin, 2014). The properties of some organic materials are given in Table 1 below.

Table 1: Comparison of organic materials (Sharma et al., 2015).

Material	Melting Temperature ($^\circ\text{C}$)	Heat of fusion (kJ/kg)
Paraffin		
Paraffin wax	64	173.6
Naphthelene	80	147.7
Biphenyl	71	119.2
Eicosane	36.6	247
Paraffin C21-C50	66-68	189
Propionamide	79	168.2
Non-paraffin		
Dimethyl sabacate	21	120-135
Elaidic	47	218
Myristic	54	187
Nonadecylic	67	192
Vinyl stearate	27-29	122

2.2. Non-Organic Phase Change Materials

Inorganic PCMs are generally divided into two as hydrate salts and metals. These materials are denser, cheaper and more energy efficient than organics. On the other hand, they are

highly corrosive and do not have crystalline structures, when they reach the solid phase; large volume changes and corrosion effect are disadvantages (Khadiran et al., 2015; Sharma et al., 2009).

2.2.1 Hydrated salts

Salt hydrates are one of the inorganic salts containing one or more water molecules. It is one of the cheapest PCMs with a cost of 0.13-0.46 \$/kg. It is widely preferred in storage systems with its high thermal conductivity and good latent heat capacity. Moreover, they have wide melting temperature range which is 5-130°C, and they are not flammable and can be recycled. However, there is a large volume change during the phase change, and this can be corrosive to the metals it comes into contact with. In hydrated salts, the latent heat is released before it reaches the melting temperature, and this causes excessive cooling. These problems are controlled by studies (Casini, 2016; Kenisarin, 2014).

2.2.2. Metallics

Metals are materials that do not need fillers and conductivity-enhancing materials and have higher thermal conductivity compared to other phase change materials. Thus, they do not require much weight and cost. However, it is generally not preferred to be used due to its low transition heat (fusion) per unit weight. Despite this disadvantage, it does not have problems such as supercooling large volume changes during phase change and corrosion in inorganic materials, so it can be an alternative in energy storage applications (Cabeza et al., 2011; Faraj et al., 2021).

2.2.3. Eutectics

Eutectic phase change materials are mixtures of two or more organic phase change materials. These materials are obtained to have the desired properties. Generally, mixtures of eutectic fatty acids have a lower melting temperature and higher heat storage density than their constituent organic materials. Moreover, the high melting temperature of organic materials creates problems in some energy storage applications, and it is preferred by researchers in terms of mixing organic materials into eutectic materials, obtaining the desired melting and freezing temperature and high latent heat energy storage properties (Mohamed et al., 2017; Singh et al., 2021).

2.3. The Properties of PCMs as a Thermal Energy Storage Material

Selection of the appropriate PCM plays a major role in latent heat energy storage applications. There are many various properties, and certain criteria must be considered when deciding the most suitable material. One of the basic criteria is that the melting point of the material is expected to be higher than ambient temperature and smaller than heat temperature. Having a melting temperature suitable for the conditions of the installed system is efficient in increasing the thermal performance. There are certain criteria in the selection of the suitable phase change material. These criteria are used when choosing the appropriate PCM. The amount of latent heat storage and phase change situation are effective in evaluating the performance of PCMs. These are shown below (Magendran et al., 2019).

2.3.1. Thermal properties

Suitable phase transition temperature: The temperature of the cooling or heating area should be suitable with the phase change temperature of the chosen PCM.

The amount of latent heat and specific heat: The large latent heat storage capacity of the PCM during phase change and the possibility to store sensible heat for the same temperature difference indicates that the thermal storage density is high. This allows physical size of heat storage to be reduced.

High thermal conductivity: High thermal conductivity allows good heat transfer, rapid storage or release of heat energy in the relatively lower temperature range. This feature can increase the efficiency of storage.

Compatible melting: PCMs should have a stable chemical structure in phase states, thus avoiding phase separation where density differences between solid or liquid phases are problematic (Wei et al., 2018).

2.3.2. Physical properties

Favorable phase balance: Phase change stability should depend only on temperature.

Low vapor pressure: The low vapor pressure during the phase change temperature means that the material has no possibility of evaporation or degradation.

High density: The high density of PCMs indicates that the amount of heat storage per unit volume is high and allows a smaller storage container size.

Little volume changes in phase change: While little volume changes reduce the problem of storage of the material, it shows that heat transfer can be achieved with smaller volume changes (Wei et al., 2018).

2.3.3. Kinetic properties

No supercooling: Supercooling has been particularly problematic for hydrated salt. Supercooling or supersaturation of more than a few degrees inhibits heat transfer during phase change (Wei et al., 2018).

Crystallization rate: The reaction of the storage medium to the material can increase the thermal performance of the PCMs (Wei et al., 2018).

2.3.4. Chemical properties

Long term chemically stable: There should be no chemical degradation as a result of phase changes. This increases the long-term reliability of the storage capacity.

Low corrosiveness and anti-oxidation: It indicates that the PCM is compatible with the containers in which it is located and makes it less costly to select the containers.

No toxicity and fire hazard: PCM should not be flammable, explosive or toxic to the environment and safe to use (Wei et al., 2018).

2.3.5. Economics properties

The low cost and large-scale availability of PCMs are economically important (Wei et al., 2018).

2.3.6. Technical properties

It is expected that the selected phase change material will be technically reliable, applicable, and efficient. However, it is difficult to reach a material that will meet all the given criteria. The fact that the phase change temperature of the material is compatible with the temperature of the working environment greatly increases the function of the material as well as the latent heat capacity, leading to low costs. Moreover, PCMs' heat transmission characteristics can be improved via encapsulation method (Wei et al., 2018). Also, the summary of specifications required to use PCMs are shown in Table 2.

Table 2: Summary of the properties of PCMs (Leong et al., 2019).

Thermal	Physical	Kinetic	Chemical	Technical	Economics
Phase transition	Stability	Supercooling	Chemical stability	Applicable	Cost
Latent/Specific heat	Vapor pressure	Crystallization	Corrosiveness	Efficient	Availability
Thermal conductivity	Density	-	Toxicity	-	-
Melting	Volume changes	-	-	-	-

3. PHASE CHANGE MATERIALS IN PV COOLING APPLICATIONS

While some of the solar radiation amount reaching on a typical PV panel can be converted into electricity, the remaining amount is converted into heat, and this heat causes the cell temperature to increase in the PV panels. Depending on this temperature increase, a decrease in power generation and efficiency is observed. Temperatures higher than the panel's standard operating temperature (25°C) diminish its efficiency. The PCM integrated into the PV panel allows to increase the thermal performance by keeping the panel temperature at a lower level. Numerous studies have been carried out examining the thermal properties of PV panels combined with PCM. Stropnik and Stritih (Stropnik & Stritih, 2016) wanted to increase the efficiency and power output of solar panels by PCM RT28HC which has 27-29°C melting temperature range and high thermal energy storage capacity. PCM was located to the back of the module which used monocrystalline silicon solar cell. Two panels with and without PCM were simulated in TRNSYS software according to the cell temperatures, and the outcomes of the simulation were compared with the experimental data. According to the experimental studies carried out under certain climatic conditions in Ljubljana, Slovenia in October 2013, the temperature of the panel with PCM was 35.6°C, which was lower than the temperature of the panel without PCM. In addition, the annual increase in electrical energy production was 7.3%, and energy production efficiency was 0.8% compared to the panel without PCM.

Hasan et al. (2014) aim to increase the efficiency and life of the panel by keeping the temperature of the photovoltaic panel at a low level. PCM is integrated into the PV panels in order to absorb excess heat. Experiments were conducted in Ireland and Pakistan, which have two different climates. The results obtained in Pakistan were determined to be less costly. Hasan et al. (2014) investigated the relationship between the phase transition properties of the material consisting of five different (paraffin waxes, salt hydrates, and mixtures of fatty acids) PCM mixtures and the electrical efficiency of the PV panel. Differential scanning calorimetry and temperature history technique were used to measure the phase transition properties. Kant et al. (2016) have done the research of heat transmission of the panel

combined with PCM. It is understood from the results that the convection effect in the molten PCM, the angle of inclination of the PV panel, and the wind velocity are important factors in the heat and mass transfer calculations of the PV panel. The heat transfer scheme is shown in Figure 4a. It has been observed that it is reached when wind velocity is 4 m/s and tilt angle of the panel is 30°.

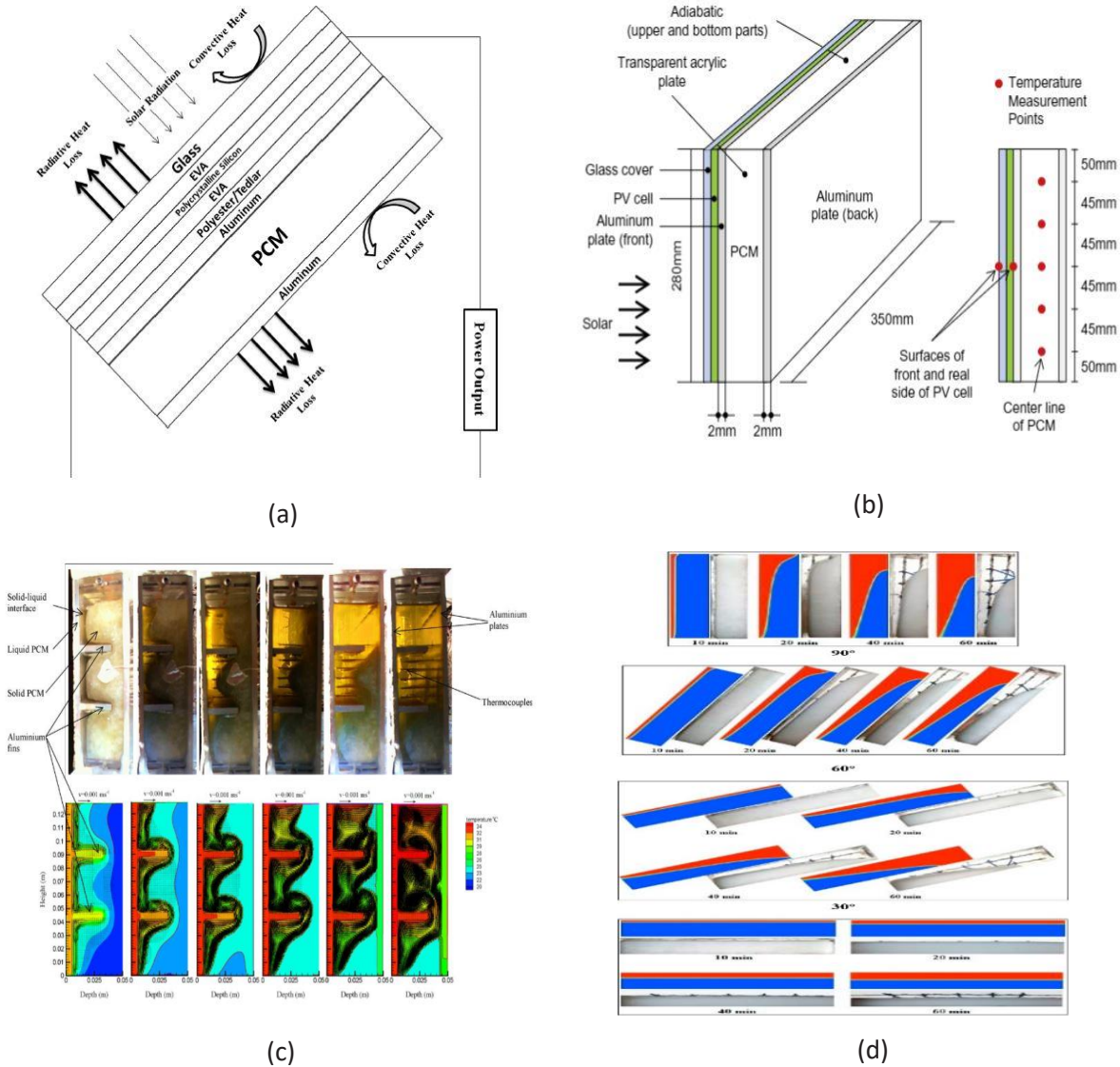


Figure 4. (a) View of PV panel and heat transfer flow diagram (Kant et al., 2016), (b) Schematic diagram of PV/PCM layers (Park et al., 2014), (c) Melting process and predicted isotherms PV/PCM system with fins (Huang et al., 2004), (d) Different melting stages according to 4 tilt angles (Abdulmunem et al., 2021). (Permission obtained from the publisher).

Park et al. (2014) analyzed the impact of changing the PV-PCM module's installation direction, and annual electrical energy generation according to the melting temperature and thickness of the PCM were analyzed in simulation. Layers of the PV module are shown in Figure 4b. With the addition of PCM, the annual electrical power output increased by 3%, and the effect of PCM on the panel decreased due to weather conditions in winter.

Huang et al. (2004) investigated experimental and numerical simulations of PCM to reduce the temperature rise of a building integrated photovoltaic panel. They designed three

different systems: a single flat aluminum plate system, a PV/PCM system without an inner fin, and a PV/PCM system without an inner fin. The PCM melting process and the predicted isotherms are shown in Figure 4c. According to the results, the metal fins ensured homogeneous temperature distribution in the PCM container, but the increased number of fins may restrict the movement of the molten PCM.

Abdulmunem et al. (2021) researched the effect of the solar radiation amount reaching the panel surfaces which have different tilt angles on the melting performance of the PCM. Four different tilt angles (0°, 30°, 60°, and 90°) were considered in numerical modeling and experiments. According to the results, it was seen that the melting process time of PCM decreased as the angle of tilt increased. The time-varying solid-liquid transition according to different tilt angles is shown in Figure 4d. As a result, the PV cell temperature decreased between 0.4%-12%. It was understood that the cooling performance decreased at lower tilt angle.

Abdelrahman et al. (2019) experimentally studied the effect of PCM (RT35HC) and PCM mixed with nanoparticles (Al_2O_3) on the temperature attitude of the PV panel front surface in order to develop the performance of photovoltaic cells. Three different configurations (11, 18, 22 fins) of heat sink and thermal conductivity enhancing cylindrical fins placed inside the PCM tank were made. The results revealed that cylindrical fins with PCM caused 20-46.3% temperature drop in front surface temperature.

Bayrak et al. (2020) conducted an experimental investigation to determine the system performance effects of PCM, thermoelectric and aluminum fins, which are cooling techniques. It was seen that as aluminum fin number and thermoelectric components on the back-side of the panel increased, the panel's surface temperature decreased. The output power of the panel was increased 2.14% by using the cooling system with fins and 7.72% by using thermoelectric modules. Senthil Kumar et al. (2021) designed a cooling system to see the effects of temperature drop in PV panel on the efficiency of the panel according to Indian climatic conditions. The thermal conductivity of PCM was increased by mixing with copper and silicon carbide powders. Two prototypes were created to evaluate the effect of the prototypes. With the use of integrated PCM, the average temperature of the PV panels was decreased by 4°C- 5.4°C, and the electrical efficiency was increased by 3% on average.

Lu et al. (2018) numerically and experimentally discussed the heat transfer property of a concentrated PV system using PCM. In the experimental study, a solar radiation intensity of 670 W/m^2 was employed with a solar simulator. Since the standard operation temperature of the PV cells is 25°C and the melting temperature of the phase change material is around this temperature, R27, a type of paraffin, was chosen as the suitable PCM. It has 25-28 °C melting temperature range, 870 kg/m^3 density value and when solid and liquid, specific heat capacity is 1.8 and 2.4 kJ/kg K respectively. As a result of the experimental measurements, it was shown that when the PCM system is integrated, it can decrease the solar-based temperature rise above 20°C, resulting in an increase of approximately 10% in the solar to electricity efficiency. Numerical simulations were made by attaching horizontal and vertical aluminum fins of different thicknesses to increase the heat transfer inside the PCM. These fins have been observed to improve the thermal performance of the PCM system, and the vertical fin system has been shown to reduce the temperature of the PV system by 25°C compared to the PV without PCM.

Hasan et al. (2017) evaluated the year-round energy-saving capacity of a PV/PCM system in the United Arab Emirates with an extreme hot environment. The use of paraffin based RT40 phase change material was deemed appropriate. PCM's performance has varied over the months. Using PCM, the PV temperature decreased by 13°C in April and 8°C in June. Due to the high temperature during the night in the summer, the PCM could not fully solidify. It did not get enough heat energy to melt entirely in the winter, which hampered its performance. The best performance was achieved in the milder months which are spring and autumn months. The maximum average and maximum temperature drop on the front-side of the PV with PCM are seen in October and April. Accordingly, it is seen that there is less temperature drop in winter and summer than in other warmer months. As a result, the average PV temperature at peak time dropped by 10.5°C, resulting in a 5.9% annual increase in PV power output.

Ma et al. (2018) stated that there are some unresolved problems or uncertainties in the use of PCM in PV panels and difficulties in modeling the effect of PCM. In order to examine these problems, they developed a thermal resistance model using the developed conductivity method, and as a result of the numerical simulation, it was seen that ignoring the PCM radiative and convective heat transfer would cause problems. According to the simulation of more than 300 events and the bivariate analysis, each increase in solar radiation of 100 W/m² results in a 5°C rise in temperature. The best performance can be attained when PCM melting temperature is higher than ambient temperature.

Atkin and Farid (2015) analyzed the thermal response of the PV-PCM system under 960 W/m² daylight. The experimental setup of the system is shown in Figure 5. To evaluate the system's efficiency, they made four different assumptions: case A, case B, case C, and case D. Case A is PV panel without thermal regulation, case B is PV panel with PCM which is 30 mm thick graphite on the back, case C is case PV with finned heat sink located to the back, and case D is PV panel case with a pair of PCM infused graphite and finned heat sink. The schematic illustration of the cases is shown in Figure 5. Case D was the most efficient at increasing the overall efficiency of the PV panel, with the largest efficiency increase of 12.97%. Analyses to improve efficiency show that PCM-based thermal regulation needs to be used with heat sinks if it is to be an effective method to become viable.

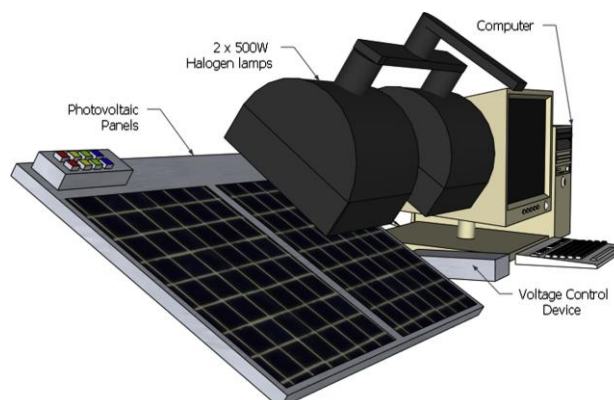


Figure 5: Experimental setup of PV system (Atkin & Farid, 2015). (Permission obtained from the publisher).

Tan et al. (2017) showed the effect of fins inside the PCM on efficiency and power output by examining finless, 3, 6, and 12 fin configurations in a PV/PCM system under unreal environment conditions.

The PCM used in the study is paraffin wax (RT27) which has a melting temperature of 27°C, is non-corrosive, has a high latent heat storage capacity (184 kJ/kg) and is suitable for use in this system. Since the thermal expansion of the PCM in liquid state at 40°C was approximately 16%, to permit for thermal expansion during heat removal, paraffin wax was charged to 80% of the enclosure capacity. According to the experimental results, the highest panel temperature was seen in the PV panel without PCM, that is, naturally cooling, while the lowest temperature was noticed in the 12 fins PV/PCM system. Compared with the inherently cooled PV system, the maximum temperature was 15, 13, 10, and 5°C for the 12, 6, 3 fins, and finless PV/PCM system, respectively. Increasing the number of fins resulted in a rise in the heat transfer area, which accelerate the melting of PCM. Thus, rising the number of metallic fins has a consistent effect on reducing the panel temperature.

4. APPLICATIONS OF PHASE CHANGE MATERIALS IN PV/T SYSTEMS

Photovoltaic panels are frequently preferred today due to their work under diffuse radiation ability. In practice, 15-20% of solar radiation is converted into electricity, and the remaining radiation acts as heat. In hot climate regions, PV temperature can go up to 80°C. Depending on the increase in temperature, panel efficiency decreases. With the use of photovoltaic/thermal (PV/T) systems, heat is used while the PV module generates electricity (Brahim & Jemni, 2017). Heat is transferred to the used fluid (air, water, oil) and is used in many useful applications after being transported (Yang et al., 2018). One of them is the use of hot water. Hot water is used for heating or cooling in domestic or industrial places. In air-based PV/T systems, the use of heat is provided by air. It is then used in applications such as space heating or crop drying (Laghari et al., 2020). In hybrid-based systems, solar energy is used both to generate electricity and as hot air and hot water. Its advantage is that it can be used in two different fluids and can be used in two different applications at the same time (Jarimi et al., 2016). However, the storage of this heat causes some problems. Therefore, PCMs with latent heat storage technology are used in PV/T systems. The temperature of the fluid decreases more slowly thanks to the PCM, and the fluid temperature is kept at the desired level. Thus, the efficiency of the solar thermal system increases (Islam et al., 2016).

4.1. Air Cooled PV/T-PCM Systems

Air cooling techniques are divided into two categories: Active and passive cooling. In the active method, the air is circulated behind the panel by using fans. In passive cooling, natural air flow is used without the need for extra power (Laghari et al., 2020). The thermophysical properties of air are less than that of water. However, air-based systems come to the forefront due to the use of less material and lower operating costs compared to water-based cooling (Su et al., 2017). Figure 6 shows the PCM integrated PV/T collector.

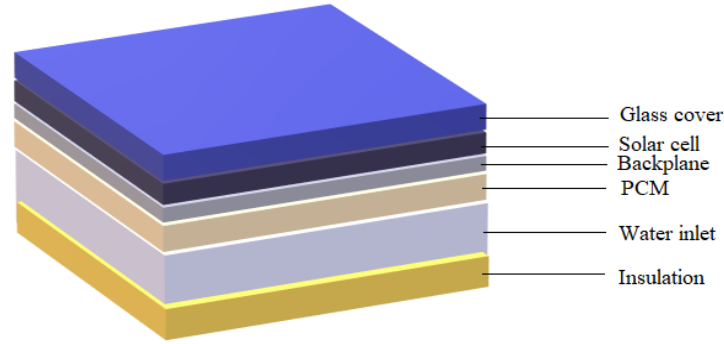


Figure 6: Layers of PCM integrated PV/T collector.

Akshayveer et al. (2021) investigated the natural air integrated PV/T-PCM system to use the heat in the PV panel. They developed numerical modeling for this system and approved it with experimental data. In addition, numerical studies have been carried out to compare the thermal and electrical behavior of PV, PCM integrated PV, and PV/T-PCM systems. The results showed that when using PCM in PV, a 25% decrease was observed in cell temperature, and 35% decrease was observed when air and PCM were integrated. The electrical efficiency of the cells was 14.12% and 19.75% for PV/PCM and PV/T-PCM systems, respectively, as a result of the temperature fall.

Lin et al. (2021) designed a laboratory-scale experiment and developed an optimization strategy under Australian climatic conditions to investigate the PVT/PCM system's electrical and thermal behavior. Analyses were made with changes in slope, air flow rate, orientation. The aim is to determine the most suitable design and test the control method. The collector has the ability to rotate 360° and adjustable inclination of 0°-35°. The air channels through which the air is used as the working fluid passes with the help of fans. The heated air was used for indoor heating. The S21 PCM material, consisting of twelve PCM bricks, was used for thermal energy storage. The efficiency of the PV/T-PCM system increased when the slope of the PV/T collector was increased and its direction was turned 0° north. The energy efficiency of the system increased from 37.6% to 40.2% compared to the non-optimized system when the optimization was made, and the daily usage rate of the thermal energy storage capacity increased from 13.3% to 79.5%.

Tariq et al. (2020) utilized suitable PCM for climatic conditions and analyzed the PV/T system based on multidimensional data, where the most suitable PCM was selected based on its environmental and economic effects. RT35HC was used for tropical savanna climate, RT28HC for hot semi-arid climate, and RT25HC PCM for highland climate regions. When using the ideal PCM, there was an increase of about 20%-24% compared to the PV/T system without PCM. The highest performance increase was in the savanna climate with regular climate changes (Tariq et al., 2020).

4.2. Water Cooled PV/T-PCM Systems

Yang et al. (2018) investigated the use of PCM in an experimental study to increase the energy production potential in a PV/T-PCM system under the influence of solar radiation. For comparison, the PV/T system was used. Firstly, power output, panel temperature, and tank water temperatures were measured to calculate the energy efficiency of the two systems. It was observed that the heat loss was reduced in the PCM integrated system. By using PCM with 800 W/m² radiation and 0.15 m³/h water velocity, energy efficiency increased by 14%.

The power output increased by 7.4 W. Thermal efficiencies were 58.35% in the PV/T system, whereas 70.34% in the PCM integrated system, which indicated that the efficiency was increased by cooling the back of the panel.

Bakır et al. (2021) investigated the effect of different shading conditions on collector power and hot water output by comparing PV/T systems with and without PCM. Experiments were carried out in Turkey on days when the weather was not cloudy in July. PCM was used for hot water storage and Calcium Chloride Hexahydrate was selected. Shading conditions were compared according to three different inclination angles (25°, 30°, and 35°). According to the outcomes of the experiments, the hot water outlet temperature in the PV/T collector with PCM is 7°C higher than the one without PCM. Moreover, energy efficiencies for 25°, 30°, and 35° inclination angles were found to be 73.26%, 84.70%, and 68.96%, respectively.

Carmona et al. (2021) used a conventional PV module and a PV/T-PCM module for experimental comparison. Organic paraffin wax RT35 phase change material with a fusion temperature of 29-36°C is used because it helps the PV cells maintain a low operating temperature while achieving beneficial results. Often the charged heat is greater than the discharged heat, indicating that there is thermal energy that can be used at night. Moreover, when the heat discharged is greater than the heat charged, this is due to the temperature difference in the PCM between sunrise and sunset. As a result of the experiments, the daily electrical efficiency of the PV/T-PCM system increased by 7.43% compared to the PV module.

Browne et al. (2016) designed a PV/T-PCM system that generates electricity, stores heat and preheats water in Dublin, Ireland. In the system, a PV module is combined with a thermal collector-system, and heat is transferred from a heat exchanger linked in the PCM to the tank via a thermosiphon flow. Performance of four different systems are compared: System 1: PCM with thermal collector and thermosiphon, System 2: Without PCM, System 3: container with heat sink, and System 4: PV panel only. The results showed that the PV/T-PCM system had a greater impact on thermal performance and PCM increased the thermal energy removal from the PV up to seven times compared to a system without PCM. Moreover, it was seen that the temperature of the water in the PV/T with combined PCM system was 5.5°C higher than the system without PCM. This proved to be an influential way of storing heat for later use using PCM.

Preet et al. (2017) performed an experimental study to analyze the electrical efficiency change caused by the cooling of the PV panel. The uncooled temperature of the PV module reached 85°C, and the maximum temperature was reduced by 47% in the system without PCM, which is in the water-cooled system only, and 53% in the PV/T-PCM system. Fayaz et al. (2019) included PCM in the system to increase the thermal performance of the PV/T system. Five different PCMs were examined, and safety was determined as the most important selection criterion. Among the tested PCMs, A44 paraffin wax was preferred because of its reliability and suitable temperature range. The low thermal conductivity efficiency was ignored. In the results, PV, PV/T, and PV/T-PCM systems were compared. The maximum temperature of the PV panel was 75.6°C and 75.1°C while it was 67 and 69.3°C for PV/T, and 63°C and 64.8°C for the photovoltaic-thermal system with PCM numerically and experimentally, respectively. The maximum temperature drop was 8.3°C and 8.1°C for the PV/T system and 12.8°C and 12°C for the PV/T-PCM system numerically and experimentally. The highest efficiency was 89.9% and 88.84% for PV/T, 85.88% and 82.87% for PV/T-PCM numerically and experimentally, respectively.

Hossain et al. (2019) approved the energy, exergy, and economic performance of the system by integrating PCM into the PV/T system, and comparisons have been made according to the reference PV. The lauric acid selected PCM was placed around the flow channel. Investigation was made according to different volumetric water flow rates. According to the results, the maximum electrical output power and efficiency were achieved at a flow rate of 4 L/min. Moreover, the PV/T system efficiency was 4.72% higher when compared to the reference PV. Each 1°C decrease in cell temperature increased the output power by 8.76W and the electrical efficiency by 0.37%. The maximum thermal efficiency was 87.72% when the flow rate was 2 L/min, and the highest temperature increase was 26.40°C when the flow rate was 0.5 L/min. While the maximum exergy output of 134.10 W was obtained at 0.5 L/min, a maximum average exergy efficiency of 12.19% was seen at a flow rate of 1 L/min.

5. CONCLUSION

In this paper, the advantages and disadvantages of PCMs, the factors that are important when choosing a PCM, and the studies that enable PCMs to cool PV panels and store thermal energy in air and water-based PV/T systems are presented. From this study, it is concluded that applications that provide cooling by using heat are necessary in order to benefit from the best efficiency in photovoltaic cells and to control the increasing cell temperature. Phase change materials are one of the effective cooling techniques today. However, it is necessary to evaluate with cost management techniques whether the cost of PCM implementations exceeds the amount of savings achieved.

Carbon containing PCMs are the most often utilized photo-thermal PCMs. Introducing metal particle effects to boost light absorption or change the heat transfer mode of carbon containing PCMs is a very sensible way to solving their low efficiency. Despite its importance as a research area, however, there are comparatively less studies on this topic. This is also a promising area for discovering novel photothermal fillers.

In addition, the full compatibility of PCMs with PV systems, as well as their applicability and environmental consequences, should be evaluated.

From a cost perspective, PCM is expected to have a longer payback period as additional costs can be inquired to the established systems. On the other hand, if the energy obtained from PV panels is to be used for hot water, ventilation, heating or electricity generation, economic benefits are expected to increase. Thus, the additional costs of PCM can be ignored. Therefore, life cycle analysis and economic evaluations of PV systems should be made. Research into the creation of multifunctional energy conversion PCMs is still popular and important. More work should be done to improve the properties and efficiencies of energy conversion PCMs, as well as to increase their use.

ACKNOWLEDGEMENT

This article was produced from a master's thesis, advised by Assoc. Prof. Dr. Melih Soner Çeliktaş, Solar Energy Institute at Ege University.

REFERENCES

- Abdelrahman, H. E., Wahba, M. H., Refaey, H. A., Moawad, M., & Berbish, N. S. (2019). Performance enhancement of photovoltaic cells by changing configuration and using PCM (RT35HC) with nanoparticles Al₂O₃. *Solar Energy*, 177(October 2018), 665–671. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.11.022>
- Abdulmunem, A. R., Mohd Samin, P., Abdul Rahman, H., Hussien, H. A., Izmi Mazali, I., & Ghazali, H. (2021). Numerical and experimental analysis of the tilt angle's effects on the characteristics of the melting process of PCM-based as PV cell's backside heat sink. *Renewable Energy*, 173, 520–530. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.04.014>
- Akshayveer, Singh, A. P., Kumar, A., & Singh, O. P. (2021). Effect of natural convection and thermal storage system on the electrical and thermal performance of a hybrid PV-T/PCM systems. *Materials Today: Proceedings*, 39, 1899–1904. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.010>
- Atkin, P., & Farid, M. M. (2015). Improving the efficiency of photovoltaic cells using PCM infused graphite and aluminium fins. *Solar Energy*, 114, 217–228. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.01.037>
- Bakır, E., Bayrak, F., & Öztop, H. (2021). Şebekeden bağımsız ev tipi uygulamaları için PCM destekli PV/T kolektörlerinin deneysel analizi. *European Journal of Science and Technology*, 23, 627–636. <https://doi.org/10.31590/ejosat.841922>
- Bayrak, F., Oztop, H. F., & Selimefendigil, F. (2020). Experimental study for the application of different cooling techniques in photovoltaic (PV) panels. *Energy Conversion and Management*, 212(February), 112789. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.112789>
- Brahim, T., & Jemni, A. (2017). Economical assessment and applications of photovoltaic/thermal hybrid solar technology: A review. *Solar Energy*, 153, 540–561. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.05.081>
- Browne, M. C., Norton, B., & McCormack, S. J. (2016). Heat retention of a photovoltaic/thermal collector with PCM. *Solar Energy*, 133, 533–548. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.04.024>
- Cabeza, L. F., Castell, A., Barreneche, C., de Gracia, A., & Fernández, A. I. (2011). Materials used as PCM in thermal energy storage in buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(3), 1675–1695. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.11.018>
- Cárdenas-Ramírez, C., Jaramillo, F., & Gómez, M. (2020). Systematic review of encapsulation and shape-stabilization of phase change materials. *Journal of Energy Storage*, 30(52), 101495. <https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101495>
- Carmona, M., Palacio Bastos, A., & García, J. D. (2021). Experimental evaluation of a hybrid photovoltaic and thermal solar energy collector with integrated phase change material (PVT-PCM) in comparison with a traditional photovoltaic (PV) module. *Renewable Energy*, 172, 680–696. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.03.022>

- Casini, M. (2016). Phase-change materials. In *Smart Buildings* (Issue 11, pp. 179–218). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100635-1.00005-8>
- Chandel, S. S., & Agarwal, T. (2017). Review of current state of research on energy storage, toxicity, health hazards and commercialization of phase changing materials. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 581–596. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.070>
- Elbreki, A. M., Alghoul, M. A., Al-Shamani, A. N., Ammar, A. A., Yegani, B., Aboghrara, A. M., Rusaln, M. H., & Sopian, K. (2016). The role of climatic-design-operational parameters on combined PV/T collector performance: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 602–647. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.11.077>
- Faraj, K., Khaled, M., Faraj, J., Hachem, F., & Castelain, C. (2021). A review on phase change materials for thermal energy storage in buildings: Heating and hybrid applications. *Journal of Energy Storage*, 33(September 2020), 101913. <https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101913>
- Fayaz, H., Rahim, N. A., Hasanuzzaman, M., Rivai, A., & Nasrin, R. (2019). Numerical and outdoor real time experimental investigation of performance of PCM based PVT system. *Solar Energy*, 179(July 2018), 135–150. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.12.057>
- Ghalambaz, M., Mehryan, S. A. M., Ayoubi Ayoubloo, K., Hajjar, A., Islam, M. S., Younis, O., & Aly, A. M. (2021). Thermal behavior and energy storage of a suspension of nano-encapsulated phase change materials in an enclosure. *Advanced Powder Technology*, 32(6), 2004–2019. <https://doi.org/10.1016/j.apt.2021.04.008>
- Haidar, Z. A., Orfi, J., & Kaneesamkandi, Z. (2018). Experimental investigation of evaporative cooling for enhancing photovoltaic panels efficiency. *Results in Physics*, 11(May), 690–697. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2018.10.016>
- Hasan, A., McCormack, S. J., Huang, M. J., & Norton, B. (2014). Characterization of phase change materials for thermal control of photovoltaics using differential scanning calorimetry and temperature history method. *Energy Conversion and Management*, 81, 322–329. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.02.042>
- Hasan, A., Sarwar, J., Alnoman, H., & Abdelbaqi, S. (2017). Yearly energy performance of a photovoltaic-phase change material (PV-PCM) system in hot climate. *Solar Energy*, 146, 417–429. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.01.070>
- Hasan, A., McCormack, S., Huang, M., & Norton, B. (2014). Energy and cost saving of a photovoltaic-phase change materials (PV-PCM) system through temperature regulation and performance enhancement of photovoltaics. *Energies*, 7(3), 1318–1331. <https://doi.org/10.3390/en7031318>
- Hossain, M. S., Pandey, A. K., Selvaraj, J., Rahim, N. A., Islam, M. M., & Tyagi, V. V. (2019). Two side serpentine flow based photovoltaic-thermal-phase change materials (PVT-PCM) system: Energy, exergy and economic analysis. *Renewable Energy*, 136, 1320–1336. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.10.097>

- Huang, M. J., Eames, P. C., & Norton, B. (2004). Thermal regulation of building-integrated photovoltaics using phase change materials. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 47(12–13), 2715–2733. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2003.11.015>
- Huang, X., Chen, X., Li, A., Atinafu, D., Gao, H., Dong, W., & Wang, G. (2019). Shape-stabilized phase change materials based on porous supports for thermal energy storage applications. *Chemical Engineering Journal*, 356(August 2018), 641–661. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.09.013>
- Islam, M. M., Pandey, A. K., Hasanuzzaman, M., & Rahim, N. A. (2016). Recent progresses and achievements in photovoltaic-phase change material technology: A review with special treatment on photovoltaic thermal-phase change material systems. *Energy Conversion and Management*, 126, 177–204. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.07.075>
- Jarimi, H., Abu Bakar, M. N., Othman, M., & Din, M. H. (2016). Bi-fluid photovoltaic/thermal (PV/T) solar collector: Experimental validation of a 2-D theoretical model. *Renewable Energy*, 85, 1052–1067. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.07.014>
- Joshi, S. S., & Dhoble, A. S. (2018). Photovoltaic-thermal systems (PVT): Technology review and future trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 92(September 2017), 848–882. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.067>
- Kakaç, S., Liu, H., & Pramuanjaroenkij, A. (2012). Polymer heat exchangers. In *Heat Exchangers* (pp. 559–592). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b11784-15>
- Kant, K., Shukla, A., Sharma, A., & Biwole, P. H. (2016). Heat transfer studies of photovoltaic panel coupled with phase change material. *Solar Energy*, 140, 151–161. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.11.006>
- Kenisarin, M. M. (2014). Thermophysical properties of some organic phase change materials for latent heat storage. A review. *Solar Energy*, 107, 553–575. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2014.05.001>
- Khadiran, T., Hussein, M. Z., Zainal, Z., & Rusli, R. (2015). Encapsulation techniques for organic phase change materials as thermal energy storage medium: A review. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 143, 78–98. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2015.06.039>
- Kirilovs, E. (2021). Low density hemp shive particleboards for latent thermal energy storage performance. *Journal of Energy Systems*, 5(1), 1–9. <https://doi.org/10.30521/jes.805791>
- Laghari, I. A., Samykano, M., Pandey, A. K., Kadirgama, K., & Tyagi, V. V. (2020). Advancements in PV-thermal systems with and without phase change materials as a sustainable energy solution: energy, exergy and exergoeconomic (3E) analytic approach. *Sustainable Energy & Fuels*, 4(10), 4956–4987. <https://doi.org/10.1039/D0SE00681E>
- Leong, K. Y., Abdul Rahman, M. R., & Gurunathan, B. A. (2019). Nano-enhanced phase change materials: A review of thermo-physical properties, applications and challenges. *Journal of Energy Storage*, 21, 18–31. <https://doi.org/10.1016/j.est.2018.11.008>

- in, W., Ma, Z., Wang, S., Sohel, M. I., & Lo Cascio, E. (2021). Experimental investigation and two-level model-based optimisation of a solar photovoltaic thermal collector coupled with phase change material thermal energy storage. *Applied Thermal Engineering*, 182(September 2020), 116098. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.116098>
- Lu, W., Liu, Z., Flor, J.-F., Wu, Y., & Yang, M. (2018). Investigation on designed fins-enhanced phase change materials system for thermal management of a novel building integrated concentrating PV. *Applied Energy*, 225(March), 696–709. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.05.030>
- Ma, T., Li, Z., & Zhao, J. (2019). Photovoltaic panel integrated with phase change materials (PV-PCM): technology overview and materials selection. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 116(September), 109406. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109406>
- Ma, T., Zhao, J., & Li, Z. (2018). Mathematical modelling and sensitivity analysis of solar photovoltaic panel integrated with phase change material. *Applied Energy*, 228(May), 1147–1158. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.06.145>
- Magendran, S. S., Khan, F. S. A., Mubarak, N. M., Vaka, M., Walvekar, R., Khalid, M., Abdullah, E. C., Nizamuddin, S., & Karri, R. R. (2019). Synthesis of organic phase change materials (PCM) for energy storage applications: A review. *Nano-Structures & Nano-Objects*, 20, 100399. <https://doi.org/10.1016/j.nanoso.2019.100399>
- Milián, Y. E., Gutiérrez, A., Grágeda, M., & Ushak, S. (2017). A review on encapsulation techniques for inorganic phase change materials and the influence on their thermophysical properties. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73(June 2016), 983–999. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.159>
- Mohamed, S. A., Al-Sulaiman, F. A., Ibrahim, N. I., Zahir, M. H., Al-Ahmed, A., Saidur, R., Yılbaş, B. S., & Sahin, A. Z. (2017). A review on current status and challenges of inorganic phase change materials for thermal energy storage systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70(February 2016), 1072–1089. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.012>
- Nižetić, S., Giama, E., & Papadopoulos, A. M. (2018). Comprehensive analysis and general economic-environmental evaluation of cooling techniques for photovoltaic panels, Part II: Active cooling techniques. *Energy Conversion and Management*, 155(October 2017), 301–323. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.10.071>
- Nižetić, S., Papadopoulos, A. M., & Giama, E. (2017). Comprehensive analysis and general economic-environmental evaluation of cooling techniques for photovoltaic panels, Part I: Passive cooling techniques. *Energy Conversion and Management*, 149, 334–354. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.07.022>
- Özerinç, S., Kakaç, S., & Yazıcıoğlu, A. G. (2010). Enhanced thermal conductivity of nanofluids: a state-of-the-art review. *Microfluidics and Nanofluidics*, 8(2), 145–170. <https://doi.org/10.1007/s10404-009-0524-4>
- Park, J., Kim, T., & Leigh, S.-B. (2014). Application of a phase-change material to improve the electrical performance of vertical-building-added photovoltaics considering the annual weather conditions. *Solar Energy*, 105, 561–574. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2014.04.020>

- Preet, S., Bhushan, B., & Mahajan, T. (2017). Experimental investigation of water based photovoltaic/thermal (PV/T) system with and without phase change material (PCM). *Solar Energy*, 155, 1104–1120. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.07.040>
- Sahan, N., & Paksoy, H. O. (2014). Thermal enhancement of paraffin as a phase change material with nanomagnetite. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 126, 56–61. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2014.03.018>
- Senthil Kumar, K., Revanth, S., Sanjeev, D., Sabesh Kumar, P., & Surya, P. (2021). Experimental investigation of improving the energy conversion efficiency of PV cell by integrating with PCM. *Materials Today: Proceedings*, 37(Part 2), 712–716. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.723>
- Sharma, A., Tyagi, V. V., Chen, C. R., & Buddhi, D. (2009). Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(2), 318–345. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.10.005>
- Sharma, R. K., Ganesan, P., Tyagi, V. V., Metselaar, H. S. C., & Sandaran, S. C. (2015). Developments in organic solid–liquid phase change materials and their applications in thermal energy storage. *Energy Conversion and Management*, 95, 193–228. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.01.084>
- Shukla, A., Kant, K., Sharma, A., & Biwole, P. H. (2017). Cooling methodologies of photovoltaic module for enhancing electrical efficiency: A review. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 160(October 2016), 275–286. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2016.10.047>
- Siecker, J., Kusakana, K., & Numbi, B. P. (2017). A review of solar photovoltaic systems cooling technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79(July 2016), 192–203. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.053>
- Singh, P., Sharma, R. K., Ansu, A. K., Goyal, R., Sari, A., & Tyagi, V. V. (2021). A comprehensive review on development of eutectic organic phase change materials and their composites for low and medium range thermal energy storage applications. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 223(January), 110955. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2020.110955>
- Stropnik, R., & Strith, U. (2016). Increasing the efficiency of PV panel with the use of PCM. *Renewable Energy*, 97, 671–679. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.06.011>
- Su, D., Jia, Y., Alva, G., Liu, L., & Fang, G. (2017). Comparative analyses on dynamic performances of photovoltaic–thermal solar collectors integrated with phase change materials. *Energy Conversion and Management*, 131, 79–89. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.11.002>
- Sultan, S. M., & Ervina Efan, M. N. (2018). Review on recent photovoltaic/thermal (PV/T) technology advances and applications. *Solar Energy*, 173(August), 939–954. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.08.032>
- Tan, L., Date, A., Fernandes, G., Singh, B., & Ganguly, S. (2017). Efficiency gains of photovoltaic system using latent heat thermal energy storage. *Energy Procedia*, 110(December 2016), 83–88. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.110>

- Tariq, R., Xamán, J., Bassam, A., Ricalde, L. J., & Soberanis, M. A. E. (2020). Multidimensional assessment of a photovoltaic air collector integrated phase changing material considering Mexican climatic conditions. *Energy*, 209, 118304. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118304>
- Veerakumar, C., & Sreekumar, A. (2016). Phase change material based cold thermal energy storage: Materials, techniques and applications – A review. *International Journal of Refrigeration*, 67, 271–289. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2015.12.005>
- Velmurugan, K., Kumarasamy, S., Wongwuttanasatian, T., & Seithtanabutara, V. (2021). Review of PCM types and suggestions for an applicable cascaded PCM for passive PV module cooling under tropical climate conditions. *Journal of Cleaner Production*, 293, 126065. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126065>
- Wei, G., Wang, G., Xu, C., Ju, X., Xing, L., Du, X., & Yang, Y. (2018). Selection principles and thermophysical properties of high temperature phase change materials for thermal energy storage: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81(March 2016), 1771–1786. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.271>
- Yang, L., Jin, X., Zhang, Y., & Du, K. (2021). Recent development on heat transfer and various applications of phase-change materials. *Journal of Cleaner Production*, 287, 124432. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124432>
- Yang, X., Sun, L., Yuan, Y., Zhao, X., & Cao, X. (2018). Experimental investigation on performance comparison of PV/T-PCM system and PV/T system. *Renewable Energy*, 119, 152–159. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.11.094>
- Yıldız, G., & Gürel, A. E. (2020). PV / T Sistemler : Tipleri , Avantajları ve Uygulamaları. *Ttmd*, November 2019, 30–38.
- Zhou, D., Zhao, C. Y., & Tian, Y. (2012). Review on thermal energy storage with phase change materials (PCMs) in building applications. *Applied Energy*, 92, 593–605. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.08.025>



YAYIN KURALLARI

(<https://dergipark.org.tr/tr/pub/bujse/writing-rules>)

Yazarlara Not: TÜBİTAK-ULAKBİM Fen Bilimler Veri Tabanı Komitesi, bu yayın kurallarına %100 uyulmasını istemektedir. Lütfen makaleleri bu kurallara uygun olarak hazırlayıp gönderiniz.

Beykent Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, yılda İKİ kez (altı ayda bir) yayınlanır.

Hakemli ve özgün çalışmaları amaçlayan bir dergidir. Makalelerin, hakem değerlendirilmesine girmek üzere, yayın kurulu sekreterliğine yazar adı, e-postası, cep /telefonu ile gönderilmesi gerekmektedir. Yazarlar makalelerinde hakemlerin de değerlendirmelerinde dikkate alacağı aşağıdaki kriterleri de gözden uzak tutmamalıdır:

- Makalelerindeki eksenini, dayandığı temel fikri, ikincil kaynak incelemesi ve bunlara göre yeniliği, Fen ve Mühendislik Bilimleri ve uygulama alanına katkısını,
- Araştırmalarının makalenin ana eksenine katkısını, hipotez ve metodolojisi, istatistiksel analiz tekniğinin yeterliliğini,
- Makalenin mantıksal bütünlüğü ve kendilerini tatmin edip etmediğini,
- Makalenin başlığa uygunluğu ve anahtar kelimelerin makaleyi yansıtabilmesini,
- İyi kalitede bir model, şekil, tablo vb. ile öğretime katkı seviyesini değerlendirmelidirler.

Tüm makale türleri için MS Office Word şablonu mevcuttur ve yazarların makaleleri gönderilmek üzere hazırlarken MS Office Word şablonunu kullanmaları önerilir. Makalenin toplam uzunluğu 25 sayfayı geçmemelidir. Makale, MS Office Word dosyası (MS DOC, MS DOCX) olarak yüklenmelidir. Farklı formatlarda yüklenmiş dosyalar değerlendirmeye alınmayacaktır.

Genel olarak, makaledeki bölümlerin sırası aşağıda belirtilen şekilde olmalıdır.

Başlık – Yazar(lar) – Yazar Bilgileri – Anahtar Sözcükler – Özet — Ana Metin [Şekiller ve Tablolar dahil] – Teşekkür – Kaynakça

Başlık: Calibri (14 punto, Kalın/Bold yazı tipi) kullanılmalı ve bütün harfler büyük yazılmalıdır (Mikroorganizma, bitki ve hayvan türleri için Latince adları gibi küçük olması gereken kelimeler hariç). Satır aralığı 1 punto ve paragraf aralığı öncesi ve sonrası 6 nk olmalıdır. Başlık toplamda 25 kelimeyi geçmemelidir.

Yazar(lar): Yazar bilgileri başlık sayfasında, makale metninden ayrı bir şekilde yazılmalıdır. Calibri (14 punto, Normal yazı tipi) kullanılmalıdır. Satır aralığı 1 punto olmalıdır. Paragraf aralığı öncesi ve sonrası 0 nk olmalıdır.

Yazar Bilgileri: Bütün yazarların bağlı oldukları güncel kurum bilgileri başlık sayfasında verilmelidir. Yazar bilgileri "Kurum Adı, Fakülte/Yüksekokul/MYO Adı, Bölüm Adı, E-mail, ORCID" bilgilerini içerecek şekilde olmalıdır. Calibri (9 punto, Normal yazı tipi) kullanılmalıdır. Satır aralığı 1 punto, paragraf aralığı öncesi ve sonrası 0 nk olmalıdır. Sorumlu yazar için bir e-posta adresi verilmelidir.

Anahtar Sözcükler: Anahtar kelime sayısı en az 3, en fazla 5 olmalıdır. Calibri (9 punto, Normal yazı tipi) kullanılmalıdır. Satır aralığı 1 punto olmalıdır. Paragraf aralığı öncesi ve sonrası 0 nk olmalıdır.

Öz/Abstract: Öz ve Abstract metinleri en fazla 300 kelime olmak üzere hazırlanmalıdır. Calibri (9 punto, Normal yazı tipi) kullanılmalıdır. Öz ve Abstract başlıkları kalın (bold) olmalıdır. Öz ve Abstract metinlerinde, paragraf aralığı öncesi ve sonrası 0 nk, satır aralığı 1 punto olmalıdır. Paragraf başında girinti kullanılmamalı ve metinler tek paragraf olarak yazılmalıdır. Öz/Abstract, araştırmanın amacı, yöntemi, bulguları, sınırlılıkları ve özgün değerini ifade edecek şekilde yazılmalıdır.

Ana Metin: Ana metin yazıları Calibri (12 punto, Normal yazı tipi) kullanılarak ve iki yana yaslı şekilde yazılmalıdır. Satır aralığı 1 punto ve paragraf aralığı öncesi ve sonrası 6 nk olmalıdır. Yunanca harfler ve matematiksel karakterler simge olarak metne eklenmelidir. Denklemler ardışık sayılarla etiketlenmeli ve metin içinde atıf yapılmalıdır (Örn: Denklem (1)). Denklemler düzenlenebilir formatta verilmeli, resim olarak eklenmemelidir.



Üst, alt ve sol ve sağ kenar boşlukları 2,5 cm olarak ayarlanmalıdır. Kaynaklar dahil tüm sayfalar ardışık olarak numaralandırılmalıdır.

Ana metin Giriş, Materyal & Metot (gerekli ise) ve Sonuç bölümlerinden oluşmalıdır. Tüm birincil başlıklar Calibri (12 punto, Kalın/Bold yazı tipi) kullanılarak bütün harfleri büyük olacak şekilde yazılmalıdır. Satır aralığı 1 punto, paragraf aralığı öncesi 18 nk ve sonrası 12 nk olmalıdır. İkincil başlıklar, (12 punto, Kalın/Bold yazı tipi) kullanılarak her kelimenin ilk harfi büyük olacak şekilde yazılmalıdır. Satır aralığı 1 punto, paragraf aralığı öncesi 12 nk ve sonrası 6 nk olmalıdır. Üçüncül başlıklar, Calibri (12 punto, Kalın/Bold yazı tipi) kullanılarak sadece ilk harf büyük olacak şekilde yazılmalıdır. Satır aralığı 1 punto, paragraf aralığı öncesi ve sonrası 6 nk olmalıdır.

Ana metin içerisinde gerektiği yerlerde tablo ve şekiller kullanılmalıdır.

Tablolar ile birlikte tablonun üst kısmında başlık ve kısa bir açıklama metni verilmelidir. Yalnızca bir veya iki sütunlu tablolardan ve yalnızca bir veya iki girişli sütunlardan kaçınılmalıdır. Tablo açıklaması Calibri (11 punto, Normal yazı tipi) kullanılarak ve ortalanmış şekilde yazılmalıdır. Satır aralığı 1 punto, paragraf aralığı öncesi 12 nk ve sonrası 6 nk olmalıdır. Tablolardaki dipnotların numaralandırılmasında üst indis Latin harfleri kullanılmalıdır. Dipnotlar Calibri (8 punto, Normal yazı tipi) ile yazılmalıdır. Satır aralığı 1 punto, paragraf aralığı öncesi ve sonrası 0 nk olmalıdır. Tüm tablolar metinde atıfta bulunulan sıraya göre Arap rakamları ile numaralandırılmalıdır (Örn: Tablo 1, Tablo 2, vb.). Metin içinde tablolara atıfta bulunulurken kısaltma yapılmadan "Tablo" sözcüğü kullanılmalıdır.

Makalede kullanılan şekil ve şemanın açıklayıcı bir başlığı olmalı ve şekil ve şema başlıklarına şeklin alt kısmında yer verilmelidir. Tüm şekiller ve şemalar metin içinde numara sırasına göre belirtilmelidir ve Arap rakamları kullanılmalıdır (Örn: Şekil 1, Şekil 2, vb.). Şekil ve şema açıklaması Calibri (11 punto, Normal yazı tipi) kullanılarak ve ortalanmış şekilde yazılmalıdır. Satır aralığı 1 punto, paragraf aralığı öncesi 6 nk ve sonrası 12 nk olmalıdır. Şekillere atıfta bulunulurken, makalenin tüm bölümlerinde "Şekil" kelimesinin tamamı kullanılmalıdır.

Teşekkür: Raporlanan çalışma ile ilgili tüm finansman kaynakları, hibe numaraları ve finansman kuruluşlarının adları da dahil olmak üzere Teşekkür başlığı altında belirtilmelidir. Yazarlık kriterlerini karşılamayan herkesin katkıları, katkıda bulunanın izniyle Teşekkür bölümünde listelenmelidir. "Teşekkür" başlığı Calibri (12 punto, Kalın/Bold yazı tipi) kullanılarak yazılmalıdır. Satır aralığı 1 punto, paragraf aralığı öncesi 18 nk, sonrası 12 nk olmalıdır.

Kaynakça: Makalede kullanılan kaynaklar, kaynakça başlığı altında listelenmelidir. Ana metin içinde atıf yapılmayan kaynaklar Kaynakça listesinde yer almamalıdır. Yararlanılan kaynaklar nitelik (tez, kitap, makale, rapor vb.) ayrımı yapılmaksızın alfabetik olarak sıralanmalıdır. Kaynaklar APA 7 stiline göre yazılmalıdır. Kaynakça düzenlenirken Mendeley, EndNote veya Zotero benzeri yazılımların kullanılması önerilir. Kaynakça başlığı Calibri (12 punto, Kalın/Bold yazı tipi) kullanılarak yazılmalıdır. Satır aralığı 1 punto, paragraf aralığı öncesi 18 nk, sonrası 12 nk olmalıdır.



İLETİŞİM

Beykent Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, Sıraselviler Cd, 34437 Beyoğlu-İstanbul

Tel: 0212 444 1997
Faks: 0212 867 51 72

bujse@beykent.edu.tr



BEYKENT ÜNİVERSİTESİ

Ayazağa - Maslak Yerleşkesi

Ayazağa - Sarıyer / İST. **Faks:** 0212 289 64 90

Beylikdüzü Yerleşkesi

Beykent - Büyükçekmece / İST. **Faks:** 0212 872 28 30

Hadımköy Yerleşkesi

Akçaburgaz Mevkii - Esenyurt / İST

Taksim Yerleşkesi

Siraselviler - Beyoğlu / İST. **Faks:** 0212 243 02 78

Beykent Üniversitesi Çağrı Merkezi

beykent.edu.tr - info@beykent.edu.tr

444 1997