



FBED

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ

fbe.dergi.comu.edu.tr
dergipark.gov.tr/comufbed

T.C.
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ

CANAKKALE ONSEKİZ MART UNIVERSITY
JOURNAL of GRADUATE SCHOOL of NATURAL and APPLIED SCIENCES



ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ

FBE
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÖNSÖZ

COVID 19- Doğanın İntikamı

Doç. Dr. Alper ŞENER

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Tıp Fakültesi Enfeksiyon Hastalıkları Anabilim Dalı,
Çanakkale

Aralık 2019'da Çin'de başlayıp kısa sürede tüm dünyayı saran bir pandemi ile yüzleştik. Dünya üzerinde görülen pandemiler insanlık tarihi kadar eskidir. Aslında doğada bulunan bir virüsün mutasyon geçirerek insanlara geçiş öyküsüne domuz ve kuş gribinden deneyimliyiz. Ancak salgınlar ve yönetimine SARS'dan beri de hazırlıklıyız denilen bir dünya gafil avlanmış görünüyor. İnsanoğlu doğada yaşam alanını genişletip, içinde bulunduğumuz dünyanın tek sahibi gibi davrandıkça bunun gibi virüsler ile karşılaşma ihtimalimiz artmış görünüyor.

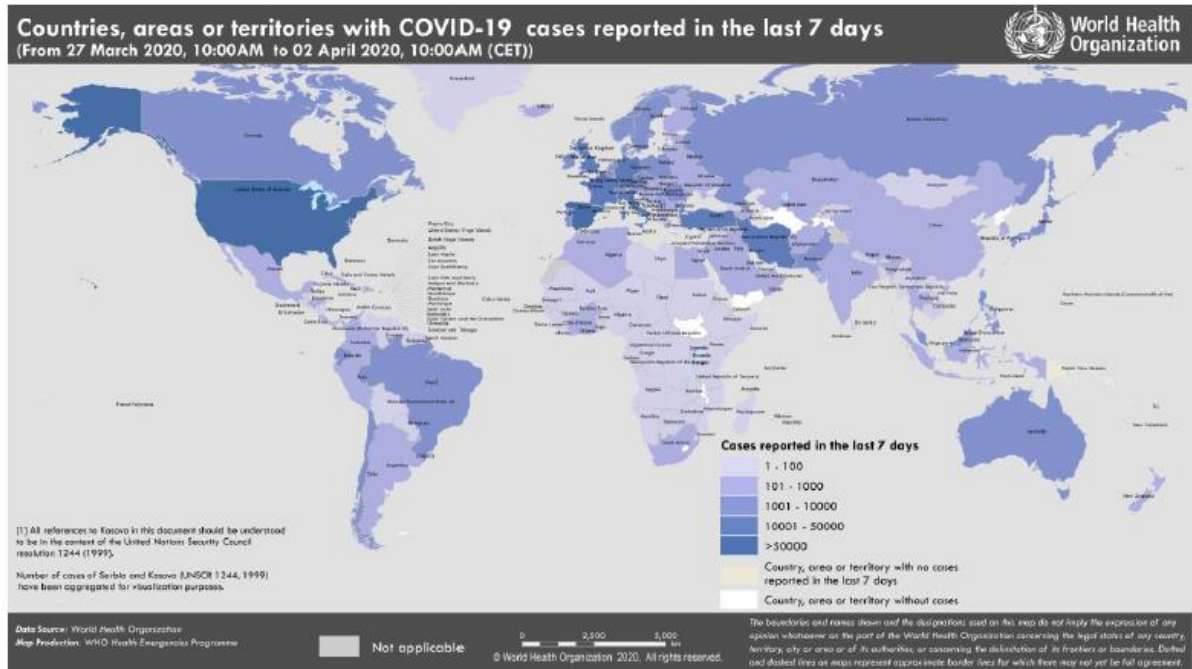
Korona virüs ailesi aslında her kış sezonunda karşılaştığımız viral üst solunum yolu enfeksiyonu yapan diğer virüslerden çok farklı olmadığı bilinen bir virüsdür. Hatta diğer virüsler ile kıyaslandığında klinik tablosu çok hafif seyreden, pek çok klinisyen tarafından ciddiye alınmayan bir hastalık tablosuna sebep olur. Bu ciddiye alınmama sebebi ile de özgül bir laboratuvar testi veya tedavi geliştirmeye değer bulunmamıştır. İşte bu durum şuan da tüm dünyanın yaşadığı çaresizliğin özetidir aslında; bu virüs beklenmedik bir şekilde patojenitesini arttırmış, bununla da kalmamış bulaşıcılık ve öldürücülük etkinliğini yaygınlaştırmıştır (1).

Bu virüs vücuda girince önce boğaza yerleşmekte, ardından hızla akciğere inerek ağır bir pnömoni tablosuna sebep olmaktadır. İlk 7 günde virüsün boğazdan ve burundan alınan sürüntüde PCR ile gösterilmesi mümkündür, ancak kuluçka dönemi 14 gün olduğu için bulgular başladığında virüs çoğunlukla boğazda olmadığı için negatif sonuçlanmaktadır (Türkiye için PCR= %85 negatif, %15 pozitif). Virüs alt solunum sistemine indiğinde iki farklı klinik tabloya sebep olmaktadır; hafif pnömoni veya ağır pnömoni. Mortalite oranı ise bir viral pnömoniden beklenmeyecek oranda yüksektir (%3,5) (2). Bu aşamada ancak alt solunum sisteminden örnek alınması veya serolojik olarak kan testi ile tanı koyulması mümkündür. Serolojik testler ise konağa bağımlı immün yanıt oluşturacağı için güvenilirliği sınırlı testlerdir. Bu aşamada en güvenilir tanı metodu bilgisayarlı tomografi gibi durmaktadır.

Tanı konulduktan sonra ise tedavi aşaması daha karmaşık bir süreçtir. Standart bir tedavi şeması ve etkin bir ilaç ne yazık ki halen yoktur. Aşı çalışmaları ise halen devam etmektedir.

Hastalığın yaygınlığı, yoğun bakım ihtiyacı olan hasta sayısı, yatan sayı ve ölüm oranlarına bakıldığında ise Türkiye pek çok Avrupa ülkesinden iyi konumdadır (2). Genel mortalite dünya ortalaması %3,4 ve Avrupa’da bu oran %5-28 arasında değişmekte iken; Türkiye’de %2,1’dir. Tedavi altındaki hastalara bakıldığında iyileşme oranları ve yoğun bakımdan çıkış oranları diğer Avrupa ülkelerine göre çok iyi durumdadır (2,3).

Salgının doğal seyri açısından bakıldığında ise yaygınlaşma potansiyelinin zamanla azalması ile bu virüs 2021 yılında diğer solunum yolu virüsleri arasındaki yerini alacaktır.



Kaynakça:

1. Li Q, Guan X, Wu P, et al. Early transmission dynamics in Wuhan, China, of novel coronavirus-infected pneumonia. N Engl J Med 2020; doi:10.1056/NEJMoa2001316.
2. https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/situation-reports/20200402-sitrep-73-covid-19.pdf?sfvrsn=5ae25bc7_2
3. www.saglik.gov.tr/covid19/veriler

CONTENTS / İÇİNDEKİLER
(2020, 6:1)

Articles (in English) / Authors	Pages / Sayfa No
Observing the Water Quality in the Vicinity of Green Ports Located in the Marmara Sea, Turkey Sevil Deniz Yakan Dündar* Research/Araştırma	1-13
Comparison of Maximum Power Point Tracking Techniques on Photo-voltaic Panels Evren Isen *, Akif Sengul Research/Araştırma	14-29
A Comparative Study of Three Brassicaceae Vegetables Grown in Canakkale: Determination of Total Phenolic Content and Antioxidant Activity of Pulp and Juice Samples of Radish (<i>Raphanus sativus</i> L.), Cabbage (<i>Brassica oleracea</i> L. var <i>capitata</i> L) and Cauliflower (<i>Brassica oleracea</i> L.) Ferah Cömert Önder, Nuriye Doğrular, Ecem Gündüzalp, Sedef Barlak, Mehmet Ay* Research/Araştırma	30-38
Makaleler (Türkçe) / Yazarlar	Sayfa No
Çanakkale İlinde <i>Leek yellow stripe virus</i> Enfeksiyonunun Güncel Durumu ve İki farklı Gen Bölgesine Göre Kısmi Moleküler Karakterizasyonu Current Status of <i>Leek yellow stripe virus</i> in Çanakkale Province of Turkey and Partial Molecular Characterization of Turkish Isolates Based on Two Gene Regions Merve Sarı, Ali Karanfil, Savaş Korkmaz* Research/Araştırma	39-48
Sol-jel Yöntemi ile Kaplanan Nb₂O₅ İnce Filmlerin Karakterizasyonu Characterization of Nb ₂ O ₅ Thin Films Coated by Sol-gel Method Tuğçe Ataşer* Research/Araştırma	49-56

<p>Benzimidazol-Oksadiazol Türevlerinin Sentezi ve Candida Türleri Üzerindeki Etkileri Synthesis of Benzimidazole-Oxadiazole Derivatives and Their Effects on Candida Species Ulviye Acar Çevik*, Derya Osmaniye, Begüm Nurpelin Sağlık Research/Araştırma</p>	57-65
<p>Optoelektronik Uygulamalar için Nb⁵⁺ Katkılı Çinko Borat Camların Sentezi ve Optik, Termal ve Yapısal Özelliklerinin Belirlenmesi Synthesis of Nb⁵⁺ Doped Zinc Borate Glasses for Optoelectronic Applications and Determination of Optical, Thermal and Structural Properties Gökhan Kılıç*, U. Gökhan İşsever Research/Araştırma</p>	66-80
<p>Manisa İli'nde Çiftçilerin Tarım İlaçları Kullanımı Konusundaki Bilinç Düzeyi ve Duyarlılıklarının Araştırılması Investigation of the Knowledge Level and Awareness of Farmers About Pesticide Usage in Manisa Mehmet Erdil, Osman Tiryaki* Research/Araştırma</p>	81-92
<p>Eksik Hidrolojik Verilerin Simbiyotik Organizmalar Arama Algoritması ile Tahmini Estimation of Missing Hydrological Data by Symbiotic Organisms Search Algorithm Kemal Saphoğlu*, Tülay Suğra Küçükerdem Öztürk, Fatih Ahmet Şenel Research/Araştırma</p>	93-104
<p>Epifragma Mineral Bileşiminin ve Oluşum Sürecinin Dört Kara Salyangozu Türünde (Mollusca: Gastropoda: Helicidae) İncelenmesi Investigation of Epiphragm Mineral Composition and Formation Process in Four Land Snail Species (Mollusca: Gastropoda: Helicidae) Hülya Şereflişan* Research/Araştırma</p>	105-111

<p>Sıvı Sintilasyon Spektrometrik Yöntemle İçme Sularında Tritiyum Analizi ve Belirsizlik Bütçesinin Hazırlanması</p> <p>Liquid Scintillation Spectrometric Analysis of Tritium in Drinking Water and Preparation of Uncertainty Budget</p> <p>Nazife Aslan *</p> <p>Research/Araştırma</p>	112-121
<p>Temizlik Çalışanlarının Çalışma Duruş Pozisyonlarının REBA Yöntemi ile Ergonomik Açından İncelenmesi</p> <p>Ergonomic Investigation of Working Posture Positions of Cleaning Workers by REBA Method</p> <p>Müge Ensari Özey*, Gülçin Özcan</p> <p>Research/Araştırma</p>	122-132
<p>İşyerlerinde Ramak Kala Bildirimlerinin İş Kazalarına Etkisi ve İnşaat Sektöründe Uygulama</p> <p>The Impact of Near Miss Notices on Occupational Accidents at Workplaces A Study from Construction</p> <p>Mehmet Pişkin, Orkun Dalyan*</p> <p>Research/Araştırma</p>	133-144
<p>Sürdürülebilir Afet Lojistiğine Yönelik İdeal Afet Depo Yeri Seçimi: Giresun İli Örneği</p> <p>Optimum Disaster Warehouse Location Selection for Sustainable Disaster Logistics: Case of Giresun Province</p> <p>Mustafa Ergün*, Selçuk Korucuk, Salih Memiş</p> <p>Research/Araştırma</p>	145-166
<p>Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Kabuk Hızı Değişimlerinin Yoğun Sismik Dizilim ile İncelenmesi</p> <p>An Investigation on the Crustal Velocity Variations of the North Anatolian Fault Zone by a Dense Seismic Array</p> <p>Ahu Kömeç Mutlu*, Musavver Didem Cambaz</p> <p>Research/Araştırma</p>	167-180
<p>Interactions of Native and Denatured Whey Proteins with Caseins and Polysaccharides</p> <p>Alev Emine İnce Coşkun*, Semih Ötleş</p> <p>Review Article</p>	181-190

Observing the Water Quality in the Vicinity of Green Ports Located in the Marmara Sea, Turkey

Sevil Deniz Yakan Dündar^{1*}

¹Department of Shipbuilding and Ocean Engineering, Faculty of Naval Architecture and Ocean Engineering, Istanbul Technical University, Maslak, Istanbul, Turkey

Article History

Received: 17.12.2019

Accepted: 04.03.2020

Published: 00.05.2020

Research Article

Abstract – Detection of biological, physical and chemical parameters is needed for the determination of water quality. Some of these water quality parameters such as turbidity, chlorophyll-a, harmful algae, suspended sediment, submerged habitat and temperature, can be derived directly via the satellite remote sensing facilities, particularly through the ocean color sensors. The competitiveness of satellite remote sensing comes from its capability of extensive geographical range and temporal coverage. Thus, changes and trends in water quality can be monitored and assessed to a greater degree, especially under the dynamic conditions of coastal zones. This study focuses on the water quality parameters in the vicinity of Green Ports of Turkey located in the Marmara Sea. There are 12 certified Green Ports in Turkey, located mostly in the Marmara Sea. Marmara Sea is a semi-enclosed inland sea and a passageway, which connects the Black Sea to the Mediterranean. There are 7 cities surrounding the Marmara Sea, representing the different anthropogenic aspects of civilization: Population, industry and agriculture. These aspects affect the water quality of the coastal zones in the Marmara Sea in different scales. Briefly, the aim of this study is to monitor and assess the impact of the Green Ports in the Marmara Sea region, in terms of water quality parameters detected via the Earth Observation System. Consequently, it is concluded that remote sensing capabilities of the contemporary Earth Observation Systems provide reliable results of water quality parameters when coupled with the field measurements in order to use in further decision-making mechanisms.

Keywords – Green port; remote sensing; ocean color; water quality; Turkey

1. Introduction

Since 1970's satellite remote sensing has been used in water quality monitoring and assessment studies. Remote sensing techniques are getting more popular as a global application of water quality due to the advances in its technology such as higher spectral and spatial resolutions in addition to the availability of its data in digital forms for further processing. By the help of the sensors mounted on satellites, electromagnetic radiation of the water surface reflections can be measured and utilized for the detection of various water quality parameters. Thus, spatial and temporal observations of surface waters and the quantification of the water quality parameters become possible by means of remote sensing (Alparslan, Aydoğan, Tufekci, & Tufekci, 2007; Brando & Dekker, 2003; Gholizadeh, Melesse, & Reddi, 2016; Giardino et al., 2014; Hadjimitsis & Clayton, 2009; Hellweger, Schlosser, Lall, & Weissel, 2004; Koponen, Pulliainen, Kallio, & Hallikainen, 2002; Morel & Prieur, 1977; Ritchie, Zimba, & Everitt, 2003; Seyhan & Dekker, 1986; Usali & Ismail, 2010). Several satellite sensors (e.g. Coastal Zone Color Scanner - CZCS, Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor - SeaWiFS, Medium Resolution Imaging Spectrometer - MERIS, Moderate resolution Imaging Spectroradiometer - MODIS) have been used to observe near real-time dynamics of aquatic environments (van der Woerd & Wernand, 2015). However, CZCS, SeaWiFS and MERIS completed their missions in 1986, 2010 and 2012, respectively and MODIS is in charge for a long period of time, since 2002. In addition, none of these ocean color sensors was designed for the purpose of water quality monitoring. Thus, Ocean and Land Color Instrument (OLCI), a follow-up project and an imaging spectrometer for the

¹  <https://orcid.org/0000-0003-2493-680X> yakans@itu.edu.tr

*Corresponding Author

monitoring of open, coastal and inland waters (Toming, Kutser, Tuvikene, Viik, & Nöges, 2016; van der Woerd & Wernand, 2015) was designed to be specialized in ocean color remote sensing (Wang, Ling, Yao, Liu, & Xu, 2019). OLCI is attached on Sentinel-3A and Sentinel-3B satellites launched on the 16th of February, 2016 and 25th of April, 2018 respectively by European Space Agency (ESA). The swath width and the spatial resolution of OLCI is 1200 km and 300 m, respectively and it has 21 spectral bands with a wide range, from optical to near-infrared wavelengths (Donlon et al., 2012; Petus et al., 2019; Wang et al., 2019). Since the design of the OLCI spectral bands was performed considering its specific aims, the images obtained via Sentinel-3 OLCI sensor are able to be used in mapping the parameters of the water quality (Toming et al., 2016; Wang et al., 2019).

There are many parameters of water quality, including hydrological, biological, physical and chemical aspects of the water itself and its constituents (Seyhan & Dekker, 1986). Some of these constituents are able to be detected by means of remote sensing technology, depending on their photo-activeness and spectral characteristics, by interacting with light and changing the energy spectrum of the reflected electromagnetic radiation. The parameters of water quality detected via remote sensing are mostly focused on photo-active constituents of water, such as chlorophyll-a, colored dissolved organic matters, total organic carbon, dissolved organic carbon, total suspended matters and turbidity in addition to other remotely sensed parameters such as secchi disk depth, temperature, sea surface salinity, total phosphorus, ortho-phosphate, chemical oxygen demand, biochemical oxygen demand, electrical conductivity and ammonia nitrogen (Gholizadeh et al., 2016). The physical principles of light such as scattering, absorption and attenuation assist to detect and monitor the color change of the water bodies via ocean color sensors. In this study, three water quality parameters are selected to be focused on: Chlorophyll-a (Chl-a), Colored Dissolved Organic Matter (CDOM) and Total Suspended Matter (TSM). All of these parameters are photo-active and are accepted as important indicators of the water quality.

Chl-a is a well-known photosynthetic pigment of plants, plankton and cyanobacteria. At the same time, it is an essential element of photosynthesis process and it is used to estimate the biomass of phytoplankton in the water bodies. Due to its connecting role of nutrients with primary production, it is also evaluated as an important indicator of the trophic status of the water bodies. Because it reflects mainly green color and absorbs mostly violet-blue and orange-red color wavelengths, Chl-a is considered as an essential photo-active constituent of the water bodies (Gholizadeh et al., 2016; Schlichter, Kampmann, & Conrady, 1997). Several spectral bands were evaluated for the determination of Chl-a in water bodies by means of different sensors (e.g. Landsat 5-TM, Landsat 5-MSS, Landsat 7-ETM+, SPOT, IRS-LISS-III, HICO, PROBA-CHRIS, MODIS, MERIS, AISA, EO-1 Hyperion, CASI, Daedalus Airborne Thematic Mapper). Chl-a absorbs light between blue (450-475 nm) and red (670 nm), but reflects at green (550 nm) and NIR (near infra-red, 700 nm). Thus, several studies have been performed to develop Chl-a estimation algorithms by using the ratios of different spectral bands of these sensors, varying from blue to NIR (Gitelson et al., 2008; Han & Jordan, 2005; Hoogenboom, Dekker, & Althuis, 1998), in addition to remote sensing measurements of Chl-a (Alparslan, Coskun, & Alganci, 2009; Colella, Falcini, Rinaldi, Sammartino, & Santoleri, 2016; Ekercin, 2007; Oguz & Gilbert, 2007). Therefore, Chl-a is accepted as one of the main indicators of water quality.

Another indicator of the water quality is the photo-active component of the dissolved organic matter, Colored Dissolved Organic Matter, CDOM, as it appears from its name. CDOM dissolves in water and is present in both fresh and salt water with a range of color from yellow to brown (Gholizadeh et al., 2016). The majority of the CDOM consists of humic and fulvic acids. Generally, CDOM is assigned as a measure of dissolved organic matter (Brezonik, Olmanson, Finlay, & Bauer, 2015; Toming et al., 2016). However, the sources of CDOM can be both indigenous and exogenous. CDOM can originate from the water body itself due to the degradation of phytoplankton, and it can also originate from its catchment area (Blix, Pálffy, Tóth, & Eltoft, 2018). Besides being an indicator of the water quality, CDOM is also an important parameter of carbon dynamics in aquatic ecology studies due to its biogenic and organic structure (Mannino, Russ, & Hooker, 2008; Ritchie et al., 2003). It is observed that a correlation occurs between CDOM and dissolved organic carbon for both fresh and salt water ecosystems (Del Castillo, Gilbes, Coble, & Müller-Karger, 2000;

Del Castillo & Miller, 2008; Ferrari, Hoepffner, & Mingazzin, 1996; Spencer et al., 2007; Stedmon et al., 2006; Vignudelli, Santinelli, Murru, Nannicini, & Seritti, 2004; Yu et al., 2010).

Together with Chl-a and CDOM, total suspended matter (TSM) dominate the color of the remotely sensed water bodies. TSM represents the particulate materials in the water bodies. They can be both organic and inorganic, and the origin of their location can be either in local or distant places, e.g. wind-induced resuspension or tributaries (Madsen, Chambers, James, Koch, & Westlake, 2001). Water turbidity is an optical characteristic of the water and it is directly related with the suspended mater in the water (Wass, Marks, Finch, Leeks, & Ingram, 1997). Absorption, scattering and transmission of light have different drivers in the aquatic environment, and while Chl-a and CDOM are responsible for the absorption, mostly scattering occurs in the regions of suspended sediment (Myint & Walker, 2002). Mapping of spatial and temporal variations of the properties such as turbidity and suspended matter concentration is possible by means of remote sensing, and different spectral bands are utilized to represent the variations in the colors of the water bodies (Doxaran, Froidefond, Lavender, & Castaing, 2002; Feng, Hu, Chen, & Song, 2014; Nechad, Ruddick, & Park, 2010).

It is an undeniable fact that the water quality has been adversely affected from the anthropogenic activities, urbanization and the industrial growth. Providing economic growth while reducing the adverse effects of port infrastructures paved the way for the development of sustainable port infrastructure and the concept of Green Port. The definition of Green Port explains well the context of this concept: “A product of the long-term strategy for the sustainable and climate-friendly development of the port’s infrastructure” (Pavlic, Cepak, Sucic, Peckaj, & Kandus, 2014). European Sea Ports Organization (ESPO) coordinated the EcoPorts project since 2011 to put the Green Port concept into operation in the European Union (EU) countries (EcoPorts, 2019). The establishment purpose of the EcoPorts network is to share the knowledge and experience in port environmental management. 25 countries are represented in the EcoPorts network and there are 113 members of EcoPorts. Only 2 Turkish ports are in the EcoPorts network: Asyaport Port Inc. with its certificate of Port Environmental Review System (PERS, certificate assessed by Lloyds register), and Marport Terminal Operators with its ISO 14001 certificate. Both of them are located in the Marmara Sea. There is another non-profit foundation named as ECO SLC (Sustainable Logistics Chain), which focuses on the environmental protection of the ports outside Europe and port terminals worldwide (ECOSLC, 2019). There are 5 Turkish ports in the network of ECO SLC: Asyaport Port Inc. (PERS certified), Marport Terminal Operators (ISO certified), Altintel Port and Terminal Operators Inc. (ISO certified), Ege Port (Kusadasi Cruise Port) (both PERS and ISO certified), and Port Akdeniz (ISO certified). Three of these ports are located in the Marmara Sea, one is in the Aegean Sea, and the other one is in the Mediterranean. The Ministry of Transport, Communications and Maritime Affairs, General Directorate of Maritime Trade (DTGM) and Turkish Standards Institution (TSE) launched a collaboration project in December 2014 named as “Green Port / Eco Port” for the implementation of Green Port concept in Turkish waters. The requirements of having a Green Port certificate from the Ministry of Transport and Maritime Affairs and Communications are to have the certificates of TS EN ISO 9001 “Quality Management System”, TS EN ISO 14001 “Environmental Management System” and OHSAS 180001 “Occupational Health and Safety Management System”, in addition to meet the requirements of Sectoral Criteria Conformity (Akgul, 2017).

Currently, there are 12 ports in Turkey, which have Green Port certificate from the Ministry of Transport, Maritime Affairs and Communications: Marport in Beylikduzu, Istanbul; Borusan Logistics in Gemlik, Bursa; Evyap Port in Korfez, Kocaeli; Egeports in Kusadasi, Aydin; Aksaport in Yalova; Asyaport in Kumbag, Tekirdag; Petkim Port in Aliaga, Izmir; Bodrum Kruvaziyer Port in Bodrum, Mugla; Solventas Port in Dilovasi, Kocaeli; Ford Otosan Port in Golcuk, Kocaeli; Kumport in Beylikduzu, Istanbul and Mardas Port in Beylikduzu, Istanbul (Tanzer Satir, personal communication, 15 May 2019). Only 3 of them are located outside of the Marmara Sea, and the rest is located mostly in the east and north-west part of the Marmara Sea. Marmara Sea is a natural passageway between the Black Sea and the Mediterranean due to its geographical location. It composes Turkish Strait System (TSS) together with the Straits of Istanbul and Çanakkale. It is surrounded by the cities of the Marmara Region which has the highest population in the country. As a consequence, industrial and agricultural activities are intensive in this region, and Marmara Sea is directly affected from these anthropogenic activities. Therefore, it is important to have Green Port certified ports in this region

of intense interest. Taking into consideration of the geographical location and geopolitical importance of the Marmara Sea together with the high industrial and agricultural activities due to its high population, it is a necessity to ensure the Green Port continuity in the Marmara Sea. Development and sustainability of Green Ports need extensive research, and monitoring studies of the water quality in the vicinity of Green Ports can also be regarded as worthwhile from the perspective of European Union (EU) Framework Directives, because it is known that each EU country has a must to report their status of water quality due to the Directives of Water Framework and the Marine Strategy (Carvalho et al., 2019). Hence, considering the benefits of remote sensing techniques on the coastal regions with limited data and funding, this study focuses on the selected water quality parameters (Chl-a, CDOM and TSM) in the vicinity of Green Ports located in the Marmara Sea.

2. Materials and Methods

2.1. Study Area

Marmara Sea is the connection of Black Sea to the Aegean and the Mediterranean Sea through the Straits of Istanbul and Çanakkale that form Turkish Strait System. Due to the different salinities and densities of the Black Sea and the Aegean Sea, Marmara Sea becomes a typical example of a stratified water body. The upper layer of the Marmara Sea represents the properties of the Black Sea, while the lower layer represents the characteristics of the Mediterranean. The mixing process and the circulation patterns of this two-layered water body have been analyzed in various studies in the perspective of physical and biogeochemical parameters (Beşiktepe et al., 1994; Yalçın, Artüz, Pavlidou, Çubuk, & Dassenakis, 2017; Zeri et al., 2014).

Marmara Sea is selected as the focus area of the study, considering the capital intensiveness of the ports located in this region of interest. There are 68 member ports of the Ports Operators Association of Turkey (<http://www.turklim.org/en/turklim-members/>), and 39 of these ports are located in the region of the Marmara Sea. However, only 9 of these ports are Green Port certified as their locations are indicated in Figure 1 with green ellipses. The names, locations and graticules of these ports are listed in Table 1.

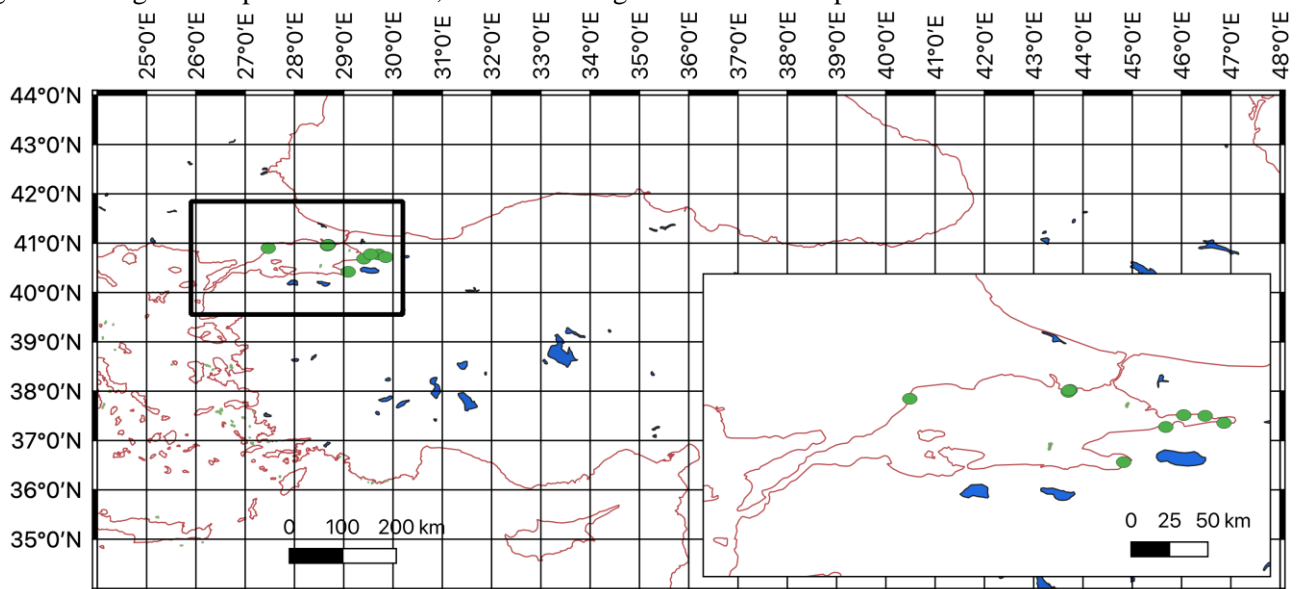


Figure 1. Locations of the 9 Green Ports in the Marmara Sea are indicated with green ellipses. The region of Marmara Sea is enlarged at the right bottom. Three of the ports (Marport, Kumport and Mardas Port) seem overlapped, because they are located closely in Beylikduzu, Istanbul, at the north of the Marmara Sea. This figure is produced by using QGIS Geographic Information System (<https://qgis.org/en/site/>).

Table 1

The names and locations of Green Ports in the Marmara Sea, including their graticules.

Port Name	County	City	Latitude	Longitude
Marport	Beylikduzu	Istanbul	40° 57' 51''	28° 40' 31''
Borusan Logistics	Gemlik	Bursa	40° 24' 54"	29° 04' 49"
Evyap Port	Korfez	Kocaeli	40° 46' 24"	29° 42' 38"
Aksaport	Yalova	Yalova	40° 41' 47"	29° 24' 34"
Asyaport	Kumbag	Tekirdag	40° 54' 02''	27° 28' 15''
Solventas Port	Dilovasi	Kocaeli	40° 46' 6"	29° 32' 36"
Ford Otosan Port	Golcuk	Kocaeli	40° 43' 51"	29° 51' 21"
Kumport	Beylikduzu	Istanbul	40° 57' 56"	28° 40' 59"
Mardas Port	Beylikduzu	Istanbul	40° 57' 46''	28° 40' 11''

Although the surface area of the Marmara Sea is relatively small (approximately 11500 km²), it is divided into 22 Water Management Units depending on their different physical, biological and chemical properties (ÇŞB - ÇEDİGM, 2018). Only 5 of these water management units cover the area of the Green Ports. The coverage area of these water management units and related Green Ports are shown in Table 2.

Table 2

Water Management Units (WMU) which covers the Green Ports in the Marmara Sea.

WMU	Coverage Area	Green Ports in the Area
MAR - 08	South of Tekirdag – Gelibolu Peninsula	Asyaport
MAR - 10	Between Buyukcekmece and Tekirdag (in front of Kucukcekmece)	Marport, Kumport, Mardas Port
MAR – 16	Izmit Inner Gulf	Ford Otosan Port
MAR – 17	Izmit Outer Gulf	Evyaport, Solventas, Aksaport
MAR - 19	Gemlik Gulf	Borusan Logistics

2.2. Remotely Sensed Data

The satellite data of the target area are downloaded from the open source of Copernicus Online Data Access (CODA - coda.eumetsat.int). The data is selected as Level-2 Full Resolution (spatial resolution of 300 m) atmospherically corrected ocean color data. Downloaded data are visualized and evaluated using the freely accessible SNAP (Sentinel Applications Platform) software of the Science Toolbox Exploitation Platform of ESA (<https://step.esa.int/main/toolboxes/snap/>). Photo-active water quality parameters (Chl-a, CDOM and TSM) are detected via OLCI sensor on Sentinel 3A and 3B satellites and spatial maps are generated using its built-in algorithms specialized for the selected parameters. A Neural Network (NN) algorithm is used for the quantification of the monitored parameters (Brockmann et al., 2016; Doerffer & Schiller, 2007). Locations of the selected Green Ports were pinned with their latitudes and longitudes, and the values of the pinned pixels were extracted for further evaluation. Level 2 water geophysical products of full resolution with the pixel size of 300 x 300 m (OL_2_WFR) were used for the evaluation of the water quality products. In this product type, cloudy pixels are excluded, and only the pixels in water are taken into consideration in the final product. Spring and fall seasons were selected to be observed due to the relatively rapid changes of the water parameters in these seasons compared with the other seasons. This fact is also observed in the detections of Chl and CDOM absorption performed specifically in the Marmara Sea (Bengil & Mavruk, 2018). Selected days were considered as two sets: Between 20th of September and 20th of November, 2018 (set 1) and between 20th of March and 20th of May 20, 2019 (set 2). Each day was scanned for the satellite data of the target area. However, regarding only the non-cloudy days over the target area, only 11 and 5 products were obtained for set 1 and 2, respectively.

3. Results and Discussion

The pixels belonging to the location of the 9 Green Ports were extracted separately using the tools of SNAP software and sorted out only for the selected water quality parameters: Chl-a (henceforth named as CHL), TSM and CDOM absorption. The results were summed up as set 1 and 2, indicating respectively the 2018 Fall and 2019 Spring seasons.

3.1. Detected Water Quality Parameters for the 2018 Fall Season

The detected values for the season of 2018 Fall (set 1) are given for the CDOM absorption, CHL and TSM, respectively in Tables 3-5. CDOM is also universally called as Gelb Stoff (yellow substance) due to its optical characteristics, and thus a specific wavelength, which is 443 nm, is used for the determination of CDOM absorption in aquatic environments. OLCI sensor detects and determines the absorption of detritus and Gelb Stoff parameter at the wavelength of 443 nm named as ADG443 by using a neural network (NN) algorithm developed for the purpose of ocean color studies. The obtained values of ADG443 is given in Table 3, in terms of m^{-1} for each of the Green Ports, covering only the non-cloudy days of set 1. Similarly, developed neural network algorithm was used for the determination of the CHL and TSM parameters in the vicinity of each Green Port for the non-cloudy days of set 1, as shown in Table 4 in terms of $mg\ m^{-3}$ and in Table 5 in terms of $g\ m^{-3}$, respectively.

Table 3

Absorption of Detritus and Gelb Stoff parameter detected at 443 nm wavelength (ADG443), an indicator of CDOM parameter. NN: Neural network type of the algorithm. The first column lists the names of the ports, and the other head columns indicates the dates as year-month-day format. The unit of the absorption is m^{-1} .

ADG443_NN	20180921	20180922	20181010	20181027
Asyaport	0.08	0.07	0.03	1.23
Marport	2.66	3.49	2.79	0.52
Mardas	0.10	4.80	0.03	0.12
Kumport	0.13	0.29	0.12	0.07
Ford Otosan	0.38	0.52	1.29	3.83
Evyapport	0.12	0.18	0.18	0.40
Solventas	0.21	0.15	0.24	0.08
Aksa Port	0.19	2.79	0.06	0.35
Borusan	0.15	2.91	0.13	0.54

Table 4

Chlorophyll-a parameter detected by using the neural network type of the algorithm (CHL_NN). The first column lists the names of the ports, and the others indicate the dates (year-month-day). The unit is $mg\ m^{-3}$.

CHL_NN	20180921	20180922	20181010	20181027
Asyaport	0.40	0.75	0.19	7.09
Marport	8.49	12.66	11.35	0.83
Mardas	0.54	3.56	0.23	0.96
Kumport	0.80	2.22	0.67	0.42
Ford Otosan	3.43	1.16	5.70	5.30
Evyapport	0.28	0.43	0.48	1.55
Solventas	0.86	0.75	0.83	0.48
Aksa Port	0.36	15.17	0.27	1.16
Borusan	0.45	14.11	0.38	1.72

Table 5

Total suspended matter parameter detected by using the neural network type of the algorithm (TSM_NN). The first column lists the names of the ports, and the other head columns indicates the dates as year-month-day format. The unit of TSM is $g\ m^{-3}$.

TSM_NN	20180921	20180922	20181010	20181027
Asyaport	0.26	2.30	0.54	5.91
Marport	8.81	2.48	2.39	5.91
Mardas	1.39	13.13	0.42	2.66
Kumport	1.72	1.55	0.39	1.72
Ford Otosan	5.70	5.50	1.99	3.08
Evyapport	1.39	2.39	0.34	0.47
Solventas	2.97	2.76	0.42	0.80
Aksa Port	2.14	2.14	0.80	1.11
Borusan	0.47	1.99	0.50	3.97

3.2. Detected Water Quality Parameters for the 2019 Spring Season

The extracted and summed up data of the pixels in the vicinity of the Green Ports for the spring season of 2019 are shown in Tables 6-8 for CDOM absorption (ADG443), CHL and TSM, respectively. The number of the selected days are higher compared with the fall season, because of the higher number of non-cloudy days detected by the ocean color sensors attached on the satellites. Because only the Level 2 geophysical water products are interested in this study, cloudiness of the detected day and time is important for the evaluation of the data. As a principle, non-cloudy pixels are selected for the Level 2 Water Full Resolution products of OLCI ocean color sensor (OL_L2_WFR). Additionally, there are two different detections for the same day of 25 March 2019 and 5 April 2019, because these days are detected by both of the Sentinel 3A and 3B satellites. The inequality of the data extracted from two satellites draws attention to the importance of the field measurements of the water quality parameters.

Table 6

Absorption of Detritus and Gelb Stoff parameter detected at 443 nm wavelength (ADG443), which can be used as an indicator of CDOM parameter. NN extension in the name of the detected parameter shows the neural network type of the algorithm. The first column lists the names of the ports, and the other head columns indicates the dates as year-month-day format. The unit of the absorption is m^{-1} .

ADG443_NN	2019 0322	2019 0325- S3B	2019 0325	2019 0326	2019 0329	2019 0405- S3B	2019 0417	2019 0421	2019 0422	2019 0430	2019 0519
Asyaport	4.00	0.32	1.29	4.38	3.83	3.66	1.85	3.49	4.00	4.38	1.41
Marport	3.83	4.19	3.83	3.83	2.66	3.19	0.21	2.03	3.83	3.83	2.66
Mardas	3.83	0.72	3.34	3.83	1.23	3.66	0.06	0.09	2.12	2.66	0.29
Kumport	0.94	3.83	0.62	0.30	0.30	0.10	0.04	0.12	0.11	0.50	3.83
Ford Otosan	0.14	0.11	0.21	0.25	0.62	0.16	0.02	0.09	0.48	1.55	0.45
Evyapport	2.66	0.60	4.19	5.25	0.02	0.20	0.57	0.02	4.80	4.19	0.28
Solventas	2.91	0.17	0.75	3.83	0.52	0.18	0.03	1.55	0.28	0.20	0.21
Aksa Port	0.23	0.23	0.29	3.83	0.15	0.09	0.03	0.35	0.54	1.85	0.43
Borusan	0.10	0.13	0.30	0.36	0.32	0.12	0.02	0.07	0.52	0.65	0.35

Table 7

Chlorophyll-a parameter detected by using the neural network type of the algorithm (CHL_NN). The first column lists the names of the ports, and the other head columns indicates the dates as year-month-day format. The unit of CHL is mg m^{-3} .

CHL_NN	2019 0322	2019 0325- S3B	2019 0325	2019 0326	2019 0329	2019 0405- S3B	2019 0417	2019 0421	2019 0422	2019 0430	2019 0519
Asyaport	12.21	2.76	9.82	6.36	6.36	12.21	9.82	7.62	4.59	3.83	7.09
Marport	12.21	3.69	7.35	12.66	7.62	10.95	0.80	10.56	8.81	11.77	11.35
Mardas	5.70	5.30	7.09	10.56	6.36	11.77	0.45	0.60	13.61	11.77	0.96
Kumport	2.97	11.77	3.69	2.39	0.83	0.65	0.34	0.35	0.48	2.57	10.95
Ford Otosan	1.49	0.56	1.08	1.44	4.27	1.04	0.26	0.32	1.11	7.90	0.78
Evyapport	10.18	2.22	4.76	0.36	0.08	1.11	2.14	0.14	1.85	4.59	1.04
Solventas	14.63	1.08	3.83	5.70	1.72	0.96	0.26	9.47	2.30	0.65	2.22
Aksa Port	0.34	1.79	0.20	11.77	0.17	0.38	0.30	0.38	0.60	11.77	0.48
Borusan	0.52	0.65	0.72	1.39	0.52	0.65	0.13	0.45	4.11	3.69	1.20

Table 8

Total suspended matter parameter detected by using the neural network type of the algorithm (TSM_NN). The first column lists the names of the ports, and the other head columns indicates the dates as year-month-day format. The unit of TSM is g m^{-3} .

TSM_NN	2019 0322	2019 0325- S3B	2019 0325	2019 0326	2019 0329	2019 0405- S3B	2019 0417	2019 0421	2019 0422	2019 0430	2019 0519
Asyaport	69.59	1.99	2.76	26.14	17.54	60.19	2.57	20.28	5.91	8.81	1.55
Marport	62.41	6.59	3.08	69.59	8.19	31.34	0.50	1.66	25.21	50.21	6.83
Mardas	9.47	0.90	4.93	43.43	1.55	46.70	0.40	0.47	1.55	1.85	0.62
Kumport	2.66	53.99	0.93	0.96	0.48	1.92	0.29	0.65	1.72	1.20	41.88
Ford Otosan	4.11	1.20	1.08	2.48	3.83	0.67	0.29	0.28	1.72	1.66	3.83
Evyapport	5.50	0.54	36.23	45.03	0.08	0.80	0.75	0.11	6.13	4.76	0.39
Solventas	1.92	1.60	0.80	4.59	0.54	2.76	0.20	2.57	1.92	1.16	7.62
Aksa Port	1.79	1.55	1.99	55.98	1.04	1.29	0.32	2.48	4.59	1.60	4.93
Borusan	1.11	1.20	1.00	0.67	1.34	2.22	0.13	0.30	2.86	1.92	1.24

As indicated, it is important to validate the sensor detected data with the field measurements. They have to be compatible with each other, and match-up. That is a necessary part of the ocean color studies. However, this match-up is out of the scope of the present study. It requires a comprehensive field and laboratory work with the necessary equipment such as spectrometer to detect the reflectance, radiance and irradiance of light, in addition to the spectrophotometers and filters of 0.7 and 0.2 μm pore sizes together with the amber-colored water bottles to filter and measure the water properties collected from the vicinity of the selected ports. Therefore, this study focuses on only the data of ocean color sensors attached on the satellites. Consequently, the average values of the results shown in Tables 3-8 are calculated and presented in Table 9.

3.3. Average Values and Comparisons

The ranges of ADG443, CHL and TSM in set 1 vary between $0.03\text{-}4.80 \text{ m}^{-1}$, $0.19\text{-}15.17 \text{ mg m}^{-3}$ and $0.26\text{-}13.13 \text{ g m}^{-3}$, respectively. Although there is only 1-day interval for the first two detections of set 1, the differences of the CHL values in the vicinity of Aksa Port and Borusan seems as if they are out of ordinary. Similarly, for the second non-cloudy day of set 1 (third columns of Tables 3-5), maximum values of

ADG443 and TSM were obtained in the vicinity of Mardas port. Moreover, the detected values were higher in the vicinity of Aksa Port and Borusan for ADG443 parameter and in the vicinity of Asyaport for TSM parameter. However, they are not excluded from the data set used to calculate the average values of the selected water quality parameters as shown in Table 9.

The ranges of ADG443, CHL and TSM in set 2 vary between 0.02-4.80 m⁻¹, 0.13-14.63 mg m⁻³ and 0.08-69.59 g m⁻³, respectively. The ranges of set 2 are similar to the ranges of set 1 for the detections of ADG443 and CHL parameters. On the other hand, the values of TSM in set 2 are widely ranged with a maximum value of 69.59 g m⁻³. One reason for this wide variation could be the seasonal effects. Therefore, all of the detected values are included for the calculations of average values shown in Table 9.

Table 9

Average values of the selected water quality parameter in the vicinity of 9 Green Ports located in the Marmara Sea for the seasons of Fall 2018 (set 1) and Spring 2019 (set 2).

	ADG443 (m ⁻¹)		CHL (mg m ⁻³)		TSM (g m ⁻³)	
	2018 Fall	2019 Spring	2018 Fall	2019 Spring	2018 Fall	2019 Spring
Asyaport	0.35	2.96	2.11	7.51	2.25	19.76
Marport	2.37	3.10	8.33	8.89	4.90	24.15
Mardas	1.26	1.98	1.32	6.74	4.40	10.17
Kumport	0.15	0.97	1.03	3.36	1.35	9.70
Ford Otosan	1.50	0.37	3.90	1.84	4.07	1.92
Evyapport	0.22	2.07	0.69	2.59	1.14	9.12
Solventas	0.17	0.97	0.73	3.89	1.74	2.33
Aksa Port	0.85	0.73	4.24	2.56	1.55	7.05
Borusan	0.94	0.27	4.17	1.28	1.73	1.27

The average values of a widespread, global data set is formed by merging field measurement data from different sources: NASA NOMAD and COLORS. NOMAD is the acronym of the NASA bio-Optical Marine Algorithm Dataset. It is freely accessible via <https://seabass.gsfc.nasa.gov/wiki/NOMAD>, but available only for educational and scientific research. This data set contains more than 3400 stations of both apparent (e.g. water-leaving radiances, surface irradiances, diffuse downwelling attenuation coefficients) and inherent (e.g. phytoplankton pigments) optical parameters of water (Werdell & Bailey, 2005). COLORS is the abbreviation of the project named “Coastal region long-term measurements for colour remote sensing development and validation”, funded by European Commission between the years of 1997 and 2000. Information related to the COLORS project can be accessed via the websites of Coastal Union Germany (EUCC-D) (<http://databases.eucc-d.de/plugins/projectsdb/project.php?show=234>) and NASA Global Change Master Directory (<https://gcmd.gsfc.nasa.gov>). Optical parameters of both data sets had been combined and represented as a global reference data set for the comparison of Baltic Sea to the other aquatic environments (Kratzer & Moore, 2018). Inherent optical parameters of water (Chl-a, TSM and CDOM), which are also important indicators of water quality studies were collocated by Kratzer & Moore (2018) from this combined data set. They grouped the values of 1982 Chl-a, 556 TSM and 860 CDOM absorption measurements with a range of 0.02-70.2 ug L⁻¹, 0.01-81.2 g m⁻³, and 0.001-0.6 m⁻¹, respectively.

Another dataset used for the comparison is from the database of the GlobColour project funded by ESA (<http://globcolour.info>). It is freely available only for research and educational uses, not for commercial uses, and the data has been developed, validated and distributed by ACRI-ST, France (<http://hermes.acri.fr/index.php?class=acknowledgement>). Bengil & Mavruk (2018) evaluated 10 years of time period between September 1997 and March 2007 by focusing on the Marmara Sea and generating 235 composite imaging products from the GlobColour dataset. They divided Marmara Sea into two sub-regions as western and eastern due to their different oceanographic characteristics and dynamics (Beşiktepe et al.,

1994), and calculated the monthly mean averages of 10 years of time period as 1.62 and 1.93 mg m⁻³ with a range of 0.42-6.53 and 0.42-7.01 for chlorophyll, and 0.14 and 0.16 m⁻¹ with a range of 0.06-0.45 and 0.08-0.36 for CDOM absorption for the western and eastern Marmara Sea, respectively (Bengil & Mavruk, 2018).

When the average values of the data set of this study, as shown in Table 9, is compared with the mentioned data sets above, it is seen that detected CDOM absorption (ADG443) values are higher than the measurements of the global reference data set and the database of the GlobColour project, especially in the vicinity of Marport and Mardas. The average values of CHL parameter of this study vary between 0.69-8.89 mg m⁻³, and the results are reasonable compared with the other data sets which range between 0.42-7.01 mg m⁻³ for the Marmara Sea. Similarly, average values of TSM parameter in the vicinity of Green Ports are within the range of the global reference data set, with a minimum and maximum value of 1.14 and 24.15 g m⁻³, respectively. As an overall evaluation of the present study, it is easily said that the remote sensing capabilities of the OLCI sensor attached on Sentinel-3 satellites enable reasonable detections for the observation of the water quality parameters. However, it is important to emphasize that remote sensing studies should be coupled with field measurements for reliable results. This fact comes into prominence in the regions of dominant anthropogenic activities such as ports, especially in the vicinity of Green Port certified ports, considering the purpose of the certification as sustainable and climate-friendly port development.

4. Conclusion

It is apparent that to obtain data via satellites provides a huge advantage for the observations of the water quality parameters in the vicinity of certified Green Ports in Marmara Sea, on behalf of being open access data on a wide range of geographical area with a high resolution of 300 m to 300 m for inland, coastal and open water zones, supported with its neural network algorithms. However, it should be taken into consideration that the validation of the data is a must, in order to do for a final evaluation and decision-making, regarding these two steps as complements of each other. Apart from the match-up of the field and the detected data, the values should be compared with the local and global water quality limits, if any of them exists for the selected locations. These steps should be seen as the regular studies that need to be done for the development and sustainability of Green Ports from the perspective of environmental studies.

Acknowledgement

The author would like to thank Assoc. Prof. Dr. Tanzer Satır from Istanbul Technical University, Faculty of Maritime for providing the names of the certified Green Ports in Turkey. She also would like to thank Assist. Prof. Dr. Bilge Tutak from Istanbul Technical University, Faculty of Naval Architecture and Ocean Engineering for guiding the author to use the software of Geographical Information System, QGIS, a product of the Open Source Geospatial Foundation Project. Moreover, the author thanks European Space Agency for free Sentinel-3 images, and she appreciates the anonymous reviewers for their comments and suggestions on the improvement of the manuscript.

Author Contributions

Sevil Deniz YAKAN DÜNDAR: Conceived and designed the paper, collected data, performed the analysis, and wrote the paper.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

References

- Akgul, B. (2017). Green Port / Eco Port Project-Applications and Procedures in Turkey. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 95(4). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/95/4/042063>
- Alparslan, E., Aydoğan, C., Tufekci, V., & Tufekci, H. (2007). Water quality assessment at Ömerli Dam using remote sensing techniques. *Environmental Monitoring and Assessment*, 135(1-3), 391-398. <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9658-6>
- Alparslan, E., Coskun, H. G., & Alganci, U. (2009). Water quality determination of Küçükçekmece Lake,

- Turkey by using multispectral satellite data. *TheScientificWorldJournal*, 9, 1215–1229. <https://doi.org/10.1100/tsw.2009.135>
- Bengil, F., & Mavruk, S. (2018). Bio-optical trends of seas around Turkey: An assessment of the spatial and temporal variability. *Oceanologia*, 60(4), 488–499. <https://doi.org/10.1016/j.oceano.2018.03.004>
- Beşiktepe, Ş. T., Sur, H. I. do., Özsoy, E., Latif, M. A., Oğuz, T., & Ünlüata, Ü. (1994). The circulation and hydrography of the Marmara Sea. *Progress in Oceanography*, 34(4), 285–334. [https://doi.org/10.1016/0079-6611\(94\)90018-3](https://doi.org/10.1016/0079-6611(94)90018-3)
- Blix, K., Pálffy, K., Tóth, V. R., & Eltoft, T. (2018). Remote sensing of water quality parameters over Lake Balaton by using Sentinel-3 OLCI. *Water (Switzerland)*, 10(10). <https://doi.org/10.3390/w10101428>
- Brando, V. E., & Dekker, A. G. (2003). Satellite hyperspectral remote sensing for estimating estuarine and coastal water quality. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(6 PART I), 1378–1387. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2003.812907>
- Brezonik, P. L., Olmanson, L. G., Finlay, J. C., & Bauer, M. E. (2015). Factors affecting the measurement of CDOM by remote sensing of optically complex inland waters. *Remote Sensing of Environment*, 157, 199–215. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.04.033>
- Brockmann, C., Roland, Peters, M., Kerstin, Sabine, & Ruescas, A. (2016). *Evolution of the C2RCC Neural Network for Sentinel 2 and 3 for the Retrieval of Ocean Colour Products in Normal and Extreme Optically Complex Waters*.
- Carvalho, L., Mackay, E. B., Cardoso, A. C., Baattrup-Pedersen, A., Birk, S., Blackstock, K. L., ... Solheim, A. L. (2019). Protecting and restoring Europe's waters: An analysis of the future development needs of the Water Framework Directive. *Science of the Total Environment*, 658, 1228–1238. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.255>
- Colella, S., Falcini, F., Rinaldi, E., Sammartino, M., & Santoleri, R. (2016). Mediterranean ocean colour chlorophyll trends. *PLoS ONE*, 11(6), 1–16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0155756>
- ÇŞB - ÇEDİDGM. (2018). *Marine Quality Bulletin - Marmara Sea*. Retrieved from https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/mar-ne-qual-ty-bullet-n-2018_marmara-sea-20180319074908.pdf
- Del Castillo, C. E., Gilbes, F., Coble, P. G., & Müller-Karger, F. E. (2000). On the dispersal of riverine colored dissolved organic matter over the West Florida Shelf. *Limnology and Oceanography*, 45(6), 1425–1432. <https://doi.org/10.4319/lo.2000.45.6.1425>
- Del Castillo, C. E., & Miller, R. L. (2008). On the use of ocean color remote sensing to measure the transport of dissolved organic carbon by the Mississippi River Plume. *Remote Sensing of Environment*, 112(3), 836–844. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.06.015>
- Doerffer, R., & Schiller, H. (2007). The MERIS case 2 water algorithm. *International Journal of Remote Sensing*, 28(3–4), 517–535. <https://doi.org/10.1080/01431160600821127>
- Donlon, C., Berruti, B., Buongiorno, A., Ferreira, M. H., Féménias, P., Frerick, J., ... Sciarra, R. (2012). The Global Monitoring for Environment and Security (GMES) Sentinel-3 mission. *Remote Sensing of Environment*, 120(2012), 37–57. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.07.024>
- Doxaran, D., Froidefond, J.-M., Lavender, S., & Castaing, P. (2002). Spectral signature of highly turbid waters. *Remote Sensing of Environment*, 81(1), 149–161. [https://doi.org/10.1016/s0034-4257\(01\)00341-8](https://doi.org/10.1016/s0034-4257(01)00341-8)
- Ekercin, S. (2007). Water quality retrievals from high resolution ikonos multispectral imagery: A case study in Istanbul, Turkey. *Water, Air, and Soil Pollution*, 183(1–4), 239–251. <https://doi.org/10.1007/s11270-007-9373-5>
- Feng, L., Hu, C., Chen, X., & Song, Q. (2014). Influence of the Three Gorges Dam on total suspended matters in the Yangtze Estuary and its adjacent coastal waters: Observations from MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 140, 779–788. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.10.002>
- Ferrari, G. M., Hoepffner, N., & Mingazzin, M. (1996). Optical properties of the water in a Deltaic environment: Prospectivetool to analyze satellite data in turbid waters. *Remote Sensing of Environment*, 58(1), 69–80. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(96\)00058-2](https://doi.org/10.1016/0034-4257(96)00058-2)
- Gholizadeh, M., Melesse, A., & Reddi, L. (2016). A Comprehensive Review on Water Quality Parameters Estimation Using Remote Sensing Techniques. *Sensors*, 16(8), 1298. <https://doi.org/10.3390/s16081298>
- Giardino, C., Bresciani, M., Cazzaniga, I., Schenk, K., Rieger, P., Braga, F., Brando, V. E. (2014). Evaluation of multi-resolution satellite sensors for assessing water quality and bottom depth of Lake

- Garda. *Sensors (Switzerland)*, 14(12), 24116–24131. <https://doi.org/10.3390/s141224116>
- Gitelson, A. A., Dall’Olmo, G., Moses, W., Rundquist, D. C., Barrow, T., Fisher, T. R., Holz, J. (2008). A simple semi-analytical model for remote estimation of chlorophyll-a in turbid waters: Validation. *Remote Sensing of Environment*, 112(9), 3582–3593. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.04.015>
- Hadjimitsis, D. G., & Clayton, C. (2009). Assessment of temporal variations of water quality in inland water bodies using atmospheric corrected satellite remotely sensed image data. *Environmental Monitoring and Assessment*, 159(1–4), 281–292. <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0629-3>
- Han, L., & Jordan, K. J. (2005). Estimating and mapping chlorophyll-a concentration in Pensacola Bay, Florida using Landsat ETM + data. *International Journal of Remote Sensing*, 26(23), 5245–5254. <https://doi.org/10.1080/01431160500219182>
- Hellweger, F. L., Schlosser, P., Lall, U., & Weissel, J. K. (2004). Use of satellite imagery for water quality studies in New York Harbor. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 61(3), 437–448. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2004.06.019>
- Hoogenboom, H. J., Dekker, A. G., & Althuis, I. A. (1998). Simulation of AVIRIS sensitivity for detecting chlorophyll over coastal and inland waters. *Remote Sensing of Environment*, 65(3), 333–340. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(98\)00042-X](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(98)00042-X)
- Koponen, S., Pulliainen, J., Kallio, K., & Hallikainen, M. (2002). Lake water quality classification with airborne hyperspectral spectrometer and simulated MERIS data. *Remote Sensing of Environment*, 79(1), 51–59. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00238-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00238-3)
- Kratzer, S., & Moore, G. (2018). Inherent optical properties of the Baltic Sea in comparison to other seas and oceans. *Remote Sensing*, 10(3), 418. <https://doi.org/10.3390/rs10030418>
- Madsen, J. D., Chambers, P. A., James, W. F., Koch, E. W., & Westlake, D. F. (2001). Modelling Sediment Resuspension, Water Quality and Submersed Aquatic Vegetation. In *Hydrobiologia* (Vol. 444).
- Mannino, A., Russ, M. E., & Hooker, S. B. (2008). Algorithm development and validation for satellite-derived distributions of DOC and CDOM in the U.S. Middle Atlantic Bight. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 113(7), 1–19. <https://doi.org/10.1029/2007JC004493>
- Morel, A., & Prieur, L. (1977). Analysis of variations in ocean color. *Limnology and Oceanography*, 22(4), 709–722. <https://doi.org/10.4319/lo.1977.22.4.0709>
- Myint, S. W., & Walker, N. D. (2002). Quantification of surface suspended sediments along a river dominated coast with NOAA AVHRR and Sea WiFS measurements: Louisiana, USA. *International Journal of Remote Sensing*, 23(16), 3229–3249. <https://doi.org/10.1080/01431160110104700>
- Nechad, B., Ruddick, K. G., & Park, Y. (2010). Calibration and validation of a generic multisensor algorithm for mapping of total suspended matter in turbid waters. *Remote Sensing of Environment*, 114(4), 854–866. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.11.022>
- Oguz, T., & Gilbert, D. (2007). Abrupt transitions of the top-down controlled Black Sea pelagic ecosystem during 1960-2000: Evidence for regime-shifts under strong fishery exploitation and nutrient enrichment modulated by climate-induced variations. *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 54(2), 220–242. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2006.09.010>
- Pavlic, B., Cepak, F., Sucic, B., Peckaj, M., & Kandus, B. (2014). Sustainable Port Infrastructure, Practical Implementation of the. *Thermal Science*, 18(3), 935–948. <https://doi.org/10.2289/TSCII1403935P>
- Petus, C., Waterhouse, J., Lewis, S., Vacher, M., Tracey, D., & Devlin, M. (2019). A flood of information: Using Sentinel-3 water colour products to assure continuity in the monitoring of water quality trends in the Great Barrier Reef (Australia). *Journal of Environmental Management*, 248(July), 109255. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.07.026>
- Ritchie, J. C., Zimba, P. V., & Everitt, J. H. (2003). Remote Sensing Techniques to Assess Water Quality / Técnicas de teledetección para evaluar la calidad del agua. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 69(6), 695–704. <https://doi.org/10.14358/PERS.69.6.695>
- Schlichter, D., Kampmann, H., & Conrady, S. (1997). Trophic potential and photoecology of endolithic algae living within coral skeletons. *Marine Ecology*, 18(4), 299–317. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0485.1997.tb00444.x>
- Seyhan, E., & Dekker, A. (1986). Application of remote sensing techniques for water quality monitoring. *Hydrobiological Bulletin*, 20(1–2), 41–50. <https://doi.org/10.1007/BF02291149>
- Spencer, R. G. M., Ahad, J. M. E., Baker, A., Cowie, G. L., Ganeshram, R., Upstill-Goddard, R. C., & Uher, G. (2007). The estuarine mixing behaviour of peatland derived dissolved organic carbon and its relationship to chromophoric dissolved organic matter in two North Sea estuaries (U.K.). *Estuarine*,

- Coastal and Shelf Science*, 74(1–2), 131–144. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2007.03.032>
- Stedmon, C. A., Markager, S., Søndergaard, M., Vang, T., Laubel, A., Borch, N. H., & Windelin, A. (2006). Dissolved Organic Matter (DOM) export to a temperate estuary: Seasonal variations and implications of land use. *Estuaries and Coasts*, 29(3), 388–400. <https://doi.org/10.1007/BF02784988>
- Toming, K., Kutser, T., Tuvikene, L., Viik, M., & Nõges, T. (2016). Dissolved organic carbon and its potential predictors in eutrophic lakes. *Water Research*, 102, 32–40. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.06.012>
- Usali, N., & Ismail, M. H. (2010). Use of Remote Sensing and GIS in Monitoring Water Quality. *Journal of Sustainable Development*, 3(3). <https://doi.org/10.5539/jsd.v3n3p228>
- van der Woerd, H. J., & Wernand, M. R. (2015). True colour classification of natural waters with medium-spectral resolution satellites: SeaWiFS, MODIS, MERIS and OLCI. *Sensors (Switzerland)*, 15(10), 25663–25680. <https://doi.org/10.3390/s151025663>
- Vignudelli, S., Santinelli, C., Murru, E., Nannicini, L., & Seritti, A. (2004). Distributions of dissolved organic carbon (DOC) and chromophoric dissolved organic matter (CDOM) in coastal waters of the northern Tyrrhenian Sea (Italy). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 60(1), 133–149. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2003.11.023>
- Wang, X., Ling, F., Yao, H., Liu, Y., & Xu, S. (2019). Unsupervised Sub-pixel water body mapping with sentinel-3 OLCI image. *Remote Sensing*, 11(3). <https://doi.org/10.3390/rs11030327>
- Wass, P. D., Marks, S. D., Finch, J. W., Leeks, G. J. L., & Ingram, J. K. (1997). Monitoring and preliminary interpretation of in-river turbidity and remote sensed imagery for suspended sediment transport studies in the Humber catchment. *Science of the Total Environment*, 194–195(96), 263–283. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(96\)05370-3](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(96)05370-3)
- Werdell, P. J., & Bailey, S. W. (2005). An improved in-situ bio-optical data set for ocean color algorithm development and satellite data product validation. *Remote Sensing of Environment*, 98(1), 122–140. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.07.001>
- Yalçın, B., Artüz, M. L., Pavlidou, A., Çubuk, S., & Dassenakis, M. (2017). Nutrient dynamics and eutrophication in the Sea of Marmara: Data from recent oceanographic research. *Science of the Total Environment*, 601–602, 405–424. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.179>
- Yu, Q., Tian, Y. Q., Chen, R. F., Liu, A., Gardner, G. B., & Zhu, W. (2010). Functional linear analysis of in situ hyperspectral data for assessing CDOM in rivers. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 76(10), 1147–1158. <https://doi.org/10.14358/PERS.76.10.1147>
- Zeri, C., Beşiktepe, Ş., Giannakourou, A., Krasakopoulou, E., Tzortziou, M., Tsoliakos, D., ... Papathanassiou, E. (2014). Chemical properties and fluorescence of DOM in relation to biodegradation in the interconnected Marmara-North Aegean Seas during August 2008. *Journal of Marine Systems*, 135, 124–136. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2013.11.019>

Comparison of Maximum Power Point Tracking Techniques on Photovoltaic Panels

Evren Isen^{1,*}, Akif Sengul²

¹Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Bandirma Onyedi Eylul University, Bandirma, Turkey

²Department of Electrical and Electronics Engineering, Faculty of Engineering, Kırklareli University, Kırklareli, Turkey

Article History

Received: 09.02.2020

Accepted: 07.05.2020

Published: 22.05.2020


Research Article

Abstract – In this study, a simulation is performed in Matlab/Simulink to evaluate the energy production performance of the perturb & observe, incremental conductance, short circuit current and open circuit voltage techniques. In order to evaluate the performance of the techniques, they are tested under constant temperature and irradiation conditions, as well as variable temperature and irradiation conditions. In the study, 1Soltech 1STH-215-P model photovoltaic panel is used. The maximum power point tracking is applied with a DC-DC boost converter, and the energy is stored in the battery. Maximum power point tracking algorithms are applied with m-file code using Matlab Function block in Simulink. The m-file codes, the extracted power waveforms and the amount of produced energy are presented in the study. It is observed that the energy performance of the short circuit current and open circuit voltage techniques varies depending on the measurement period, especially in variable weather conditions, while the perturb & observe and the incremental conductance algorithms are the ones that produce the most energy. While the open circuit voltage technique produces more energy than the short circuit current at constant temperature and variable irradiation, the short circuit current algorithm at constant irradiation and variable temperature produces more energy. While two sensors are used for current and voltage measurement in perturb & observe and incremental conductance techniques, the use of a single sensor in short circuit current and open circuit voltage techniques and the simplicity of the algorithms are seen as the advantageous aspects of these techniques.

Keywords – Photovoltaic panel, power electronics, maximum power point, mppt, solar energy,

1. Introduction

Photovoltaic (PV) systems play an important role in increasing renewable energy use due to environmental factors and depletion of fossil fuels. While the photovoltaic system power installed worldwide in 2012 was 29.5 GW, this value reached 107 GW in 2018. Total installed power at the end of 2018 was 518 GW (Jager-Waldau, 2019). Electrical energy is produced from solar energy with the help of photovoltaic panels created using photovoltaic cells. Photovoltaic systems can be installed as grid connected or off-grid types that can transfer energy from panels to the network or to the load (Rawat, Kaushik, & Lamba, 2016). Photovoltaic systems have different types of application areas such as electrical energy supply of off-grid rural areas (Irfan, Zhao, Ahmad, & Rehman, 2019), network support with high power plant (Mensah, Yamoah, & Adaramola, 2019), energy injection to the network with residential PV applications (Kharrazi, Sreeram, & Mishra, 2020), water pumping systems (Sontake & Kalamkar, 2016), wastewater purification systems, greenhouse and fishing pond applications (Xue, 2017), traffic lights systems (Moghbelli et al., 2009). In order to produce energy efficiently in photovoltaic systems, it is necessary to control the extracted power from PV panels, continuously. This requirement comes from the operating characteristics of photovoltaic panels. The maximum power that a photovoltaic panel can deliver varies depending on the irradiation and cell temperature (Hasan & Parida, 2016). Therefore, maximum power point tracking (MPPT)

¹  <http://orcid.org/0000-0002-3107-9255> eisen@bandirma.edu.tr

²  <http://orcid.org/0000-0003-1938-2689> akif.sengul@klu.edu.tr

* Corresponding Author

algorithms are used in power electronic converters that control the energy drawn from panel. Perturb & observe (P&O), incremental conductance (IC), open circuit voltage (OCV) and short circuit current (SCC) techniques are some of developed techniques (Karami, Moubayed, & Outbib, 2017). P&O algorithm is often used in MPPT converters. There are studies on this technique to improve the performance in the literature. Dynamic step size is used in P&O algorithm in order to reduce the power oscillation in steady state. The step size is reduced in the maximum point area, thereby reducing the oscillation (Ahmed & Salam, 2015). In the P&O technique, which is developed using the artificial bee colony algorithm, local maximum power point tracking can be performed effectively in case of local shading (Pilakkat & Kanthalakshmi, 2019). In a study in which P&O algorithm and fuzzy logic technique are used together, using the advantageous sides of the two techniques, a fast dynamic response is obtained with low oscillation and overshoot in steady state operation (Zainuri, Radzi, Soh, & Rahim, 2014). In another technique, IC algorithm, a cleaner power with faster dynamic and stable less fluctuation applying adaptive fuzzy controller to DC-DC converter (Punitha, Devaraj, & Sakthivel, 2013). With IC algorithm in which the open circuit voltage is adapted, better results are obtained in terms of maximum power point tracking and output power in environments where rapid changes in weather conditions are experienced compared to traditional IC and P&O algorithms (Huynh, 2014). Another study in which the residual IC method is used, the oscillations around the maximum power point eliminated and the MPPT was improved (Alsumiri, 2019). Variable step size is applied to eliminate the dividing processes in the IC algorithm and to simplify the algorithm to reduce the processing load and the sampling time. Steady power oscillations are reduced and transient state response is improved (Zakzouk, Elsharty, Abdelsalam, Helal, & Williams, 2015). Unlike the conventional IC, where the ratio of power change to voltage change is used, an improvement of the response speed and steady state error is achieved by determining the variable step range by using the ratio of power change to current change (Mei, Shan, Liu, & Guerrero, 2011).

In this paper, simulation study of MPPT techniques called P&O, IC, OCV and SSC are carried out. Performance analysis is performed using the four algorithms on the same system for the same environmental conditions. In the system, where a photovoltaic panel and boost type DC-DC converter are used, the energy produced by the panel is stored in the battery. The amount of energy produced in the same period is compared, and their superiority compared to each other is revealed. In addition, the system is simulated in Matlab/Simulink. The converter control is carried out with the m-file code and the codes used in all methods are presented in the study.

2. Maximum Power Point Tracking Techniques

Since the efficiency values of photovoltaic panels, which are one of the renewable energy sources, are low, the use of MPPT techniques becomes more important. With the developments in panel production, panel efficiency has increased to 22.8% today, while the efficiency of the panels used in the market, in general, is between 15% and 17%. Drawing as much power as possible from a low efficiency source ensures the efficient use of source power within the maximum limits. For this reason, MPPT algorithms are used in the control of the photovoltaic panel. This section provides information about the algorithms to be studied in this study.

2.1. Perturb & Observe Technique

Perturb & observe technique is the preferred technique among MPPT algorithms. Ease of application and accuracy is the reason for preference. In the application of this technique, panel output voltage and current are measured continuously, and panel power is calculated. The overall working principle of the technique is to observe the voltage and power change at the panel output, as seen in Figure 1 and expressed in Table 1, and to decide what should be done in the next step. The voltage and power differences between the two measuring points are used to determine the process to be performed in the next step. If the voltage and power variations are positive, it means the operating point goes to the maximum power point from the left side, however, if the voltage variation is positive and power variation is negative, it means maximum power point is passed as seen in Figure 1. Power control is provided by generating the necessary switching signals to change the panel output voltage value according to Table 1 by observing the other possible two situations.

(2.1) includes the mathematical expression of the control algorithm. As can be seen, the panel voltage value that should be in the next step is determined by the ratio of power change to voltage change. Depending on this ratio, the previous voltage value can be increased or decreased by the decrease voltage (V_{step}) and the new reference voltage value is obtained. The flowchart of the technique is given in Figure 2. The variation of the voltage at the panel output varies with the panel current. When the panel output voltage needs to be increased, the current drawn from the panel is reduced to increase the panel voltage. At this point, the power output is adjusted by changing the switching signal duty ratio of the power electronics converter at the output of the panel to increase or decrease panel current. Although it is simple in terms of working principle, even when working at the maximum power point, it is not fixed at this point due to the change in voltage and power compared to the previous step and it constantly works around the point. In other words, it oscillates around the maximum power point. This situation causes power loss. This technique also delays in reacting to rapid weather changes. The step size must be reduced in order to reduce the oscillating, but this increases the time to reach the maximum point (Kollimalla & Mishra, 2014).

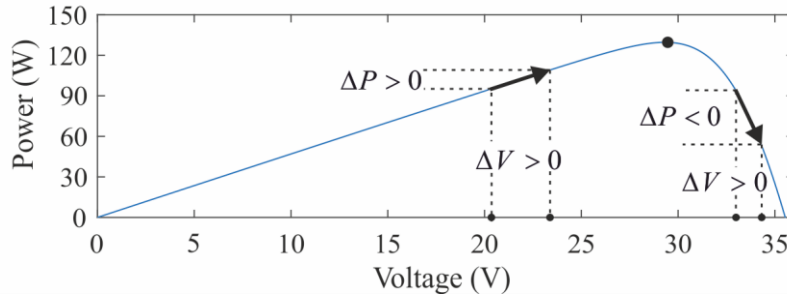


Figure 1. Maximum power point tracking in P&O

Table 1

Operation principle of P&O technique

Voltage change (ΔV)	Power change (ΔP)	Direction in next step
Positive	Positive	Positive
Positive	Negative	Negative
Negative	Positive	Negative
Negative	Negative	Positive

$$V_{ref} = \begin{cases} V + V_{step} & \frac{\Delta P}{\Delta V} > 0 \\ V - V_{step} & \frac{\Delta P}{\Delta V} < 0 \end{cases} \quad (2.1)$$

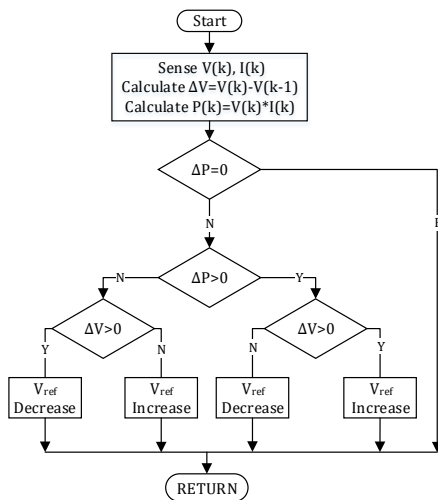


Figure 2. Flowchart of P&O technique

2.2. Incremental Conductance Technique

The incremental conductance (IC) technique operates on the principle that the derivative of the PV panel output power to panel voltage is zero. The expression di/dv seen in (2.2) is called incremental conductance. When the equation is rearranged, the expressions seen in (2.3) are obtained and the control is made according to these expressions. The result obtained by comparison shows the increasing or decreasing power state on the right or left side of the maximum power point. According to this result, necessary control is provided by changing the duty ratio of DC-DC converter switching signal. The flowchart of IC is seen in Figure 3. Firstly, the change in voltage is checked and if there is no change, the current change is checked. If there is no change in current, the flow diagram ends, which indicates that it is working at the maximum power point. The regions that depend on voltage and current variation occur in power curve as seen in Figure 4.

$$\frac{dp}{dv} = \frac{d(v \times i)}{dv} = i + v \frac{di}{dv} = 0 \tag{2.2}$$

$$\begin{aligned} \frac{\Delta i}{\Delta v} &= -\frac{i}{v} && \text{Maximum power point} \\ \frac{\Delta i}{\Delta v} &> -\frac{i}{v} && \text{Left side of maximum point} \\ \frac{\Delta i}{\Delta v} &< -\frac{i}{v} && \text{Right side of maximum point} \end{aligned} \tag{2.3}$$

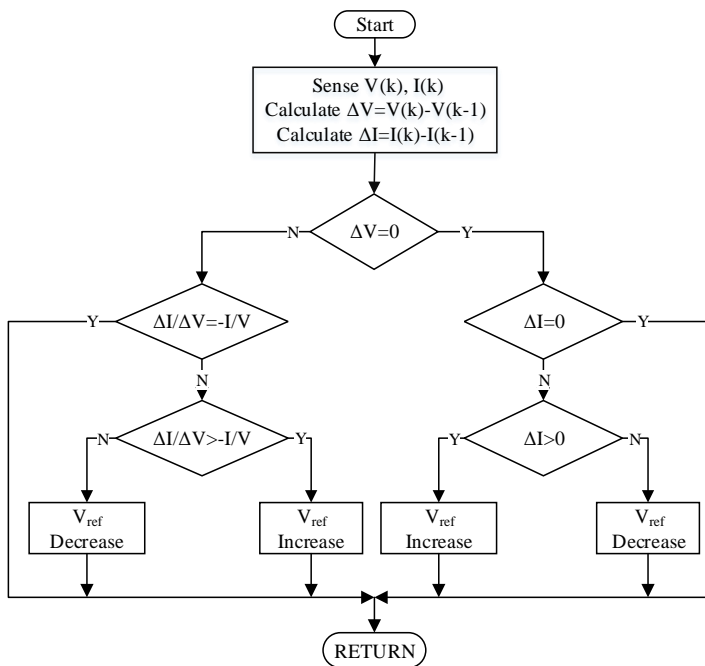
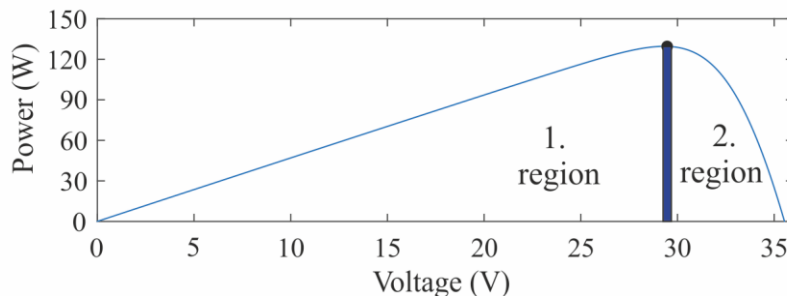


Figure 3. Flowchart of IC technique



$$\begin{aligned} \text{1.region } \frac{\Delta i}{\Delta v} &> -\frac{i}{v} \\ \text{2.region } \frac{\Delta i}{\Delta v} &< -\frac{i}{v} \end{aligned}$$

Figure 4. IC technique operating curve

2.3. Open Circuit Voltage Technique

Open circuit voltage (OCV) technique is one of the simplest maximum power point tracking algorithms. This technique is also called constant voltage technique. In this technique, the ratio of maximum power point voltage to open circuit voltage is used as given in (2.4). It has been reported in the literature that this ratio varies between 71% and 80% depending on photovoltaic cell parameters (Kumari, Babu, & Kullayappa, 2011). As seen in the flowchart given in Figure 5, panel is disconnected from the system at certain time intervals and panel output open circuit voltage is measured. These measurements continue periodically, and each measurement result is used to determine the maximum power point until the next measurement. In this technique, only panel voltage is used as input. K_{oc} value is calculated with the ratio of voltage at maximum power point to open circuit voltage in nominal conditions (Subudhi & Pradhan, 2011). This value is not completely constant, and it varies especially by temperature change. In this technique, no energy is drawn from the panel during the measurement of the open circuit voltage. Therefore, interruption in energy production occurs during measurement. The use of the voltage sensor is simple and advantageous in terms of cost, since only the voltage measurement is made in the algorithm.

$$\frac{V_{mpp}}{V_{oc}} \cong K_{oc} < 1 \tag{2.4}$$

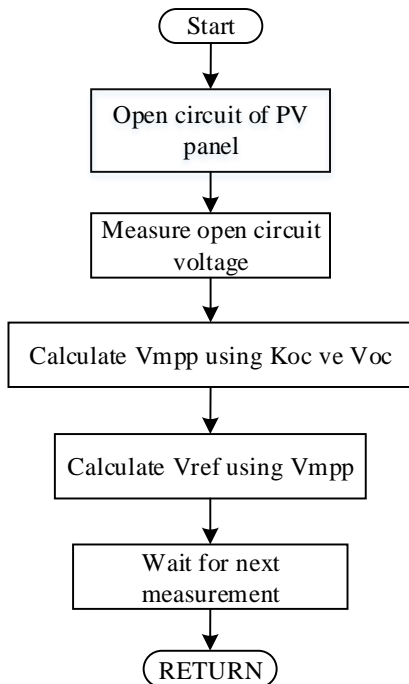


Figure 5. Flowchart of OCV technique

2.4. Short Circuit Current Technique

In the short circuit current (SCC) technique, similar to the open circuit voltage technique, short circuit current measurement is performed and the K_{sc} constant is calculated with the help of (2.5). As can be seen in the control algorithm given in Figure 6, the terminals of the PV panel are made short-circuited with a semiconductor switch that is connected parallel to the panel, firstly. The current value at the maximum power point and the reference voltage corresponding to this current is calculated by multiplying the momentary measured short circuit current by the K_{sc} value. Using this voltage value, switching signals are generated that will enable the converter at the panel output to draw the calculated current from the panel. In this technique, similar to the open circuit voltage technique, there is no energy flow from the panel to the load at the measurement moments. This means energy loss in direct proportion to the frequency of measurement. Increasing the measuring period reduces energy loss, making it difficult to follow the maximum power point that occurs in variable weather conditions. Keeping this interval short and increasing

the number of measurements increases the maximum power point tracking performance while increasing the energy losses that occur during the measurement moments.

$$I_{mpp} \cong K_{sc} I_{sc} \tag{2.5}$$

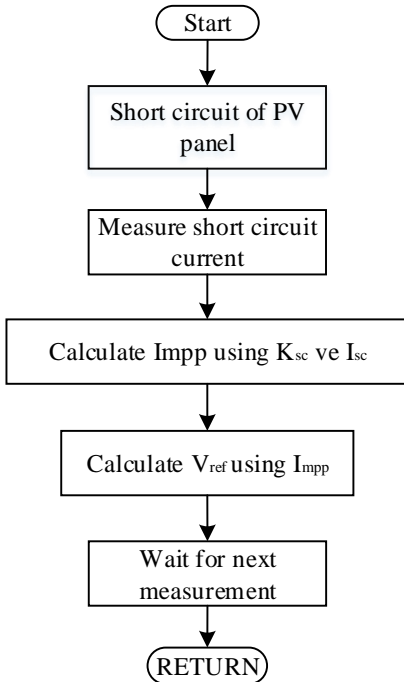


Figure 6. Flowchart of SCC technique

3. Simulation Results

The simulation study is carried out in Matlab/Simulink in order to reveal the advantages and weaknesses of the maximum power point tracking techniques described in the previous section. The same PV panel and a DC-DC boost converter are used in simulation studies for all techniques. In the system, a polycrystalline 1Soltech 1STH-215-P model panel is used as an energy source. The panel consists of 60 cells, and the specifications of the used PV panel are listed in Table 2. The specifications of the panel are taken from Simulink PV panel model. The power variation curves of the panel at different irradiation values for 25°C and at different temperature values for 1000W/m² are seen in Figure 7 and Figure 8, respectively. When Figure 7 and Figure 8 are examined, the maximum power points for the irradiation values of 1000W/m², 700W/m² and 500W/m² at a constant temperature of 25°C are 213W, 151W and 108W respectively, while the maximum power values of the panel at a temperature of 15°C, 25°C and 35°C for constant 1000W/m² irradiation are 221W, 213W and 204W, respectively.

Table 2
Specifications of PV panel

Parameters	Value
Maximum Power (P _{max})	213,15 W
Open circuit voltage (V _{oc})	36,3 V
Maximum power voltage (V _{mpp})	29 V
Short circuit current (I _{sc})	7,84 A
Maximum power current (I _{mpp})	7,35 A
Temperature coefficient of V _{oc}	-0,36099 %/°C
Temperature coefficient of I _{sc}	0,102 %/°C

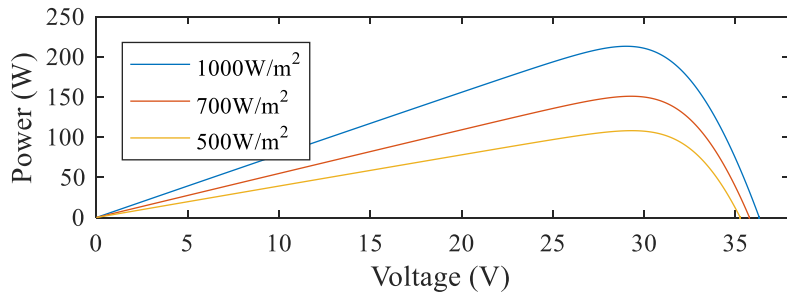


Figure 7. Panel output power curves at 25°C

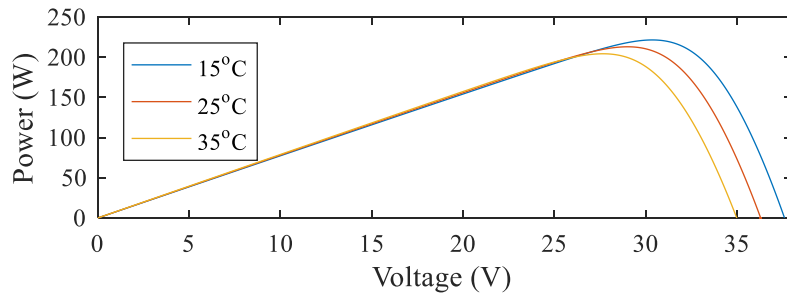


Figure 8. Panel output power curves at 1000 W/m²

Considering the variables used in the control algorithm, the DC-DC boost converter seen in Figure 9 is used in the simulation study for P&O and IC techniques. As two algorithms use the same electrical quantities in the calculation, the same converter topology can be used for both algorithms without any additional component. In the examination of the P&O technique, a DC-DC boost converter is used at the PV panel output to increase voltage. The energy drawn from the panel is stored in the battery with the using of this converter. In the simulation study, control is provided with the m-file codes shown in Figure 10. Using the Matlab Function block that is seen in Figure 9 as MPPT, reference voltage is generated with the control code prepared as m-file. The converter is controlled by generating switching signals with the PWM Generator. The inputs of the control algorithm are panel voltage and panel current while the output is reference signal. With the change of the reference signal, the duty ratio of the switching signal changes and control is provided with pulse width modulation.

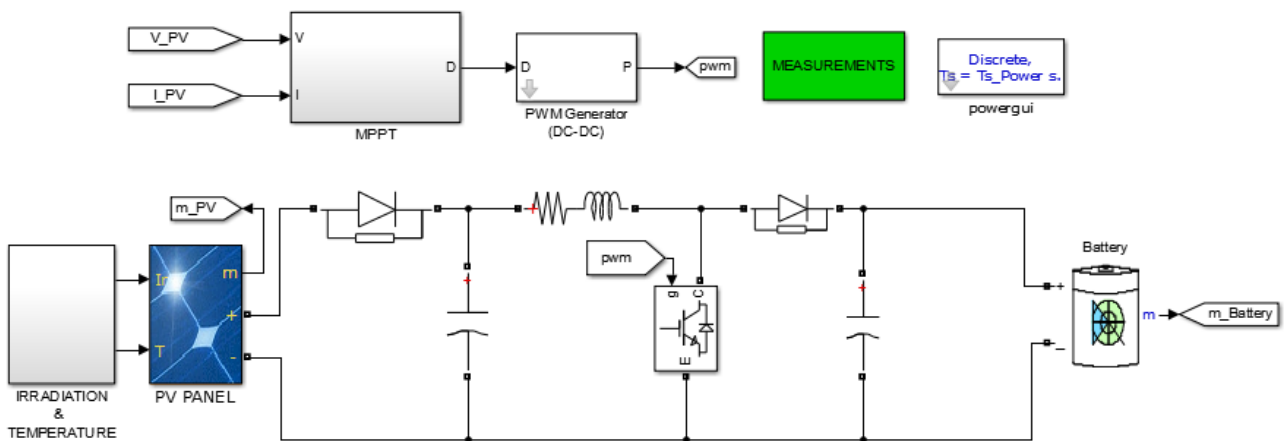


Figure 9. Simulation circuit for P&O and IC techniques

In order to analyze the performance of the converter in the simulation, the system is operated with different irradiation values. Weather conditions are determined as 25°C temperature and 1000W/m², 500W/m² and 700W/m², respectively. Under these conditions, the DC-DC converter is controlled by P&O technique and the power change seen in Figure 11 is obtained. When the change is analyzed, it is seen that the power change is directly proportional to the irradiation value and around 213W, 108W and 151W power is generated on average. These values coincide with the results obtained from the curves in Figure 7. It shows that the

control algorithm works effectively. During this period, a total of 447.04 joules energy is produced. The algorithm is also tested in constant 1000 W/m² irradiation and variable temperatures. Figure 12 shows the power variation for different temperature, 25°C, 15°C and 35°C. As seen in the figure, produced power is not affected from temperature change much. The power difference between variable temperatures is very small by comparison with variable irradiation. The produced power is the same with power values obtained from Figure 8 as 221W, 213W and 204W. During this period, a total of 447.04 joules energy is produced. In P&O algorithm, 50% decrease in irradiation causes 49.2% decrease in power while 43% decrease in temperature causes 7.69% decrease in power. The change in power is very higher in irradiation change than the power change in temperature change.

```

MPPT/MPPT ControllerP&O x +
1 function D = PandO(V, I)
2 Dinit = 0.39;deltaD = 1e-3;Dmax=0.9;Dmin=0.1;
3 persistent Vold Pold Dold k Vtop Itop dP ...
4 dV P Vort Iort;
5 if isempty(Vold)
6 Vold=0;Pold=0;Dold=Dinit;k=0;Vtop=0;
7 Itop=0;dP=0;dV=0;P=0;Vort=0;Iort=0;
8 end
9 k=k+1;Vtop=Vtop+V;Itop=Itop+I;
10 if k==30
11 Vort=Vtop/k;Iort=Itop/k;P=Iort*Vort;
12 dV= Vort - Vold;dP= P - Pold;
13 k=0;Vtop=0;Itop=0;
14 if dP~=0
15     if dP > 0
16         if dV > 0
17             D = Dold - deltaD;
18         else
19             D = Dold + deltaD;
20         end
21     else
22         if dV > 0
23             D = Dold + deltaD;
24         else
25             D = Dold - deltaD;
26         end
27     end
28     D=Dold;
29 end
30 else
31     D=Dold;
32 end
33 if D >= Dmax || D<= Dmin
34     D=Dold;
35 end
36 Dold=D;
37 Vold=Vort;
38 Pold=P;
39 end
40 end
    
```

Figure 10. m-file code of P&O technique

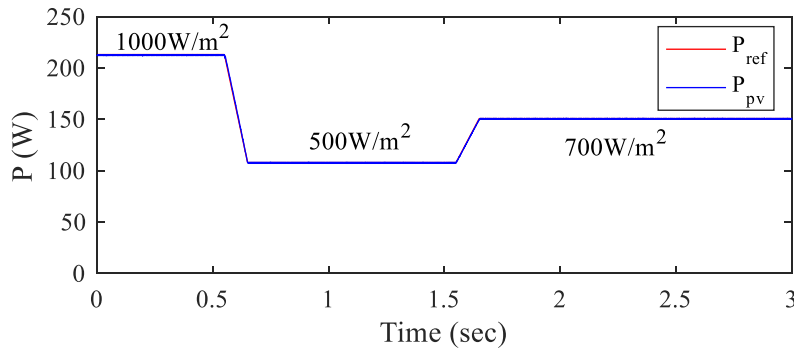


Figure 11. Power variation at 25°C of P&O technique

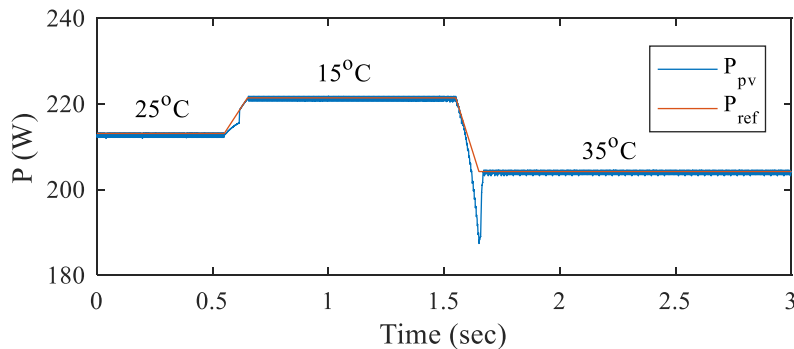


Figure 12. Power variation at 1000 W/m² of P&O technique

The circuit in Figure 9 is used for the other MPPT technique, called the incremental conductance. The m-file control code used in the simulation study under the same weather conditions is given in Figure 13. When the code is examined, it is seen that the current and voltage change, and the rate of these changes are checked in the algorithm. Unlike the P&O technique, the algorithm operates by controlling the current and voltage changes instead of power and voltage changes. As a result of operating the control algorithm given in Figure 13, the variations of power drawn from the panel are seen in Figure 14 and Figure 15. When the power outputs obtained at the same temperature and irradiation changes are compared with the P&O technique, it can be understood visually that the results are close to each other. The total produced energy is 447.19 joule at 25°C while 633.84 joule at 1000W/m².

```

1 function D = IncCond(V, I)
2 Dinit = 0.39;deltaD = 1e-3;Dmax = 0.9;Dmin = 0.1;
3 persistent Vold Iold Dold dV dI k Vtop Itop Vort Iort;
4 if isempty(Vold)
5     Vold=0;Iold=0;Dold=Dinit;dV=0;dI=0;k=0;Vtop=0;...
6     Itop=0;Vort=0;Iort=0;
7 end
8 k=k+1;Vtop=Vtop+V;Itop=Itop+I;
9 if k==30
10     Vort=Vtop/k;Iort=Itop/k;dV= Vort - Vold;
11     dI= Iort - Iold;k=0;Vtop=0;Itop=0;
12     if dV==0
13         if dI==0
14             D=Dold;
15         else
16             if dI>0
17                 D=Dold+deltaD;
18             else
19                 D=Dold-deltaD;
20             end
21         end
22     else
23         if dI/dV== -I/V
24             D=Dold;
25         else
26             if dI/dV> -I/V
27                 D=Dold-deltaD;
28             else
29                 D=Dold+deltaD;
30             end
31         end
32     end
33 else
34     D=Dold;
35 end
36 if D >= Dmax || D<= Dmin
37     D=Dold;
38 end
39 Dold=D;
40 Vold=V;
41 Iold=Iort;
42 end
    
```

Figure 13. m-file code of IC technique

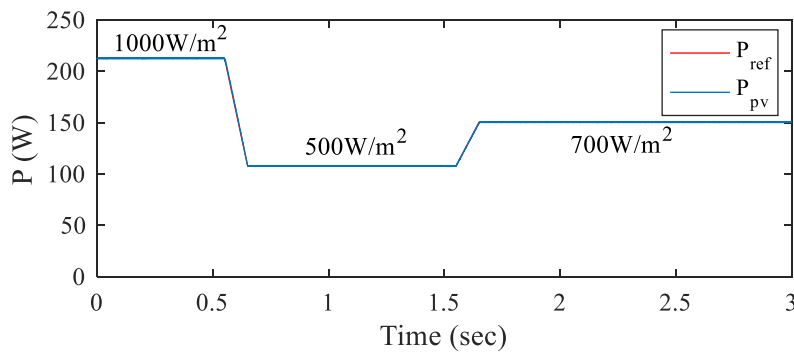


Figure 14. Power variation at 25°C of IC technique

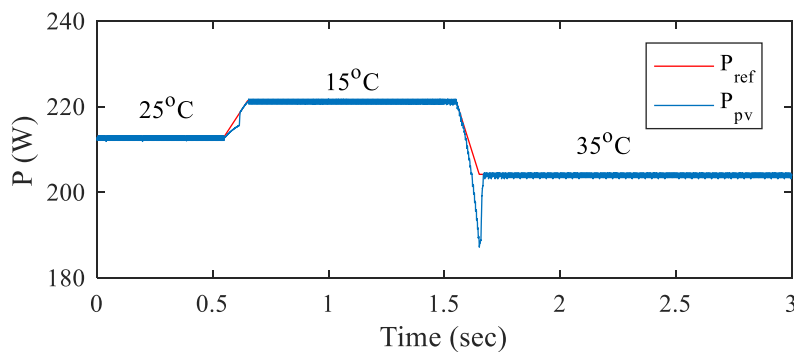


Figure 15. Power variation at 1000W/m² of IC technique

The simulation circuit used in the OCV technique is given in Figure 16. In this technique, a semiconductor switch is used at the panel output in series to make the panel terminals open-circuited for measuring the open circuit voltage. Before the measurement moments, the panel is separated from the system by opening the switch, then the open circuit voltage is measured. The drawn energy from the panel is stored in the battery by the DC-DC boost converter. The m-file code containing the control software of the DC-DC converter is seen in Figure 17. In the simulation circuit in Figure 16, when the sense signal at the input of the MPPT block is on, the 'oc' signal becomes off and the switch separates the panel from the circuit. For a certain period, the measurement signal is on and during this time, the open circuit voltage of the panel is obtained by measuring the panel voltage from terminals. The voltage reference is calculated by multiplying this voltage value with the K_{oc} coefficient. When this measurement interval ends and the sense signal becomes zero, the duty cycle of DC-DC converter is changed to bring the panel output voltage closer to the calculated V_{ref} value. These processes continue periodically. Shortening this measurement period increases the accuracy of the steady state and increases the power interruptions that occur during the measurement moments. As can be seen in the power variations in Figure 18 and

Figure 19 at each measurement, power generation is zero due to the open circuit of the panel at the measurement moments. For this reason, the panel is disabled during the measuring intervals and system efficiency decreases. Comparing the waveforms shows that temperature change affects the output power negatively more than irradiation change. The output power remains lower than maximum power. Increased measurement period decreases the produced energy.

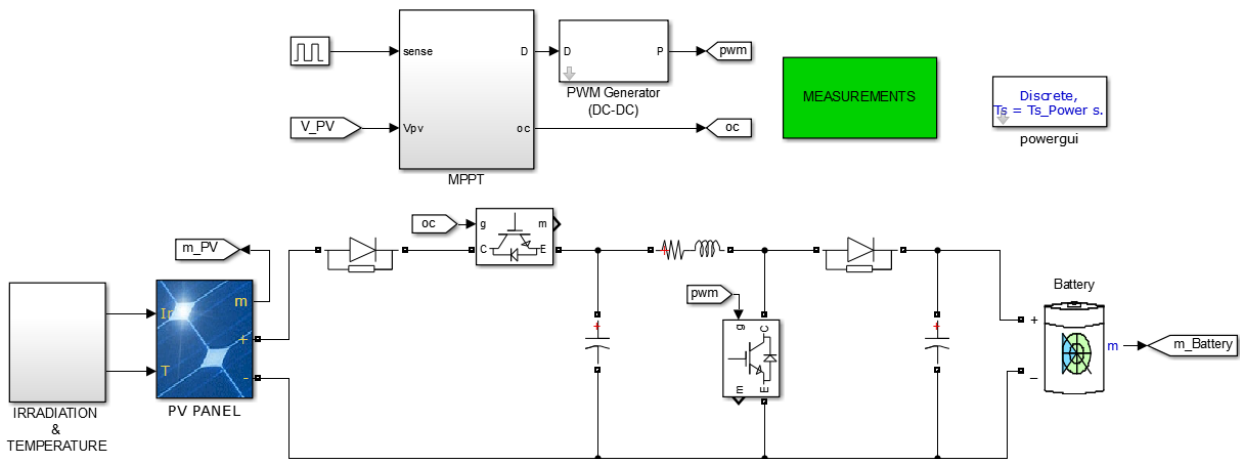


Figure 16. Simulation circuit for OCV technique

```

MPPT/OCV x +
1 function [D,oc] = FOCV(sense, Vpv)
2 Voc_stc=36.3;
3 Vmpp_stc=29;
4 Dinitial=0.3;
5 deltaD=1e-4;
6 oc=1;
7 Koc=Vmpp_stc/Voc_stc;
8 persistent Dold Vref Verr
9 if isempty(Dold)
10     Dold=Dinitial;
11     Vref=Vmpp_stc;
12     Verr=0;
13 end
14 if sense==1
15     oc=0;
16     Voc=Vpv;
17     Vref=Koc*Voc;
18     D=Dold;
19 else
20     Verr=Vpv-Vref;
21     if Vfark==0
22         D=Dold;
23     else
24         if Verr>0
25             if Verr<0.5
26                 D=Dold+deltaD;
27             else
28                 D=Dold+deltaD;
29             end
30         else
31             if Verr>-0.5
32                 D=Dold-deltaD;
33             else
34                 D=Dold-deltaD;
35             end
36         end
37     end
38 end
39 if D>=0.9 || D<=0.1
40     D=Dold;
41 end
42 Dold=D;
43 end
    
```

Figure 17. m-file code of OCV technique

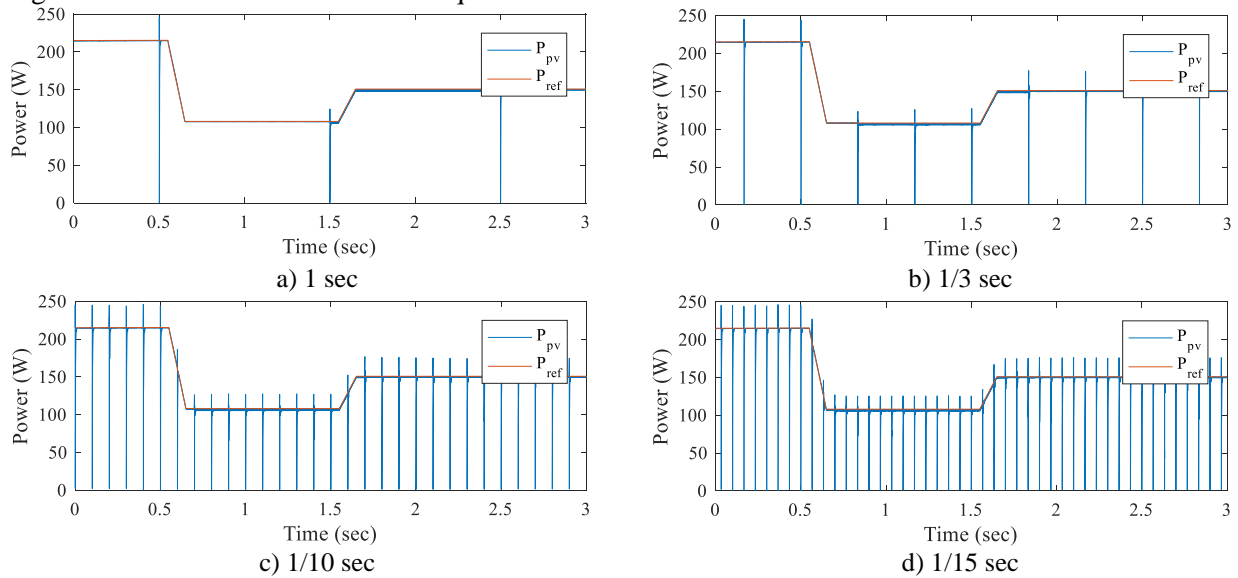


Figure 18. Power variations of OCV technique for different measurement periods at 25°C

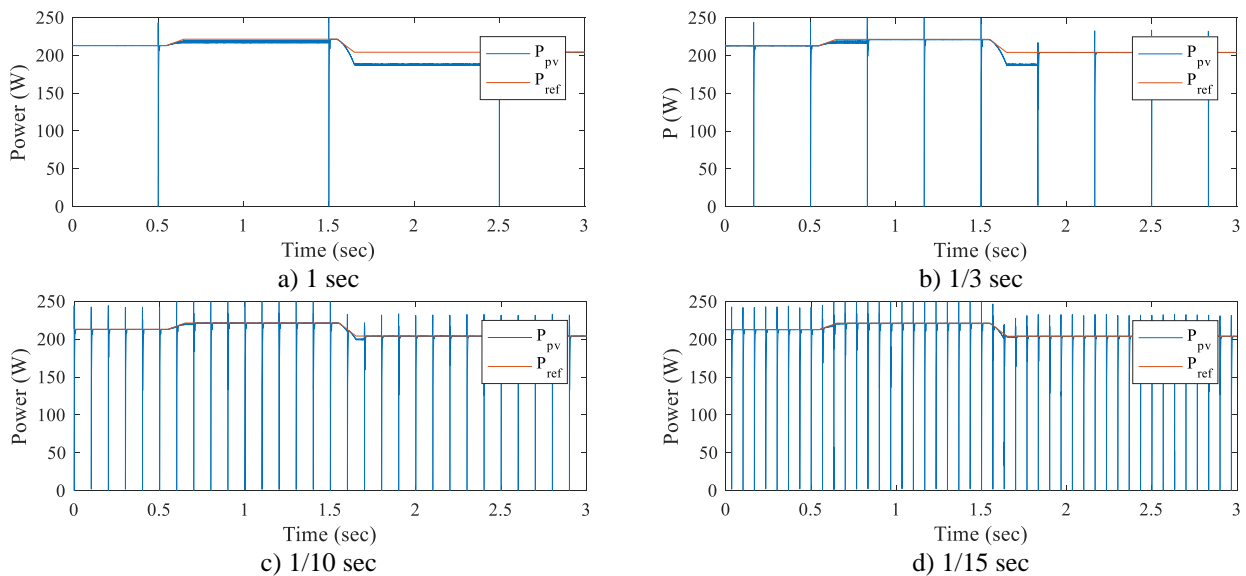


Figure 19. Power variations of OCV technique for different measurement periods at 1000W/m²

Simulation study of the last technique, short circuit current technique, is carried out in the circuit shown in Figure 20. Unlike the open circuit voltage method, in order to measure the panel short circuit current, there is a parallel-connected semiconductor switch in the circuit and the current is measured by closing the panel short circuit. Unlike the open circuit voltage technique, in order to measure the panel short circuit current, there is a parallel-connected semiconductor switch in the circuit and the current is measured by closing the switch.

Figure 21 shows the m-file code of the short circuit current technique. When the algorithm is examined, similar to the OCV technique, the parallel switch closes when the sense signal is on, and the short circuit current is measured. The current value is produced by multiplying this value with the K_{sc} coefficient. By comparing this current reference and the measured instantaneous current of the panel, the switching signal duty cycle is changed. Figure 22 and Figure 23 shows the drawn power from the PV panel with SCC technique for variable irradiation and temperature. As observed from the waveforms, an interruption occurred in the power due to the drop in the amount of irradiation at constant temperature. In cases where the measurement period is shorter, the generated power increases more rapidly as the new reference value is quickly recalculated. Increasing the measurement period causes a lot of power loss in the irradiation drops in this technique. In the case of increased irradiation, when the new measurement is not taken, the power is produced below the maximum power value and the total amount of energy produced decreases. As seen in Figure 23, power production is not affected much under constant irradiation and variable temperature condition. The maximum power point varies little compared to the change in irradiation. The produced total energy varies in direct proportion to the number of samples taken. When the waveform in Figure 22 and Figure 23 are examined, it is revealed that the SCC technique gives more successful results where the irradiation is constant.

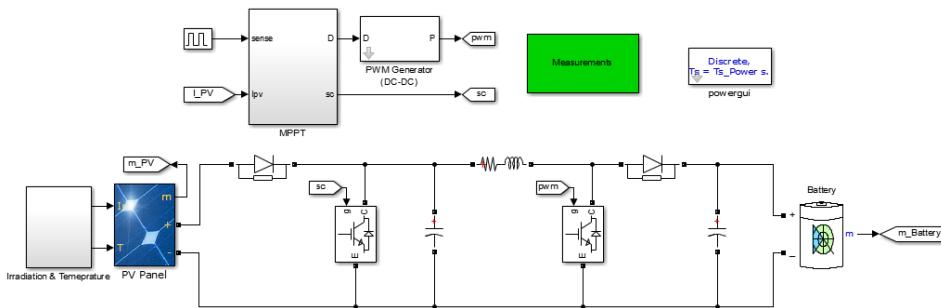


Figure 20. Simulation circuit for SCC technique

```

MPPT/SCC x +
1 function [D,sc] = FSCC(olc, Ipv)
2   Isc_stc=7.84;
3   Impp_stc=7.35;
4   Dinitial=0.4;
5   deltaD=1e-4;
6   sc=0;
7   Ksc=Impp_stc/Isc_stc;
8   persistent Dold Iref Ifark Isc
9   if isempty(Dold)
10    Dold=Dinitial;
11    Iref=Impp_stc;
12    Ifark=0;
13  end
14  if olc==1
15    sc=1;
16    Isc=Ipv;
17    Iref=Ksc*Isc;
18    D=Dold;
19  else
20    Isc=0;
21    Ifark=Ipv-Iref;
22    if Ifark==0
23      D=Dold;
24    else
25      if Ifark>0
26        D=Dold-deltaD;
27      else
28        D=Dold+deltaD;
29      end
30    end
31  end
32  if D>=0.99 || D<=0.1
33    D=Dold;
34  end
35  Dold=D;
36  end
    
```

Figure 21. m-file code of SCC technique

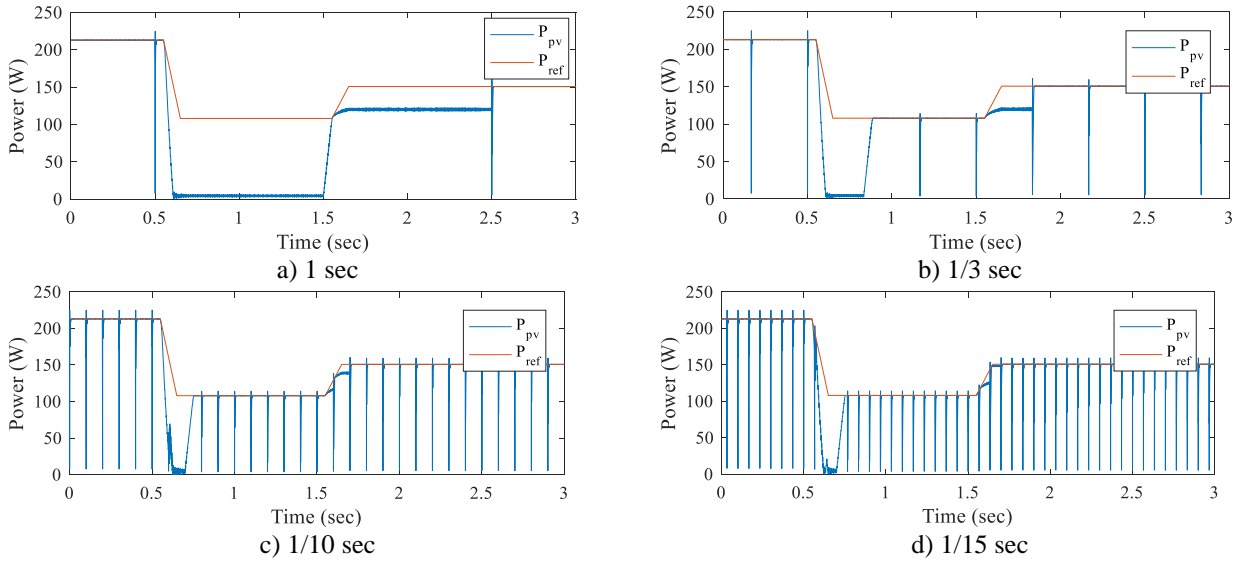


Figure 22. Power variations of SCC technique for different measurement periods at 25°C

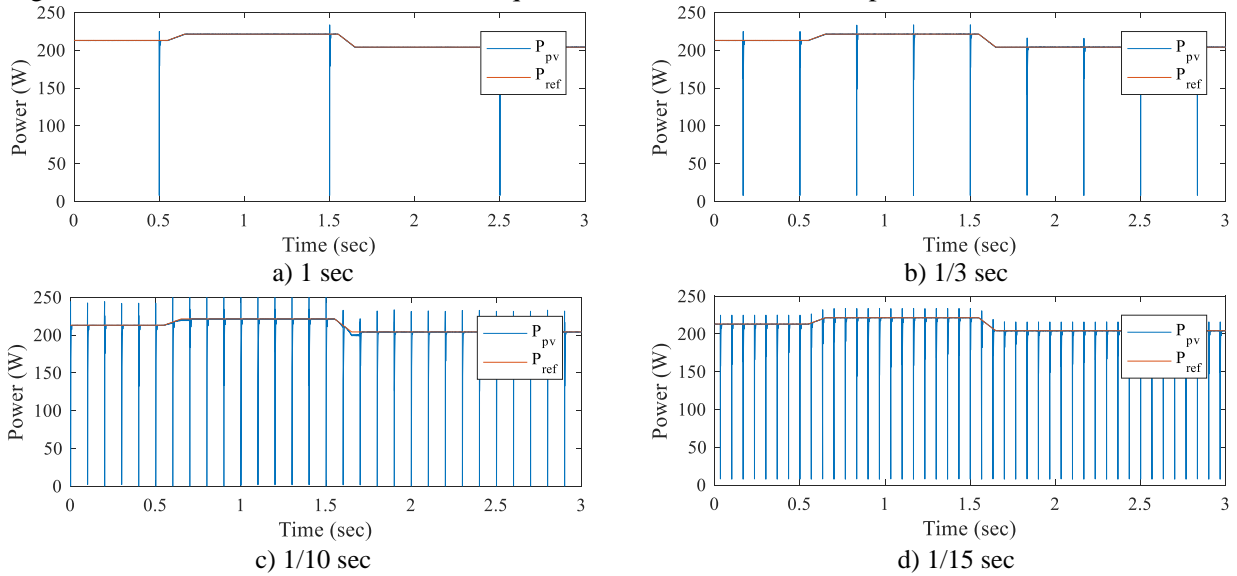


Figure 23. Power variations of SCC technique for different measurement periods at 1000W/m²

4. Results and Discussion

When the energy obtained from four different MPPT techniques are examined in the 3-second time interval, 177.28 mWh energy is produced in P&O and IC techniques as shown in Table 3 at constant 25°C temperature and 1000 W/m² irradiation values. Under the same conditions, lower energy is produced when OCV and SCC techniques are used. In these techniques, when the measurement intervals are applied as 1/15 sec, 1/10 sec, 1/3 sec and 1 sec, 174 mWh, 175.17 mWh, 176.74 mWh and 177.2 mWh are produced respectively in the OCV technique and 174.7 mWh, 175.6 mWh, 176.86 mWh and 177.23 mWh were produced in SCC technique. When the results in Table 4 are analysed, very close results are obtained in both techniques. As the measurement interval increases, the amount of produced energy increases for the same time interval due to the decreasing non-energized time decreases. The produced energy at 25°C and variable irradiation in simulation is 124.2 mWh as seen in Table 5. In the OCV technique, 121.85 mWh, 122.47 mWh, 123.4 mWh and 123.69 mWh energy is produced for 1/15 s, 1/10 s, 1/3 s and 1 s measurement interval, while 117.22 mWh, 117.54 mWh, 113 mWh and 88.5 mWh energy are produced in SCC technique. The energy produced in the OCV technique increases with the increase in the measurement period, while the energy produced in the SCC technique decreases. Because the power drops down suddenly with a decrease in irradiation. While the measurement period increases under constant weather conditions, the produced energy decreases in this situation, because the energy remains close to zero until the new measurement point.

The amount of produced energy remains low, as there is a delay in reaching maximum power in the timeframe in which the irradiation increases. For the same measurement intervals, 172.88 mWh, 173.9 mWh, 174.45 mWh and 171.31 mWh energy is produced with a constant radiation of 1000 W/m² and variable temperature in OCV technique as given in Table 6. The produced energy decreases when the measurement interval increases to 1 sec. This situation happens because the produced energy remains below the maximum power due to no measurement at the moment of change. Unlike the OCV technique, 173.72 mWh, 174.54 mWh, 175.81 mWh and 176.1 mWh energy is generated in the SCC technique, respectively.

Table 3
Produced energy with P&O and IC

Weather conditions	P&O (mWh)	IC (mWh)
1000W/m ² - 25°C	177.28	177.28
1000W/m ² ve variable temperature	176.07	176.07
25°C ve variable irradiation	124.18	124.2

Table 4
Produced energy at 25°C and 1000W/m²

Weather conditions	Measurement interval (sec)	OCV (mWh)	SCC (mWh)
25°C - 1000W/m ²	1/15	174	174.7
25°C - 1000W/m ²	1/10	175.17	175.6
25°C - 1000W/m ²	1/3	176.74	176.86
25°C - 1000W/m ²	1	177.2	177.23

Table 5
Produced energy at 25°C and variable irradiation

Weather conditions	Measurement interval (sec)	OCV (mWh)	SCC (mWh)
25°C – variable irradiation	1/15	121.85	117.22
25°C - variable irradiation	1/10	122.47	117.54
25°C - variable irradiation	1/3	123.4	113
25°C - variable irradiation	1	123.69	88.5

Table 6
Produced energy at 1000W/m² and variable temperature

Weather conditions	Measurement interval (sec)	OCV (mWh)	SCC (mWh)
1000W/m ² – variable temperature	1/15	172.88	173.72
1000W/m ² - variable temperature	1/10	173.9	174.54
1000W/m ² - variable temperature	1/3	174.45	175.81
1000W/m ² - variable temperature	1	171.31	176.1

5. Conclusion

In this study, maximum power point tracking techniques used in PV systems called perturb & observe, incremental conductance, short circuit current and open circuit voltage are investigated. A simulation study is performed in Matlab/Simulink to examine these techniques. In the examined system, 215 W photovoltaic panel, a DC-DC boost converter and a battery are used to store the produced energy. MPPT techniques are used in this system in constant temperature and irradiation, variable temperature and variable irradiation conditions, power changes are obtained, and the amount of produced energy is calculated. P&O and IC techniques produce more energy in all ambient conditions. OCV and SCC techniques are tested for different measuring time periods as well as fixed and variable ambient conditions. Both two techniques have very close results under constant conditions. However, under variable conditions, differences occurred in the performance of the two techniques. In variable irradiation conditions, the OCV technique produces more energy than the SCC technique. Although the maximum power point tracking is not fully performed with the increase in the measurement interval, the produced energy increases due to the decrease in losses in the measurement moments. In the SCC technique, the produced energy remains low because the produced power

drops down to zero at the decreasing moments of irradiation. Since the new measurement is not performed despite the variable environment in the long measurement period, the maximum amount of energy decreases as the time interval increases. For the variable temperature, this situation changes. The amount of produced energy in the SCC technique varies in direct proportion to the measurement time interval. The reason is that the change in the maximum amount of power versus the temperature change is much less than that of the irradiation change, and consequently the power drawn from the panel does not drop to zero as quickly as in variable irradiation. In the OCV technique, energy production decreases since the new measurement cannot be made within 1-second measurement interval during the change in ambient condition and the reference produced at the previous measurement is followed for a long time.

As a result of the simulation study, P&O and IC lead in terms of maximum power point tracking and energy production performance. It is seen that energy production performance of OCV and SCC techniques decrease depending on the measurement period especially in variable weather conditions while they perform satisfactory results in steady state maximum power point tracking. Although OCV and SCC techniques provide superiority over P&O and IC techniques in terms of algorithm simplicity, additional components should be used for open circuit and short circuit of the panel. Current and voltage sensors are used to perform current and voltage measurements in P&O and IC techniques, while only voltage sensor is used in the OCV technique and only current sensor is used in the SCC technique.

Author Contributions

Evren ISEN: Literature review, simulation study and writing the paper.

Akif SENGUL: Literature review, simulation study.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

References

- Ahmed, J., & Salam, Z. (2015). An improved perturb and observe (P&O) maximum power point tracking (MPPT) algorithm for higher efficiency. *Applied Energy*, 150, 97-108.
- Alsumiri, M. (2019). Residual Incremental Conductance Based Nonparametric MPPT Control for Solar Photovoltaic Energy Conversion System. *IEEE Access*, 7, 87901-87906.
- Hasan, M., & Parida, S. (2016). An overview of solar photovoltaic panel modeling based on analytical and experimental viewpoint. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75-83.
- Huynh, D. C. (2014). An Improved Incremental Conductance Maximum Power Point Tracking Algorithm for Solar Photovoltaic Panels. *International Journal of Science and Research*, 3(10), 342-347.
- Irfan, M., Zhao, Z.-y., Ahmad, M., & Rehman, A. (2019). A Techno-Economic Analysis of Off-Grid Solar PV System: A Case Study for Punjab Province in Pakistan. *Processes*, 1-14.
- Jager-Waldau, A. (2019). *JRC Science For Policy Report, PV Status Report 2019*. Ispra: European Commission.
- Karami, N., Moubayed, N., & Outbib, R. (2017). General review and classification of different MPPT Techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1-18.
- Kharrazi, A., Sreeram, V., & Mishra, Y. (2020). Assessment techniques of the impact of grid-tied rooftop photovoltaic generation on the power quality of low voltage distribution network - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1-16.
- Kollimalla, S. K., & Mishra, M. K. (2014). Variable Perturbation Size Adaptive P&O MPPT Algorithm for Sudden Changes in Irradiance. *IEEE TRANSACTIONS ON SUSTAINABLE ENERGY*, 718-728.
- Kumari, J. S., Babu, C. S., & Kullayappa, T. R. (2011). Design and Analysis of Open Circuit Voltage Based Maximum Power Point Tracking for Photovoltaic System. *International Journal of Advances in Science and Technology*, 2(2), 51-60.
- Mei, Q., Shan, M., Liu, L., & Guerrero, J. M. (2011). A Novel Improved Variable Step-Size Incremental-Resistance MPPT Method for PV Systems. *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS*,

58(6), 2427-2434.

- Mensah, L. D., Yamoah, J. O., & Adaramola, M. S. (2019). Performance evaluation of a utility-scale grid-tied solar photovoltaic (PV) installation in Ghana. *Energy for Sustainable Development*, 82-87.
- Moghbelli, H., Ellithy, K., Eslami, Z., Vartanian, R., Wannous, D., Ghamrawy, A. E., Nicola, S. (2009). Investigation of Solar Energy Applications with Design and Implementation of Photovoltaic Traffic Light Signal System for Qatar. *International Conference on Renewable Energies and Power Quality*, (s. 1-8). Valencia.
- Pilakkat, D., & Kanthalakshmi, S. (2019). An improved P&O algorithm integrated with artificial bee colony for photovoltaic systems under partial shading conditions. *Solar Energy*, 178, 37-47.
- Punitha, K., Devaraj, D., & Sakthivel, S. (2013). Development and analysis of adaptive fuzzy controllers for photovoltaic system under varying atmospheric and partial shading condition. *Applied Soft Computing*, 13, 4320-4332.
- Rawat, R., Kaushik, S., & Lamba, R. (2016). A review on modeling, design methodology and size optimization of photovoltaic based water pumping, standalone and grid connected system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1506-1519.
- Sontake, V. C., & Kalamkar, V. R. (2016). Solar photovoltaic water pumping system - A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 1038-1067.
- Subudhi, B., & Pradhan, R. (2011). Characteristics Evaluation and Parameter Extraction of a Solar Array based on Experimental Analysis. *IEEE PEDS*, (s. 340-344). Singapore.
- Xue, J. (2017). Photovoltaic agriculture - New opportunity for photovoltaic applications in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73, 1-9.
- Zainuri, M. A., Radzi, M. A., Soh, A. C., & Rahim, N. A. (2014). Development of adaptive perturb and observe-fuzzy control maximum power point tracking for photovoltaic boost dc-dc converter. *IET Renewable Power Generation*, 8(2), 183-194.
- Zakzouk, N. E., Elsharty, M. A., Abdelsalam, A. K., Helal, A. A., & Williams, B. W. (2015). Improved performance low-cost incremental conductance PV MPPT technique. *IET Renewable Power Generation*, 10(4), 561-574.

A Comparative Study of Three Brassicaceae Vegetables Grown in Canakkale: Determination of Total Phenolic Content and Antioxidant Activity of Pulp and Juice Samples of Radish (*Raphanus sativus* L.), Cabbage (*Brassica oleracea* L. var *capitata* L) and Cauliflower (*Brassica oleracea* L.)

Ferah Cömert Önder¹, Nuriye Doğrular¹, Ecem Gündüzalp¹, Sedef Barlak¹, Mehmet Ay^{1,*}

¹Department of Chemistry, Faculty of Science and Arts, Çanakkale Onsekiz Mart University, Çanakkale, Turkey

Article History

Received: 15.10.2019

Accepted: 27.03.2020

Published: 22.05.2020

Research Article

Abstract – Brassicaceae that contains well known species from genus Brassica is an important family for crucifers, cabbage etc. The main goal of this study was to investigate the total phenolic contents and antioxidant activities of 25% aqueous ethanol and methanol extracts of selected vegetable pulps such as radish, cabbage, and cauliflower. These analyses were also applied to the freshly prepared juices. For this purpose, studied vegetables which were grown in villages of Canakkale were obtained from district bazaar in Canakkale. Antioxidant activities of selected vegetables have been determined by using DPPH (2,2-diphenyl-1-picryl-hydrazyl-hydrate) free radical, ABTS ((2,2'-azinobis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) radical scavenging assay and CUPRAC (cupric reducing antioxidant capacity) method. Total phenolic content was determined by using Folin-Ciocalteu reagent. The results show that total phenolic contents in pulp extracts of 25% aqueous ethanol of red cabbage (1071 ± 25.12 mg FAE/100 g) and brussels sprout (594.00 ± 13.93 mg FAE/100 g) have higher than the other used vegetables. The 25% aqueous ethanol extracts of white and red radish pulps showed the greatest IC₅₀ value with DPPH assay (50.00 µg/mL). The higher phenolic content in the ethanol and methanol extracts of red cabbage may contribute to its increasing CUPRAC activity (4.73 ± 0.11 and 4.78 ± 0.11 quercetin equivalent of flavonoid concentration). In addition, black radish juice showed the highest inhibition value with ABTS assay ($70.83 \pm 1.83\%$). This study which may be important for food and health applications, also emphasizes the importance of the cultivation area and the valuable parts of vegetables.

Keywords – Antioxidant activity, Brassicaceae, cabbage, cauliflower, radish

1. Introduction

Natural products that have taken secondary role in drug discovery, contribute to medicine and health. This circumstance allows the evaluation of the biological effects of natural compounds and determination of the synergistic effects of different chemical compounds from the isolated extracts (Ji et al., 2009; Gosslau et al., 2011). In recent years, the effect of consumption of Brassicaceae (cruciferous) includes different genera of cultivated plants have been reported by some of the researchers (Beev, Mangamoori & Gowda 2012; Fernández-León et al., 2014). Cruciferous vegetables provide valuable natural antioxidants (Soengas et al., 2011). The family vegetables have been reported with their contributions to the prevention of several diseases such as various types of cancers, cardiovascular disease, chronic diseases like asthma and Alzheimer's disease (Karadeniz et al., 2005; Li et al., 2018). Especially, radish (*Raphanus sativus* L.),

¹ <https://orcid.org/0000-0002-4037-1979> ferahcomertonder@gmail.com

² <https://orcid.org/0000-0002-4796-0821> n.dogrular@hotmail.com

³ <https://orcid.org/0000-0001-7634-7439> ecemgunduzalp@hotmail.com

⁴ <https://orcid.org/0000-0002-7009-3949> brlk_sedef17@hotmail.com

*Corresponding Author

Brassicaceae family, its composition possesses highly medicinal and nutritional value (Koley et al., 2017). Antioxidant activity of *R. sativus* sprouts has been reported in order to determine the major phenolic components (Takaya et al., 2003). Polyphenolic content and antioxidant activity of red radish have been examined in several studies (Eugenio et al., 2017). Among *Brassica oleracea* species, various types of cabbages, cauliflower, Brussels sprouts exhibit antioxidant and anticarcinogenic properties (Chu et al., 2002). Some of the effects of cabbage (*Brassica oleracea* L. var. capitata) on diseases have been shown in clinical research (Cheney 1949; Wiczowski, Szawara-Nowak & Topolska, 2013). The antioxidant properties of cabbage varieties have been shown in previously reported studies (Ciska, Karamaë & Kosińska, 2008; Rokayya et al., 2013; Zanfini et al., 2010). Cauliflower belongs to the cruciferous family and antioxidant activity of its valuable extracts has been determined in several studies (Fouad & Rehab, 2013; Koksal & Gulcin, 2008; Mamsour et al., 2015; Podsedek, 2007).

Up to date, various assays have been reported with small modifications in order to evaluate the antioxidant capacities of the plant samples (Pisoschi et al., 2016). Especially, DPPH (2,2'-diphenyl-1-picrylhydrazyl) and TEAC (trolox equivalent antioxidant capacity assay with ABTS radical cation) have been determined as easier and convenient to be used in the applications (Tiveron et al., 2012). Also, CUPRAC (cupric reducing antioxidant capacity) method may provide many benefits to measure all antioxidants (Apak et al., 2007). This is the first study to be reported the examination of phenolic contents and antioxidant activities of aqueous ethanol, methanol extracts of pulps and freshly used vegetable juices of all radish, cabbage and cauliflower varieties that were provided from Canakkale district bazaar. Furthermore, this study indicates that the importance of valuable parts, organs of these vegetables and their relationship on the effect of a grown area like ecological properties. Herein, we have investigated the antioxidant activity and total phenolic contents of valuable parts of Brassicaceae vegetables using Folin-Ciocalteu phenolic content assay, DPPH, TEAC and CUPRAC methods. Our findings were compared with each other to examine the antioxidant capability of the valuable parts of the vegetables. These results may be a new avenue for the studies of food chemistry.

2. Materials and Methods

2.1. Chemicals

All chemicals were purchased from Sigma-Aldrich Chemie (Steinheim, Germany). Analytical grade solvents were obtained from Merck. Perkin Elmer LAMBDA 25 UV-Vis spectrophotometer and IKA RV 10 were used for measuring of absorbances and removing of the solvents, respectively.

2.2. Vegetable Material

Radish (white, red and black) (*Raphanus sativus* L.) were provided from district bazaar in Canakkale. Cabbage (white and red varieties), brussels sprouts (*Brassica oleracea*) and cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. botrytis) that were grown in Kumkale and Asagi Okcular villages of Canakkale, were provided from district bazaar in Canakkale. The vegetable materials were washed well and the all varieties were divided into two categories such as juice and pulp by using a blender and then, stored at +4 °C and -18 °C in the fridge, respectively.

2.3. Extraction of Vegetable Material

The solvents including methanol and 25% aqueous ethanol were selected in order to obtain more hydrophilic components from the vegetables. This process was carried out by using Soxhlet extraction method to evaluate total phenolic content and antioxidant capacities of the pulp samples (each of 100 g pure sample) according to our previous study (Cömert Önder, Sarker & Ay, 2013).

2.4. Determination of Total Phenolic Contents

The amount of total phenolics was performed by using Folin-Ciocalteu reagent according to Velioglu's method and the detailed procedure was given in the previous studies (Cömert Önder, Sarker & Ay, 2013; Velioglu et al., 1998). The standard calibration (0.01–0.05 mg/mL) curve was obtained using ferulic acid.

The total phenolic content was expressed as ferulic acid equivalents in milligram per 100 g vegetable extract and per mL juice. The measuring was performed in triplicate.

2.5. Evaluation of Antioxidant Activity

DPPH, TEAC and CUPRAC assays were reported in previous studies (Apak et al., 2007; Cömert Önder, Sarker & Ay, 2013; Kumarasamy et al., 2002; Re et al., 1999). Freshly prepared stock solutions from extracts (10 mg/mL, 1 mg/mL and 2 mg/mL) and their serial dilutions (1 mg/mL, 0.1 mg/mL, 0.01 mg/mL, 0.001 mg/mL, 0.0001 mg/mL) and juices (1 mL) were used for each experiment. Calculations were done as QREFC (quercetin equivalent flavonoid concentration) for CUPRAC and Trolox equivalent for TEAC.

2.6. DPPH Radical Scavenging Activity

Radical scavenging activities of the studied samples against DPPH radical were evaluated spectrophotometrically (Cömert Önder, Sarker & Ay, 2013; Kumarasamy et al., 2002; Takao et al., 1994). Serial dilutions of the samples were treated with the prepared DPPH solution (80 µg/mL), stand at room temperature for 30 min and the absorbances were measured at 517 nm. When the changes in the colours from purple to yellow were observed, antioxidant activity value was obtained in desired yields.

2.7. Trolox Equivalent Antioxidant Capacity (TEAC)

To determine the trolox equivalent antioxidant capacities of the samples, we used well known procedure and detailed information was given in previously reported studies (Cömert Önder, Sarker & Ay, 2013; Re et al., 1999). For this purpose, the volumes (50, 75 and 100 µL) from the determined effective concentrations of the samples were used and solution of prepared ABTS radical cation (1 mL for each sample) was mixed with the small amounts of sample solutions. The absorbances were measured at 734 nm during 6 min.

2.8. Cupric Reducing Antioxidant Capacity (CUPRAC)

The method was applied to the samples according to the previously reported studies (Apak et al., 2007; Cömert Önder, Sarker & Ay, 2013). To determine the cupric ion reducing antioxidant capacity of the samples, copper (II) chloride solution (1.0×10^{-2} M), a neocuproine alcoholic solution (7.5×10^{-3} M), and an ammonium acetate aqueous buffer (pH 7) were used. Freshly prepared plant solutions at active concentrations were treated with prepared solutions at room temperature for 30 min and then, the absorbances were measured at 450 nm.

2.9. Statistical Analysis

Results were expressed as mean \pm standard error that was shown in Table 2-4.

3. Results and Discussion

In this study, we examined the three vegetables (Brassicaceae) including radish (white, red, black), cabbage (white, red and brussels sprout) and cauliflower (white part and leaves) that were grown in the villages of Canakkale. However, the most common plant, cauliflower which is a highly modified form of cabbage, was studied in two parts of the plant as white cauliflower and green leaves (Anonyms). The general properties of the vegetables were given in Table 1.

Table 1

The general properties of the vegetables

Vegetables	Family	Latin Name	Varieties	Village(s)/City/Country
Radish	Brassicaceae	<i>Raphanus sativus</i> L. <i>Brassica oleracea</i> L. var. capitata	Red,black,white	Canakkale/Turkey
Cabbage	Brassicaceae	<i>Brassica oleracea</i> L. var. rubra <i>Brassica oleracea</i> L. var. gemmifera	White Red	Kumkale and Asagi Okcular/Canakkale/Turkey
Cauliflower	Brassicaceae	<i>Brassica oleracea</i> variety, botrytis	Brussels sprout White	Kumkale/Canakkale/Turkey

3.1. Total Phenolic Content of the Pulps and Juices of Selected Vegetables

The total phenolic contents are shown in Table 2-4. According to our findings, 25% aqueous ethanol extract of red radish has higher value (317.40 ± 7.44 mg/100 g) within other samples and varieties. Among methanol extracts of radish, high amount of phenolic content was observed in black radish extract (182.00 ± 4.27 mg/100 g) and then, it was followed by white (26.00 ± 0.61) and red (4.33 ± 0.10 mg/100 g) radish extracts, respectively. The total phenolic contents of aqueous ethanol extracts within all radish pulp extracts have been found higher than all methanol extracts' contents. The aqueous ethanol extract of black radish (176 ± 4.13 mg/100 g) has been determined as similar to methanol extract (182.00 ± 4.27 mg/100 g). Although red radish juice has the lowest total phenolic content (0.48 ± 0.10 mg/mL), the values of white and black radish juices were determined as 3.29 ± 0.08 mg/mL and 1 ± 0.02 mg/mL, respectively (Table 2). As a result, 25% aqueous ethanol extract of red radish showed higher value than the other samples.

Table 2

Total phenolic content and antioxidant activities of radish samples

	Radish (<i>Raphanus sativus</i> L.)								
	Red			Black			White		
	Aqueous Ethanol	MeOH	Juice	Aqueous Ethanol	MeOH	Juice	Aqueous Ethanol	MeOH	Juice
TPC ^a	317.40 ± 7.44	4.33 ± 0.10	0.48 ± 0.10	176.00 ± 4.13	182.00 ± 4.27	1.00 ± 0.02	53.35 ± 1.15	26.00 ± 0.61	3.29 ± 0.08
DPPH ^b	49.16 ± 1.15	50.90 ± 1.19	55.20 ± 1.19	49.30 ± 1.16	47.66 ± 1.12	53.60 ± 1.26	54.50 ± 1.28	47.66 ± 1.12	58.40 ± 1.37
DPPH ^c	50.00 ± 1.70	70.00 ± 1.64	60.00 ± 1.64	60.00 ± 1.41	60.00 ± 1.41	60.00 ± 1.41	50.00 ± 1.17	60.00 ± 1.41	70.00 ± 1.64
CUPRAC ^d	1.85 ± 0.04	2.76 ± 0.06	1.76 ± 0.06	0.68 ± 0.02	1.27 ± 0.03	2.45 ± 0.06	0.15 ± 0.00	0.59 ± 0.01	2.25 ± 0.05
ABTS ^e	57.14 ± 1.34	49.03 ± 1.15	49.03 ± 1.15	52.25 ± 1.23	23.86 ± 0.56	70.83 ± 1.66	43.27 ± 1.01	23.86 ± 0.56	55.14 ± 1.29
ABTS ^f	0.20 ± 0.00	0.22 ± 0.01	0.22 ± 0.01	0.19 ± 0.00	0.12 ± 0.00	0.30 ± 0.01	0.21 ± 0.00	0.13 ± 0.00	0.26 ± 0.01

^aTotal Phenolic Contents (TPC). Data is expressed as mg of ferulic acid equivalent (FAE)/100 g of extract

^bData is expressed as value of percentage of DPPH inhibition (%)

^cData is expressed as IC50 value of DPPH (μ g/mL)

^dCUPRAC (QERFC) (Quercetin equivalent of flavonoid concentration).

^eData is expressed as value of percentage of ABTS inhibition (%)

^fData is expressed as mM of Trolox equivalent per gram of sample.

Results were expressed as mean \pm standard error

Some of the researchers determined the content of total phenolics of radish leaves using gallic acid standard antioxidant and the results were given as gallic acid equivalent per gram (91.8 ± 2.9 mg GAE/g). Also, total phenolics contents of methanol and acetone extracts have been determined higher for radish leaves (Eugenio et al., 2017). Total phenolic content of aqueous ethanolic red radish extract was found as higher value (317.40 ± 7.44 mg/100 g) in our study (Table 2). When the total phenolic content value of radish root is comparable with our red radish ethanolic extract's value (317.40 ± 7.44 mg FAE/100 g), the amount of con-

tent shows similarity with each other. According to our findings, total phenolic contents of 25% aqueous ethanol extracts within cabbage samples (white, red and brussels sprout) were measured as 1071.00 ± 25.12 and 594.00 ± 13.93 mg FAE/100 g for red cabbage and brussels sprouts, respectively. However, the total phenolic content in methanol extract of red cabbage was determined as 399.22 ± 9.36 mg FAE/100 g. Although total phenolic contents of juice samples of white cabbage and brussels sprouts were found similar, red cabbage juice had approximately two-fold total phenolic content (Table 3). Total phenolic content of red cabbage, especially 25% aqueous ethanol extract has been determined as higher ferulic acid equivalent (Table 3). 25% Aqueous ethanol extract of white cauliflower has higher phenolic content (285.60 ± 6.70 mg/100 g), also phenolic content of methanol extract leaves has been found as 291.70 ± 6.84 mg/100 g. This result indicates that the similar phenolic content may be found in each of the extracts for white part and leaves of the cauliflower. Additionally, both of cauliflower juices have been determined as 2.69 ± 0.06 mg/mL and 2.24 ± 0.05 mg/mL. The values are given in Table 4. In three types of Brassicaceae family and all varieties of these vegetables, the higher total phenolic content has been found in 25% aqueous ethanol extract of red cabbage and it is followed by brussels sprouts, white cabbage, red radish, white cauliflower, black radish, cauliflower leaves and white radish extracts. The results are given in Tables 2-4.

Table 3
Total phenolic content and antioxidant activities of radish samples

	Cabbage (<i>Brassica oleracea</i> L. var capitata L)								
	White			Red			Brussels sprout		
	Aqueous Ethanol	MeOH	Juice	Aqueous Ethanol	MeOH	Juice	Aqueous Ethanol	MeOH	Juice
TPC ^a	338.29 ± 7.93	178.25 ± 4.18	1.90 ± 0.04	1071.00 ± 25.12	399.22 ± 9.36	3.60 ± 0.08	594.00 ± 13.93	196.12 ± 4.60	1.93 ± 0.05
DPPH ^b	50.00 ± 1.17	57.39 ± 1.35	50.53 ± 1.18	50.56 ± 1.19	50.73 ± 1.19	58.14 ± 1.36	59.78 ± 1.40	53.37 ± 1.25	54.83 ± 1.9
DPPH ^c	155.00 ± 3.63	160.00 ± 3.75	158.00 ± 3.71	63.00 ± 1.41	60.00 ± 1.41	56.00 ± 1.31	76.00 ± 1.78	138.00 ± 3.24	135.00 ± 3.17
CUPRAC ^d	1.89 ± 0.04	0.88 ± 0.02	0.42 ± 0.01	4.73 ± 0.11	4.78 ± 0.11	2.56 ± 0.06	2.35 ± 0.06	1.37 ± 0.03	1.43 ± 0.03
ABTS ^e	57.00 ± 1.34	68.64 ± 1.61	69.77 ± 1.64	50.48 ± 1.18	64.16 ± 1.50	67.45 ± 1.58	71.22 ± 1.67	65.90 ± 1.55	66.42 ± 1.56
ABTS ^f	0.22 ± 0.01	0.26 ± 0.01	0.28 ± 0.01	0.25 ± 0.01	0.22 ± 0.01	0.25 ± 0.01	0.25 ± 0.01	0.27 ± 0.01	0.25 ± 0.01

^aTotal Phenolic Contents (TPC). Data is expressed as mg of ferulic acid equivalent (FAE)/100 g of extract

^bData is expressed as value of percentage of DPPH inhibition (%)

^cData is expressed as IC₅₀ value of DPPH (µg/mL)

^dCUPRAC (QERFC) (Quercetin equivalent of flavonoid concentration).

^eData is expressed as value of percentage of ABTS inhibition (%)

^fData is expressed as mM of Trolox equivalent per gram of sample.

Results were expressed as mean \pm standard error

3.2. Antioxidant Activity of the Pulps and Juices of Selected Vegetables

Radical scavenging capacities of all vegetable samples have been determined by using DPPH and ABTS assays. According to the inhibitory concentration of samples in DPPH assay, 25% aqueous ethanol extracts of red and white radish have higher value as $50.00 \mu\text{g/mL}$ for each other and it is followed by red cabbage juice ($56.00 \pm 1.31 \mu\text{g/mL}$). All black radish samples, red radish juice, methanol extract of white radish and red cabbage are similar to IC₅₀ values (Table 2 and 3). Inhibitory concentrations of these selected vegetables are approximately ranged from 50 to 400 µg/mL. Since these values compared to each other and known antioxidant quercetin as standard, it is seen that quercetin has higher radical scavenging capacity with its IC₅₀ value ($4.75 \mu\text{g/mL}$) (Cömert Önder, Sarker & Ay, 2013). The higher value ($422.7 \pm 6.9 \mu\text{g/g}$) of free radical scavenging capacity has been determined in radish leaves against to other vegetable samples by using DPPH assay according to the previously reported study (Eugenio et al., 2017). However, in our present study, radical scavenging capacities of red, black and white radish varieties have been indicated approximately between 50.0-70.0 µg/mL. There was no positive correlation between leaves, pulp and radish juice samples. The results of determined antioxidant capacity using DPPH indicate that juice of cauliflower leaves and 25% aqueous ethanol extract of brussels sprouts have a low and high percentage of inhibition values, respectively

(Tables 2-4). Various studies have been reported that ethanol and water extracts of cauliflower were used with DPPH, TEAC, FRAP, CUPRAC assays and water extract was used to determine the total phenolic content. Higher antioxidant activity (68.91%) of methanolic extract of fresh cauliflower has been determined in one of the reported studies (Fouad & Rehab, 2013).

In the ABTS assay, the antioxidant capacities have been found ranging from $23.86 \pm 0.56\%$ to $71.22 \pm 1.67\%$ for all samples. Methanol extracts of black and white radish have been determined with lower antioxidant capacities (23.86%) and black radish juice had higher ABTS inhibition ($70.83 \pm 1.66\%$). TEAC values showed that the differences between the radish samples (Table 2). Aqueous ethanol extract (25%) of brussels sprouts exhibited the higher antioxidant capacity ($71.22 \pm 1.67\%$ ABTS inhibition) and then, it was followed by white cabbage juice ($69.77 \pm 1.64\%$), methanol extract of white cabbage ($68.64 \pm 1.61\%$), red cabbage juice ($67.45 \pm 1.58\%$) in cabbage varieties. In addition, TEAC values were calculated and the results showed that trolox equivalent values of cabbage samples have been found similar with each other (from 0.22 mM/g to 0.28 mM/g) (Table 3). In cauliflower samples, the ABTS results have been determined as better in 25% aqueous ethanol extract of leaves and juice of white cauliflower $31.00 \pm 0.73\%$ and $69.26 \pm 1.62\%$, respectively. Whereas, TEAC values have been shown as trolox equivalent in Table 4 (0.20 mM to 0.27 mM).

Table 4
Total phenolic content and antioxidant activities of radish samples

	Cauliflower (<i>Brassica oleracea</i> , variety botrytis)					
	White			Leaves		
	Aqueous Ethanol	MeOH	Juice	Aqueous Ethanol	MeOH	Juice
TPC ^a	285.60 ± 6.70	129.60 ± 3.04	2.69 ± 0.06	148.50 ± 3.48	291.70 ± 6.84	2.24 ± 0.05
DPPH ^b	55.06 ± 1.29	55.06 ± 1.29	46.48 ± 1.09	52.46 ± 1.23	54.02 ± 1.27	44.41 ± 1.04
DPPH ^c	140.00 ± 3.28	300.00 ± 7.04	300.00 ± 7.04	400.00 ± 9.38	350.00 ± 8.21	400.00 ± 9.38
CUPRAC ^d	1.06 ± 0.02	1.17 ± 0.03	0.61 ± 0.01	2.01 ± 0.05	2.66 ± 0.06	0.96 ± 0.02
ABTS ^e	64.69 ± 1.52	63.28 ± 1.48	69.26 ± 1.62	31.00 ± 0.73	54.15 ± 1.27	58.71 ± 1.38
ABTS ^f	0.23 ± 0.01	0.23 ± 0.01	0.27 ± 0.01	0.20 ± 0.00	0.26 ± 0.01	0.25 ± 0.01

^aTotal Phenolic Contents (TPC). Data is expressed as mg of ferulic acid equivalent (FAE)/100 g of extract

^bData is expressed as value of percentage of DPPH inhibition (%)

^cData is expressed as IC50 value of DPPH (µg/mL)

^dCUPRAC (QERFC) (Quercetin equivalent of flavonoid concentration).

^eData is expressed as value of percentage of ABTS inhibition (%)

^fData is expressed as mM of Trolox equivalent per gram of sample.

Results were expressed as mean ± standard error

ABTS radical scavenging capacities of all samples have been determined with a higher percentage, except methanol extracts of black and white radish (23.86%), 25% aqueous ethanol cauliflower leaves (31.00%) and red radish juice (49.03%). Although all cabbage samples had higher ABTS inhibition values (%). TEAC values showed that similar and low values in all samples in comparison with trolox as 1 mM/g (Table 2-4). According to our CUPRAC assay results, the values were evaluated with the lower and higher values for 25% aqueous ethanol extract of white radish and methanol extract of red cabbage, respectively. Commonly various vegetables in Brazil have been studied by researchers and the results showed that the values of antioxidant activity of ethanol extract of radish have been found as 26.1 ± 0.40 and 61.7 ± 0.21 µmol Trolox/g by using DPPH and ABTS assays. It is seen that there was no correlation between ABTS and DPPH assays in a previously reported study (Tiveron et al., 2012).

The total phenolic contents (1056 ± 106.8 mg/kg and 2166 ± 7.1 mg/kg) and antioxidant activities ($29.4 \pm 0.4\%$ and $40.8 \pm 3.7\%$) of red radish and red cabbage 70% aqueous methanol extracts have been determined according to the reported study (Ha Park et al., 2016; Karadeniz et al., 2005). When these results compared to our findings, red radish phenolics in aqueous methanol have been found 25-fold higher only methanol extract (4.33 ± 0.10 mg/100 g) (Table 2). Whereas, in our study, 25% aqueous ethanol extract is 3-fold higher ($317.40 \text{ mg} \pm 7.44 \text{ mg} /100 \text{ g}$) and phenolic contents of black radish aqueous ethanol (176.00 ± 4.13 mg/100 g) and methanol (182.00 ± 4.27 mg/100 g) extract values are higher than previously reported results (Table 2). This result indicates that the solvent polarity is one of the most important parameters to isolate the phenolics and evaluate the contents from the plants. In addition, researchers found that red cabbage possesses higher antioxidant activity and total phenolic concentration (Ha Park et al., 2016; Karadeniz et al., 2005).

The higher antioxidant activity has been determined in some of the red and white cabbage species (Sugiastuti, Farida & Sari, 2011). In our present study, antioxidant activities against DPPH of juice, methanol and, 25% aqueous ethanol extracts of red cabbage have been found 56.00 ± 1.31 $\mu\text{g/mL}$, 60.00 ± 1.41 $\mu\text{g/mL}$ and 63.00 ± 1.41 $\mu\text{g/mL}$ and of white cabbage 155.00 ± 3.63 $\mu\text{g/mL}$, 160.00 ± 3.75 $\mu\text{g/mL}$ and 158.00 ± 3.71 $\mu\text{g/mL}$, respectively. When the results are compared to each other, it is seen that raw and steamed red cabbage, juice and its extracts of red cabbage have higher value against boiled red cabbage.

The level of phenolic substances has reported in cabbage varieties and found higher in red cabbage against white cabbage cultivars (Leja, Kamińska & Kołton, 2010). Furthermore, in our study, all white cabbage results have been found similar to raw white cabbage within a previously reported study (Sugiastuti, Farida & Sari, 2011). However, we found higher percentage of antioxidant activity of all red radish samples (ranged from 49.16% to 55.2%) such as black and white samples (ranged from 47.66 to 58.4) and all cabbage samples such as brussels sprout (ranged from 50.00% to 59.78%) in this study (Tables 2, 3). 12 Cruciferous vegetables have been reported for their antioxidant activities and brussels sprout showed higher result with DPPH assay (Li et al., 2018). We mentioned that the radish pulp extracts and juices have higher total phenolic content and antioxidant activity than cabbage, cauliflower pulp, and juice samples in this study (Table 2).

Among studied Brassicaceae family vegetables, the highest IC_{50} value with DPPH has been found in 25% aqueous ethanol extract of white and red radish as 50.00 ± 1.17 and 50.00 ± 1.70 $\mu\text{g/mL}$, respectively. It is followed by red cabbage methanol extracts, red radish juice, black radish juice and methanol extract (Table 2-4). Although CUPRAC results showed good correlation with total phenolic contents of 25% aqueous ethanol and methanol extracts, red cabbage pulp exhibited higher value.

4. Conclusion

Herein, we discussed the total phenolic contents and antioxidant activities of the extracts for three selected vegetables provided from Canakkale-Turkey district bazaar using common assays to the comparison of the results. Up to now, some of the parts such as roots, seeds, and leaves of these vegetables have been reported within previous studies. Indeed, pulp extracts and freshly prepared juices of the selected vegetables were studied for the first time in this study. The solvent effect was observed among the pulp extracts of the selected vegetables that were obtained by Soxhlet extraction method. Furthermore, when antioxidant capacity measurements were performed by using combination assays such as DPPH, TEAC and CUPRAC, specific analysis of individual antioxidants that may support the evaluation of widely antioxidant status, could be performed. Our antioxidant capacity findings show the differences for all parts of studied vegetables. This is the evidence of having valuable active components in the vegetables and performed assays support the measuring of all antioxidants.

Author Contributions

Ferah CÖMERT ÖNDER and Mehmet AY: Conceived, designed, supervised and coordinated the study, edited the data, wrote and finalized the paper.

Nuriye DOĞRULAR, Ecem GÜNDÜZ and Sedef BARLAK: Performed the experimental studies and obtained the data.

All authors read and approved the final version of the manuscript.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

References

- Anonyms, Retrieved from: <https://www.britannica.com/plant/cauliflower>
<http://theworldwidevegetables.weebly.com/family-brassicaceae.html>
- Apak, R., Güçlü, K., Demirata, B., Özyürek, M., Çelik, S. E., Bektaşoğlu, B., Berker, K. I. & Özyurt D. (2007). Comparative Evaluation of Various Total Antioxidant Capacity Assays Applied to Phenolic Compounds with the CUPRAC Assay. *Molecules*, 12, 1496-1547. DOI: <https://doi.org/10.3390/12071496>
- Beev, S. S., Mangamoori, L. N., Gowda, B. B. (2012). Polyphenolics profile and antioxidant properties of *Raphanus sativus* L. *Natural Product Research*, 26, 557-563. DOI: <https://doi.org/10.1080/14786419.2010.521884>
- Cheney, G. (1949). Rapid healing of peptic ulcers in patients receiving fresh cabbage juice. *California Medical*, 70, 10-5. Retrieved from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1643665/pdf/califmed00295-0012.pdf>
- Chu, Y. F., Sun, J., Wu, X. & Liu, R. H. (2002). Antioxidant and antiproliferative activities of common vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 6910-6916. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf020665f>
- Ciska, E., Karamaæ, M. & Kosińska A. (2005). Antioxidant activity of extracts of white cabbage and sauerkraut. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 4, 367-373. Retrieved from: <http://journal.pan.olsztyn.pl/antioxidant-activity-of-extracts-of-white-cabbage-and-sauerkraut,97897,0,2.html>
- Cömert Önder, F., Ay, M. & Sarker S. D. (2013). Comparative Study of Antioxidant Properties and Total Phenolic Content of the Extracts of *Humulus lupulus* L. and Quantification of Bioactive Components by LC-MS/MS and GC-MS. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44, 10498-10506. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf4031508>
- Eugenio, M. H. A., Pereira, R. G. F. A., Wilson, César de Abreu & Michel Cardoso de Angelis Pereira. (2017). Phenolic compounds and antioxidant activity of tuberous root leaves. *International Journal of Food Properties*, 20: 2966-2973. DOI: <https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1263654>
- Fouad, A. A. & Rehab, F. M. A. (2013). Bioactive Compounds and Antioxidant Activity of Fresh and Processed White Cauliflower. *Hindawi Publishing Corporation BioMed Research International* 9. DOI: <https://doi.org/10.1155/2013/367819>
- Gossiau, A., Li S., Ho, C-T., Chen, K. Yu. & Rawson, N. E. (2011). The importance of natural product characterization in studies of their anti-inflammatory activity. *Molecular Nutrition & Food Research*, 55: 74-82. DOI: <https://doi.org/10.1002/mnfr.201000455>
- Ji, H-F., Li X-J. & Zhang, H-Yu. (2009). Natural products and drug discovery. *EMBO Reports*, 10, 194-200. DOI: <https://doi.org/10.1038/embor.2009.12>
- Karadeniz, F., Burdurlu, H. S., Koca, N. & Soyer, Y. (2005). Antioxidant Activity of Selected Fruits and Vegetables Grown in Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 29, 297-303. Retrieved from: <https://www.semanticscholar.org/paper/Antioxidant-Activity-of-Selected-Fruits-and-Grown-Karadeniz-Burdurlu/264a0f0fc66af4f152b467dc100295bc135ce92f>
- Koksal, E. & Gulcin, I. (2008). Antioxidant Activity of Cauliflower (*Brassica oleracea* L.). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 32, 65-78. Retrieved from: <https://trdizin.gov.tr/publication/paper/detail/TnpRNE1EZzQ=>
- Koley, T. K., Khan, Z., Oulkar, D., Singh, B. K., Maurya, A., Singh, B. & Banerjee, K. (2017). High resolution LC-MS characterization of phenolic compounds and the evaluation of antioxidant properties of a tropical purple radish genotype. *Arabian Journal of Chemistry*. 1-12. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2017.11.007>
- Kumarasamy, Y., Fergusson, M., Nahar, L. & Sarker S. D. (2002). Bioactivity of Moschamindole from

- Centaurea moschata. *Pharmaceutical Biology*, 40, 307–310. DOI: <https://doi.org/10.1076/phbi.40.4.307.8467>
- Leja, M., Kamińska, I. & Kolton A. (2010). Phenolic compounds as the major antioxidants in red cabbage. *Folia Horticulturae Ann.* 22/1, 19-24. DOI: <https://doi.org/10.2478/fhort-2013-0146>
- Li, Z., Lee, Hui, Wen, Liang, Xu, Liang, D., Qi, W. Qi, Huang, D. & Ong, C. N. (2018). Profiling of Phenolic Compounds and Antioxidant Activity of 12 Cruciferous Vegetables. *Molecules*, 23, 1139. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules23051139>
- Liu, D., Shi, J., Ibarra, A. C., Kakuda, Y. & Jun X. S. (2008). The scavenging capacity and synergistic effects of lycopene, vitamin E, vitamin C, and b-carotene mixtures on the DPPH free radical. *LWT - Food Science and Technology*, 41, 1344-9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.08.001>
- Mamsour, A. A. A., Shekib, L. A., Shimy, N. M. E. L. & Sharara, M. (2015). Comparative Study between the Bioactive Compounds and Antioxidant Activity of Broccoli and Cauliflower and the Effect of Domestic Processing on Them. *The International Journal of Science and Technoledge*, 3, 246-254. Retrieved from: <http://internationaljournalcorner.com/index.php/theijst/article/view/125185>
- Pisoschi, A. M., Pop, A., Cimpeanu, C. & Predoi, G. (2016). Antioxidant Capacity Determination in Plants and Plant-Derived Products: A Review. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 1- 36. DOI: <https://doi.org/10.1155/2016/9130976>
- Podsedeck A., 2007. Natural antioxidants and antioxidant capacity of Brassica vegetables: A review. *LWT*, 40, 1–11. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.07.023>
- Re, R., Pellegrini, N., Protrggente, A., Pannala, A., Yang, M. & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26, 1231-1237. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)
- Rokayya, S., Li, C-J. Z. Y., Li, Y. & Chang-Hao, S. (2013). Cabbage (*Brassica oleracea* L. var. capitata) Phytochemicals with Antioxidant and Anti-inflammatory Potential. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, 14: 6657-6662. DOI: http://journal.waocp.org/article_28350.html
- Soengas, F., Sotelo, T., Velasco, P. & Cartea, M. E. (2011). Antioxidant Properties of Brassica Vegetables. *Functional Plant Science and Biotechnology*. 5(Special Issue 2): 43-55. DOI: <http://hdl.handle.net/10261/77986>
- Sugiasuti, S., Farida, Y. & Sari D. P. P. (2011). Antioxidant Activity of White and Red Cabbage (*Brassica oleracea* L. var capitata L) Using DPPH. The 2nd International Conference on Pharmacy and Advanced Pharmaceutical Sciences in Yogyakarta, July 19-20. Retrieved from: <http://dosen.univpancasila.ac.id/dosenfile/2087211012138855791901January2014.pdf>
- Takaya, Y., Kondo, Y., Furukawa, T. & Niwa M. (2003). Antioxidant constituents of radish sprout (kaiware-daikon), *Raphanus sativus* L. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51: 8061–8066. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf0346206>
- Takao, T., Watanabe, N., Yagi, I. & Sakata, K. (1994). A simple screening method for antioxidants and isolation of several antioxidants produced by marine bacteria from fish and shellfish. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 58, 1780–1783. DOI: <https://doi.org/10.1271/bbb.58.1780>
- Tiveron, A. P., Melo, P. S., Bergamaschi, K. B., Vieira, T. M. F. S., Regitano-d'Arce, M. A. B. & Alencar S. M. (2012). Antioxidant Activity of Brazilian Vegetables and Its Relation with Phenolic Composition. *International Journal of Molecular Sciences*, 13, 8943-8957. [doi:10.3390/ijms13078943](https://doi.org/10.3390/ijms13078943)
- Velioglu, Y. S., Mazza, G., Gao, L. & Oomah, B. D. (1998). Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables, and grain products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 46, 4113–4117. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf9801973>
- Wiczowski, W., Szawara-Nowak, D. & Topolska J. (2013). Red cabbage anthocyanins: Profile, isolation, identification, and antioxidant activity. *Food Research International*, 51, 303–309. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.12.015>
- Zanfini, A., Corbini, G., La Rosa, C. & Dreassi E. (2010). Antioxidant activity of tomato lipophilic extracts and interactions between carotenoids and atocopherol in synthetic mixtures. *LWT - Food Science Technology*, 43, 67-72. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.06.011>

Çanakkale İlinde *Leek yellow stripe virus* Enfeksiyonunun Güncel Durumu ve İki farklı Gen Bölgesine Göre Kısmi Moleküler Karakterizasyonu

Merve Sarı, Ali Karanfil, Savaş Korkmaz*

Bitki Koruma Bölümü, Ziraat Fakültesi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale, Türkiye

Makale Tarihçesi

Gönderim: 03.03.2020
Kabul: 08.05.2020
Yayım: 22.05.2020

Araştırma Makalesi

Öz – Pırasa sarı çizgi virüsü (*Leek yellow stripe virus*, LYSV) pırasa tarımında ekonomik kayıplara neden olan en önemli viral hastalık etmenlerinden birisidir. Ülkemizin farklı illeri ve bölgelerinden LYSV'nin varlığı bugüne kadar yapılan birçok çalışmada bildirilmiştir. Ancak, yapılan bu çalışmalar virüsün tespiti ve kılıf protein (Coat Protein; CP) geninin moleküler karakterizasyonuna yöneliktir. Ayrıca etmenin enfeksiyonu yıldan yıla değişkenlik gösterebilmektedir. Bu nedenlerle virüsün güncel enfeksiyon durumunun belirlenmesi ve iki farklı gen bölgesine göre virüsün kısmi moleküler karakterizasyonunun yapılması amacıyla bu çalışma planlanmıştır. Bu amaçla, 2019 yılında Çanakkale'nin 3 ilçesinde (Merkez, Ezine ve Ayvacık) arazi çalışmaları yapılarak virüs ve virüs benzeri belirti gösteren 35 pırasa bitkilerinden örnekler alınmıştır. Alınan örnekler double antibody sandwich-enzyme-linked immunosorbent assay (DAS-ELISA) ile LYSV varlığı açısından testlenmiş ve 32 tanesinin enfekteli olduğu bulunmuştur. Enfekteli bulunan örnekler içerisinde 2, daha önce yapılan bir çalışmadan (Korkmaz ve Çevik, 2009) elde edilen örneklerden de 2 tane olmak üzere toplam 4 örneğin nükleer inclusion b (Nuclear Inclusion b; Nib) ve CP gen bölgesi çoğaltılıp dizilenecek kısmi moleküler karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Yapılan çoklu dizi analizleri sonucunda Çanakkale LYSV izolatlarının her iki gen bölgesine göre de birbirleri ile %90'ın üzerinde dizi benzerliği gösterdiği tespit edilmiştir. Filogenetik analizler sonucunda ise özellikle Nib bölgesine göre Çanakkale LYSV izolatlarının birbirleri ile yakın ilişkili olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler – ELISA, RT-PCR, Nib, CP, Filogenetik

Current Status of *Leek yellow stripe virus* in Çanakkale Province of Turkey and Partial Molecular Characterization of Turkish Isolates Based on Two Gene Regions

¹Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Çanakkale Onsekiz Mart University, Çanakkale, Turkey

Article History

Received: 03.03.2020
Accepted: 08.05.2020
Published: 22.05.2020

Research Article

Abstract – *Leek yellow stripe virus* (LYSV) is one of the most important viral disease agents causing economic losses in leek cultivation. The presence of this virus has been previously reported in different provinces and regions of Turkey. However, those studies to date in Turkey were limited to the detection of LYSV and characterization the coat protein (CP) gene of LYSV isolates. Moreover, the infection rate of LYSV may vary from year to year. Therefore, this study was initiated to determine the current infection situation of LYSV in Çanakkale province, Turkey and partial molecular characterization of the virus based on two different genomic regions. For those purposes, field studies were conducted in 3 districts of Çanakkale province (Merkez, Ezine and Ayvacık), and 35 leek plants showing virus-like symptoms were sampled in 2019. The samples were tested with double antibody sandwich-enzyme-linked immunosorbent (DAS-ELISA) assay for the presence of LYSV and 32 of 35 collected samples were infected with LYSV. The nuclear inclusion b (Nib) and the CP genes of two new and two 2 previously obtained isolates (Korkmaz and Cevik, 2009) were amplified and sequenced for partial molecular characterization. Multiple sequence alignment studies showed that Çanakkale LSYV isolates have over %90 sequence identities with each other based on two genomic regions. Moreover, phylogenetic analysis revealed that Çanakkale LYSV isolates are closely related to each other especially based on Nib region.

Keywords – ELISA, RT-PCR, Nib, CP, Phylogenetic

¹  <http://orcid.org/0000-0003-3447-9104> merwe_sari97@hotmail.com

²  <http://orcid.org/0000-0002-4503-6344> ali.karanfil@hotmail.com

³  <http://orcid.org/0000-0001-8227-3800> skorkmaz@comu.edu.tr

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1. Giriş

Ülkemizde sebze yetiştiriciliği hemen hemen her bölgemizde yapılmakla birlikte özellikle Marmara, Ege ve Akdeniz Bölgeleri'nde daha yoğun olarak yapılmaktadır. Kışlık sebzeler içerisinde pırasa üretimi ticari ya da aile işletmeciliği şeklinde Çanakkale ilinin tüm ilçelerinde yaygın olarak yapılmaktadır. Pırasa, yılın her mevsiminde veya iki senede bir yetişen ve genellikle yaprakları için yetiştirilen bir bitkidir. Pırasa [*Allium ampeloprasum* var. *porrum* (L.)], Liliopsida sınıfı, Asparagales takımı, Alliaceae familyasına dahil olan bir sebzedir (Davis, 1984).

Tarımsal üretimde ürünün kalite ve kantitesine etki eden birçok faktör vardır. Bu faktörlerden birisi hiç kuşkusuz virüs hastalıklarıdır. Bu gruba giren hastalıkların kimyasal bir mücadelesi olmadığı için diğer hastalık etmenlerine göre daha yıkıcı olabilmekte ve bazen üretimde % 70-80'lere varan kayıplara neden olabilmektedirler. Bunun yanında virüsler yetiştirilen ürünün kalite ve pazarlama değerini düşürmektedirler (Conci, Lunello, Buraschi, Italia ve Nome, 2002).

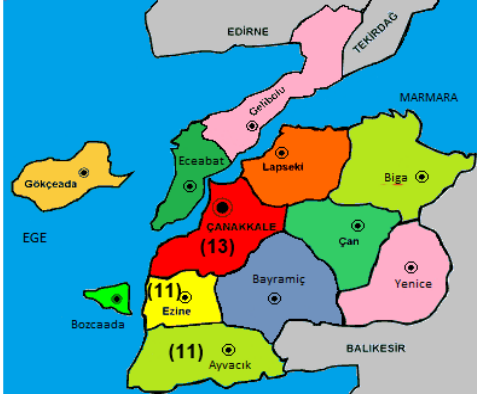
Pırasanın en önemli virüs hastalıklarından birisi *Leek yellow stripe virus* (LYSV)'dür. LYSV, pırasa yetiştiriciliği yapılan ülkemizde ve Avrupa ülkelerinde önemli zararlara neden olmaktadır. LYSV ile bulaşmış bitkilerin gelişiminde zayıflık, cücelik ve solgunluk belirtileri gözlenmektedir. Bunlar pırasanın kalitesi ve kantitesini azalttığı gibi verimde de büyük bir düşüşe neden olmaktadır (Barg, Lesemann, Vetten ve Green, 1993). Bitki virüs hastalıkları arasında potyvirusler büyük ölçüde ekonomik kayıplara neden olmaktadır (Mertens vd., 2005). *Potyviridae* virüs hastalıkları içinde en çok tür barındıran familyadır. LYSV *Potyviridae* familyasına bağlı ve bu gruba dahil olan 175 potyvirus cinsinden bir tanesidir. LYSV partikülleri (+) ssRNA içerir, kıvrımlı, tek parçalı, zarfsız, 815-820 nm uzunluğunda, 12-15 nm çapındadır. Kılıf protein moleküler ağırlığı 34 kDa'dur (Wylie vd., 2017).

Dünyada ve ülkemizde LYSV ile ilgili olarak gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda etmenin farklı seviyelerde moleküler karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir (Dovas vd., 2002; Lunello, Ducasse ve Conci, 2005; Fidan ve Baloğlu, 2009; Korkmaz ve Çevik, 2009; Tuzlalı, 2018). Ancak ülkemizde gerçekleştirilen çalışmaların hepsi LYSV'nin kılıf protein genine dayalı kısmi moleküler karakterizasyon çalışmalarıdır. Etmenin diğer genlerinin moleküler özellikleri bilinmemektedir. Bu amaçla gerçekleştirilen bu çalışma kapsamında kılıf protein (Coat Protein; CP) ve nükleer inclusion protein b (Nuclear Inclusion b; Nlb) gen bölgelerinin kısmi moleküler karakterizasyonları gerçekleştirilerek, bundan sonra gerçekleştirilmesi planlanan ülkemiz LYSV izolatlarının tüm genomunun belirlenmesi için bir başlangıç oluşturması amaçlanmıştır. Ayrıca gerçekleştirilen arazi çalışmaları ile de etmenin güncel enfeksiyon durumu tespit edilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Arazi Çalışmaları

Arazi çalışmaları Çanakkale Merkez ilçe, Ezine ve Ayvacık ilçeleri ticari pırasa üretim alanlarında 2018-2019 üretim sezonunda yürütülmüştür (Şekil 1). Pırasa üretim alanlarının seçimi tesadüfi olarak seçilmiş ve pırasa çeşitleri dikkate alınmadan örnekleme yapılmıştır. Yalnızca tipik olarak virüs ve virüs benzeri belirti gösteren pırasa bitkilerinden örnekler alınmıştır. Alınan örneklerin etiketlenmesi yapıldıktan sonra içlerinde silika jel bulunan 9x10 cm boyutlarında plastik poşetlere konularak buz kutusu içerisinde laboratuvara getirilmiştir. Getirilen örnekler virüs tanılama çalışmaları yapıncaya kadar ve uzun süreli muhafaza için buzdolabında 4°C'de muhafaza edilmiştir.



Şekil 1. Örnekleme yapılan Çanakkale ilçeleri (Parantez içindeki rakamlar o ilçeden toplanan örnek sayılarını ifade etmektedir)

2.2. Virüs Tanılama Çalışmaları

Toplanan örneklerdeki LYSV enfeksiyonunun belirlenmesi DAS-ELISA testi ile gerçekleştirilmiştir. DAS-ELISA testleri üretici firmanın (Bioreba, İsviçre) önerileri doğrultusunda Clark ve Adams (1977)'in belirttiği yöntem esas alınarak yapılmıştır. Bu doğrultuda test 4 aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. Teste ilk olarak 1:1000 oranında kaplama solüsyonu ile sulandırılmış LYSV spesifik IgG, ELISA plakasında yer alan her bir çukura 200 µl olacak şekilde dağıtılarak üstü parafilm ile kapalı bir şekilde 36 °C'de 4 saat inkübe edilerek başlanılmıştır. Sürenin sonunda ekstraksiyon solüsyonu içerisinde ezilen bitki örnekleri ile negatif ve pozitif örneklerden de 200 µl olacak şekilde eklenmiş ve buzdolabında 1 gece (12 saat civarı) 4°C'de inkübe edilmiştir. Testin üçüncü aşamasında her bir çukura 200 µl konjugat IgG ilave edilerek, plaka 36 °C'de 5 saat inkübe edilmiştir. Her bir aşamanın sonunda plaka 3 kez yıkama solüsyonu ile yıkanmıştır. Testin son aşamasında ise plaka konsantrasyonu 1 mg/ml olacak şekilde sulandırılan paranitrophenylphosphate eklenerek plaka oda sıcaklığında karanlıkta olacak şekilde en az 30 dakika inkübe edilmiştir. Sürenin sonunda plaka görsel olarak takip edilmiştir. Ayrıca görsel gözlemler ELISA okuyucusunda 405 nm altında okuma yapılarak doğrulanmıştır.

2.3. Moleküler Karakterizasyon Çalışmaları

Toplanan örneklerdeki LYSV ile enfekteli olarak bulunan 2 örnek ve daha önceki çalışmadan elde edilen (Korkmaz ve Cevik, 2009) ve Çanakkale ilinin Avrupa kısmında yer alan Eceabat (TUR-CAN-11) ve Anadolu yakasında yer alan Lapseki (TUR-CAN-148) ilçelerinden birer örnek moleküler karakterizasyon çalışmaları için seçilmiştir. İzolatların seçiminde coğrafik orijinlerinin birbirinden olabildiğince farklı olmasına dikkat edilmiştir. Bu çalışmada LYSV ile enfekteli olduğu belirlenen örnekler içerisinde Merkez (TUR-CAN-50) ve Ayvacık (TUR-CAN-111) ilçelerinden birer izolat seçilmiştir. Bu bağlamda moleküler karakterizasyon çalışmaları LYSV enfekteli toplam 4 örnek üzerinden yürütülmüştür.

2.3.1. Total Nükleik Asit İzolasyonu

LYSV ile enfekteli olan örneklerden total nükleik asit (TNA) izolasyonu Li vd. (2008)'nin belirttiği cetyl trimethyl ammonium bromide (CTAB) yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen TNA'ların kalitesi agaroz jel elektroforezinde kontrol edildikten sonra kullanılıncaya kadar -80 °C'de muhafaza edilmiştir.

2.3.2. İki Aşamalı Ters Transkripsiyon-Polimeraz Zincir Reaksiyonu (RT-PCR)

Polimeraz zincir reaksiyonunda istenilen gen bölgelerinin çoğaltımı amacıyla ilk olarak komplementer DNA (cDNA)'ların sentezlenmesi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla Fermentas (Litvanya) firmasından sağlanan

kit (RevertAid First Strand cDNA Synthesis Kit) ile cDNA'ların sentezlenmesi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen cDNA'lar kullanılarak hedef gen bölgelerinin çoğaltımı Tablo 1'deki primer çiftleri kullanılarak Takara (Japonya) firmasından sağlanan kitler (PrimeScript RT-PCR Kit) ile Bio-Rad Personel Mini Termal Döngü Cihazı (ABD) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar %1.5'lik agaroz jel elektroforezi ile kontrol edilmiştir. İstenilen büyüklükte olan PCR ürünlerinin sahip olduğu nükleotit dizilimleri hizmet alımı (BMLabosis, Ankara) yolu ile çift yönlü olacak şekilde belirlenmiştir.

Tablo 1

Moleküler karakterizasyon çalışmalarında kullanılan primer çiftleri

Kod	Primer Dizisi (5'-3')	Ürün	Hedef Gen Bölgesi	Referans
LYSV-1	CAC ATC AAG AAC ACC AGT TAG AGC	304 bç	CP+3'UTR*	Dovas vd. 2001
LYSV-2	GTA GAA ACT GCC TTG AAC GAG TG			
Nİb_2F	GTI TGY GTI GAY GAY TTY AAY AA	350 bç	Nİb	Zheng, Rodoni, Gibbs ve Gibbs 2010
Nİb_3R	TCI ACI ACI GTI GAI GGY TGN CC			

*UTR: Translasyon dışı bölge

2.3.3. Biyoinformatik Analizler

Elde edilen çift yönlü nükleotit dizileri biyoinformatik yazılımlardan (CLC Main Workbench, Geneious Prime) yararlanarak birleştirilmiş ve konsensüs dizilimler elde edilmiştir. LYSV CP+3' UTR gen bölgesinin CP geninin kısmi CP genine karşılık gelen 187 bç'lik, Nİb gen bölgesinin ise 350 bç'lik kısmı biyoinformatik analizlerde kullanılmıştır. Çalışma kapsamında elde edilen izolatların ilgili gen bölgelerine karşılık gelen dizilimlerde gen bankası (NCBI) veri tabanından alınarak çalışmaya dahil edilmiştir (Tablo 2). Genel olarak gen bankası veri tabanından elde edilen ve hedef gen bölgesi ile uyumlu LYSV izolatlarının sarımsak orijinli olduğu ve her iki gen bölgesi için de pırasadan elde edilen izolatlar olmadığı belirlenmiştir. Elde edilen dizilimler kullanılarak LYSV izolatlarının birbirleri ve dünya izolatları ile göstermiş oldukları filogenetik ilişkileri ve sekans benzerlik oranları araştırılmıştır (Muhire, Varsani ve Martin, 2014). Filogenetik analizlerde *Wild onion symptomless virus* (WoSV) ve *Onion yellow dwarf virus* (OYDV) dış grup olarak kullanılmıştır.

Tablo 2

Moleküler karakterizasyon çalışmaları kapsamında kullanılan *Leek yellow stripe virus* izolatlarına ait bilgiler

GenBankası Erişim Numarası	İzolat Kodu	Orijin Ülke	Koukçu	Gen Bölgesi
KF597285	SW10	Arjantin	<i>Allium sativum</i>	Nİb+CP*
KP168261	India	Hindistan	<i>A. sativum</i>	Nİb+CP
KP258216	MG	Brazilya	<i>A. sativum</i>	Nİb+CP
AB194623	1A3I	Japonya	<i>A. sativum</i>	Nİb+CP
JX429967	AG1	Avustralya	<i>A. sativum</i>	Nİb+CP
JQ899450	SW3.5	Avustralya	<i>A. sativum</i>	Nİb+CP
JX429965	SG2	İspanya	<i>A. sativum</i>	Nİb+CP
Bu Çalışma Kapsamında Elde Edilen İzolatlara Ait Bilgiler				
GenBankası Erişim Numarası	İzolat Kodu	Orijin Ülke	Konukçu	Gen Bölgesi
MT038061	TUR-CAN-11	Türkiye	<i>Allium porrum</i>	Nİb
MT038062	TUR-CAN-50		<i>A. porrum</i>	Nİb
MT038063	TUR-CAN-111		<i>A. porrum</i>	Nİb
MT038064	TUR-CAN-148		<i>A. porrum</i>	Nİb
MT038065	TUR-CAN-11		<i>A. porrum</i>	CP
MT038066	TUR-CAN-50		<i>A. porrum</i>	CP
MT038067	TUR-CAN-111		<i>A. porrum</i>	CP
MT038068	TUR-CAN-148		<i>A. porrum</i>	CP

*Nİb:Nuclear Inclusion b, CP: Coat protein

3. Bulgular ve Tartışma

Gerçekleştirilen arazi çalışmaları kapsamında tipik olarak viral hastalık benzeri belirti taşıyan 35 bitkiden örnekler alınmıştır. Araziden alınan pırasa örneklerinin DAS-ELISA yöntemi ile testlenmesi sonucunda, 32 bitkinin LYSV ile enfekteli olduğu belirlenmiştir. Merkez ve Ayvacık ilçelerinden alınan örneklerin tamamı (toplam 24) LYSV ile enfekteli olarak bulunurken, Ezine'den alınan 11 örneğin 8'i LYSV ile enfekteli olarak tespit edilmiştir. Elde edilen test sonuçlarına göre, toplanan örneklerdeki LYSV enfeksiyon oranları Merkez ve Ayvacık ilçeleri için %100, Ezine için %72 olarak bulunmuştur (Tablo 3).

Tablo 3.

Virüs tanılama çalışmaları sonuçları

Çanakkale İlçeleri	Enfekteli/Toplanan Örnek Sayıları	Toplanan Örneklerdeki LYSV Enfeksiyon Oranı
Merkez	13/13	%100
Ayvacık	11/11	%100
Ezine	8/11	%72
Toplam	32/35	%91

Test edilen örneklerdeki genel enfeksiyon oranı ise %91 olarak saptanmıştır. Güney Marmara bölgesinde başka bir çalışmada ise LYSV enfeksiyon oranı *Allium* cinsine bağlı pırasa, soğan ve sarımsak bitkilerinde 2014-2017 yılları arasında araştırılmıştır. Gerçekleştirilen bu çalışma sonucunda test edilen örneklerdeki LYSV enfeksiyon oranının % 92.30 olduğu bildirilmiştir (Tuzlalı, 2018). Bu sonuçlar Çanakkale ili pırasa üretim alanlarında LYSV'nin viral hastalık etmenleri arasında yaygın patojen olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte toplanan örneklerin hepsinin virüs ve virüs benzeri belirti taşımaya rağmen, bazı örneklerde LYSV enfeksiyonunun tespit edilmemesinden dolayı, pırasa üretim alanlarında başka viral etmenlerin de olabileceği düşünülmüştür. Nitekim Tuzlalı (2018) ve Fidan (2010) LYSV'den sonra pırasada enfeksiyona neden olan ikinci en önemli viral etmenin *Onion yellow dwarf virus* (OYSV) olduğunu bildirmişlerdir.

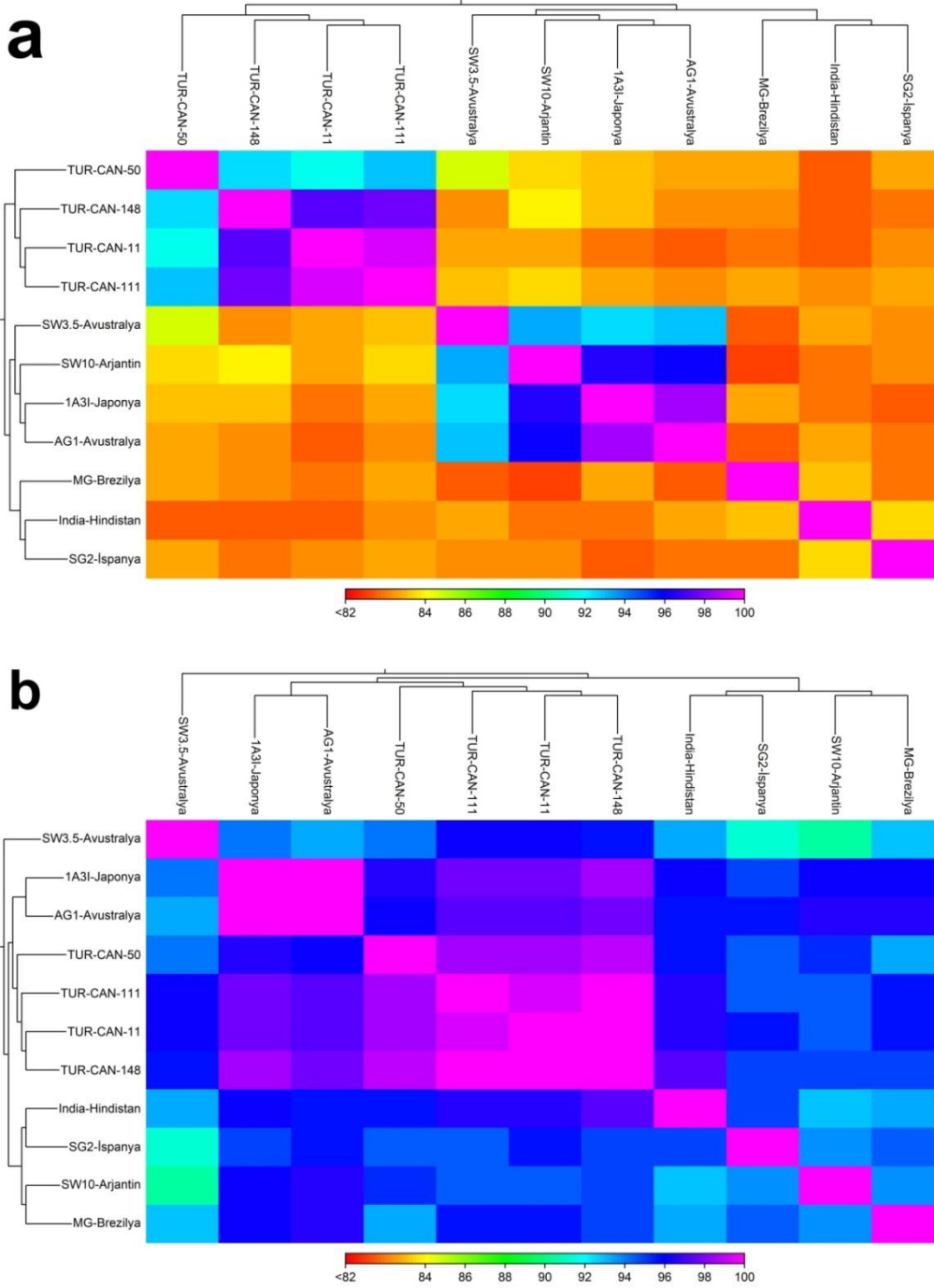
LYSV ile enfekteli olduğu DAS-ELISA testleri sonucunda kesin olarak belirlenen örneklerde görülen en tipik belirtilerin yoğun mozaik belirtilerine ek olarak, virüsün isminden de anlaşılacağı üzere damarlar boyunca şerit şeklinde uzanan renk açılmaları olarak belirlenmiştir (Şekil 1). Benzer belirtiler ülkemiz ve dünyada LYSV ile ilgili olarak gerçekleştirilen çalışmalarda da bildirilmiştir (Pappu, Hellier, ve Dugan, 2005; Kurtuluş, 2012).



Şekil 2. Virüs tanılama çalışmaları sonucunda *Leek yellow stripe virus* ile kesin olarak enfekteli olduğu belirlenen pırasa bitkilerinin arazi koşullarında sahip olduğu belirtiler

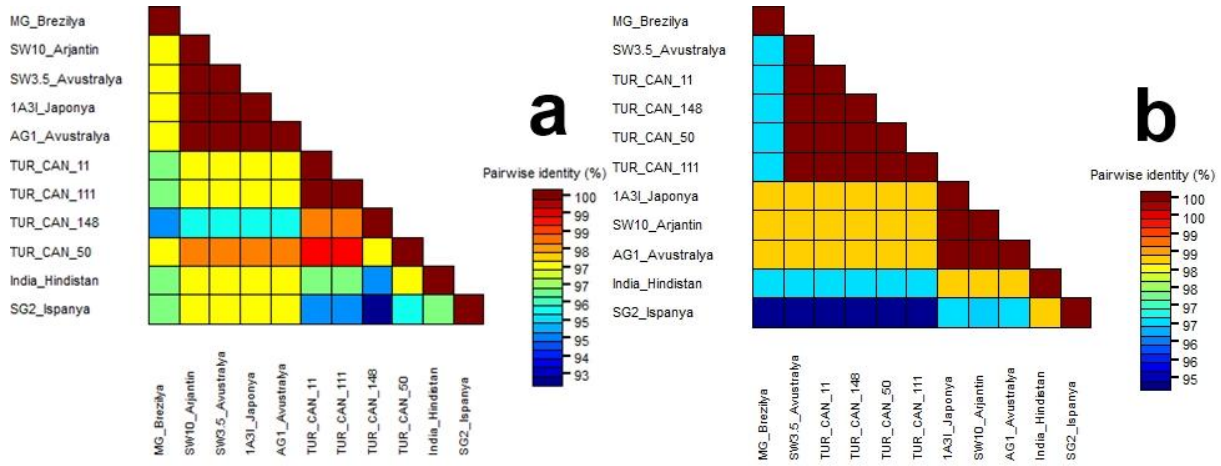
Gerçekleştirilen çoklu dizi karşılaştırmaları sonucunda Çanakkale LYSV izolatları NIB gen bölgesinin nükleotid dizilimlerine göre kendi içlerinde %91-99 oranında, dünya izolatları ile ise %81-84 oranında benzerlik-

ler gösterdiği tespit edilmiştir. Kılıf protein gen bölgesinin nükleotit dizilimlerine göre, LYSV izolatları kendi içlerinde %97-99, dünya izolatları ile %93-97 benzerlik gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Çanakkale ili *Leek yellow stripe virus* izolatlarının dünya izolatları ile nükleotit düzeyinde göstermiş olduğu benzerlik oranları (a: Nuclear inclusion b protein gen bölgesine göre; b: Coat protein gen bölgesine göre)

NIb gen bölgesinin amino asit dizilimlerine göre, Çanakkale LYSV izolatları kendi içlerinde %97-100, dünya izolatları ile ise %95-97 oranında benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir. CP gen bölgesinin amino asit dizilimlerine göre ise, Çanakkale LYSV izolatlarının kendi içlerinde %100 benzerlik gösterdiği belirlenmiştir. Dünya izolatları ile ise %95-100 oranında benzerlikler görüldüğü belirlenmiştir (Şekil 4).

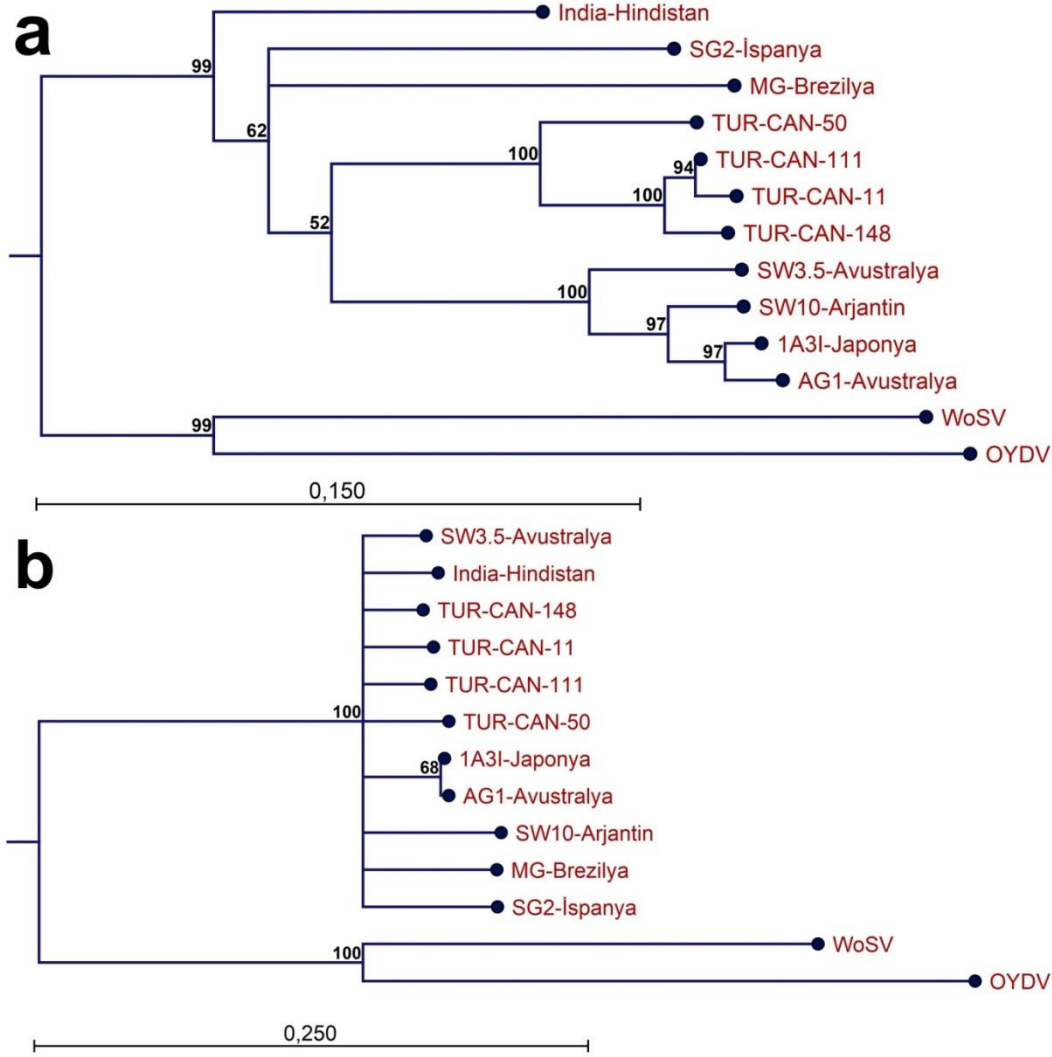


Şekil 4. Çanakkale ili *Leek yellow stripe virus* izolatlarının dünya izolatları ile amino asit düzeyinde göstermiş olduğu benzerlik oranları (a: Nuclear inclusion b protein gen bölgesine göre; b: Coat protein gen bölgesine göre)

Güney Marmara bölgesi *Allium* cinsi bitkilerde LYSV enfeksiyonunun araştırıldığı bir çalışmada da LYSV izolatlarının CP genine göre dünya izolatları ile nükleotit ve amino asit düzeyinde sırası ile %77.9-99.2 ve %78.1-99.6 oranlarında benzerlikler gösterdiği belirtilmiştir (Tuzlalı, 2018). Benzer şekilde Çanakkale ilinde 2012 yılında LSYV izolatlarının CP gen bölgesinin moleküler karakterizasyonu amacı ile gerçekleştirilen başka bir çalışmada da izolatlarının dünya LYSV izolatları ile %77-95 oranında benzerlikler gösterdiği belirtilmiştir (Kurtuluş, 2012). Bu bağlamda, bu çalışma kapsamında da elde edilen benzerlik oranları, yukarıdaki çalışmalardan elde edilen benzerlik oranları ile birbirine paralellik göstermektedir.

Gerçekleştirilen filogenetik analizler sonucunda, Nİb gen bölgesine göre Çanakkale LSYV izolatlarının birbirleri ile yakın ilişkili olduğu tespit edilmiş ve dünya izolatlarından ayrı bir küme oluşturduğu belirlenmiştir (Şekil 5a). CP geni temel alınarak gerçekleştirilen filogenetik analizler sonucunda ise izolatlar arasında herhangi bir farklılık bulunmamıştır (Şekil 5b). Nİb gen bölgesine göre izolatlar arasında filogenetik açıdan Türk izolatları farklı bir küme oluştururken, CP gen bölgesine göre bir farklılık bulunmamasının büyük ihtimalle hedef CP gen bölgesinin kısa (187 bç) olmasından kaynaklandığı düşünülmüştür.

Takaki vd. (2005) Japonya'da sarımsak ve pırasa LYSV izolatlarının moleküler karakterizasyonlarına yönelik yaptıkları bir çalışmada filogenetik olarak pırasa ve sarımsak izolatlarının birbirinden ayrı gruplarda yer aldığını bildirmişlerdir. Brezilya'da LSYV izolatlarının filogenetik ilişkilerinin araştırıldığı bir diğer çalışmada da, Brezilya LSYV izolatlarının P1 gen bölgesine göre kendi içlerinde %97-99 benzerlikler gösterdiği, dünya izolatları ile yapılan karşılaştırmalar sonucunda benzerlik oranlarının %51-64'a kadar düştüğü belirtilmiştir (Bampi, Mituti, Pavan, Hammond, ve Krause-Sakate, 2015). Bu bağlamda dünyanın farklı bölgelerinde LYSV izolatlarının moleküler karakterizasyonları sonucu elde edilen bulgular ile bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar birbirine paralellik göstermektedir.



Şekil 5. Çanakkale ili *Leek yellow stripe virus* izolatlarının dünya izolatları ile nükleotit düzeyinde göstermiş olduğu filogenetik ilişkiler (a: Nuclear inclusion b protein gen bölgesine göre; b: Coat protein gen bölgesine göre. Filogenetik ağaçlar neighbor-joining yöntemi ile kimura-2 parametresi ve 1000 bootstrap değeri uygulanarak oluşturulmuştur. Ayrıca, filogenetik ağaçlarda %50 bootstrap eşiği uygulanmıştır)

4. Sonuç

Gerçekleştirilen bu çalışma ile Çanakkale ili pırasa üretim alanlarında LYSV enfeksiyonunun güncel durumu hakkında bilgiler elde edilmiştir. Aynı zamanda ülkemizde ilk kez LYSV izolatlarının NIB gen bölgesinin sekans dizilimlerine yönelik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen benzerlik ve filogenetik analizler sonucunda, dünya sarımsak izolatları ile Çanakkale LYSV izolatlarının sekans dizilimlerinin birbirinden oldukça heterojen bir yapıya sahip olduğu belirlenmiştir. Bundan sonra yapılacak çalışmaların ülkemiz LYSV izolatlarının tüm genomunun belirlenmesine yönelik olması gerektiği düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma kısmen TÜBİTAK 2209-A programı tarafından desteklenmiştir.

Yazar Katkıları

Tüm yazarlar eşit katkıda bulunmuştur.

Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

Kaynaklar

- Bampi, D., Mituti, T., Pavan, M. A., Hammond, J. ve Krause-Sakate, R. (2015). Leek yellow stripe virus isolates from Brazil form a distinct clade based on the P1 gene. *Journal of Plant Pathology*, 97(3), 457-463.
https://www.researchgate.net/publication/292816896_Leek_yellow_stripe_virus_isolates_from_Brazil_form_a_distinct_clade_based_on_the_P1_gene.
- Barg, E., Lesemann, D. E., Vetten, H. J. ve Green, S. K. (1993). Identification, partial characterization, and distribution of viruses infecting Allium crops in South and Southeast Asia. *In International Symposium on Alliums for the Tropics*, 358, 251-258.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1994.358.41>
- Clark, M.F. ve Adams, A.N. (1977). Characteristic of the Microplate Method of Enzyme Linked Immune Sorbent Assay for the Detection of Plant Viruses. *Journal of General Virology*, 34(3), 475-483.
<https://doi.org/10.1099/0022-1317-34-3-475>
- Conci, V. C., Lunello, P., Buraschi, D., Italia, R. R., & Nome, S. F. (2002). Variations of Leek yellow stripe virus concentration in garlic and its incidence in Argentina. *Plant Disease*, 86(10), 1085-1088.
<https://doi.org/10.1094/PDIS.2002.86.10.1085>
- Davis, P.H., (1984). Flora of Turkey and the East Aegeon Islands. Vol.8, Edinburgh, Univ. Press, Edinburgh.
- Dovas, C.I., Hatziloukas, E., Salomon, R., Barg, E., Shibolet, Y. ve Katis N.I. (2001). Incidence of viruses infecting Allium spp. in Greece. *European Journal of Plant Pathology*, 107(7), 677-684.
<https://doi.org/10.1023/A:1011958914573>
- Dovas, C.I., Hatziloukas, E., Salomon, R., Barg, E., Shibolet, Y. ve Katis, N.I. (2002). Comparisons of Methods For Virus Detection in Allium spp. *Journal of Phytopathology*, 149(11-12), 11-12.
<https://doi.org/10.1046/j.1439-0434.2001.00705.x>
- Fidan, H. ve Baloglu, S. (2009). First report of leek yellow stripe virus on leek in Turkey. *Journal of Plant Pathology*, 91(1), 234.
https://www.researchgate.net/publication/290102219_First_report_of_Leek_yellow_stripe_virus_on_leek_in_Turkey
- Fidan, H. (2010). *Sarımsak, Soğan ve Pırasa'daki Virüs Hastalıklarının Saptanması ve Taşköprü 56 Sarımsak Tipinin En Yaygın Virüse Karşı Reaksiyonunun Belirlenmesi* (Doktora Tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Korkmaz, S. ve Cevik, B. (2009). Leek yellow stripe virus newly reported in Turkey. *Plant Pathology*, 58(4), 787. [10.1111/j.1365-3059.2009.02049.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2009.02049.x)
- Kurtuluş, E., (2012). *Çanakkale İlinde Pırasa Sarı Çizgi Virüsü (Leek Yellow Stripe Virus; LYSV)'nin Biyolojik ve Moleküler Karakterizasyonu* (Yüksek Lisans Tezi) Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Li, R., Mock, R., Huang, Q., Abad, J., Hartung, J. ve Kinard, G. (2008). A reliable and inexpensive method of nucleic acid extraction for the PCR-based detection of diverse plant pathogens. *Journal of Virological Methods*, 154(1-2), 48-55. <https://doi.org/10.1016/j.jviromet.2008.09.008>
- Lunello, P., Ducasse, D. ve Conci, V. (2005). Improved PCR Detection of Potyviruses in Allium Species. *European Journal of Plant Pathology*, 112(4):371-378. <https://doi.org/10.1007/s10658-005-6232-3>
- Mertens, P. P. C., Maan, S., Samuel, A., Attoui, H., Fauquet, C. M., Mayo, M. A. et al. (2005). Virus taxonomy: eighth report of the International Committee on Taxonomy of Viruses. *Fauquet*, 447-454.
- Muhire, B.M., Varsani, A. ve Martin, D.P. (2014). SDT: A virus classification tool based on pairwise sequence alignment and identity calculation. *PLoS One*, 9, 0108277.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0108277>

- Pappu, H.R., Hellier, B.C. ve Dugan, F.M. (2005). First report of Onion yellow dwarf virus, Leek yellow stripe virus, and Garlic common latent virus in garlic in Washington State. *Plant Disease*, 89(2), 205-205. <https://doi.org/10.1094/PD-89-0205C>
- Takaki, F., Sano, T., Yamashita, K., Fujita, T., Ueda, K., ve Kato, T. (2005). Complete nucleotide sequences of attenuated and severe isolates of Leek yellow stripe virus from garlic in northern Japan: Identification of three distinct virus types in garlic and leek world-wide. *Archives of Virology*, 150(6), 1135-1149. <https://doi.org/10.1007/s00705-004-0482-9>
- Tuzlalı, H.T. (2018). *Güney Marmara Bölgesi'nde Allium Cinsi Bitkilerde Potyviruslerin Tanılanması ve Karakterizasyonu* (Doktora Tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Wylie, S. J., Adams, M., Chalam, C., Kreuze, J., López-Moya, J. J., Ohshima, K. et al. (2017). ICTV virus taxonomy profile: Potyviridae. *Journal of General Virology*, 98(3), 352. <https://doi.org/10.1099/jgv.0.000740>
- Zheng, L., Rodoni, B. C., Gibbs, M. J. ve Gibbs, A. J. (2010). A novel pair of universal primers for the detection of potyviruses. *Plant Pathology*, 59(2), 211-220. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2009.02201.x>

Sol-jel Yöntemi ile Kaplanan Nb₂O₅ İnce Filmlerin Karakterizasyonu

Tuğçe Ataşer*

¹Fotonik Uygulama ve Araştırma Merkezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye

Makale Tarihiçesi

Gönderim: 27.07.2019

Kabul: 14.02.2020

Yayın: 22.05.2020

Araştırma Makalesi

Öz – Bu çalışmada, hazırlanan niobyum pentoksit (Nb₂O₅) çözeltileri farklı sürelerde ve aynı koşullar altında yaşlandırıldı. Nb₂O₅ ince filmler, soda kireç cam ve silisyum alüminatlar üzerine aynı koşullar altında döndürerek kaplama cihazında sol-jel yöntemi ile kaplandı. Kaplanan Nb₂O₅ ince filmlerin yapısal ve optik özellikleri ile yüzey morfolojilerinin çözeltinin yaşlanmasına olan bağımlılığı sırasıyla, X-ışını kırınımı (XRD), ikincil iyon kütle spektrometresi (SIMS), UV-Vis spektrofotometre ve atomik kuvvet mikroskobu (AFM) analizleri ile incelendi. XRD sonuçlarından, SG-1 (1 gün yaşlandırılan çözelti ile kaplanan film) numunesinin kristal yapıya sahip olduğu görüldü ve SG-1 numunesinin tanecik boyutu 46,12 nm olarak hesaplandı. SIMS analizi ile niobyum (Nb) ve oksijen (O) atomik türlerinin film derinliği boyunca homojen olarak dağıldığı tespit edildi. SG-1 numunesi görünür bölgede %80 civarında geçirgenliğe sahiptir ve soğurma spektrumundan elde edilen yasak enerji aralığı yaklaşık 3,65 eV olarak bulundu. Çözeltilerin yaşlandırılma süreleri arttıkça, yansıtma değerleri kullanılarak hesaplanan kırılma indislerinin azaldığı görülmektedir. AFM sonuçlarından, 5x5 µm² lik alanda taranan yüzey görüntülerinden SG-1 numunesinin düzgün yüzey morfolojisine ve 70 nm tanecik büyüklüğüne sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca, AFM görüntülerinden çözelti yaşlandıkça RMS değerlerinin arttığı görülmektedir. Elde edilen sonuçlar; Nb₂O₅ çözeltisinin yaşlandırılma süresinin kaplanan filmlerin yapısal, optik ve yüzey morfolojisini etkilediğini göstermektedir. Kaplanan Nb₂O₅ ince filmlerin Si temelli güneş hücrelerinde yansıma önleyici tabaka olarak kullanılması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler – Nb₂O₅, ince film, sol-jel, döndürerek kaplama, yaşlandırma

Characterization of Nb₂O₅ Thin Films Coated by Sol-gel Method

¹Photonics Application and Research Center, Gazi University, Ankara, Turkey

Article History

Received: 27.07.2019

Accepted: 14.02.2020

Published: 22.05.2020

Research Article

Abstract – In this study, prepared niobium pentoxide (Nb₂O₅) solutions were aged for different times and under the same conditions. Nb₂O₅ thin films were deposited on the soda lime glass and silicon (Si) substrates under the same conditions by sol-gel spin coating method. The structural and optical properties and surface morphologies of the coated Nb₂O₅ thin films depending on the solution ageing were investigated by X-ray diffraction (XRD), secondary ion mass spectrometry (SIMS), UV-Vis spectrometer and atomic force microscopy (AFM) analyzes, respectively. XRD results indicated that SG-1 sample (the film deposited using 1-day aged solution) had crystal structure and the particle size of the SG-1 sample was calculated as 46.12 nm. It was determined by SIMS analysis that the niobium (Nb) and oxygen (O) atomic species distributed homogeneously along the film depth. The SG-1 sample had 80% optical transmittance in the visible region and the energy band gap from the absorption spectrum was found to be about 3.65 eV. It was seen from the AFM surface images scanned in 5x5 µm² area that SG-1 sample had smoother surface morphology with particle size value calculated as 70 nm. Also, it was seen from the AFM images that the RMS values increase as the solution ageing. The obtained results showed that the ageing time of Nb₂O₅ solution affects the structural, optical and surface morphology of the deposited films. It is suggested that the coated Nb₂O₅ thin films should be used as antireflective layer in crystal Si based solar cells.

Keywords – Nb₂O₅, thin film, sol-gel, spin coating, ageing

¹<http://orcid.org/0000-0002-8146-7707> tugceataser@gmail.com

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1. Giriş

ZnO, SnO₂, Nb₂O₅ ve Y₃O₂ gibi metal oksit ince filmler çok çeşitli optik ve mikro-elektronik uygulamalar için gelecek vaat eden adaylardır (Chen, Hsu, Li, Liou, ve Yang, 2016). Niobyum pentoksit (Nb₂O₅), havadaki ve sudaki kararlılığı, asitlere ve bazlara dayanıklılığı, geniş yasak enerji aralığı (3-4 eV) ve yüksek kırma indisi (2.2-2.6) ile kullanışlı optik ince film malzemelerinden biridir (Ozer, Barreto, Büyüklimanli, ve Lampert, 1995; Georgiev, Georgieva, Vasileva, Ivanov, ve Babeva, 2015). Hem kristal hem de amorf halde elektrokromik, fotoelektrik ve fotokatalitik özelliklere sahip olmasından dolayı, Nb₂O₅, nanokristal güneş hücreleri, sensörler, akıllı pencereler, yansıtma önleyici kaplamalar, optik filtreler ve şeffaf iletken elektrotlar gibi farklı cihaz uygulamalarında kullanılmaktadır.

Nb₂O₅ ince filmlerin kaplanmasında sol-jel, DC/RF magnetron sıçratma, kimyasal buhar biriktirme ve darbeli lazer biriktirme yöntemleri gibi birçok kaplama yöntemi kullanılmaktadır. Bu kaplama yöntemleri arasında sol-jel yöntemi çok yönlülüğü, düşük maliyeti ve düşük sıcaklık süreci, çevresel uyumu, yeniden kullanılabilirliği ve dayanıklılığından dolayı tercih edilmektedir (Ozer vd., 1995; Aegerter, 2001). Bunlara ek olarak, sol-jel yöntemi iyi kimyasal ve mekanik dayanıklılık, gözenekli yapı, geniş alan üzerinde homojen bir kaplama potansiyeli ve mikroyapı kontrolü sağlamaktadır (Ozer, Chen, ve Lampert, 1996; Agarwal, ve Reddy, 2005). Sol-jel yöntemi, hidroliz ve yoğunlaşma reaksiyonları ile moleküler öncülerin bir oksit ağına dönüştürülmesi sürecine dayanmaktadır. Sol-jel kimyası, reaktif Nb-OH gruplarının oluşumu için hidroliz ve köprülü oksijenin oluşmasını sağlayan yoğunlaşma süreçleri olmak üzere iki adım içermektedir (Agarwal vd., 2005).

Sol-jel kaplama yönteminde daldırarak kaplama (dip coating), döndürerek kaplama (spin coating), püskürtme (spraying) ve elektrokaplama (electrodeposition) kullanılan kaplama yöntemleridir. Bu yöntemler arasında döndürerek kaplama yöntemi, ince ve homojen filmler elde etmek için hızlı ve basit bir yöntem olduğu için sol-jel kaplama yönteminde genellikle kullanılmaktadır. Ayrıca, bu yöntem kolaylık, tekrarlanabilirlik, düşük maliyetli donanım kullanımı ve yüksek çalışma hızından dolayı tercih edilmektedir. Döndürerek kaplama yöntemi; alttaş yüzeyine damlatılan kaplama çözeltisinin dağılması, çözeltinin ince bir şekilde yayılmasının sağlanması için alttaşın yüksek hızla (500-4000 devir/dakika) döndürülmesi ve çözeltinin fazlasının film üzerinden uzaklaştırılması için ısıtma süreçlerini içerir (Agarwal vd., 2005; Bahuguna, Mishra, Chaudhary, Kumar, ve Singh, 2016). Döndürme hızı ve süresi, kaplanan filmin kalınlığını belirleyen en önemli parametrelerdir.

Sunulan bu çalışmada, döndürerek kaplama cihazında sol-jel yöntemi ile cam ve Si alttaş üzerine farklı süreler boyunca yaşlandırılan çözeltiler kullanılarak kaplanan Nb₂O₅ ince filmlerin yapısal ve optik özellikleri ile yüzey morfolojileri X-ışını kırınımı (XRD), ikincil iyon kütle spektrometresi (SIMS), UV-Vis spektrofotometre ve atomik kuvvet mikroskobu (AFM) ölçümleri ile incelendi. Çözeltilerdeki farklı yaşlandırılma süresinin filmin yapısal, optik ve yüzey morfolojisini etkilediği sonucuna varıldı. Si alttaş üzerine kaplanan Nb₂O₅ ince filmlerin, kristal Si temelli güneş hücrelerinde yansıma önleyici olarak kullanılabileceği önerilmektedir.

2. Materyal ve Yöntem

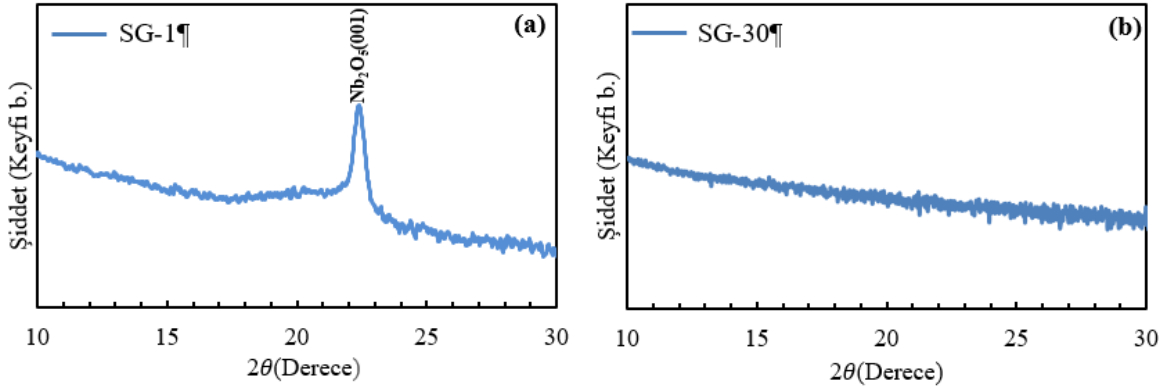
Nb₂O₅ kaplamak için kullanılan çözelti; 8,3 ml etanol (%98, Sigma Aldrich), 0,17 ml damıtılmış su ve NbCl₅'in (%99,995 Sigma Aldrich) manyetik karıştırıcıda karıştırılması ile hazırlandı. Kaplamadan önce, hazırlanan çözelti ortam koşullarında 24 saat bekletilerek yaşlandırıldı. Böylece, şeffaf ve kararlı bir çözelti elde edildi. Nb₂O₅ ince filmleri, 2 mm kalınlığında ve 20x20 mm boyutlarında önceden temizlenmiş soda kireç cam ve Si alttaşlar üzerine 0,3 ml'lik Nb₂O₅ çözeltisi damlatılıp döndürerek kaplama cihazında (Süss MicroTec Delta GRC) 3500 devir/dakika dönüş hızında 30 s döndürülerek kaplandı. Kaplama işleminden sonra filmler ısıtıcı tablada 120 °C'de 30 dk boyunca ısıtıldı. Çözeltinin yaşlandırılmasının filmlerin yapısal ve optik özellikleri ile yüzey morfolojileri üzerindeki etkileri, farklı süreler boyunca yaşlandırılan çözeltiler kullanılarak aynı koşullar altında kaplanan filmlerin karakterizasyonları ile incelendi.

Nb₂O₅ çözeltisi; 1, 7, 13, 20 ve 30 gün boyunca ortam koşullarında yaşlandırıldı. Yaşlandırma işlemi, 1000 sınıflık temiz oda içinde 20 °C ortam sıcaklığında ve karanlık ortamda vakumlu desikatör içerisinde tüm filmler için aynı koşullar altında gerçekleştirildi. Bu yaşlandırılan çözeltiler ile Si alttaş üzerine kaplanan filmler sırasıyla SG-1, SG-7, SG-13, SG-20 ve SG-30 olarak adlandırıldı. Ayrıca, filmin optik özelliklerinin incelenmesi amacıyla cam alttaş üzerine kaplanan filmler C-1, C-7, C-13, C-20 ve C-30 olarak adlandırıldı.

Nb_2O_5 ince filmlerin yapısal karakterizasyonu XRD (APD 2000 PRO) yöntemiyle Cu-K α kaynağı kullanılarak (dalga boyu 1,54052 Å) gerçekleştirildi. Nb_2O_5 ince filmlerin atomik dağılımları ve derinlik profilleri SIMS (Hiden) ile ölçüldü. SIMS ölçümleri 10^{-10} Torr taban basıncında, Nb ve Si kütlelerinin takibi için O_2 iyon tabancası, O kütlelerinin takibi için ise Cs iyon tabancası kullanılarak yapıldı. O_2 tabancası için 3850 V iyon enerjisi ve 400 nA ışın akımı, Cs tabancası için ise 5 keV iyon enerjisi ve 40 nA ışın akımı kullanıldı. Oluşan ikincil iyonlar 100-1000 μm^2 merkezi krater alanından toplandı. Filmlerin geçirgenlik ve yansıtma ölçümleri 200-1100 nm dalga boyu aralığında UV-Vis spektrofotometresi (Perkin Elmer Lambda 2 S; Çözünürlük: 0.05-5 nm) kullanılarak yapıldı. Ek olarak, elde edilen soğurma spektrumundan filmlerin yasak enerji aralıkları da bulundu. Ayrıca yansıtma değerleri kullanılarak kaplanan Nb_2O_5 filmlerin kırma indisleri hesaplandı. Filmlerin yüzey morfolojileri, yüksek performanslı atomik kuvvet mikroskopunda (hp-AFM, Nanomagetics) oda sıcaklığında dinamik mod taraması kullanılarak $5 \times 5 \mu m^2$ tarama alanında analiz edildi. AFM sonuçlarından, filmlerin pürüzlülüğünün karesinin ortalamasının karekök değerleri (RMS) hesaplandı.

3. Bulgular ve Tartışma

Şekil 1(a) ve (b)'de, Si alttaş üzerine döndürerek kaplama cihazında sol-jel yöntemi ile kaplanan Nb_2O_5 ince filmlerin XRD desenleri görülmektedir. Şekil 1 (a)'da görüldüğü gibi SG-1 numunesinde (001) düzlemine karşılık gelen $2\theta=22,35^\circ$ civarında Nb_2O_5 'e ait tepe gözlemlendi (JCPDS Card No. 28-317 $a=3,607$ Å ve $c=3,925$ Å). XRD deseni, kaplanan SG-1 numunesinin kristal yapısının, 28-317 numaralı PDF kartlarına göre hegzagonal olduğunu göstermektedir. XRD sonuçlarından, kaplanan SG-1 numunesinin kristal yapıya sahip olduğu görüldü. Şekil 1 (b)'de, kaplanan SG-30 numunesinin amorf yapıda olduğu görülmektedir. Bu sonuçlardan, çözeltinin yaşlandırılma süresinin artmasının kaplanan ince filmlerin kristalliliğini olumsuz yönde etkilediği sonucuna varılabilir.



Şekil 1. (a) SG-1 ve (b) SG-30 numunelerinin XRD grafikleri

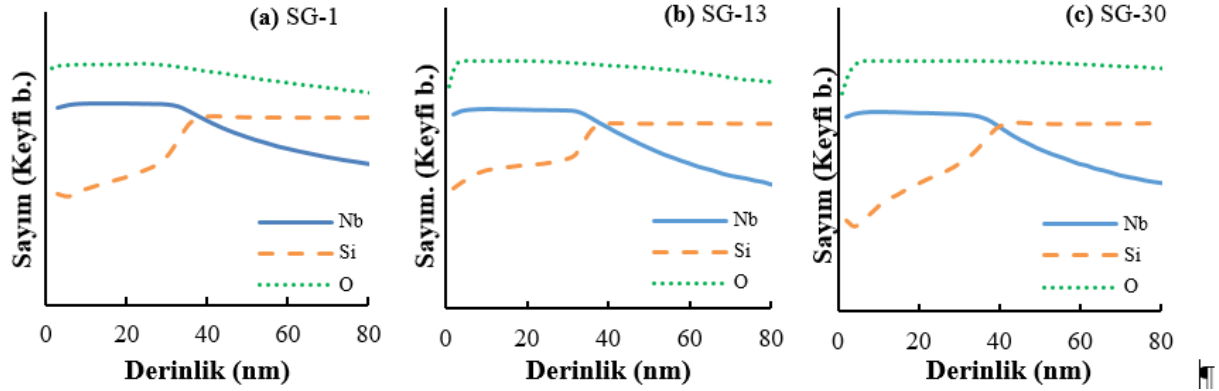
Kristallerin büyümesini analiz etmek için, Nb_2O_5 nano-parçacıkların tanecik boyutu (D), aşağıdaki Scherrer denklemi kullanılarak (001) kırınım tepesinin yarı yüksekliğine karşılık gelen genişlik ölçümü ile hesaplanmıştır (Cha vd., 2011):

$$D = \frac{0.9\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (3.1)$$

Bu eşitlikteki λ , XRD analizinde kullanılan X-ışınının dalga boyu, β (001) kırınım tepesinin yarı yüksekliğine karşılık gelen genişlik değeri ve θ kırınım tepesine karşılık gelen açıdır. Bu eşitlik kullanılarak SG-1 numunesinin tanecik boyutu 46,12 nm olarak bulundu. Yine sol-jel yöntemi ile benzer koşullarda yapılan bir çalışmada 25 ve 65 nm tanecik boyutlu Nb_2O_5 ince filmler elde edilmiştir. (Rabaa, Bautista-Ruíza, ve Joya, 2015).

Geliştirilecek elektro-optik cihazın performansını artırmak için yüzey ve ara yüzey durumları oldukça önemlidir. Bundan dolayı Si alttaş üzerine kaplanan Nb_2O_5 ince filmlerin derinlik profili, atomik homojenliği ve arayüzey özelliklerini belirlemek için SIMS analizi yapıldı. SIMS analiz sonucundan, yapıdaki ana elemanlar olan Nb, O ve Si tespit edildi. Nb ve Si'un atomik dağılımları O_2 iyon tabancası kullanılarak, O'in atomik

dağılımı ise Cs iyon tabancası kullanılarak ölçüldü. Şekil 2’de SG-1, SG-13 ve SG-30 numunelerinin derinlik profilleri verilmektedir. SIMS ölçümleri sonucunda profilometre ölçümlerinden SG-1, SG-7, SG-13, SG-20 ve SG-30 numunelerin kalınlıkları sırasıyla 35,47 nm, 38,33 nm, 40,41 nm, 40,96 nm ve 41,11 nm olarak bulundu. Kalınlıktaki bu artış, çözelti yaşlandıkça çözücünün buharlaşması neticesinde çözelti yoğunluğunun artması ile ilişkilendirilir (Lazarova, Vasileva, Marinov, ve Babeva, 2014).

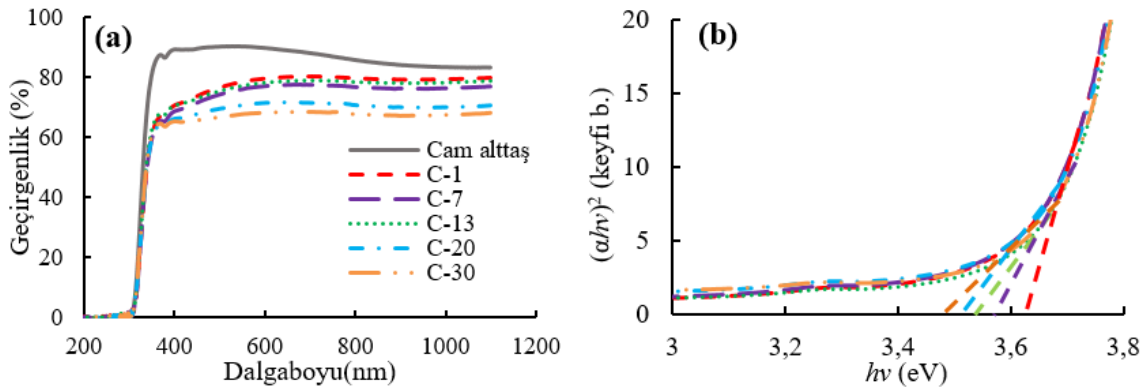


Şekil 2. (a) SG-1, (b) SG-13 ve (c) SG-30 numunelerinin SIMS derinlik profilleri

Cam alttaş üzerine kaplanan Nb_2O_5 ince filmlerin optik geçirgenliği, UV-Vis spektrofotometresi kullanılarak 200-1100 nm aralığında ölçüldü. Şekil 3(a)’da görüldüğü gibi C-1 numunesi 400-700 nm dalga boyu aralığında %80 civarında geçirgenliğe sahiptir. Nb_2O_5 ince filmlerde yüksek geçirgenlik, güneş hücreleri, akıllı pencereler gibi çeşitli mikro-elektronik ve optik cihaz uygulama alanları için önemli bir parametredir (Pehlivan, Tepehan, ve Tepehan, 2003). Nb_2O_5 ince filmlerin yasak enerji aralıkları (E_g), optik geçirgenlik verilerinden elde edilen optik soğurma katsayısının foton enerjisi ile değişimini veren ve Tauc eşitliği olarak da bilinen (Wood, ve Tauc, 1972):

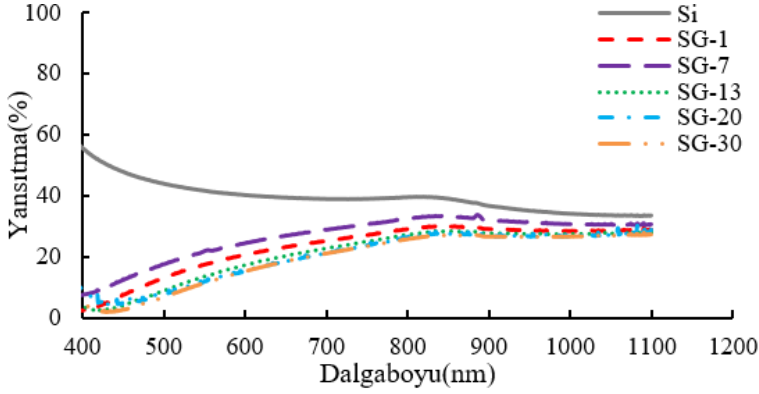
$$\alpha hv = A(hv - E_g)^{1/2} \quad (3.2)$$

Eşitliği ile hesaplandı. Burada α soğurma katsayısı, $h\nu$ gelen fotonun enerjisi, A ise bant kenarı sabitidir. Şekil 3(b)’de kaplanan Nb_2O_5 ince filmlerin soğurma grafikleri verildi. Soğurma grafiğinin yüksek enerji bölgesindeki $(\alpha hv)^2$ ile $h\nu$ arasındaki linear davranış, Nb_2O_5 ince filmlerin doğrudan bant aralığına sahip olduğunu göstermektedir (Danish, ve Pandey, 2016). Soğurma grafiklerinden, cam üzerine kaplanan Nb_2O_5 ince filmlerin yasak enerji aralıkları yaklaşık 3,65 eV olarak belirlendi. Literatürde Nb_2O_5 ince filmlerinin deneysel olarak yasak enerji aralığının, filmin yapısal fazına, tanecik boyutuna ve morfolojisine bağlı olarak 3 ile 4 eV aralığında değiştiği görülmektedir (Sancho-Parramon, Janicki, ve Zorc, 2008; Dash vd., 2015).



Şekil 3. Cam üzerine kaplanan Nb_2O_5 filmlerin (a) UV-Vis geçirgenlik ve (b) $(\alpha hv)^2$ 'nin foton enerjisine göre değişimi

Şekil 4’de, Nb₂O₅ ince filmlerin 400-1100 nm dalga boyu aralığındaki yansıtma eğrileri verildi. Nb₂O₅ ince filmlerin yansıtma spektrumu, Si altaşın yansıtmasında önemli bir azalma olduğunu göstermektedir. Si altaş üzerine kaplanan Nb₂O₅ filmlerinin yansıtma grafikleri incelendiğinde, Si altaşın görünür bölgede yaklaşık %40 olan yansıtmasının, kaplanan Nb₂O₅ ince film nedeniyle yaklaşık %20 düştüğü görülmektedir.

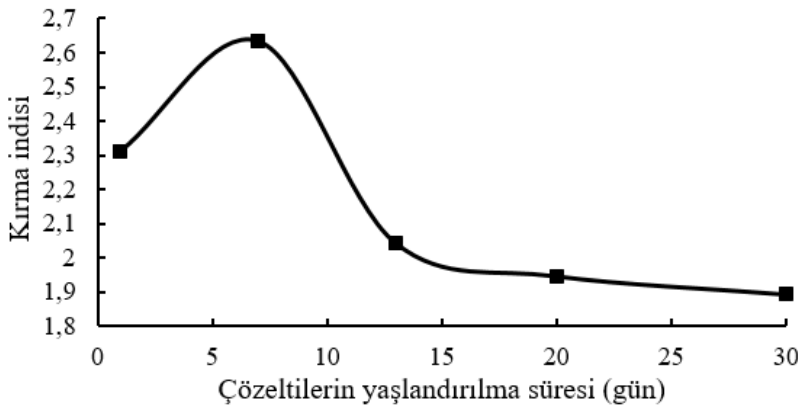


Şekil 4. Si üzerine kaplanan Nb₂O₅ filmlerin UV-Vis yansıtma spektrumu

400-1100 nm dalga boyu aralığında, Nb₂O₅ ince filmlerin kırma indisleri

$$n = \frac{1 + \sqrt{R}}{1 - \sqrt{R}} \quad (3.3)$$

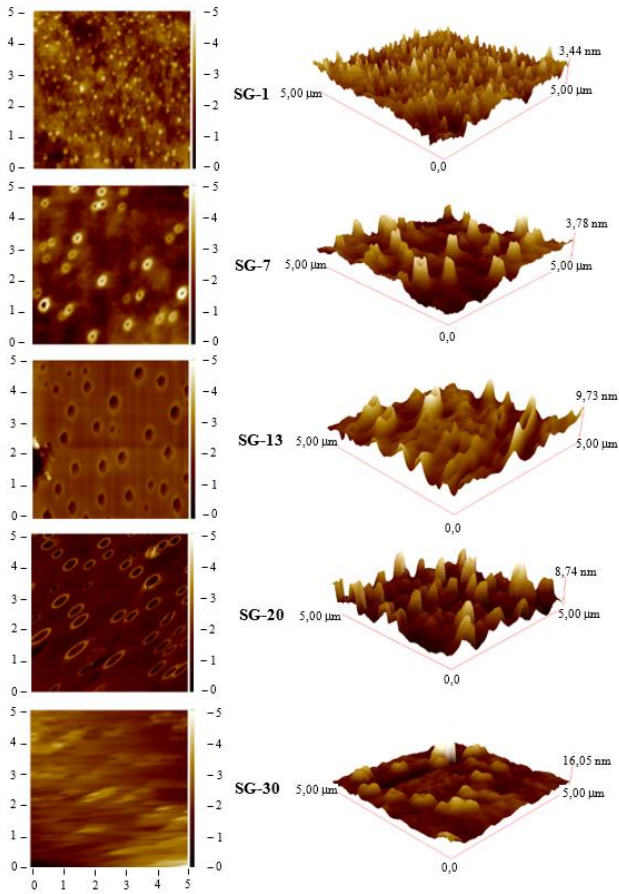
İfadesi kullanılarak yansıtma değerlerinden hesaplandı (Friedbacher, ve Bubert, 2016). Kırma indisi için verilen bu ifade, E_g’den küçük spektral bölgede, soğurmanın azalması sonucu kırma indisinin karmaşık kısmının (yani sönüm katsayısının) kırma indisine oranla çok küçük ($k \ll n$) olması gerçeğiyle uyumlu bir yaklaşımdır (Casey, Sell, ve Panish, 1974). Şekil 5’te farklı süreler boyunca yaşlandırılan çözeltiler kullanılarak Si üzerine kaplanan filmlerin kırma indislerindeki değişimin çözeltilerin yaşlandırılma süresine göre değişimi görülmektedir. Nb₂O₅ ince filmlerinin, 530 nm dalga boyundaki kırma indisleri 2,63 ile 1,89 arasındadır ve çözeltilerin yaşlandırılma sürelerine göre değişmektedir. Çözeltilerin yaşlandırılma süreleri arttıkça, bu çözeltiler ile hazırlanan filmlerin kırma indislerinde bir azalma görülmektedir. Bu azalışın iki sebebi olduğu düşünülmektedir (Lazarova, Vasileva, Marinov, ve Babeva, 2013): i-) Çözelti yaşlandıkça içindeki çözücü buharlaştığı için çözelti yoğunlaşır. Yoğunlaşan çözelti çoğul yoğunlaşma tepkimesinin gerçekleşmesini bir dereceye kadar önler. ii-) Çözelti yaşlandıkça parçacıklar zamanla bir araya toplanır. Bu büyük parçacıklar daha büyük parçacıklardan saçılarak optik kayıplara neden olur.



Şekil 5. Farklı süreler boyunca yaşlandırılan çözeltiler kullanılarak Si üzerine kaplanan filmlerin 530 nm dalga boyundaki kırma indislerinin yaşlandırılma süresine göre değişimi

Nb₂O₅ ince filmlerini kaplamak için kullanılan çözeltilerin yaşlandırılma sürelerinin filmlerin yüzey morfolojisine etkisini incelemek için AFM karakterizasyonu gerçekleştirildi. Nb₂O₅ ince filmlerinin 5x5

μm^2 lik alanda alınan 2 ve 3 boyutlu AFM görüntüleri Şekil 6'da görülmektedir. SG-1 numunesinin AFM analizinden hesaplanan tanecik büyüklüğü yaklaşık 70 nm olup numunenin yüzeyi homojen ve daha büyük taneciklidir. Bu sonuç, XRD analizinden hesaplanan tanecik boyutu ile örtüşmektedir. SG-30 numunesinin yüzeyinin diğer numunelere göre daha pürüzlü olduğu görüldü. Filmlerin AFM görüntülerinden hesaplanan yüzey pürüzlülüğünün karesinin ortalamasının karekök değerleri (RMS) nano mertebede yüzey homojenliğini anlamak için önemli bir parametredir (Fang, Haplepete, Chen, ve Helms, 1997). Bundan dolayı, kaplanan Nb_2O_5 ince filmlerin RMS değerleri AFM görüntülerinden hesaplandı. Farklı süreler boyunca yaşlandırılan çözeltiler ile kaplanan Nb_2O_5 ince filmlerinin RMS değerleri, Tablo 1'de verildi. Çözelti yaşlandıkça filmin morfolojisi bozulduğundan RMS değerleri artmaktadır. AFM sonuçları, Nb_2O_5 ince filmlerinin yüzey morfolojisinin, filmleri kaplamak için kullanılan çözeltilerin yaşlandırılma sürelerinden büyük ölçüde etkilendiğini göstermektedir.



Şekil 6. Si üzerine kaplanan Nb_2O_5 filmlerin 2 ve 3 boyutlu AFM görüntüleri

Tablo 1 Si alttaşı üzerine kaplanan Nb_2O_5 ince filmleri için elde edilen parametreler

Alttaş	Çözeltinin yaşlandırılma süresi (gün)	Filmin ismi	Film kalınlığı (nm)	RMS (nm)	Yasak bant aralığı (eV)*
Si	1	SG-1	35,5	0,36	3,65
	7	SG-7	38,3	0,50	3,47
	13	SG-13	40,4	1,10	3,49
	20	SG-20	41,0	1,29	3,45
	30	SG-30	41,1	1,41	3,44

* E_g değerleri, cam üzerine yapılan kaplamalar için $(\alpha h\nu)^2$ 'nin foton enerjisine göre değişiminden belirlenmiştir (Şekil 3b).

4. Sonuçlar

Döndürerek kaplama cihazında sol-jel yöntemi ile cam ve Si alttaş üzerine farklı süreler boyunca yaşlandırılan çözeltiler kullanılarak Nb₂O₅ ince filmleri kaplandı. Nb₂O₅ ince filmlerinden, 1 gün yaşlandırılmış çözeltiler ile kaplanan SG-1 numunesinin en iyi yapısal ve optik özelliklere sahip olduğu görüldü. SG-1 numunesinin tanecik boyutu 46,12 nm olarak hesaplandı. Bu sonuçlardan, SG-1 numunesinin kristal yapıya sahip olduğu görüldü. SG-1 numunesi 400-700 nm dalga boyu aralığında %80 civarında geçirgenliğe ve 400-1100 nm dalga boyu aralığında %20 dolayında yansıtıma sahiptir. Buna ek olarak, SG-1 numunesinin yasak enerji aralığı yaklaşık 3,65 eV olarak belirlendi. Ayrıca SG-1 numunesinin tanecik büyüklüğü 70 nm olup bu çalışmada kullanılan filmler arasında en iyi yüzey morfolojisine sahip olduğu görüldü. Nb₂O₅ ince filmlerinin yapısal ve optik özellikleri ile yüzey morfolojilerinin çözeltilerin yaşlandırılma sürelerinden büyük ölçüde etkilendiği gözlemlendi. Si alttaş ve üzerine kaplanan Nb₂O₅ ince filmin toplam yansıtması, Si alttaşın tek başına yansıtmasından daha küçüktür. Bu yüzden; Si alttaş üzerine kaplanan Nb₂O₅ ince filmler, kristal Si temelli güneş hücrelerinde yansıtma önleyici olarak kullanılabilirler.

Teşekkür

Bu çalışma T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı tarafından 2016K121220 nolu proje ile desteklenmektedir.

Kaynaklar

- Aegerter M. A. (2001). Sol-Gel Niobium Pentoxide: A Promising Material for Electrochromic Coatings, Batteries, Nanocrystalline Solar Cells and Catalysis. *Solar Energy Materials Solar Cells* (68), 401-422. Erişim adresi: [https://doi.org/10.1016/S0927-0248\(00\)00372-X](https://doi.org/10.1016/S0927-0248(00)00372-X)
- Agarwal G. ve Reddy G. B. (2005). Study of Surface Morphology and Optical Properties of Nb₂O₅ Thin Films with Annealing. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* (16), 21-24. Erişim adresi: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs10854-005-4953-x.pdf>
- Bahuguna G. Mishra N.K. Chaudhary P. Kumar A. ve Singh R. (2016). Thin Film Coating through Sol-Gel Technique. *Research Journal of Chemical Sciences* 6(7), 65-72. Erişim adresi: <https://www.researchgate.net/publication/314093443>
- Casey H. C. Sell D.D. ve Panish M.B. (1974). Refractive index of Al_xGa_{1-x}As between 1.2 and 1.8 eV. *Appl. Phys. Lett* (24), 63-65. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1063/1.1655095>
- Cha J.-H. Ashok K. Kissinger N.J. S. Ra Y.-H. Sim J.-K. Kim J.-S. ve Lee C.-R. (2011). Effect of Thermal Annealing on the Structure, Morphology, and Electrical Properties of Mo Bottom Electrodes for Solar Cell Applications. *Journal of the Korean Physical Society* (59), 2280-2285. Erişim adresi: <https://doi.org/10.3938/jkps.59.2280>.
- Chen K.-N. Hsu C.-M. Li J. Liou Y.-C. ve Yang C.-F. (2016). Investigation of Antireflection Nb₂O₅ Thin Films by the Sputtering Method under Different Deposition Parameters. *Micromachines* 7(151), 2-12. Erişim adresi: <https://doi.org/10.3390/mi7090151>
- Danish M. ve Pandey A. (2016). Influence of Thickness and Calcination under Ammonia Gas Flow on Topographical, Optical and Photocatalytic Properties of Nb₂O₅ Thin Films Prepared by Sol-Gel: A Comparative Study. *Mater Sci: Mater Electron* (27), 6939-6946. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1007/s10854-016-4648-5>
- Dash J.K. Chen L. Topka M.R. Dinolfo P.H. Zhang L.H. Kisslinger K. Lua T.-M. ve Wanga G.-C. (2015). A Simple Growth Method for Nb₂O₅ Films and Their Optical Properties, *RSC Adv.*, (5), 36129-36139. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1039/C5RA05074J>
- Fang S.J. Haplepete S. Chen W. ve Helms C.R. (1997). Analyzing atomic force microscopy images using spectral methods. *Journal of Applied Physics*, (82), 5891-5898. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1063/1.366489>
- Friedbacher G. ve Buberth H. (2016). *Surface and Thin Film Analysis: A Compendium of Principles, Instrumentation, and Applications*. Wiley-VCH part 1, page 11.
- Georgiev R. Georgieva B. Vasileva M. Ivanov P. ve Babeva T. (2015). Optical Properties of Sol-Gel Nb₂O₅ Films with Tunable Porosity for Sensing Applications. *Advances in Condensed Matter Physics*, (2015), 1-8. Erişim adresi: <http://dx.doi.org/10.1155/2015/403196>

- Hall D. B. ve Underhill P. (1998). Spin Coating of Thin and Ultrathin Polymer Films. *Polymer Engineering and Science* (38), 2039-2045. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1002/pen.10373>
- Lazarova K. Vasileva M. Marinov G. ve Babeva T. (2014). Optical Characterization of Sol–Gel Derived Nb₂O₅ Thin Films. *Optics Laser Technology* (58), 114–118. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2013.11.014>
- Lazarova K. Vasileva M. Marinov G. ve Babeva T. (2013). Sol-Gel Derived Nb₂O₅ Thin Films for Photonic Applications. *Bulgarian Chemical Communications*, (45), 23-27. Erişim adresi: <https://www.researchgate.net/publication/259468977>
- Livage J. ve Ganguli D. (2001). Sol-Gel Electrochromic Coatings and Devices: A Review. *Solar Energy Materials Solar Cells* (68), 365-381. Erişim adresi: [https://doi.org/10.1016/S0927-0248\(00\)00369-X](https://doi.org/10.1016/S0927-0248(00)00369-X)
- Ozer N. Barreto T. Büyüklimanlı T. ve Lampert C.M. (1995). Characterization of Sol-Gel Deposited Niobium Pentoxide Films for Electrochromic Devices. *Solar Energy Materials and Solar Cells* (36), 433-443. Erişim adresi: [https://doi.org/10.1016/0927-0248\(94\)00197-9](https://doi.org/10.1016/0927-0248(94)00197-9)
- Ozer N. Chen D.-G. ve Lampert C.M. (1996). Preparation and Properties of Spin-Coated Nb₂O₅ Films by The Sol-Gel Process for Electrochromic Applications. *Thin Solid Films* (277), 162-168. Erişim adresi: <https://pdf.sciencedirectassets.com/271603/1-s2.0-S0040609099X00009/>
- Pehlivan E. Tepehan F. Z. ve Tepehan G. G. (2003). Comparison of Optical, Structural and Electrochromic Properties of Undoped and WO₃-Doped Nb₂O₅. *Solid State Ionics* (165), 105-110. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1016/j.ssi.2003.08.021>
- Rabaa A.M. Bautista-Ruíza J. ve Joya M.R. (2015). Synthesis and Structural Properties of Niobium Pentoxide Powders: A Comparative Study of the Growth Process. *Materials Research* 1-7. Erişim adresi: <http://dx.doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2015-0733>
- Sancho-Parramon J. Janicki V. ve Zorc H. (2008). Compositional Dependence of Absorption Coefficient and Band-Gap for Nb₂O₅–SiO₂ Mixture Thin Films. *Thin Solid Films* (516), 5478–5482. Erişim adresi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tsf.2007.07.028>
- Wood D. L. ve Tauc L. (1972). Weak absorption tails in amorphous semiconductors. *Physical Review B* (5), 3144-3151. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.5.3144>

Benzimidazol-Oksadiazol Türevlerinin Sentezi ve Candida Türleri Üzerindeki Etkileri

Ulviye Acar Çevik^{1*}, Derya Osmaniye¹, Begüm Nurpelin Sağlık¹

¹Farmasötik Kimya ABD, Eczacılık Fakültesi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye

Makale Tarihiçesi

Gönderim: 06.08.2019

Kabul: 10.01.2020

Yayın: 22.05.2020

Araştırma Makalesi

Öz – Günümüzde mantar enfeksiyonların tedavisinde kullanılan birçok ilaç bulunmasına rağmen, fungusların antifungal etkili ilaçlara kısa sürede rezistans kazanması, istenmeyen yan etkiler, toksik etkiler ve enfeksiyonlara karşı ideal özelliklere sahip kemoterapötik bileşiklerin henüz geliştirilememiş olması nedeniyle bu alandaki çalışmalar halen devam etmektedir. Heterosiklik kimyada benzersiz bir yere sahip olan benzimidazol son yıllarda kimya ve farmakolojide çok yönlü özelliklerinden dolayı büyük ilgi görmüşlerdir. Benzimidazol bileşikleri birçok alanda önemli rol oynamakta olup aynı zamanda birçok ilacın yapısında bulunmaktadır. Bu grubu içeren ilaçlar antifungal, antimikrobiyal, antiinflamatuvar, antikanser, antiviral, antidiyabetik vb. gibi birçok durumda terapötik bir etkiye sahiptir. Bu özellikleri nedeniyle, benzimidazol içeren ilaçların tüm klinik, farmakokinetik ve kimyasal çalışmaları, ilaç araştırmaları ve keşiflerinde son derece önem teşkil etmektedir. Bu çalışmada yeni benzimidazol-oksadiazol türevleri sentezlenmiş, spektroskopik analizler ile yapıları doğrulanmış, dört farklı *Candida* türü (*Candida albicans*, *Candida glabrata*, *Candida krusei* ve *Candida parapsilopsis*) üzerinde etkileri araştırılmıştır. Sentezlenen türevlerin yapıları ¹H-NMR, Kütle spektroskopik verileri ile aydınlatılmıştır. Gerçekleştirilen *in vitro* antifungal aktivite sonuçlarına göre, 5-klorobenzimidazol yapı iskeletine sahip olan 4c ve 4d bileşiklerinin, *C. glabrata*'ya karşı 12.5 µg/ml MİK₅₀ değeri ile referans ilaç ketokonazol ile kıyaslandığında (MİK₅₀: 12.5 µg/ml) seri içerisinde en umut verici bileşikler olduğu bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler – Benzimidazol, 1,3,4-oksadiazol, *Candida*, Antifungal aktivite

Synthesis of Benzimidazole-Oxadiazole Derivatives and Their Effects on *Candida* Species

¹Department of Pharmaceutical Chemistry, Faculty of Pharmacy, Anadolu University, Eskişehir, Turkey

Article History

Received: 06.08.2019

Accepted: 10.01.2020

Published: 22.05.2020

Research Article

Abstract – Today, although there are a lot of drugs being used for fungus infections, much of the research still has been continued in this area on account of the unsatisfactory status of present treatment of fungus, drug side effects, toxic effects and the acquisition by the infecting organisms of the resistance to the present drugs. Benzimidazoles have occupied a unique position in heterocyclic chemistry and its derivatives have attracted considerable interests in recent years for their versatile properties in chemistry and pharmacology. Drugs containing this group and its derivatives have a therapeutic effect in many cases such as antifungal, antimicrobial, anti-inflammatory, anticancer, antiviral, antidiabetic etc. Due to these properties, all clinic, pharmacokinetic and chemical studies of benzimidazole-containing drugs are extremely important in drug research and discovery. In this study, new benzimidazole-oxadiazole derivatives were synthesized, confirmed the structures by spectroscopic techniques, and their effects on four different *Candida* (*Candida albicans*, *Candida glabrata*, *Candida krusei*, *Candida parapsilopsis*) species were investigated. Structures of them were elucidated by ¹H-NMR, and Mass spectroscopic data. According to the results of *in vitro* antifungal activity, the compounds 4c and 4d, which features 5-chlorobenzimidazole scaffolds, were found to be the most promising compounds in the series with a MIC₅₀ value of 12.5 µg / ml against *C. glabrata* when compared to the reference drug ketoconazole (MIC₅₀: 12.5 / g / ml).

Keywords – Benzimidazole, 1,3,4-oxadiazole, *Candida*, Antifungal activity

¹ <http://orcid.org/0000-0003-1879-1034> uacar@anadolu.edu.tr

² <http://orcid.org/0000-0002-0151-6266> bnsaglik@anadolu.edu.tr

³ <http://orcid.org/0000-0002-0499-436X> dosmaniye@anadolu.edu.tr

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1. Giriş

Son yıllarda fungus enfeksiyonu vakaları ciddi bir biçimde artış göstermiştir. Bu artışın nedenleri arasında yoğun ve uzun süren kemoterapi tedavisi, yüksek dozlu kortikosteroid tedavisi, uzun süren antibiyotik tedavisi ve immün yetersizlik yer almaktadır (Ellis, 2002). Bu enfeksiyonların tedavisinde amfoterisin B toksisitesine rağmen uzun yıllar önemli bir yere sahip olmuştur. Sonrasında azol grubu ilaçların keşfi farklı tedavi olanakları sunmuştur. En son ekinokandinler antifungal tedaviye girmiştir. Bu antifungallerin birçoğunun amfoterisin B'ye göre daha az toksik olduğu ve bazı durumlarda daha etkili olduğu kanıtlanmıştır, ancak yoğun kullanımları nedeniyle bu antifungallere de dirençli suşlar gelişmeye başlamıştır (Ostrosky-Zeichner, 2003; Chandrasekar, 2001). Araştırmacıların çoğu mevcut ilaçlardan farklı yapıya sahip yeni moleküllerin geliştirilmesiyle direnç gelişiminin önlenilebileceğini düşünmektedirler.

Antifungal ilaçlara karşı oluşan doğal (primer) ve kazanılmış (sekonder) direnç olmak üzere iki farklı direnç çeşidi bulunmaktadır. Doğal direnç, bir cins ya da türün daha önce o ilaç ile karşılaşmasının etkisi olmaksızın o ilaca dirençli oluşuyken, kazanılmış direnç mantarın antifungal ilaç ile tedavi sonucunda veya bir başka yolla karşılaşması sonucunda suşun dirençli hale geçmesidir (Revie, 2018; Wiederhold 2017).

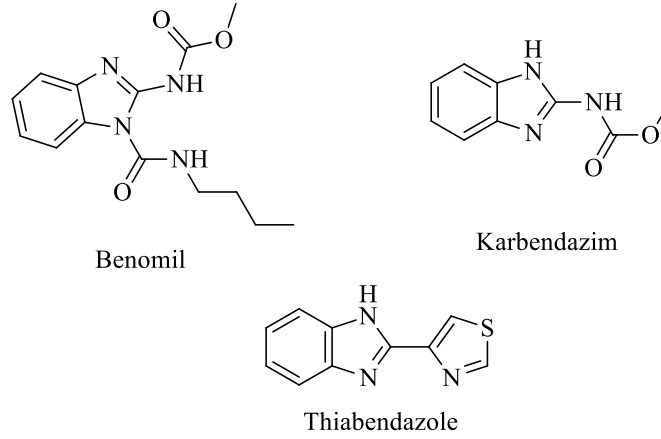
Her antifungal ilacın etki mekanizması farklı olduğu için, gelişen direnç mekanizmaları da farklılık göstermektedir. Örneğin, *Candida* türlerinin azol sınıfı antifungallere direnç geliştirmede başlıca dört temel mekanizması bulunmaktadır. Bunlar ilaç konsantrasyonunun dışa atım pompaları (effluks sistemi) ya da ilaç penetrasyonunun azaltılması, hedef bölgenin modifikasyonu, hedef enzimin düzenlenmesi ve baypas yollarının geliştirilmesi şeklindedir. Ancak *Candida* türlerinin ekinokandinlere direnç ise FKS (1,3-beta-glukan sentaz) genlerinde meydana gelen mutasyon ile gerçekleşmektedir (Pfaller, 2012; Zimbech, 2010).

Antimikrobiyal aktivite çalışmalarına bakıldığında üzerinde yoğun olarak çalışılan benzimidazol türevi benzazoller özellikle göze çarpmaktadır. Benzimidazol halkası pürin antimetaboliti ve vitamin B12 ile bazı aminoasitlerin yapısında doğal olarak bulunduğundan canlı organizma tarafından tanınması ve etkileşimi kolaydır. Astemizol, mebendazol, enviroksim, karbendazim ve benomil gibi bazı benzimidazol türevlerinin bakteri büyümesini önlediği de literatürlerde kayıtlıdır (Pawar, 2004; Saleh, 2010). Şekil 1'de benzimidazol yapısı içeren antimikrobiyal etkili bileşiklere örnek verilmiştir.

Benzimidazole grubu fungusitler iğ iplikçiklerinin yapısını oluşturan tubulin'in biyosentezini engelleyerek etki yaparlar. Bunun sonucunda metafaz döneminde kromozomların ayrılması durdurularak hücre bölünmesine ve buna bağlı olarak da hif ucu gelişmesine engel olurlar (Demirci, 1996).

Azol türevi antifungal ilaçlar mantar hücrelerinin sitoplazma membranındaki ana sterol bileşiği olan ergosterol sentezini, 14-metillanosterol'un demetil dehidrolansterole dönüşümü basamağında inhibe eder. Bu dönüşümü yapan 14- α -demetilaz enzimi bir mikrozomal sitokrom P450 türüdür. Azol türevi ilaçlar bu sitokrom P450'yi selektif olarak inhibe eder. Mantarların sitokrom P450 si imidazol türevlerine memelilerin aynı enzime kıyasla 1000 kez daha duyarlıdır. Azollere maruz kalan mantar hücrelerinde 14-alfa-metilsterol birikir ve bunlar membran fosfolipidlerinin asıl zincirlerinin normal düzenini ve membrana bağlı belli enzimlerin fonksiyonlarını bozarlar, sonuçta mantar hücrelerinin büyümeleri inhibe edilir; ayrıca hücre membranının permeabilitesi bozulur (Altındağ, 2019; Işık 2019).

Azollerin ve benzimidazol halkasının etki mekanizmaları göz önüne alınarak yeni benzimidazol-1,3,4-oksadiazol yapısı taşıyan dört adet bileşik sentezlenmiş ve dört farklı *Candida* türü üzerinde etkileri incelenmiştir.



Şekil 1. Benzimidazol yapısı içeren bazı fungusit ilaç örnekleri

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Sentez Çalışmaları

Metil 4-(5(6)-süstitüe-1H-benzimidazol-2-il) benzoat (1a, 1b) türevlerinin sentezi

Mikrodalga sentez reaktörü viali (30 mL) içerisine metil 4-formilbenzoat (4.8 g, 0.03 mol), sodyum disülfid (5.7 g, 0.03 mol) ve dimetilformamid (10 mL) konulmuştur. Reaksiyon karışımı mikrodalga sentez reaktöründe 240 °C'de 10 bar basınç altında 5 dakika tutulmuştur. Bu süre sonunda karışım reaktörden çıkartılarak üzerine 5-kloro veya 5-floro-1,2-fenilendiamin (0.03 mol) ilave edilmiş ve aynı reaksiyon şartlar altında 5 dakika daha mikrodalga ışımaya tabi tutulmuştur. Reaksiyon süresi bitiminde ürün buzlu suya dökülerek çöktürülmüş, süzülükten sonra bol su ile yıkanmış ve etonolden kristallendirilmiştir (Acar Çevik, 2017). Verim: %77-82.

4-(5(6)-süstitüe-1H-benzimidazol-2-il)benzoik asid hidrazid türevlerinin (2a, 2b) sentezi

Mikrodalga sentez reaktörü viali (30 mL) içerisine metil 4-(5-süstitüe-1H-benzimidazol-2-il) benzoat (0.02 mol), etanol (15 mL) ve hidrazin hidrat (5 mL) ilave edilmiştir. Reaksiyon karışımı mikrodalga sentez reaktöründe 240 °C'de 10 bar basınç altında 10 dakika tutulmuştur. Reaksiyon bitiminde ürün buzlu suya dökülerek çöktürülmüş, süzülükten sonra bol su ile yıkanmış ve etonolden kristallendirilmiştir (Acar Çevik, 2017) Verim %82-89.

5-[4-(5(6)-süstitüe-1H-benzimidazol-2-il) fenil]-1,3,4-oksadiazol-2-tiol türevlerinin (3a,3b) sentezi

4-(5(6)-süstitüe-1H-benzimidazol-2-il) benzoik asid hidrazid türevlerinin (2a, 2b) (0.031 mol) etanol (150 mL) içerisindeki çözeltisine NaOH (1.48 g, 0.037 mol) eklenmiştir. Karbon disülfür (2.24 mL, 0.037 mol) eklendikten sonra, karışım 8 saat geri çeviren soğutucu altında karıştırılmıştır. Bu süreden sonra, çözelti soğutulmuş ve hidroklorik asit çözeltisi ile pH 4-5'e asitleştirilerek çöken ürün süzümüştür (Karaburun, 2019) Verim: %77-72.

2-[(5-(4-(5(6)-süstitüe-1H-benzimidazol-2-il)fenil)-1,3,4-oksadiazol-2-il)tiyo]-1-(3,4-disüstitüefenil)etan-1-on türevlerinin sentezi (4a-4d)

5-[4-(5(6)-süstitüe-1H-benzimidazol-2-il) fenil]-1,3,4-oksadiazol-2-tiol türevleri (3a, 3b) (2mmol) aseton içerisinde çözündürülerek üzerine 3,4-disüstitüefenaçil bromür türevleri (2,4 mmol) eklenmiştir. Reaksiyonun bitimi ince tabaka kromatografisi ile kontrol edilmiştir. Reaksiyonun bitiminde aseton uçurulmuş, kalıntı su ile yıkanarak alınmıştır (Karaburun, 2019)

2-[(5-(4-(5(6)-floro-1H-benzimidazol-2-il)fenil)-1,3,4-oksadiazol-2-il)tiyo]-1-4-hidroksi-fenil)etan-1-on (4a): Yields:77 %. Mp 278.5 °C. ¹H-NMR (300 MHz, DMSO-*d*₆): δ = 5.27 (2H, s, -CH₂-), 7.06-7.13 (1H, m, Ben-

imidazole CH), 7.42 (1H, s, Benzimidazole CH), 7.62 (1H, s, Benzimidazole CH), 8.12 (2H, d, $J=8.49$ Hz, 1,4-Disübstitüebenzen), 8.25-8.35 (4H, m, 1,4-Disübstitüebenzen), 8.40 (2H, d, $J=8.88$ Hz, 1,4-Disübstitüebenzen), 13.26 (1H, s, -NH). ESI-MS $[M+H]^+$: 447.

2-[(5-(4-(5(6)-floro-1H-benzimidazol-2-il)fenil)-1,3,4-oksadiazol-2-il)tiyo]-1-(3,4-diflorofenil)etan-1-on (4b): Yields:72 %. Mp 242.7 °C. 1H -NMR (300 MHz, DMSO- d_6): δ = 5.07 (2H, s, -CH₂-), 7.10 (1H, s, Benzimidazole CH), 7.31-7.32 (1H, m, Benzimidazole CH), 7.49-7.57 (3H, m, Benzimidazol CH ve fenil CH), 8.04-8.05 (1H, m, fenil CH), 8.11 (2H, d, $J=8.58$ Hz, 1,4-Disübstitüebenzen), 8.35 (2H, d, $J=8.49$ Hz, 1,4-Disubstituebenzen), 13.27 (1H, s, -NH). ESI-MS $[M+H]^+$: 467.

2-[(5-(4-(5(6)-kloro-1H-benzimidazol-2-il)fenil)-1,3,4-oksadiazol-2-il)tiyo]-1-(4-hidroksi-fenil)etan-1-on (4c): Yields:68 %. Mp 281.7 °C. 1H -NMR (300 MHz, DMSO- d_6): δ = 5.19 (2H, s, -CH₂-), 7.24-7.27 (1H, m, Benzimidazole CH), 7.58 (2H, s, Benzimidazole CH), 7.81 (2H, d, $J=8.58$ Hz, 1,4-Disübstitüebenzen), 8.01 (2H, d, $J=8.58$ Hz, 1,4-Disübstitüebenzen), 8.11 (2H, d, $J=8.55$ Hz, 1,4-Disübstitüebenzen), 8.33 (2H, d, $J=8.55$ Hz, 1,4-Disübstitüebenzen), 13.32 (1H, s, -NH). ESI-MS $[M+H]^+$: 463.

2-[(5-(4-(5(6)-kloro-1H-benzimidazol-2-il)fenil)-1,3,4-oksadiazol-2-il)tiyo]-1-(3,4-diflorofenil)etan-1-on (4d): Yields:68 %. Mp 252.7 °C. 1H -NMR (300 MHz, DMSO- d_6): δ = 5.05 (2H, s, -CH₂-), 7.23-7.33 (2H, m, Ar-CH), 7.46-7.54 (1H, m, Ar-CH), 7.64 (2H, s, Ar-CH), 8.04-8.09 (1H, m, fenil CH), 8.11 (2H, d, $J=8.49$ Hz, 1,4-Disübstitüebenzen), 8.35 (2H, d, $J=8.49$ Hz, 1,4-Disubstituebenzen), 13.35 (1H, s, -NH). ESI-MS $[M+H]^+$: 483

2.2. İnce Tabaka Kromatografi Çalışmaları ve R_f Değerlerinin Saptanması

Anlatılan bütün sentez çalışmalarında reaksiyonların kontrolü İTK uygulamaları ile gerçekleştirilmiştir. Belli zaman aralıkları ile deney balonlarından alınan numuneler ve sentezler de kullanılan başlangıç maddelerinin etanoldeki çözeltileri adsorban olarak seçilen silikajel 60 F₂₅₄ kaplı, önceden uygun çözücü karışımları ile doyurulmuş alüminyum plaklara kılcal boru yardımıyla tatbik edilmiş ve hareketli fazlar içerisinde sürüklenmesi sağlanmıştır. Lekelerin saptanmasında, ultraviyole ışığı (254 nm ve 366 nm) kullanılmıştır. İTK sonucuna göre reaksiyonlara son verilmiş ya da devam edilmiştir. Çalışma kapsamındaki her bir sentezin kontrolü için uygun İTK hareketli fazları, farklı çözücü karışımları denenerak bulunmuştur. Yöntem A, B ve C’de anlatılan sentezlerin kontrolü için uygun hareketli fazın petrol eteri : etil asetat (3 : 1), yöntem D’deki sentezin kontrolü için uygun hareketli fazın petrol eteri : etil asetat (1 : 1), olduğuna karar verilmiştir.

2.3. Erime Noktalarının Tespiti

Sentezlenen bileşiklerin erime noktalarının (E.n) saptanması, toz edilen maddenin, bir ucu açık kapiler borulara ½ cm kadar doldurularak Elektrotermal erime noktası tayini cihazında yapılmış ve bulunan değerler düzeltilmemiştir.

2.4. 1H NMR Spektrumlarının Alınması

Çalışma kapsamındaki sonuç bileşiklerin 1H NMR spektrumları, 5 mg sentez ürününün 0.5 ml dötöryo dimetilsülfoksid içindeki çözeltisinin, tetra metil silan’a karşı 300 MHz’lik NMR spektrometresine uygulanması sonucu alınmıştır.

2.5. Kütle Analizi

1 mg madde tartılarak 1 ml asetonitril-su karışımında çözülmüş, LC-MS-MS (Shimadzu Kyoto, Japonya) cihazı kullanılarak analiz edilmiştir.

2.6. Antifungal Aktivite

Antifungal aktivite testi EUCAST kesin yöntemi EDef 7.1'e göre gerçekleştirilmiştir. Sentezlenen bileşikler, *C. glabrata* (ATCC 90030), *C. krusei* (ATCC 6258), *C. parapsilosis'e* (ATCC 22019) ve *C. albicans'a* (ATCC 24433) karşı *in vitro* büyüme önleyici aktiviteleri için test edilmiştir.

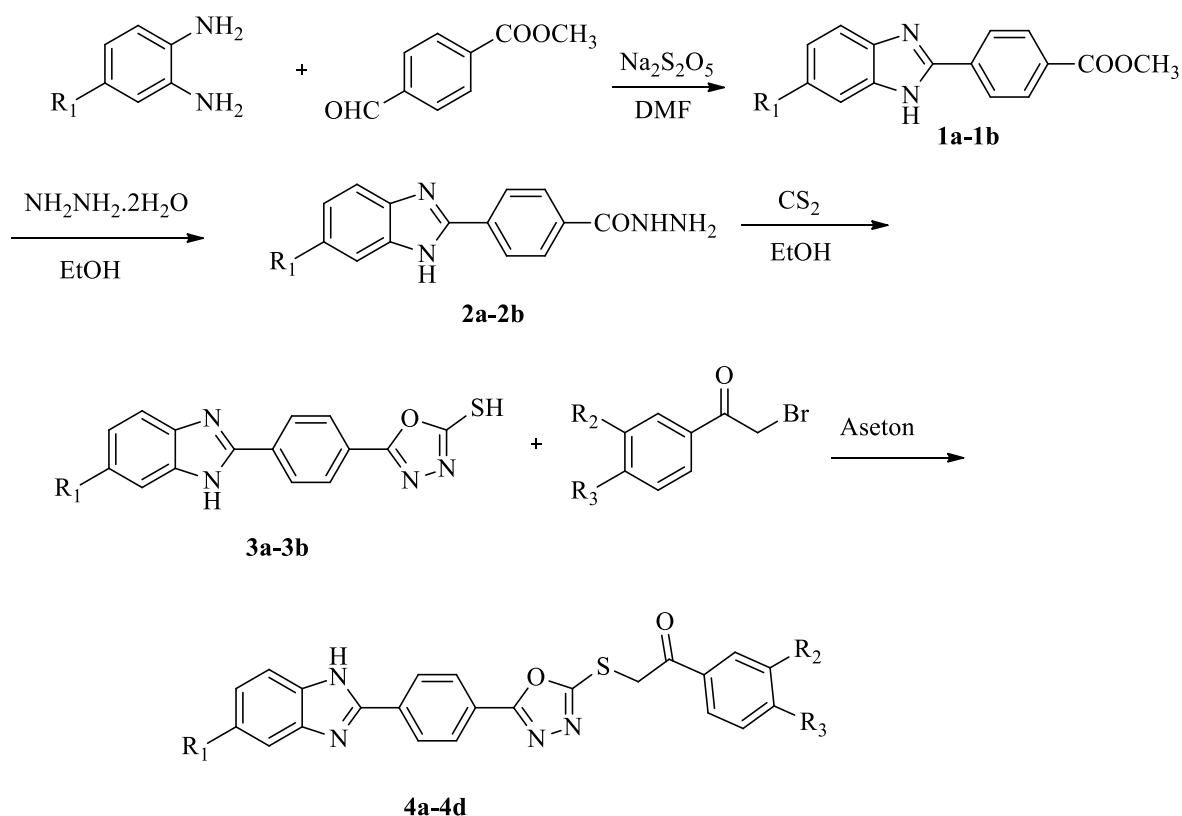
Maya suşları canlandırılmak üzere -85 °C'den çıkarılarak içinde Sabouraud Dextrose Agar (SDA) bulunan petrilere ekilmiş ve 37 °C'de 24 saat süreyle inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyondan sonra gelişen kültürlerin, McFarland 0.5-2.5x10⁵ cfu /mL tüpüne göre bulanıklık ayarı yapılmıştır.

Test edilecek bileşikler, 1.6 mg olmak üzere tartılarak steril flakonlara aktarılmış ve üzerlerine 2 mL saf DMSO eklenmiştir. Bileşiklerin dimetilsülfoksit içinde tam olarak çözünmeleri ve homojen bir karışım hale gelmeleri sağlanmıştır. Bileşiklerin 800, 400, 200, 100, 50, 25, 12.5, 6.25, 3.125, 1.56 ve 0.78 µg/ml olarak dilüsyonları hazırlanmıştır.

Deney için 96 "U" tipi kuyucuklara sahip mikrotitrasyon petrilere (Brand) kullanılmıştır. Hazırlanmış bileşik karışımları mikropipetörler yardımıyla 100 µL olacak şekilde sırasıyla kuyucuklara aktarılmıştır. Tüm konsantrasyonlar kuyucuklara aktarıldıktan sonra, maya kültürlerinden 100'er µl pipetlenmiştir. Son sütun mikroorganizma kontrolüne, son satır da test maddesinin kontrolüne ayrılmıştır. Bu işlemlerden sonra mikrotitrasyon petrilere kapakları kapatılarak 37 °C'de 24 saat inkübasyona bırakılmış ve bu süre sonunda kuyucuklarda üremenin varlığının ya da yokluğunun daha iyi gözlenebilmesi için her kuyuya resazurin (20 µg / mL) ilave edilmiştir. Daha sonra renklenme için 37 °C'de 3 saat daha inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon süresi sonunda üremenin gözlenmediği en düşük konsantrasyon yani minimum inhibe edici konsantrasyon (MİK₅₀) µg/mL olarak belirlenmiştir. Deneyler çift paralel olarak tekrarlanmıştır. Standart antifungal madde olarak ketakonazol kullanılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Sentez çalışmaları 4 basamakta gerçekleştirilmiş ve Şekil 2'de gösterilmiştir. Sentezi gerçekleştirilen bileşiklerin fonksiyonel grupları Tablo 1'de verilmiştir. Sentez çalışmalarının birinci basamağında metil 4-formil benzoat ile sodyum disülfid, dimetilformamid içerisinde mikrodalga ışıması altında reaksiyona tabi tutulmuş, elde edilen benzaldehit sodyum bisülfid katım ürünü ile 3,4-diamino benzoik asit'in mikro dalga ışıması altında meydana gelen kondenzasyon reaksiyonu sonucunda Metil 4-(5(6)-süstitüe-1H-benzimidazol-2-il) benzoat (1a, 1b) türevleri elde edilmiştir. Bir sonraki basamakta 1a-1b bileşikleri mikrodalga ışıması altında hidrazin hidrat ile muamele edilerek 4-(5(6)-süstitüe-1H-benzimidazol-2-il)benzoik asid hidrazid (2a, 2b) bileşikleri elde edilmiştir. Sentezlenen hidrazit türevlerinin (2a, 2b) etanol içerisinde, bazik ortamda karbon disülfür ile oksadiazol halkası kapanmasına yönelik reaksiyonu sonucu 5-[4-(5(6)-süstitüe-1H-benzimidazol-2-il) fenil]-1,3,4-oksadiazol-2-tiol (3a,3b) bileşikleri kazanılmıştır. Son reaksiyon basamağı 3a, 3b türevleri ile 3,4-disüstitüefenaçil bromür türevleri arasında gerçekleştirilmiş ve 2-[(5-(4-(5(6)-süstitüe-1H-benzimidazol-2-il)fenil)-1,3,4-oksadiazol-2-il)tiyo]-1-(3,4-disüstitüefenil)etan-1-on (4a-4d) hedef bileşikleri elde edilmiştir.



Şekil 2. 4a-4d Kodlu bileşiklerin sentez şeması

Tablo 1. 4a-4d bileşiklerine ait fonksiyonel gruplar

Bileşik	R_1	R_2	R_3
4a	-F	-H	OH
4b	-F	-F	-F
4c	-Cl	-H	OH
4d	-Cl	-F	-F

Sentezi gerçekleştirilen Benzimidazol-oksadiazol türevlerinin antifungal etki potansiyelleri mikrodilüsyon tekniği kullanılarak çeşitli *Candida* türleri üzerinde test edilmiştir. Mikrobiyolojik çalışmalar sonucunda her bileşik için mikroorganizmalara karşı gözlenen Minimum İnhibitör Konsantrasyon ($MİK_{50}$) değeri kaydedilmiştir. Aktivite çalışmalarında fungus türleri olarak *Candida krusei*, *Candida albicans*, *Candida parapsilosis* ve *Candida glabrata* kullanılmıştır. Sentez edilen bileşiklerin antifungal etkinliklerini karşılaştırmak amacıyla standart ajan olarak triazol halkası taşıyan ketakonazol kullanılmıştır. Mikrobiyolojik çalışmalar sonucunda elde edilen $MİK_{50}$ değerleri Tablo 2’de sunulmuştur.

Antifungal aktivite sonuçları incelendiğinde sentezlenen bileşiklerin 12.5-50 $\mu g/mL$ arasında $MİK_{50}$ değerlerine sahip oldukları görülmektedir. Seri içerisinde 4c ve 4d kodlu bileşiklerin 12.5 $\mu g/mL$ $MİK_{50}$ değeri ile en aktif bileşikler oldukları bulunmuştur. Ayrıca bu bileşiklerin *C. glabrata*’ya karşı referans ilaç ketakonazol ile aynı düzeyde etki potansiyeline sahip oldukları görülmektedir. 4c ve 4d kodlu bileşiklerin yapıları incelendiğinde benzimidazol halkasının 5. konumunda klor sübstitüentleri taşıdıkları görülmektedir. Aktivite sonuçları ve sentezlenen bileşiklerin yapıları

değerlendirildiğinde benzimidazol halkası üzerinde klor sübstitüentinin bulunmasının aktiviteyi arttırdığı bulunmuştur.

Daha önce yaptığımız çalışmanın sonuçlarına baktığımızda (Karaburun, 2019) fenil halkası üzerinde 3. ve 4. konumlarda hidroksi grubunun olmasının aktiviteyi önemli derecede arttırdığı görülmektedir. Bu çalışmada 4a ve 4c kodlu bileşiklerde sadece 4. konumda hidroksi grubu bulunmaktadır. Aktiviteyi karşılaştırdığımızda sadece 4. konumda hidroksil grubunun bulunması *C. albicans*'a karşı aktiviteyi düşürdüğü görülmektedir. Bu çalışma kapsamında sentezlenen bileşiklerin daha önceki çalışmamıza göre (Karaburun, 2019) aktivitelerinin daha yüksek olduğu dikkat çekmektedir. Fenil halkası üzerinde iki tane flor sübstitüentinin bulunması aktiviteyi önemli derecede artırmıştır.

Tablo 2. Sentezlenen bileşiklere ait MİK₅₀ (µg/mL) değerleri

Bileşik	<i>C. krusei</i>	<i>C. glabrata</i>	<i>C. albicans</i>	<i>C. parapsilosis</i>
4a	25	25	50	25
4b	25	25	50	25
4c	50	12.5	50	50
4d	50	12.5	25	25
Ketakonazol	6.25	12.5	12.5	6.25

4. Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında Benzimidazol-oksadiazol halka sisteminin sahip olduğu potansiyel antifungal etki dikkate alınarak 4 adet yeni bileşik sentezlenmiştir. Elde edilen bileşiklerin yapıları ¹H-NMR ve kütle spektroskopik yöntemleri ile aydınlatılmıştır. Sentez bileşikleri antifungal etki testlerine tabi tutulmuş ve MİK₅₀ değerleri kaydedilmiştir. Elde edilen mikrobiyolojik bulgular 4c ve 4d kodlu bileşiklerin antifungal etki potansiyelinin *C. glabrata* türü üzerinde referans ilaç ile aynı düzeyde olduğunu göstermiştir. Zorlu bir süreç olan yeni ilaç etkin maddesi geliştirme zincirinin ilk halkasını oluşturan Farmasötik Kimya alanında yapılan bu çalışmadan elde edilen antifungal aktivite sonuçları umut verici niteliktedir. Bu nedenle, bu çalışma sonuçlarına göre, ileride gerçekleştirilecek çalışmalarda benzimidazol-oksadiazol yapısı içeren yeni bileşiklerin antifungal aktivitelerinin araştırılması önerilmektedir.

5. Yazar Katkıları

Ulviye ACAR ÇEVİK: Çalışmayı planlamış ve makalenin yazımını gerçekleştirmiştir.

Derya OSMANİYE: Bileşiklerin analizini gerçekleştirmiştir.

Begüm Nurpelin SAĞLIK: Bileşiklerin aktivitelerini gerçekleştirmiştir.

6. Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

Kaynaklar

- Acar Çevik, U., Nurpelin Sağlık, B., Ozkay, Y., Canturk, Z., Bueno, J., Demirci, F. ve Savas Koparal, A. (2017). Synthesis of new fluoro-benzimidazole derivatives as an approach towards the discovery of novel Intestinal antiseptic drug candidates. *Current Pharmaceutical Design*, 23(15), 2276-2286. Erişim adresi: <https://doi.org/10.2174/1381612822666161201150131>.
- Altındağ, F. D., Sağlık, B. N., Acar Çevik, U., Işıkdag, İ., Özkay, Y. ve Karaca Gençler, H. (2019). Novel imidazole derivatives as antifungal agents: Synthesis, biological evaluation, ADME prediction and molecular docking studies. *Phosphorus, Sulfur, and Silicon and the Related Elements*, 194 (9), 887-894. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1080/10426507.2019.1565761>.
- Chandrasekar, P. H., Cutright, J. L. ve Manavathu, E. K. (2001). Aspergillus: rising frequency of clinical isolation and continued susceptibility to antifungal agents, 1994–1999. *Diagnostic Microbiology and Infectious Disease*, 41(4), 211-214. Erişim adresi: [https://doi.org/10.1016/S0732-8893\(01\)00295-4](https://doi.org/10.1016/S0732-8893(01)00295-4).
- Demirci, E. (1996). Fungisitlere karşı dayanıklılığın gelişimi ve yönetimi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 27(4), 576-588. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/34525>.
- Ellis, M. (2002). Invasive fungal infections: evolving challenges for diagnosis and therapeutics. *Molecular Immunology*, 38(12-13), 947-957. Erişim adresi: [https://doi.org/10.1016/S0161-5890\(02\)00022-6](https://doi.org/10.1016/S0161-5890(02)00022-6).
- EUCAST. (2008). Definitive Document EDef 7.1: Method for the Determination of Broth Dilution MICs of Antifungal Agents for Fermentative Yeasts. *Clinical Microbiology and Infection*, 14, 398–405. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1111/j.1469-0691.2007.01935.x>.
- Işık, A., Acar Çevik, U., Sağlık, B. N. ve Özkay, Y. (2019). Synthesis, Characterization, and Molecular Docking Study of Some Novel Imidazole Derivatives as Potential Antifungal Agents. *Journal of Heterocyclic Chemistry*, 56(1), 142-152. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1002/jhet.3388>.
- Karaburun, A., Kaya Çavuşoğlu, B., Acar Çevik, U., Osmaniye, D., Sağlık, B., Levent, S., Ozkay, Y., Atlı, Ö., Koparal, A.S. ve Kaplancıklı, Z. (2019). Synthesis and Antifungal Potential of Some Novel Benzimidazole-1,3,4-Oxadiazole Compounds. *Molecules*, 24(1), 191. Erişim adresi: <https://doi.org/10.3390/molecules24010191>.
- Ostrosky-Zeichner, L., Marr, K. A., Rex, J. H. ve Cohen, S. H. (2003). Amphotericin B: time for a new" gold standard". *Clinical Infectious Diseases*, 37(3), 415-425. Erişim adresi: <https://www.jstor.org/stable/4462462>.
- Pawar, N. S., Dalal, D. S., Shimpi, S. R. ve Mahulikar, P. P. (2004). Studies of antimicrobial activity of N-alkyl and N-acyl 2-(4-thiazolyl)-1H-benzimidazoles. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, 21(2-3), 115-118. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1016/j.ejps.2003.09.001>.
- Pfaller, M. A. (2012). Antifungal drug resistance: mechanisms, epidemiology, and consequences for treatment. *The American Journal of Medicine*, 125(1), 3-13. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1016/j.amjmed.2011.11.001>.
- Revie, N. M., Iyer, K. R., Robbins, N. ve Cowen, L. E. (2018). Antifungal drug resistance: evolution, mechanisms and impact. *Current Opinion in Microbiology*, 45, 70-76. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1016/j.mib.2018.02.005>.
- Saleh, M., Abbott, S., Perron, V., Lauzon, C., Penney, C. ve Zacharie, B. (2010). Synthesis and antimicrobial activity of 2-fluorophenyl-4, 6-disubstituted [1,3,5] triazines. *Bioorganic Medicinal Chemistry Letters*, 20(3), 945-949. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2009.12.063>.

- Wiederhold, N.P. (2017). Antifungal resistance: current trends and future strategies to combat. *Infection and drug resistance*, 10, 249-259. Erişim adresi: <https://doi.org/10.2147/IDR.S124918>.
- Zimbeck, A. J., Iqbal, N., Ahlquist, A. M., Farley, M. M., Harrison, L. H., Chiller, T. ve Lockhart, S. R. (2010). FKS mutations and elevated echinocandin MIC values among *Candida glabrata* isolates from US population-based surveillance. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 54(12), 5042-5047. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1128/AAC.00836-10>.

Optoelektronik Uygulamalar için Nb⁵⁺ Katkılı Çinko Borat Camların Sentezi ve Optik, Termal ve Yapısal Özelliklerinin Belirlenmesi

Gökhan KILIÇ^{1,*}, U. Gökhan İŞSEVER¹

¹ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, TR-26040 Eskişehir, Türkiye

Makale Tarihi

Gönderim: 06.10.2019

Kabul: 09.01.2020

Yayın: 22.05.2020

Araştırma Makalesi

Öz – Bu çalışmada niyobyum pentaoksit (Nb₂O₅) katkı yüksek oranda çinko oksit (ZnO) içeren çinko borat (ZnB) oksit camlar yüksek sıcaklıkta eritme tavlama yöntemi ile başarıyla sentezlenmiştir. Sentezlenen camlara ait yapısal karakterler diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) ve Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) ile belirlenmiştir. DSC verilerine göre camsı geçiş (T_g), kristallenme (T_c), erime (T_m) sıcaklıkları ve termal kararlılıklar (ΔT) belirlenerek Nb₂O₅ değişimiyle ilgisi açıklanmıştır. DSC verilerine göre T_g, Nb₂O₅ konsantrasyonunun artışıyla 560°C'den 555°C'ye; T_c, 681°C'den 657°C'ye düşmüştür. Sentezlenen cam numunelerin termal kararlılığı ise Nb₂O₅ artışıyla 121°C'den 102°C'ye düşmüştür. FTIR verilerine göre borun ve çinkonun yapısal birimleri açıklanmıştır. Borun cam matrisini BO₃, BO₄ ve boroksol halka yapısal birimleriyle oluşturduğu, çinkonun ise cam matrisine tetrahedral ZnO₄ ve oktahedral ZnO₆ yapısal birimleri ile katkıda bulunduğu, niyobyumun yapıda düzenleyici görev üstlendiği belirlenmiştir. Verilerin değerlendirilmesi sonucunda niyobyumun cam ağında oktahedral NbO₆ biriminde bulunduğu gözlenmiştir. Nb₂O₅'in en belirgin biçimde değiştirdiği özelliklerin başında optik özellikler gelmektedir. Direkt ve indirekt optik bant aralığı, Urbach enerjisi, kırılma indisi üzerinde çalışılmış, geçirgenlik spektrumunda çok net olmayan kaymalar gözlenmiştir. Optik bant aralığı Nb₂O₅ artışıyla azaldığı, Urbach enerjisinin arttığı belirlenmiştir. Sentezlenen numunelere ait yoğunluk, molar hacim ayrıca incelenmiş ve Nb₂O₅ konsantrasyonundaki artışın yoğunluk ve molar hacim değerlerini belirgin bir biçimde artırdığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler – Çinko borat cam, DSC, FTIR, Nb₂O₅, optik bant aralığı

Synthesis of Nb⁵⁺ Doped Zinc Borate Glasses for Optoelectronic Applications and Determination of Optical, Thermal and Structural Properties

¹Eskişehir Osmangazi University, Faculty of Science and Letters, Department of Physics, TR-26040 Eskişehir, Turkey

Article History

Received: 06.10.2019

Accepted: 09.01.2020

Published: 22.05.2020

Research Article

Abstract – In this study, niobium pentoxide (Nb₂O₅) doped zinc borate (ZnB) oxide glasses containing high amounts of zinc oxide (ZnO) were synthesized successfully with melt-quenching method. Structural characteristics of synthesized glasses were determined with differential scanning calorimeter (DSC) and Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR). Glass transition (T_g), crystallization (T_c), melting (T_m) temperatures and thermal stabilities (ΔT) were determined with DSC data; their relationship with Nb₂O₅ concentration change was explained. According to DSC data, T_g and T_c reduced to 555°C from 560°C and to 657°C from 681°C, respectively with increasing concentration of Nb₂O₅. Thermal stability of glass samples reduced to 102°C from 121°C with increasing Nb₂O₅. Structural units of boron and zinc were explained with FTIR data. Boron was determined to establish glass matrix with structural units of BO₃, BO₄ and boroxol ring, zinc contributed to the glass matrix with its ZnO₄ and octahedral ZnO₆ structural units, and niobium acted as modifier within the structure. Our data showed that niobium was present in the glass network, mostly within the octahedral NbO₆ unit. Optical properties are among the most significantly altered properties in response to Nb₂O₅. Direct and indirect optical band gaps, Urbach energies, and refractive indices were studied, and unclear shifts were observed in the transmittance spectrum. We observed that optical band gap decreased and Urbach energy increased with increasing amount of Nb₂O₅. Densities and molar volumes of synthesized glasses were also examined we observed that increase in Nb₂O₅ concentrations significantly led to increase in density and molar volume values.

Keywords – DSC, FTIR, Nb₂O₅, optical band gap, zinc borate glass

¹  <http://orcid.org/0000-0002-6762-6898> gkilic@ogu.edu.tr

²  <http://orcid.org/0000-0001-7145-4999> gissever@ogu.edu.tr

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1. Giriş

Cam, yüksek sıcaklıklarda inorganik maddelerden oluşmuş seramik materyallerdir. Camı diğer seramiklerden ayıran özelliği, ısıtıldıktan sonra kristalleşme oluşmayacak şekilde belirli bir sıcaklığa kadar soğutulmasıdır. Diğer bir deyişle cam amorf bir katıdır. Bir materyal uzun aralıklı sıraya sahip değilse amorfür. Teknolojik ve bilimsel anlamda önemli bir yere sahip olan camların sentezinde en yaygın olarak kullanılan SiO_2 'nin yanında P_2O_5 , B_2O_3 ve V_2O_5 de cam yapıcıdır ve bunların içinde B_2O_3 en iyi cam yapıcı olarak bilinmektedir (Kılıç, 2006; Rao vd., 2004).

Borat camlar düşük erime noktaları, yüksek geçirgenlik özelliği ve yüksek termal kararlılığı nedeniyle çok önemli optik materyallerdir (El-Batal vd, 1993). Genellikle izolasyon ve dielektrik materyal yapımında kullanılırlar. Fakat geçiş metal iyonlarının katılması bu camların yapısında yarı iletkenliğe neden olur. Bugünlerde geçiş metalleri yapısal ve optik parametreleri etkileyen iki veya daha fazla valans durumundaki varlıklarına bağlı olarak cam alanında yoğun şekilde kullanılmaktadır (Abdel-Baki vd., 2011; El-Falaky vd., 2012; Su-malatha vd., 2011; Kumar vd., 2002; Rada vd., 2010; Rao vd., 2011; Singh vd., 2011a; Singh vd., 2011b). Metal oksit katkılı borat camlardan ikili çinko borat yapılarına ve çokça üçlü ve daha fazla bileşenli yapıların incelemelerine literatürde rastlamak mümkündür (He vd., 2011; Lian vd., 2007; Saritha vd., 2008; Li vd., 2010; Aleksandrov vd., 2011; Lakshminarayana vd., 2006; Singh vd., 2003; Annapurna vd., 2000; Kobayashi, 1995; Thulasiramudu vd., 2007; Mosner vd., 2010; Sontakke vd., 2009; Wu vd., 2004; Bale vd., 2008; Ji vd., 2008; Bale vd., 2012). Cam sistemleri dışında çinko borat seramik yapılara da rastlamak mümkündür (Hu vd., 2012).

Çinko borat camlar yaygın olarak yüksek kalite ve yüksek performans için plazma ekran ve panellerinde kullanılmaktadır (Raju vd., 2007; Kim vd., 2002; Raju vd., 2006). Bu camlar düzlem televizyon panellerinden bilgisayar monitörlerine kadar geniş bir alan için umut verici materyallerdir. Dielektrik katmanlarda hızlı deşarj sağlamada yüksek gerilim direncine sahip ve çok iyi derecede şeffaf olmalarından ötürü istenen materyallerdir. Önceleri bu materyalin yerine kullanılan kurşun oksit (PbO) içeren camlar aynı özellikleri göstermelerine karşın sağlık ve çevre için tehlikeliydiler. Son zamanlarda ise kurşun içermeyen çinko borat camlar yukarıda belirtilen tüm vasıflara sahip olduğundan belirtilen uygulamalar için uygun bir materyal olarak gösterilmiştir (Masuda vd., 1999). 5B grubu elementlerinden olan vanadyum ve niobiyum elementlerinin optoelektronikte kullanılmasına olanak verecek optik, elektriksel ve fiziksel özelliklerinin araştırılması vanadyum dışında yeni bir araştırma alanıdır. Son yıllarda vanadyum üzerine çalışmalar yoğunlaşmışken çinko borat bazlı camlara katkılanmış niobiyum üzerine araştırmalar halen çalışılması gereken çalışma alanları olarak durmaktadır. Niobiyum; silikat, tellürit ve fosfat camlara kattığı özellikler ve kullanım alanları literatürde belirtilmesine karşın borat hatta çinko borat camlardaki karakterizasyonu yok denecek kadar azdır (Conzone vd., 2006; Srikumar vd., 2011a; Srikumar vd., 2011b; Saida vd., 2001; Mauro vd., 2013; Lin vd., 2004). Yakın zamanda Nb_2O_5 'in katkılı olduğu, bu çalışmaya benzer, %60 mol ZnO içerikli borosilikat camların karakterizasyonu ortaya konmuştur (Monteiro vd., 2018).

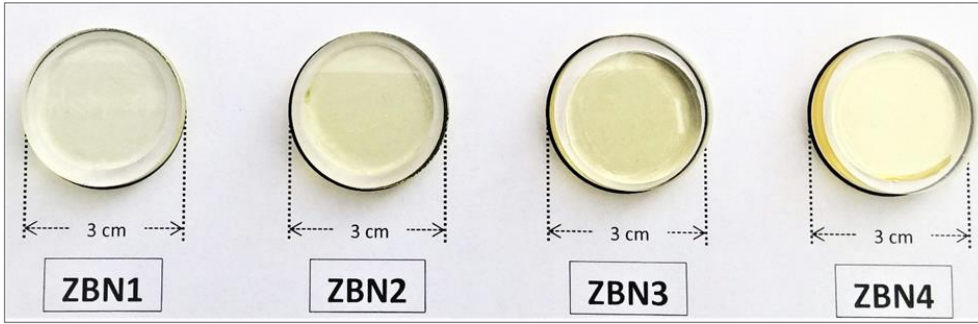
Bu çalışmada optoelektronikte kendisine kullanım alanı bulabilecek, literatürde yer almayan zengin çinko içerikli $\text{ZnO}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{Nb}_2\text{O}_5$ camlar başarıyla sentezlenmiştir. Genellikle neme duyarlı olan borat camlara göre sentezlediğimiz bu camların havaya, suya dayanıklı olması ve böylece borun teknolojide kendine yer bulacak olması açısından önemlidir. Sentezlediğimiz bu camların yapısal ve termal özellikleri belirlenmiş, optoelektronikte fiber optik kablo çekirdekleri veya lazer ortamları için potansiyel bir malzeme olarak düşünülen bu yapının optik karakterizasyonu ortaya konulmuştur.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Numune Sentezi

$(100-z)[0.6\text{ZnO}-0.4\text{B}_2\text{O}_3].z\text{Nb}_2\text{O}_5$ ($z=\%1,2,3,4$ mol) molar kompozisyona uygun olarak cam numunelerin sentezlenmesinde geleneksel yüksek sıcaklıkta eritme ve tavlama yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemle öncelikle %99.9 saflıkta ZnO , B_2O_3 , Nb_2O_5 (Alfa Aesar) oksitli bileşikler gerekli oranlarda hassas bir şekilde tartılıp karıştırılarak oksit cam numuneleri oluşturacak toz karışımlar elde edilmiştir. Homojen olması için Retsch RM200 marka öğütücüde yaklaşık 20 dk. boyunca mekanik olarak karıştırılan toz karışımlar porselen

kapaklı platin krozede, önceden ısıtılmış Nabertherm LHT 02/17 LB marka yüksek sıcaklık fırınında 60 dk. reaksiyona bırakılmıştır. 15 dk. aralıkla kroze içerisindeki eriyik fırından çıkarılarak karıştırılmıştır. Fırın sıcaklığı kompozisyonun bağımsız sabit olarak 1100°C'ye ayarlanmıştır. 60 dk. sonrasında yüksek sıcaklık fırınından çıkarılan eriyik çelik kalıp içerisine dökülerek silindirik şekil alması sağlanmıştır. Çatlama ve kırılmaların engellenebilmesi amacıyla 400°C'de 60 dk. tavlama fırını kapatılarak oda sıcaklığına kadar soğuması sağlanmıştır. Başarıyla sentezlenen numuneler en son olarak yüzeylerin paralel olması için Metkon marka Micracut 152 model elmas diskli kesme cihazı kullanılarak yaklaşık 2 mm. kalınlığında dilimlenmiş ve her iki yüzey Metkon marka Forcipol 102 model parlatma cihazı yardımıyla parlatılmıştır. Parlatma esnasında öncelikle çeşitli kalınlıklarda silisyum karbür (SiC) zımpara kâğıdı ve ardından kadife parlatma çuhası üzerinde elmas solüsyon kullanılmıştır. Sentezlenen cam numunelerin parlatılmamış kısımları yapısal ve termal ölçümler için Retsch RM200 marka öğütücüde toz haline getirilmiştir. Sentezlediğimiz cam numunelerin fotoğrafları Şekil 1'de kompozisyonları Tablo 1'de verilmiştir. Numuneler adlandırılırken içerdikleri bileşiklerin baş harfleri ve Nb₂O₅ in molar konsantrasyonu kullanılmıştır.



Şekil 1. Sentezlenen Nb₂O₅ katkılı çinko borat cam numuneler.

2.2. Karakterizasyon

Numunelerin yapısal özelliğini bilmek kristal yapılar kadar camsı yapılar için de önemlidir. Bu yüzden en yüksek Nb₂O₅ oranına sahip ZBN4 camına ait XRD incelemesi Bruker D8 Advance cihazında 10-90 derece arasında yapılmıştır.

Sentezlenen camların yoğunlukları 0.00001 g. hassasiyetli KERN marka ABT 100-5m model analitik terazi ile belirlenmiştir. Yoğunluk hesaplamasında yöntem Arşimet prensibidir (Elkhoshkhany vd., 2016). 20°C'de daldırma sıvısı olarak ultra saf su (USS) ($\rho_0=0.998272 \text{ g.cm}^{-3}$) kullanılmıştır. Numunelerin ağırlığı önce havada daha sonra belirtilen sıvıda ayrı ayrı ölçülerek;

$$D = \frac{W_h}{W_h - W_s} \cdot \rho_0 \quad (2.1)$$

Denklem 2.1 ile her bir numunenin yoğunluğu hesaplanmıştır. Burada D numune yoğunluğu, W_h numunenin havadaki ağırlığı, W_s numunenin daldırma sıvısı içerisindeki ağırlığı ve ρ_0 daldırma sıvısının yoğunluğudur. Yoğunluk değerleri, tartımlar 3'er kez tekrarlanarak hesaplanmıştır. Sentezlenen camların molar hacimleri (V_m)

$$V_m = \frac{\sum x_i M_i}{D} \quad (2.2)$$

Denklem 2.2 ile hesaplanmıştır. Bu denklemde x_i i. bileşene ait mol oranı, M_i i. bileşene ait moleküler ağırlık ve D numunenin yoğunluğudur.

Sentezlenen camlara ait geçirgenlik ve absorpsiyon spektrumları oda sıcaklığında 1 nm adımla 190-1100 nm aralığında Analytik Jena SPECORD 210 UV-Vis spektrofotometre cihazıyla belirlenmiştir. Ayrıca buradan elde edilen absorpsiyon spektrumları optik bant aralıklarını belirlemek için kullanılmıştır.

Kırılma indisi optik bant aralığına bağlı olarak hesaplanır. Kırılma indisi n , optik bant aralığı E_o ile kırılma indisi arasındaki ampirik bağıntı (Dimitrov vd., 1996) ile hesaplanmıştır:

$$\frac{(n^2 - 1)}{(n^2 + 2)} = 1 - \sqrt{\frac{E_o}{20}} \quad (2.3)$$

Numunelere ait FTIR spektrumları 4 cm^{-1} çözünürlükle Perkin Elmer Spectrum Two ile oda sıcaklığında $400\text{-}1400 \text{ cm}^{-1}$ aralığında alınmıştır ve bu analiz elmas ATR kullanılarak yapılmıştır.

Sentezlenen camlara ait camsı geçiş sıcaklıkları, kristallenme sıcaklıkları değerleri Netzsch STA 449F3 eşzamanlı termal analiz cihazında oda sıcaklığı ile 1000°C sıcaklığı aralığında 1°C 'lik artışla 35-50 mg toz numune ile belirlenmiştir. Elde edilen grafikler yardımıyla başlangıç (ONSET) yöntemiyle değerler hesaplanmış, grafik yardımıyla camsı geçiş sıcaklıkları, kristallenme ve erime pik değerleri belirlenmiştir.

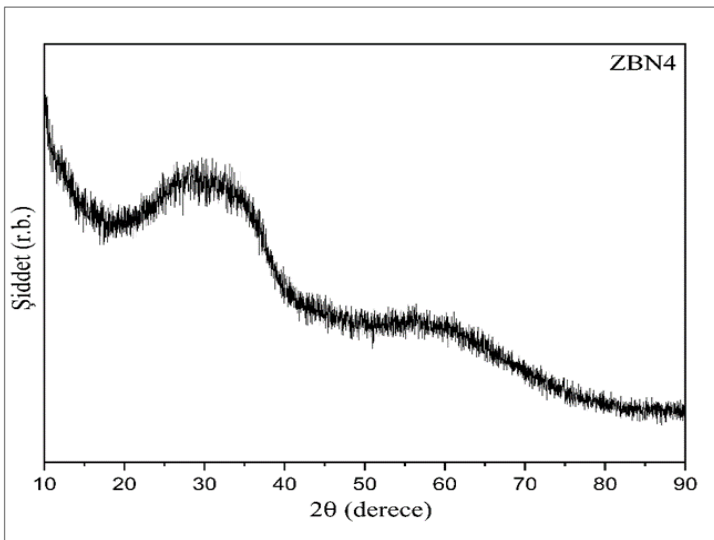
Camların termal kararlılıkları (ΔT);

$$\Delta T = T_c - T_g \quad (2.4)$$

Denklem 2.4 ile hesaplanmıştır. Burada T_c kristallenme sıcaklığı, T_g camsı geçiş sıcaklığıdır.

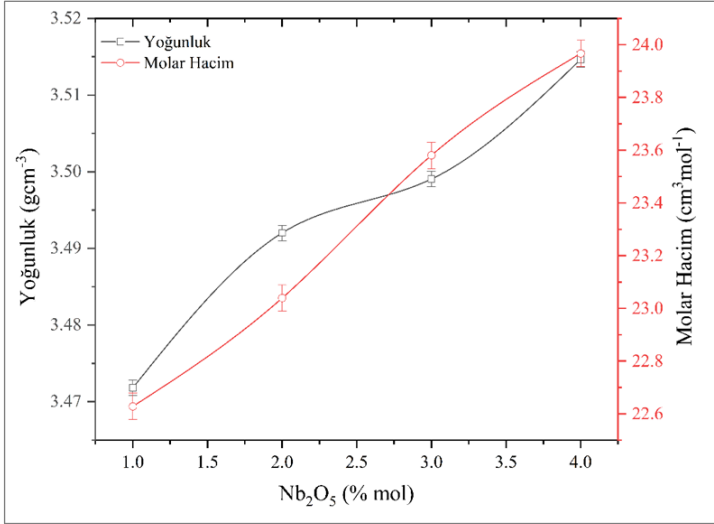
3. Bulgular ve Tartışma

Şekil 2'den de görüleceği gibi ZBN4 numunesinin kırınım deseninde belirgin bir pike rastlanmamıştır. Bu ise hazırlanan numunelerin amorf, kristallikten uzak bir yapıda olduğunu göstermektedir. $2\theta = 20\text{-}40^\circ$ arasındaki tümsek bor tabanlı camlarda görülebilen karakteristik bir yükseltidir.



Şekil 2. ZBN4 numunesine ait XRD deseni.

Denklem 2.1'e göre hesaplanan yoğunluklara ait grafik Şekil 3'de verilmiştir. Tablo 1'deki değerler ve grafik incelendiğinde yapıda Nb_2O_5 in artışıyla yoğunluklarda artış gözlenmektedir. %1 mol'den %4 mole kadar Nb_2O_5 katkılanmasının yoğunluğu 3.472 g cm^{-3} 'den 3.515 g cm^{-3} 'e yükselttiği gözlenmiştir. En yüksek yoğunluk değeri ZBN4 numunesinde 3.515 g cm^{-3} , en düşük değer ise ZBN1 numunesinde 3.472 g cm^{-3} olarak bulunmuştur. Literatürde bu çalışmadaki kompozisyonların Nb_2O_5 katkılanmamış hali olan %60 ZnO-%40 B_2O_3 kompozisyonuna ait yoğunluk 3.47 g cm^{-3} olarak verilmiştir (Altaf vd., 2003). Bu sonuç bu makalede verilen sonuçlarla uyum içerisindedir.



Şekil 3. Nb_2O_5 konsantrasyonuna bağlı yoğunluk ve molar hacim değişimi.

Yoğunluk değerlerinde olduğu gibi molar hacimde de artış gözlenmiştir. ZBN1 camı için $22.628 \text{ cm}^3 \text{ mol}^{-1}$ olan molar hacim değeri ZBN4 için $23.967 \text{ cm}^3 \text{ mol}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Literatürde katkısız ZnO- B_2O_3 camı için molar hacim $21.49 \text{ cm}^3 \text{ mol}^{-1}$ olarak verilmiştir (Altaf vd., 2003). Daha büyük ve ağır bir bileşik olan Nb_2O_5 'in yapıda B_2O_3 ve ZnO ile yer değiştirmesi molar hacmin ve yoğunluğun artmasına neden olmuştur.

Tablo 1

Numunelere ait kompozisyonlar, yoğunluk ve molar hacim değerleri.

	ZnO (% mol)	B_2O_3 (% mol)	Nb_2O_5 (% mol)	Yoğunluk (g.cm ⁻³)	Molar hacim (cm ³ .mol ⁻¹)
ZBN1	59.40	39.60	1.00	3.472 ± 0.001	22.63 ± 0.05
ZBN2	58.80	39.20	2.00	3.492 ± 0.001	23.04 ± 0.05
ZBN3	58.20	38.80	3.00	3.499 ± 0.001	23.58 ± 0.05
ZBN4	57.60	38.40	4.00	3.515 ± 0.001	23.97 ± 0.05

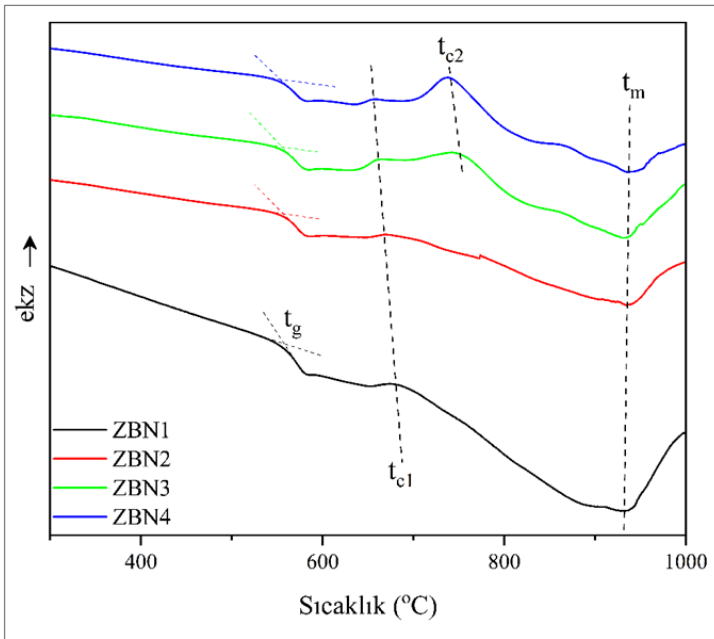
ZBN cam numunelerine ait DSC termogramları Şekil 4'de ve bu termogramlardan elde edilen termal veriler ise Tablo 2'de verilmiştir. Çinko borat cama Nb_2O_5 eklenmesiyle yani yapıdaki Nb_2O_5 'in mol oranının artışıyla camsı geçiş sıcaklığı (T_g) düşmüştür. En yüksek T_g 560°C ile %1 mol Nb_2O_5 içeren ZBN1 camında, en düşük T_g ise 555°C ile %4 mol Nb_2O_5 içeren ZBN4 camında bulunmuştur. Termogramlar incelendiğinde camsı geçiş sıcaklığı bölgesinin ötesinde belirgin ekzotermik dalgalanmalara rastlanmıştır. Dalgalanmalar kısmen omuz ve geniş bant şeklinde olup keskin pik şeklinde değildir. Bu bölge sentezlenen cam

numunelerde farklı kristallenme mekanizmalarının gerçekleştiği kristallenme basamakları ile ilgilidir. Camı geçiş sıcaklığının ötesindeki yaklaşık 657-681°C civarındaki geniş omuz tüm numunelerde görülmektedir. Bu bölge baskın bir şekilde $Zn_3B_2O_3$ kristal fazının gözlemlendiği sıcaklıktır (Kaur vd. 2013). Nb_2O_5 artışıyla bu omuz camı geçiş sıcaklığına yaklaşmaktadır. 751-741°C yakınlığında bant şeklinde yer alan bölge Nb_2O_5 in %3-4 mol değerlerinde ortaya çıkmıştır. Bu bölgenin niobyumun yer aldığı $ZnNb_2O_6$ kristal fazına ait olduğu söylenebilir (Kaur vd. 2013). Nb_2O_5 in artışı erime sıcaklığını 931°C den 937°C ye hafifçe kaydırmıştır. Yapıya Nb_2O_5 in dahil edilmesi erimeye karşı daha dayanıklı camın oluşturulabileceği anlamına gelirken, termal kararlılığı da düşüreceği gözlenmektedir. Termal kararlılık değerleri Nb_2O_5 artışıyla düşmektedir. Camı geçiş sıcaklığının ve termal kararlılığın beklenenin aksine Nb_2O_5 artışıyla düşmesi bağ entalpisi ile açıklanmaktadır. Örnek olarak Nb_2O_5 konsantrasyonunun değiştiği Nb_2O_5 - TeO_2 yapısında Nb_2O_5 konsantrasyonundaki artış camı geçiş sıcaklığını arttırmıştır (Kaur vd. 2013). Bu yapıda Nb-O bağ entalpisi 752.4 kJ.mol⁻¹ iken Te-O bağ entalpisi 376 kJ.mol⁻¹ yani daha düşüktür. Ancak bizim yapıımızda Nb_2O_5 , B_2O_3 ve ZnO ile yer değiştirmektedir ve B-O bağ entalpisi (809 kJ.mol⁻¹) Nb-O bağ entalpisinden daha yüksektir. Böylelikle yapıya Nb_2O_5 in girişi camı geçiş sıcaklığını ve termal kararlılığı düşürmüştür. Nb_2O_5 in %1 mol olarak yer aldığı ZBN1 camında termal kararlılık 121°C olarak bulunurken %4 mol katkılanmış ZBN4 numunesinde bu değer 102°C ye düşmüştür.

Tablo 2

Sentezlenen numunelere ait termal veriler (± 1 °C)

	T_g (°C)	T_{c1} (°C)	T_{c2} (°C)	T_m (°C)	ΔT (°C) (± 1.4)
ZBN1	560	681	-	931	121
ZBN2	558	669	-	934	111
ZBN3	556	662	751	936	106
ZBN4	555	657	741	937	102



Şekil 4. Numunelere ait DSC termogramları.

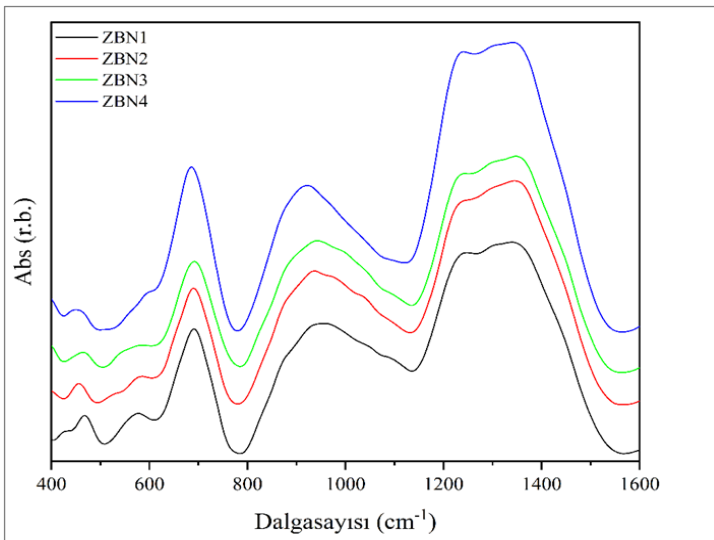
FTIR absorbans spektrumları sentezlenen tüm cam numuneler için toplu halde Şekil 5’de verilmiştir. 400-1600 cm^{-1} bölgesinde incelenen spektrumlar geniş ve asimetric bantlara ve bazı omuzlara sahiptir. Bu spektrumların daha detaylı incelenebilmesi ve spektrum altında kalan gizli bantları ortaya çıkarmak amacıyla numunelere ait spektrumların dekonvolüsyonu 400-1500 cm^{-1} aralığında Gaussian methodu uygulanarak yapılmıştır. Şekil 6’da da tüm numunelere ait FTIR spektrumları ve onlara ait Gaussian pikler görülmektedir. Her bir spektruma ait örtüşme değeri (R^2) en az 0.999 dur.

Numunelere ait FTIR absorbans spektrumları temel olarak 3 bölgeden oluşur. Bunlardan birincisi 400-800 cm^{-1} , ikincisi 800-1200 cm^{-1} ve üçüncüsü 1200-1500 cm^{-1} bölgesidir. Dekonvolüsyon sonucu ortaya çıkan bantlar ve bu bantlara karşılık gelen yapısal titreşimler Tablo 3’ de verilmiştir.

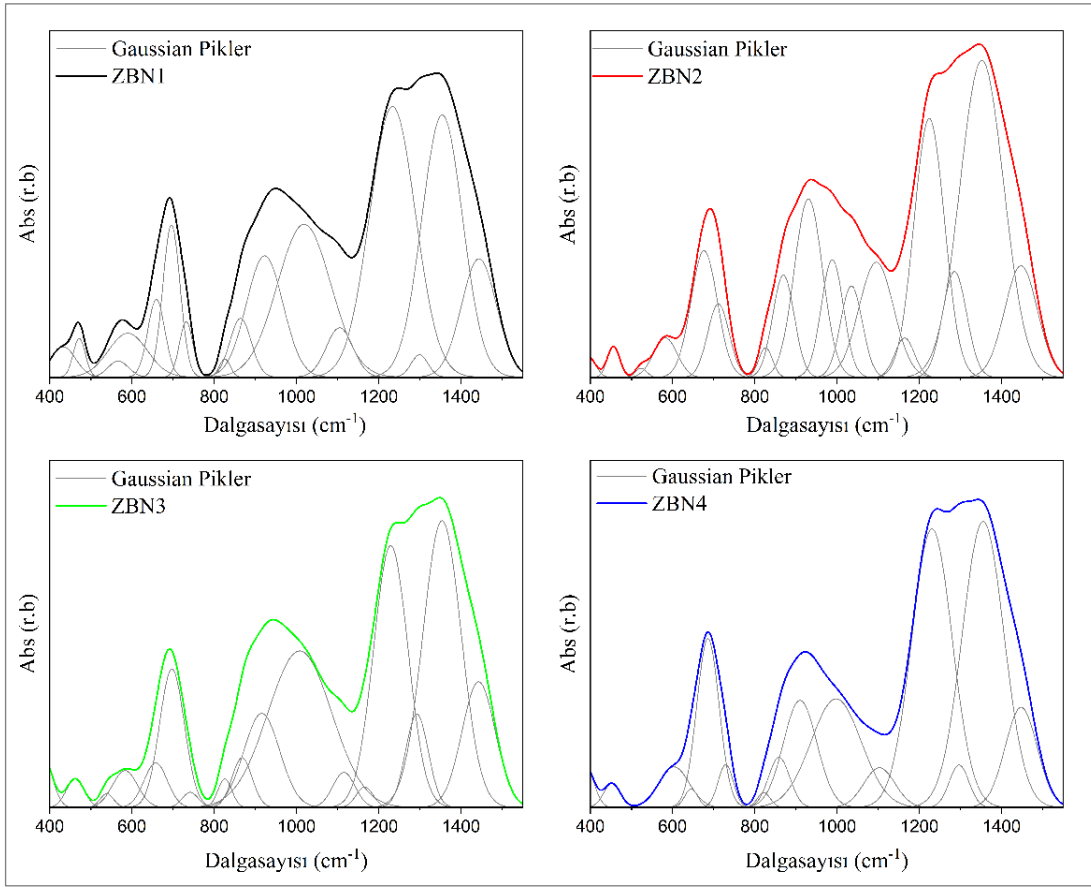
Birinci bölgede metallere ait bağların titreşimi ve borun bağlantı titreşimleri görülmektedir. Tetrahedral yapıdaki ZnO_4 yapısal biriminde Zn-O titreşimi 385-432 cm^{-1} (Mohamed vd., 2010), oktahedral yapıdaki Zn-O titreşimi ise 452-471 cm^{-1} bölgesinde karşımıza çıkmaktadır. Bu bölgedeki titreşimler ZnO’nun ağda iki farklı yapısal birimde bulunduğunu göstermektedir. Ayrıca çeşitli birimlere ait olduğu düşünülen Zn-O titreşimine ait bir bant 582-603 cm^{-1} bölgesinde bulunmuştur (Pascuta vd., 2011). 523-566 cm^{-1} bölgesinde gözlenen bant O-Nb titreşimine (Chu vd., 2011), 645-659 cm^{-1} bölgesindeki bant oktahedral NbO_6 ya ait Nb-O gerilme titreşimine (Villegas vd., 2007) aittir. Ayrıca 676-741 cm^{-1} bölgesinde gözlenen bantlar çeşitli yapısal birimlerin B-O-B bağlantı titreşimlerine karşılık gelir (Arora vd., 2013; Agarwal vd., 2010).

Spektrumda temel olarak nitelenen ikinci bölgede çoğunlukla, cam ağını oluşturan borun yapısal birimlerine ait titreşimlerin bantları gözlenmektedir. 821-826 cm^{-1} , 909-930 cm^{-1} , 988-1018 cm^{-1} , 1034 cm^{-1} BO_4 birimine ait B-O gerilme titreşimine (Jiao vd., 2013; Arora vd., 2013), 1095-1115 cm^{-1} penta- ve di-borat gruplardaki B-O titreşimine, 1064-1065 cm^{-1} BO_3 yapısal birimindeki B-O gerilme titreşimine karşılık gelmektedir (Arora vd., 2013) Ayrıca 909-930 cm^{-1} de gözlenen bantın oktahedral NbO_6 birimindeki Nb-O gerilme titreşimine ait olabileceği literatürde belirtilmektedir (Mohamed vd., 2010). 858-869 cm^{-1} bölgesindeki bantın oktahedral NbO_6 birimindeki Nb-O gerilme titreşimine ait olduğu düşünülmektedir (Mohamed vd., 2010).

Numunelere ait spektrumların 3. bölgesi yine borun yapısal birimleriyle ilgilidir. Bu bölgede çoğunlukla BO_3 yapısal biriminin titreşimine ait bantlar yer almaktadır. 1224-1233 cm^{-1} meta- ve orto-borat gruplardaki (Arora vd., 2013), 1285-1299 cm^{-1} boroksol halkanın BO_3 yapısındaki (Pascuta vd., 2011), 1442-1447 cm^{-1} BO_3 yapısal birimindeki (Razali vd., 2013) B-O gerilme titreşimlerine ait olduğu bilinmektedir. 1351-1355 cm^{-1} civarındaki bant B-O-B bağlantı titreşimine (Singh vd., 2011) veya Zn-O-B bağlantı titreşimine (Arora vd., 2013) aittir. Nb_2O_5 in yapıya girişiyle B_2O_3 ve ZnO nun eşit oranda azalması bu bant konusunda kesin karar verilmesini zorlaştırmaktadır.



Şekil 5. Numunelere ait FTIR spektrumları.



Şekil 6. FTIR spektrumlarının dekonvolüsyonu.

Tablo 3

Numunelere ait FTIR spektrumlarının dekonvolüsyonu sonucu elde edilen bantlar ve karşılık geldiği titreşimler.

ZBN1	ZBN2	ZBN3	ZBN4	Titreşimler	Kaynak
432	394	385	389	Tetrahedral ZnO ₄ de Zn-O titreşimi	Mohamed vd., 2010
471	456	461	452	Oktahedral ZnO ₆ da Zn-O titreşimi	
566	523	538		O-Nb gerilme titreşimi	Chu vd., 2011
589	582	582	603	Zn-O gerilme titreşimi	Pascuta vd., 2011
659		657	645	Oktahedral NbO ₆ da Nb-O gerilme titreşimi	Villegas vd., 2007
695	676	697	685	B-O-B bağlantı titreşimi	Arora vd., 2013
731	711	741	729	B-O-B bağlantı titreşimi	Agarwal vd., 2010
825	826	825	821	BO ₄ birimde B-O gerilme titreşimi	Jiao vd., 2013
863	869	867	858	Oktahedral NbO ₆ da Nb-O gerilme titreşimi	Mohamed vd., 2010
922	930	915	909	BO ₄ birimde B-O gerilme titreşimi	Arora vd., 2013
				Oktahedral NbO ₆ da Nb-O gerilme titreşimi	Mohamed vd., 2010
1018	988	1007	997	BO ₄ birimde B-O gerilme titreşimi	Jiao vd., 2013
	1034			Tetrahedral BO ₄ birimine ait titreşim	Jiao vd., 2013
1104	1095	1115	1102	Penta- ve di-borat gruplarda B-O titreşimi	Arora vd., 2013

	1164	1165		BO ₃ birimine ait B-O gerilme titreşimi	Arora vd., 2013
1233	1224	1229	1230	Meta- ve orto-borat gruplarda B-O titreşimi	Arora vd., 2013
1299	1285	1292	1296	Boroksol halkadaki B-O titreşimi	Pascuta vd., 2011
1354	1351	1353	1355	B-O-B bağlantı titreşimi veya Zn-O-B bağlantı titreşimi	Singh vd., 2011 (Arora vd., 2013)
1443	1447	1442	1447	BO ₃ biriminde NBO B-O ⁻ gerilme titreşimi	(Razali vd., 2013)

Numunelere ait geçirgenlik eğrileri incelendiğinde göze çarpan en belirgin karakter geçirgenlik kenarındaki uzun dalga boyuna hafif kaymalardır. Şekil 7' de geçirgenlik ve absorpsiyon spektrumları verilmektedir. Spektrumların absorpsiyon kenarlarındaki Nb₂O₅ in artışına bağlı olarak gözlenen hafif kaymaların daha iyi anlaşılabilmesi açısından ana grafik içerisinde o bölgelere ait ek grafikler verilmiştir. Bu grafiklerden de görüleceği gibi %1 molden %4 mole Nb₂O₅ artışıyla absorpsiyon kenarı birkaç nanometre uzun dalga boyuna doğru kaymıştır. Cam ağındaki oksijen bağının değişmesi ve ağdaki köprü yapmayan oksijen (NBO) sayısının değişimi absorpsiyon özelliklerini değiştirir. Nb₂O₅ artışıyla absorpsiyon kenarının uzun dalga boyuna kayması hatta optik bant aralıklarındaki azalma bu yapısal değişimle açıklanabilir (Altaf vd., 2003).

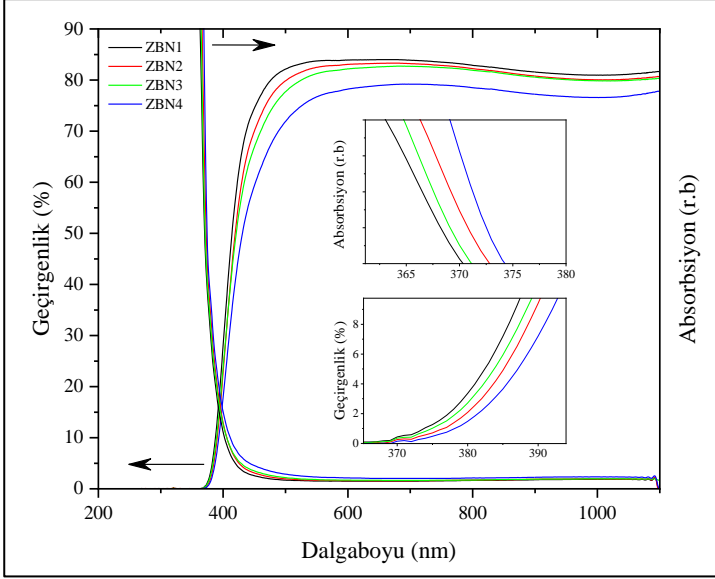
Sentezlenen cam numunelerin hepsi için optik bant aralıkları direkt ve indirekt geçişler için absorpsiyon spektrumu kullanılarak hesaplanmıştır. Lambert – Beer – Bouguer Yasasına göre absorpsiyon katsayısı (Denklem 3.1) (Kilic vd., 2019)

$$\alpha = \frac{A}{d} \quad (3.1)$$

ile verilir. Burada A absorbans, d numune kalınlığıdır. Absorpsiyon spektrumunda eğrinin lineer kısmına karşılık gelen dalga boylarına ait foton enerjileri,

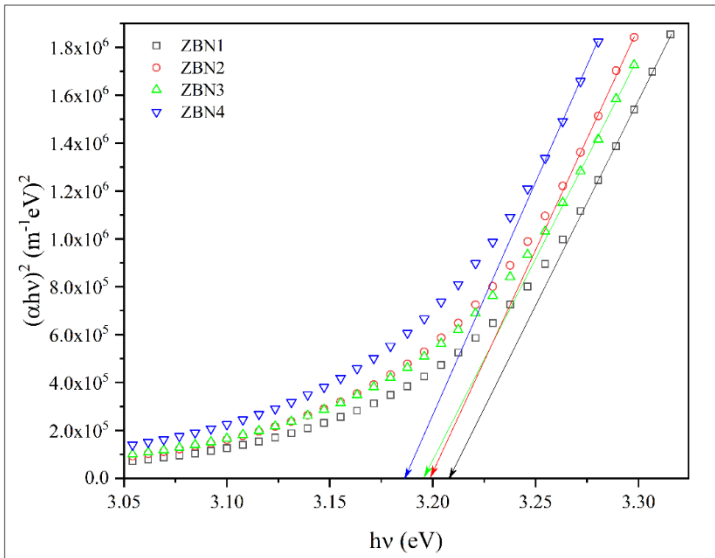
$$E = hv \quad (3.2)$$

Denklem 3.2 yardımıyla hesaplanmış, bu değerler kullanılarak her bir numune için ayrı ayrı direkt izinli geçişler için $(\alpha hv)^2 \sim hv$ ve indirekt izinli geçişler için $(\alpha hv)^{1/2} \sim hv$ Tauc grafikleri çizilmiştir. Bu denklemlerde α absorpsiyon katsayısı, h Planck sabiti, v foton frekansı ve ayrıca hv çarpımı da foton enerjisidir.

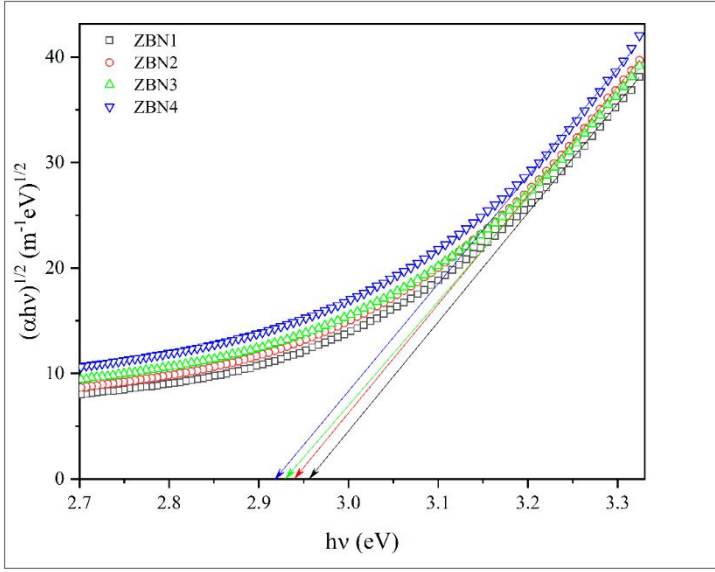


Şekil 7. Dalga boyuna bağlı geçirgenlik ve absorpsiyon spektrumları ve ek olarak spektrumların absorpsiyon kenarına karşılık gelen bölgelerinin gösterimleri.

Çizilen bu Tauc eğrilerin (Şekil 8 ve Şekil 9) doğrusal kısmından geçen doğrunun $(\alpha hv)^2 = 0$ 'a karşılık gelen değerinden o numuneye ait direkt geçiş optik bant aralığı, eğrilerin doğrusal kısmından geçen doğrunun $(\alpha hv)^{1/2} = 0$ 'a karşılık gelen değerinden de aynı numuneye ait olan indirekt geçiş optik bant aralığı bulunmuştur.



Şekil 8. Numunelere ait $(\alpha hv)^2 \sim hv$ değişim grafiği.



Şekil 9. Numunelere ait $(\alpha hv)^{1/2} \sim hv$ değişim grafiği.

Nb_2O_5 içeren camların direkt optik bant aralıkları 3.208 eV ve 3.186 eV, indirekt optik bant aralıkları 2.958 eV ve 2.919 eV aralığında değişmiştir. Nb_2O_5 'in artışıyla direkt ve indirekt optik bant aralıkları düzenli olarak azalmıştır.

Absorbsiyon kenarının yarı logaritmik çizimdeki (Şekil 10) eğimi

$$\Delta E = \left[\frac{d(\ln \alpha)}{d(h\nu)} \right]^{-1} \quad (3.3)$$

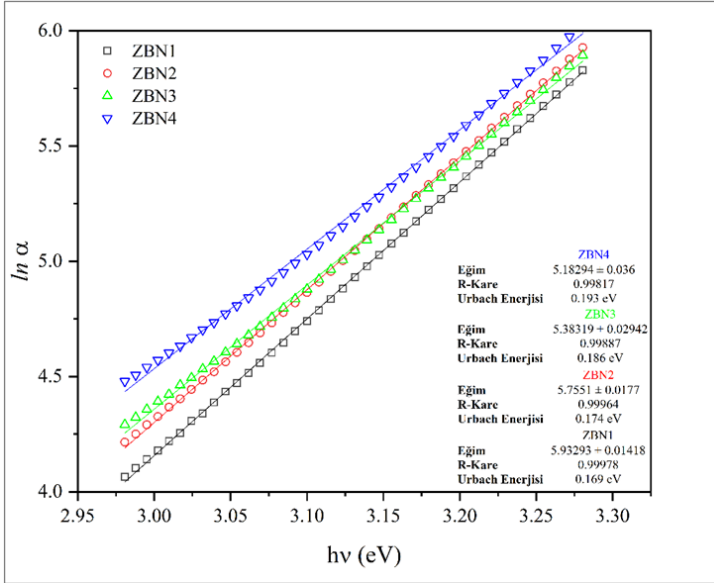
ile de Urbach Enerjileri hesaplanmıştır. Burada ΔE Urbach enerjisi, α soğurma katsayısı ve $h\nu$ foton enerjisi olarak adlandırılır.

Sentezlenen numunelere ait Urbach enerjilerinde Nb_2O_5 'in katkılama oranına bağlı olarak kararlı bir artış gözlenmiştir. Urbach enerjisi 0.169 eV ile 0.193 eV aralığında bulunmuştur. Nb_2O_5 katkısız %60 ZnO-%40 B_2O_3 camına ait Urbach enerjisi 0.17 eV aralığında hesaplanmıştır (Altaf vd., 2003). Bu sonuç bizim değerlerimizle uyum içerisindedir. Urbach enerjisinin düşük değerleri camın üniform ve kararlı olduğunu gösterir. Nb_2O_5 oranının cam içerisindeki artışı yapının düzensiz ve kararsız hale geldiğini açıklar (Issever vd., 2019).

Tablo 4

Numunelere ait optik bant aralıkları (OBA), Urbach enerjileri ve kırılma indisleri.

	Direkt OBA (eV)	İndirekt OBA (eV)	Urbach En. (eV)	Kırılma ind.
ZBN1	3.208	2.958	0.169	2.408
ZBN2	3.199	2.941	0.174	2.413
ZBN3	3.195	2.930	0.186	2.416
ZBN4	3.186	2.919	0.193	2.419



Şekil 10. Urbach enerjileri, doğrulara ait eğimler ve R^2 örtüşme değerleri.

Kırılma indisi camlar için önemli bir veridir. Bu çalışmada absorpsiyon kenarına karşılık gelen dalga boyu bölgesinde optik bant aralığı verileri kullanılarak Denklem 2.3 yardımıyla kırılma indisleri belirlenmiştir. Sentezlenen numunelere ait kırılma indisleri 2.408-2.419 aralığında hesaplanmış Tablo 4'te sonuçlar verilmiştir. Nb_2O_5 'in artışıyla doğru orantılı olarak kırılma indisi artmıştır.

4. Sonuçlar

Nb_2O_5 içeren, $ZnO-B_2O_3-Nb_2O_5$ üçlü cam yapısı başarıyla sentezlenmiştir. Sentezlenen numunelere ait fiziksel, yapısal, termal ve optik karakterizasyon yapılmıştır. FTIR ile yapısal birimler belirlenmiştir. B_2O_3 ün cam ağını oluşturduğu numunelerde boroksol halka, düzlemsel BO_3 , tetrahedral BO_4 yapısında bulunduğu belirlenmiştir. Düşük orandaki içeriğiyle bulunduğu yapılarda düzenleyici olarak görev alan ZnO 'nun bu çalışmadaki numunelerde tetrahedral ZnO_4 ve oktahedral ZnO_6 yapısal birimleri halinde yer aldığı belirlenmiş, cam ağında cam yapıcı olarak bulunabileceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca düşük oranlardaki Nb_2O_5 cam ağında oktahedral NbO_6 yapısal birimiyle yer almaktadır. Nb_2O_5 'in cam ağındaki konsantrasyonunun artışı yoğunluğu, camsı geçiş, kristalleşme ve erime sıcaklıklarını belirgin olarak değiştirmiştir. Nb_2O_5 artışı absorpsiyon kenarını hafifçe uzun dalgaboyuna kaydırmış buna bağlı olarak direkt optik bant aralığını 3,208 eV'dan 3.186 eV'a, indirekt optik bant aralığını 2.958 eV'dan 2.919 eV'a düşürmüş, beklendiği şekilde Urbach enerjisinin yükselmesini sağlamıştır. Urbach enerjisindeki artış Nb_2O_5 'in yapıyı homojenlikten uzak ve kararsız hale getirdiğini kanıtlamaktadır. Termal karakterizasyon sonucunda Nb_2O_5 artışı camsı geçiş sıcaklığını 560°C'den 555°C'ye hafifçe düşürmüştür. Ayrıca DSC termogramlarından elde edilen verilerden $Zn_3B_2O_3$ ve $ZnNb_2O_6$ iki kristal fazın varlığı literatür yardımıyla belirlenmiştir. Nb_2O_5 in artışıyla yoğunluk ve molar hacim değerlerinde de artış gözlenmiştir. Yoğunlukta olduğu gibi kırılma indisinde de artış gözlenmiştir. 2.408'den 2.419'a artan yüksek kırılma indisleri hazırlanan numunelerin fiber optik kablolarda kullanılabilecek potansiyel malzemeler olduğunu göstermiştir. Optoelektronik için yeni bir malzeme olabileceği düşünülen $ZnO-B_2O_3-Nb_2O_5$ camları, çinko bakımından zengin olmasından ötürü güneş enerji sistemleri için yarıiletken çinko oksit ince filmlerin daha iyi tutunacağı uygun bir alttaş görevi yapabileceği gibi içerdiği Nb_2O_5 bileşiğinin yapıyı modifiye edebilmesinden ötürü bu camların özellikle lantanit iyonları için uygun bir lazer ortamı olabileceği sonucuna varılmıştır.

Teşekkür

Özgün bir araştırma olan bu çalışma, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından 201419D02 nolu proje olarak desteklenmiştir.

Yazar Katkıları

Gökhan KILIÇ: Numune sentezi, ölçüm, karakterizasyonu gerçekleştirmiş ve makaleyi yazmıştır.

U. Gökhan İŞSEVER: Sentez ve ölçümlerde görev almıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

Kaynaklar

- Abdel-Baki, M. ve El-Diasty, F. (2011). Role of oxygen on the optical properties of borate glass doped with ZnO. *Journal of Solid State Chemistry*, 184, 2762-2769.
- Agarwal, A., Sheoran, A., Sanghi, S., Bhatnagar, V., Gupta, S.K. ve Arora, M. (2010). Structural investigation and electron paramagnetic resonance of vanadyl doped alkali niobium borate glasses. *Spectrochimica Acta Part A*, 75, 964-969.
- Aleksandrov, L., Komatsu, T., Iordanova, R. ve Dimitriev, Y. (2011). Structure study of MoO₃-ZnO- B₂O₃ glasses by Raman spectroscopy and formation of ZnMoO₄ nanocrystals. *Optical Materials*, 33, 839-845.
- Altaf, M., Chaudhry, M. A. ve Zahid, M. (2003). Study of optical band gap of zinc-borate glasses. *Journal of Research (Science)*, 14(2), 253-259.
- Annapurna, K., Kumar, A., Dwivedi, R.N. ve Hussain, N.S. (2000). Fluorescence spectra of Cu⁺: ZnO-B₂O₃-SiO₂ glass. *Materials Letters*, 45, 23-26.
- Arora, S., Kundu, V., Goyal, D.R. ve Maan, A.S. (2013). Effect of stepwise replacement of LiF by ZnO on structural and optical properties of LiF. B₂O₃ glasses. *Turkish Journal of Physics*, 37, 229 – 236.
- Bale, S. ve Rahman, S. (2012). Electrical conductivity studies of Bi₂O₃-Li₂O-ZnO-B₂O₃ glasses. *Materials Research Bulletin*, 47, 1153-1157.
- Bale, S., Rahman, S., Awasthi, A.M. ve Sathe, V. (2008). Role of Bi₂O₃ content on physical, optical and vibrational studies in Bi₂O₃-ZnO-B₂O₃ glasses. *Journal of Alloys and Compounds*, 460, 699-703.
- Conzone, S.D. ve Shelby, J.E. (2006). Formation and properties of sodium tantalum silicate glasses. *Physics and Chemistry of Glasses Part B*, 47(3), 283-287.
- Chu, C.M., Wu, J.J., Yung, S.W., Chin, T.S., Zhang, T. ve Wu, F.B. (2011). Optical and structural properties of Sr-Nb-phosphate glasses. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 357, 939-945.
- Dimitrov, V. ve Sakka, S. (1996). Linear and nonlinear optical properties of simple oxides. II. *Journal of Applied Physics*, 79, 1741-1745.
- El-Batal, H.A.R. ve Ezz-El-Din, F.M. (1993). Interaction of γ -rays with Some Alkali Alkaline Earth Borate Glasses Containing Chromium. *Journal of the American Ceramic Society*, 76, 523.
- El-Falaky, G.E., Gaafar, M.S. ve Abd El-Aal, N.S. (2012). Ultrasonic relaxation in Zinc-Borate glasses. *Current Applied Physics*, 12, 589-596.
- Elkoshkhany, N., El-Mallawany, R. ve Syala, E. (2016). Mechanical and thermal properties of TeO₂-Bi₂O₃-V₂O₅-Na₂O-TiO₂ glass system. *Ceramics International*, 42(16), 19218-19224.
- He, F., Wang, J. ve Deng, D. (2011). Effect of Bi₂O₃ on structure and wetting studies of Bi₂O₃-ZnO-B₂O₃ glasses. *Journal of Alloys and Compounds*, 509, 6332-6336.
- Hu, Y., Wei, D., Fu, Q., Zhao, J. ve Zhou, D. (2012). Preparation and microwave dielectric properties of 3ZnO· B₂O₃ ceramics with low sintering temperature. *Journal of the European Ceramic Society*, 32, 521-524.
- Issever, U.G., Kilic, G., Peker, M., Ünalı, T. ve Aybek, A.S. (2019). Effect of low ratio V⁵⁺ doping on structural and optical properties of borotellurite semiconducting oxide glasses. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, <https://doi.org/10.1007/s10854-019-01889-7>
- Ji, L.N., Li, J.B., Liang, J.K., Sun, B.J. ve Liu, Y.H. (2008). Phase relations and flux research for ZnO crystal growth in the ZnO-B₂O₃- P₂O₅ system. *Journal of Alloys and Compounds*, 459, 481-486.
- Jiao, Q., Yu, X., Xu, X., Zhou, D. ve Qiu, J. (2013). Relationship between Eu³⁺ reduction and glass polymeric structure in Al₂O₃-modified borate glasses under air atmosphere. *Journal of Solid State Chemistry*, 202, 65-69.

- Kaur, A., Khanna, A., Sathe, V.G., Gonzalez, F. ve Ortiz, B. (2013). Optical, thermal, and structural properties of Nb₂O₅-TeO₂ and WO₃-TeO₂ glasses. *Phase Transitions*, 86(6), 598-619.
- Kılıç, G. (2006). *Değişik bileşimli camların hazırlanması, fiziksel ve optik özelliklerinin incelenmesi* (Doktora Tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Kilic, G., Issever, U.G. ve Ilik, E. (2019). Characterization of Er³⁺ doped ZnTeTa semiconducting oxide glass. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 30(9), 8920-8930.
- Kim, D.N., Lee, J.Y. ve Huh, J. S. (2002). Thermal and electrical properties of BaO-B₂O₃-ZnO glasses. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 306, 70-75.
- Kobayashi, K. (1995). OH-Related Capacitance-Voltage Recovery Effect in MOS Capacitors Passivated by Fluoride-Containing ZnO-B₂O₃-SiO₂-P₂O₅ Glasses. *Journal of Solid State Chemistry*, 118, 212-214.
- Kumar, R.R., Bhatnagar, A.K. ve Rao, J.L. (2002). EPR of vanadyl ions in alkali lead borate glasses. *Materials Letters*, 57, 178-182.
- Lakshminarayana, G. ve Buddhudu, S. (2006). Spectral analysis of Sm³⁺ and Dy³⁺: B₂O₃-ZnO-PbO glasses. *Physica B*, 373, 100-106.
- Li, S., Chen, P. ve Li, Y. (2010). Structural and physical properties in the system ZnO-B₂O₃-P₂O₅-R_nO_m. *Physica B*, 405, 4845-4850.
- Lian, Z., Wang, J., Lv, Y. ve Wang, S. (2007). The reduction of Eu³⁺ to Eu²⁺ in air and luminescence properties of Eu²⁺ activated ZnO-B₂O₃-P₂O₅ glasses. *Journal of Alloys and Compounds*, 430, 257-261.
- Lin, J., Huang, W., Sun, Z., Ray, C.S. ve Day, D.E. (2004). Structure and non-linear optical performance of TeO₂-Nb₂O₅-ZnO glasses. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 336, 189-194.
- Masuda, H., Kimura, R. ve Sakamoto, N. (1999). Properties and Structure of Glasses in the System BaO-B₂O₃-ZnO. *Journal of the Japan Institute of Metals and Materials*, 63, 284.
- Mauro, N.A., Johnson, M.L., Bendert, J.C. ve Kelton, K.F. (2013). Structural evolution in Ni-Nb and Ni-Nb-Ta liquids and glasses- A measure of liquid fragility. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 362, 237-245.
- Mohamed, N.B., Yahya, A.K., Deni, M.S.M., Mohamed, S.N., Halimah, M.K. ve Sidek, H.A.A. (2010). Effects of concurrent TeO₂ reduction and ZnO addition on elastic and structural properties of (90-x) TeO₂-10Nb₂O₅-(x)ZnO glass. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 356, 1626-1630.
- Monteiro, R.C.C., Lopes, A.A.S., Lima, M.M.R.A. ve Veiga, J.P.B. (2018). Thermal characteristics and crystallization behavior of zinc borosilicate glasses containing Nb₂O₅. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 491, 124-132.
- Mosner, P., Vosejkova, K., Koudelka, L., Montagne, L. ve Revel, B. (2010). Structure and properties of ZnO- B₂O₃-P₂O₅-TeO₂ glasses. *Materials Chemistry and Physics*, 124, 732-737.
- Pascuta, P., Vladescu, A., Borodi, G., Culea, E. ve Tetean, R. (2011). Structural and magnetic properties of zinc ferrite incorporated in amorphous matrix. *Ceramics International*, 37, 3343-3349.
- Rada, M., Rada, S., Pascuta, P. ve Culea, E. (2010). Structural properties of molybdenum-lead-borate glasses. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 77, 832-837.
- Raju, G.N., Gandhi, Y., Rao, N. S. ve Veeraiah, N. (2006). Study on the influence of TiO₂ on the insulating strength of ZnO-ZnF₂-B₂O₃ glasses by means of dielectric properties. *Solid State Communications*, 139, 64-69.
- Raju, G.N., Reddy, M.S. ve Sudhakar, K.S.V. (2007). Spectroscopic properties of copper ions in ZnO-ZnF₂-B₂O₃ glasses. *Optical Materials*, 29, 1467-1474.
- Rao, R.B. ve Veeraiah, N. (2004). Study on some physical properties of Li₂O-MO-B₂O₃: V₂O₅ glasses. *Physica B*, 348, 256-271.
- Rao, T.R., Reddy, Ch.V., Krishna, Ch.R., Thampy, U.S.U., Raju, R.R., Rao, P.S. ve Ravikumar, R.V.S.S.N. (2011). Correlation between physical and structural properties of Co²⁺ doped mixed alkali zinc borate glasses. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 357, 3373-3380.
- Razali, W.A.W., Azman, K., Hashim, S., Alajerami, Y.S.M., Syamsyir, S.A., Mardhiah, A. ve Ridzwan, M.H.J. (2013). Physical, Structural, and Luminescence Studies of Nd³⁺ Doped MgO-ZnO Borate Glass. *Optics and Spectroscopy*, 115, 701-707.
- Saida, J. ve Inoune, A. (2001). Icosahedral quasicrystalline phase formation in Zr-Al-Ni-Cu glassy alloys by addition of Nb, Ta and V elements. *Journal of Physics: Condensed Matter*, 13, 4.
- Saritha, D., Markandeya, Y., Salagram, M. ve Vithal, M. (2008). Effect of Bi₂O₃ on physical, optical and structural studies of ZnO-Bi₂O₃-B₂O₃ glasses. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 354, 5573-5579.

- Singh, G.P., Kaur, P., Kaur, S. ve Singh, D.P. (2011a). Role of WO_3 in structural and optical properties of WO_3 - Al_2O_3 - PbO - B_2O_3 glasses. *Physica B*, 406, 4652-4656.
- Singh, G.P., Kaur, S., Kaur, P., Kumar, S. ve Singh, D.P. (2011b). Structural and optical properties of WO_3 - ZnO - PbO - B_2O_3 glasses. *Physica B*, 406, 1890-1893.
- Singh, H., Singh, K., Gerward, L. ve Singh, K. (2003). ZnO - PbO - B_2O_3 glasses as gamma-ray shielding materials. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 207, 257-262.
- Singh, S.P., Pal, K., Tarafder, A., Das, M., Annapurna, K. ve Karmakar, B. (2010). Effects of SiO_2 and TiO_2 fillers on thermal and dielectric properties of eco-friendly bismuth glass microcomposites of plasma display panels. *Bulletin of Materials Science*, 33, 33-41.
- Sontakke, A.D., Tarafder, A., Biswas, K. ve Annapurna, K. (2009). Sensitized red luminescence from Bi^{3+} co-doped Eu^{3+} : ZnO - B_2O_3 glasses. *Physica B*, 404, 3525-3529.
- Srikumar, T., Brik, M.G., Rao, C.S., Gandhi, Y. ve Rao, D.K. (2011a). Spectral and fluorescent kinetics features of Nd^{3+} ion in Nb_2O_5 , Ta_2O_5 and La_2O_3 mixed lithium zirconium silicate glasses. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 81, 498-503.
- Srikumar, T., Brik, M.G., Rao, C.S., Venkatramaiah, N. ve Gandhi, Y. (2011b). Emission features of Ho^{3+} ion in Nb_2O_5 , Ta_2O_5 and La_2O_3 mixed Li_2O - ZrO_2 - SiO_2 glasses. *Physica B*, 406, 3592-3598.
- Sumalatha, B., Omkaram, I., Rao, T.R. ve Raju, Ch. L. (2011). Alkaline earth zinc borate glasses doped with Cu^{2+} ions studied by EPR, optical and IR techniques. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 357, 3143-3152.
- Thulasiramudu, A. ve Buddhudu, S. (2007). Optical characterization of Sm^{3+} and Dy^{3+} : ZnO - PbO - B_2O_3 glasses. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 67, 802-807.
- Villegas, M.A. ve Navarro, J.M.F. (2007). Physical and structural properties of glasses in the TeO_2 - TiO_2 - Nb_2O_5 system. *Journal of the European Ceramic Society*, 27, 2715-2723.
- Wu, J., Xie, C., Hu, J., Zeng, D. ve Wang, A. (2004). Microstructure and electrical characteristics of ZnO - B_2O_3 - PbO - V_2O_5 - MnO_2 ceramics prepared from ZnO nanopowders. *Journal of the European Ceramic Society*, 24, 3635-3641.

Manisa İli'nde Çiftçilerin Tarım İlaçları Kullanımı Konusundaki Bilinç Düzeyi ve Duyarlılıklarının Araştırılması

Mehmet Erdil¹, Osman Tiryaki^{2*}

¹Bitki Koruma Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale, Türkiye

²Bitki Koruma Bölümü, Ziraat Fakültesi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale, Türkiye

Makale Tarihiçesi

Gönderim: 25.11.2019
Kabul: 27.01.2020
Yayın: 22.05.2020

Araştırma Makalesi

Öz – Küresel ısınma ve iklim şartlarının bozulmasından kaynaklı kültür bitkilerinde zararlı organizmalarda artış görülmekte, kimyasal kullanımı da artmaktadır. Bu çalışmanın amacı Manisa İlinde çiftçilerin pestisit kullanımındaki bilinç düzeyi ile duyarlılıklarının araştırılmasıdır. Anket yapılacak çiftçi sayısı 'Oran Ortalamalarına Dayalı Basit Rastgele Örnekleme' yöntemi ile hesaplanarak, 384 çiftçi ile çalışma yapılmıştır. Ankete katılan çiftçilerin %31.2'si 21-30 yıl çiftçilik tecrübesi olduğunu, %53.1 ilkököl mezunu olduğunu, %30.2'si 45-54 yaş aralığında olduğunu belirtmiştir. Çiftçilerin pestisit kullanımı bilinç seviyeleri Likert Skalası uygulayarak hesaplanmış ve %63.8'i yüksek, %25.3'ü orta, %10.9'u düşük bilinç düzeyinde bulunmuştur. Çiftçilerin bilinç düzeyi ile eğitim seviyesi, yaş, çiftçilik deneyimi ve arazi varlığı arasında ilişkinin varlığı da Khi-Kare (χ^2) Bağımsızlık Testi ile araştırılmıştır. Buna göre bilinç düzeyi ile eğitim seviyeleri arasındaki ilişki önemli bulunmuş, bağımsızlık katsayı da 0.344 olarak belirlenmiştir. Eğitim seviyesi arttıkça bilinç düzeyi de artmış ve çiftçilikte tecrübe sahibi ve iyi eğitim almış kişilerin bilinç düzeyleri yüksek çıkmıştır. Bu sonuçla çoğu disiplinde olduğu gibi eğitimin rolünün önemi bir kez daha ortaya çıkmıştır. Çiftçilerin %63.8'i yüksek bilinç düzeyine sahip gözükmekte ise de üreticilerin %60.7'si ilaçlama sonrası kıyafetini değiştirmedeğini, %74.2'si pestisit etiket üzerindeki uyarı ve işaretleri bilmediğini, %63'ü pestisit kullanımı sırasında koruyucu ekipman kullanmadığını belirtmiştir. Çalışmada özel ve resmi tarımsal kurum ve kuruluşların pestisitlerle ilgili çiftçi bilinçlendirmesindeki önemi ortaya çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler – Manisa, pestisit, bilinç düzeyi, çevresel tutum, Likert skalası

Investigation of the Knowledge Level and Awareness of Farmers About Pesticide Usage in Manisa

¹Plant Protection Department, Graduate School of Applied Sciences, Çanakkale Onsekiz Mart University, Çanakkale, Turkey

²Plant Protection Department, Faculty of Agriculture, Çanakkale Onsekiz Mart University, Çanakkale, Turkey

Article History


Received: 25.11.2019
Accepted: 27.01.2020
Published: 22.05.2020

Research Article

Abstract – With the global warming and the climatic deterioration, there is an increase in pests and the use of chemicals are increasing. The aim of this work is to investigate the knowledge level and farmers awareness about pesticide usage in Manisa. The number of farmers to be surveyed was calculated by "Simple Random Sampling Based on Ratio Means" method. The survey was carried out with 384 farmers. 31.2% of the farmers stated that they had 21-30 years of farming experience, 53.1% were primary school graduates and 30.2% were 45-54 years old. The farmers knowledge level on pesticide was calculated by applying Likert Scale. The knowledge level of farmers was high, moderate and low with the percentage of 63.8%, 25.3% and 10.9%, respectively. The Chi-Square (χ^2) test was used to investigate the relationship of farmer's knowledge level with education, age, farming experience and land size. The relationship between the knowledge level and education was significant and coefficient contingency was 0.344. As education level increased, the knowledge level increased and the knowledge level of the people who had experience in farming and well educated was high. With this result, the importance of the role of education, as in most disciplines, has once again emerged. 63.8% of the farmers have a high knowledge level, but 60.7% of the farmers do not change their clothes after spraying, 74.2% don't know the special signs and warnings on pesticide labels, 63% don't use protective equipment during pesticide use. The significance of the effect of private and official agricultural institutions and organizations on farmer awareness about pesticides has emerged.

Keywords – Manisa, pesticide, awareness, environmental attitude, Likert scale.

¹  <http://orcid.org/0000-0001-9286-9624> mehmeteerdil@gmail.com

²  <http://orcid.org/0000-0002-7509-8423> osmantiryaki@yahoo.com

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1.Giriş

Manisa tarımsal üretimi ile Türkiye tarımında önemli bir kenttir. Manisa’da zeytin, kuru ve yaş üzüm, tütün, pamuk, kiraz ve tahıllar gibi bitkisel ürünler üretilmektedir. Bu ürünlerden kalite ve kantite olarak yeterli ürün alabilmek için pestisitlerin kullanımı da kaçınılmazdır. Türkiye’de pestisit tüketimi, yoğun tarımın yapıldığı Akdeniz ve Ege Bölgelerinde daha fazladır. Bu bölgelerde tüketim, Türkiye tüketiminin %34’den fazlasını, bazı yıllarda da %50’sini oluşturmaktadır. Akdeniz ve Ege Bölgeleri, beslenmede önemli rolü olan meyve ve sebzelerin en fazla yetiştirildiği alanlardır (Delen vd., 2005).

Günümüzde bitkilerde görülen hastalık ve zararlı oranlarında artış görülmekte ve buna paralel olarak Türkiye’de pestisit kullanımları artmaktadır (TÜİK, 2019). Türkiye’de pestisit bilinçsiz olarak ya da ticari kaygılardan kaynaklı yanlış kullanılmaktadır. Zararlı organizmalarla (hastalık, zararlı ve yabancı otlar) mücadelede kısa sürede etkili olan ve sonuç alınan yöntemlerin başında kimyasal mücadele gelmektedir. Zararlı organizmalara karşı mücadele metotları içerisinde kimyasal mücadele uygulaması, %95’den fazla bir paya sahiptir. Tarımsal üretimde tarım ilaçları kullanılmaz ise bazı yıllarda %60 oranında kalite ve verim düşüklüğü olmaktadır. Bu nedenle, tarım ilaçlarının kullanılması kaçınılmazdır (Tiryaki vd., 2010). Ancak tarım ilaçlarının hedef dışı organizmalara ulaştığı ve çevre üzerinde de olumsuz etkilerinin bulunduğu göz ardı edilmemelidir. Tarım ilaçlarının sorumsuzca ve kontrolsüz kullanımı, halk sağlığını tehdit sürecini hızlandırmaktadır (Tarakçı vd., 2009). Gelişmiş ülkeler 1980’li senelere kadar üretim artırmak, birim alandan en fazla ürün almak ve girdileri minimize etmek için, tarım politikaları geliştirmişlerdir (Delen vd., 2015; Tiryaki, 2016).

Tarımsal faaliyetlerde bu ilaçların kullanımı, buharlaşarak havaya, yer altı ve yüzeysel sulara ve toprağa karışarak çevre kirliliğine neden olmaktadır. Bu sebeple kirlilikler artmakta ve doğada yaşayan diğer canlılar da olumsuz etkilenmektedir. Pestisitleri, insanlar; solunum sindirim ve temas ederek vücutlarına almaktadırlar. Vücuda giren pestisitler kronik ve akut zehirlenmeler oluşturabilmektedir (Tosun vd., 2001).

Bu olumsuzlukları engellemek için üreticilerde güvenli pestisit kullanımı bilincinin oluşması gerekir (Altıkat vd., 2009). Sürdürülebilir bir çevre için çevredeki doğal kaynakları kullanmada gelecek nesillerin hakkı gözetilerek bu kaynakların korunup değerlendirilmesi amaçlanmalıdır (WCED, 1987). Dünyayı gelecekte bekleyen risklerden korumak için yapılması gereken sürdürülebilir çevre yaklaşımlarını tüm dünyada geçerli kılmaktır.

Pestisitlerin sebep olduğu çevre kirliliğinin önüne geçmek ve pestisit kalıntılarından arı ürün üretebilmek için toplumun bilinç düzeylerinin artırılması ve tarım ilacı uygulayanların eğitilmesi gerekir. Tarım Bakanlığı yaptığı bir düzenleme ile pestisit uygulayanların eğitim alarak pestisit uygulama belgesi almalarını gerekli kılmıştır (Resmi Gazete, 2014). Tarım ilacı kullanımının kalıntı, dayanıklılık ve çevresel riskleri tarım ilacı tüketimini etkileyen unsurlardır. Çiftçilerin tarım ilacı uygularken ve uygulamadan sonraki davranışları söz konusu riskleri karakterize eden faktörlerdir. Bu sebeple üreticilerin tarım ilacı seçimindeki ve kullanımındaki eğitim ve bilinç düzeylerinin belirlenmesi çok önemlidir (Delen vd., 2015).

Türkiye’de üreticilerin tarım ilaçları kullanımı konusunda tutumları davranışları ve çevresel duyarlılıkları ile ilgili birçok çalışma vardır. Peker, (2012), Konya ilinde domates yetiştiriciliğinde tarımsal savaşta pestisit kullanan çiftçilerin çevre bilinçlerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu araştırma domates yetiştiriciliğinin yoğun olarak gerçekleştirildiği Çumra ilçesinde yapılmıştır. Çalışmada kullanılan bilgiler 50 domates çiftçisinden anket metoduyla elde edilmiştir. Araştırma bulgularına göre çiftçilerin %25.91’inin kendi tecrübelerine göre pestisit tercihi yaptıkları belirlenmiştir. Çiftçilerin %40’ının pestisit kalıntısının yıkanma ile yok olacağını düşündüklerini ve %56’sının tarım ilacı uygulamasından sonra pestisit ambalajlarını gelişti güzel çevreye attıklarını tespit etmişlerdir.

Aydın, (2015), yaptığı çalışmada Konya ili Çumra, Ereğli ve Altınekin ilçelerinde fasulye üretiminde, çiftçilerin bitki koruma uygulamalarına yaklaşımlarına araştırmıştır. Bu amaçla 2014 yılında her ilçede fasulye yetiştiriciliği yapan 20 çiftçi ile anket çalışması sonuçlarından yararlanılmıştır. Ele alınan verilere göre az sayıda çiftçi bitki koruma alanındaki önerileri ilgili teknik personellerden alırken, çiftçilerin büyük çoğunluğunun tavsiye edilen doz miktarından fazla ilaç uyguladıkları, ilaçların ve gübrelerin boş atıklarını

imha etmedikleri, ilaçlama ile hasat arasındaki süreye dikkat etmediklerini ve tarım ilacı uygulamaları sırasında koruyucu önlem almadıkları ortaya çıkmıştır

Önen vd., (2015), Adıyaman'ın Çelikhan ilçesinde yapmış oldukları çalışmada, ziraat odasına kayıtlı 900 aktif çiftçi içerisinde, basit rasgele örnekleme metodu ile 385 kişi ile görüşülmesi gerektiği belirlenmiştir. Eryılmaz ve ark. (2018), Samsun ilinde yapmış oldukları çalışmada anket yapılacak kişi sayısını belirlemek için, ana kitle oranlarına dayalı kümelendirilmiş tek aşamalı kolay tesadüfi örnekleme metodu kullanılarak 384 kişiyle görüşülmesi gerektiğini vurgulamışlardır.

Yukarıdaki çalışmalardan başka, üreticilerin tarım ilaçları kullanımı ile ilgili üretici tutumları davranışları ve çevresel duyarlılıkları ile ilgili anket çalışmaları; Antalya'da turuncgil yetiştiricileri ile (Özkan vd., 2003), Isparta'da elma yetiştiricileri ile (Demircan ve Yılmaz, 2005), Bingöl-Adaklı ilçesinde elma yetiştiricileri ile (Çelik ve Karakaya, 2017), Antalya (Akar ve Tiryaki, 2018) ve Bursa'da üreticiler ile (Kumral vd., 2018) yapılmıştır. Ayrıca Özyörük vd., (2019) Manisa-Salihli ve Sarıgöl ilçelerinde zirai ilaç bayilerinin bitki koruma ile ilgili mesleki tutum ve davranışlarının belirlenmesi konusunda anket çalışması yapmışlardır.

Yurtdışında da pestisit kullanıcılarının bilinç düzeyi ile ilgili yapılan çalışmalar vardır. Oluwole ve Cheke, (2009), Nijerya'daki Ekiti Eyaleti'nde çiftçiler ile yapmış oldukları çalışmada 150 kişi ile görüşme sağlamışlar ve görüşme yapılan kişilerin sadece %26'sının okuma yazma bildiğini, okuma yazma bilenlerin sadece %27.3'ünün tarım ilaçları üzerindeki etiket bilgilerini okuduğunu belirtmişlerdir. Sankoh vd., (2016), pestisitler üzerine yapmış oldukları çalışmada katılımcıların %86.4'ünün en az bir tür pestisit kullandığını ve bu pestisitlerin kullanım alanının pirinç üretimi için olduğunu belirtmişlerdir. Çiftçilerin %71'i ise pestisitlerin güvenli kullanımı ile ilgili hiçbir eğitim almadıklarını belirtmişlerdir. Jallow vd., (2017) ise, Kuveyt'de yapmış oldukları çalışmada, üreticilerinin tarım ilaçlarının güvenilir uygulaması hakkında bilgileri ve davranışları araştırılmıştır. 250 çiftçinin %71'i tarım ilaçlarının sağlığa zararı olduğunu, %65'i çevreye zarar verdiğini, %70'i tarım ilaçlarının etiketindeki yazıları okumadığını, %58'inin ilaçlama yaparken koruyucu araç ve malzeme kullanmadıklarını ifade etmişlerdir.

Çalışmamızda Manisa İlinde çiftçilerin tarım ilacı kullanımı ve seçimi konusundaki düşüncelerinin, deneyimlerinin, eğitim ve bilgi düzeyleri ile çevresel duyarlılıkların belirlenmesi amaçlanmıştır. Çiftçilerin pestisitlerin güvenli kullanımı konusundaki bilgi, tutum ve davranışlarını ve saklama koşullarını ortaya koyarak; pestisitlerle ilgili sorunların anlaşılmasına yardımcı olabilmek, bu alanda gerekli eğitim programlarının düzenlenmesine ve koruyucu önlemlerin alınmasına katkıda bulunabilmek hedeflenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

Araştırmada, anket yapılacak üreticiler, 2018-2019 yılında Manisa İlindeki birim alandan en fazla pestisit tüketen 17 ilçede tarım ürünü yetiştiren üreticilerden seçilmiştir. Üreticilerin, tarım ilacı kullanımı ve tarımsal ürünlerin kalıntı konusundaki anket sorularına verdikleri cevaplar çalışmanın ana materyalini oluşturmuştur. İkincil materyal olarak ise çeşitli kitaplar, makaleler, literatür ve raporlardan yararlanılmıştır. Anket formundaki soruların hazırlanmasında Manisa İl Tarım ve Orman Müdürlüğü verilerinden ve Akar ve Tiryaki, (2018), Akbaba, (2010), Kalıpçı vd., (2011) ve Demircan ve Yılmaz, (2005) çalışmalarından faydalanılmıştır. Bunların dışında konu ile ilgili çeşitli kuruluş ve araştırmacılar tarafından yapılan benzer araştırmalardan ve istatistiklerden de yararlanılmıştır. Ankette; çiftçilerin, arazi varlıkları, sosyo-ekonomik durumları, uyguladıkları tarım ilaçlarının kullanım amaçları, hangi dönemde uyguladıkları, uygulama metotları, tarım ilacı tercihine etki eden faktörler, tarım ilaçlarının elde edilme yolları ve tarım ilaçlarının gıdaların güvenilirliğine ve çevresel risklerine etkilerini kapsayan toplam 78 soru sorulmuştur. Üreticilerle yüz yüze görüşme şeklinde yapılan anket çalışmasından resimler Şekil 1'de verilmiştir. Çiftçilere pestisit kullanımı bilinç seviyesini ölçmek için yöneltilen sorulara verdikleri cevaplara üçlü Likert ölçeği ile puan verilmiştir (Likert, 1932).



Şekil 1. Üreticilerle yapılan anket çalışmasından görüntüler

2.1. Örnek Hacminin Belirlenmesi

Bu tür çalışmalarda örnek hacmi, diğer bir ifade ile anket yapılacak çiftçi sayısı, o bölgeyi temsil edebilmelidir. Bunun için de verilerin doğasıyla uyumlu istatistiksel yöntemler kullanılmalıdır (Akar ve Tiryaki, 2018; Cankurt vd., 2010). Neyman yönteminde tabakanın alt ve üst sınırları ile ilgili arazi büyüklüğü gibi, çiftçilere ait özel bilgilere ihtiyaç vardır. Bu özel bilgiler de temin edilememiştir. Manisa ilinde 547737 kişi popülasyonu oluşturmaktadır. Bu popülasyonu temsil edecek örnek hacminin hesaplanmasında oransal yaklaşımdan yararlanılmış, ana kitle oranlarına dayalı kümelenendirilmemiş tek aşamalı basit rastgele örnekleme metodu kullanılmıştır. Bu yaklaşımlar ile çalışmamızda örnek genişliğinin hesaplanmasında “Oran Ortalamalarına Dayalı Basit Rastgele Örnekleme Formülü” (Eşitlik 2.1) kullanılmıştır (Collins, 1986; Miran, 2003; Miran, 2009; Kılıç vd., 2018; Akar ve Tiryaki, 2018). Anket uygulanacak üretici sayısı, 0.05 hata payı (sapma) ve %95 güven aralığı ile 384 olmuştur. P değeri bilinmez ise örnekleme sayısının yüksek çıkabilmesi için 0.5 kabul gören bir değerdir (Collins, 1986; Niyaz ve İnan, 2016; Eryılmaz vd., 2018). Nitekim Kiraz vd., (2012), Eryılmaz vd., (2018) ve Akar ve Tiryaki, (2018)) çalışmalarında aynı yöntemle anket yapılacak üretici sayısı 384 bulunmuştur.

$$n = \frac{(Z_{\alpha/2})^2 \times p \times (1 - p)}{d^2} \quad (2.1)$$

n=Örnek hacmi

$Z_{\alpha/2}$ = istenen güven derecesine karşılık gelen tablo değerini ($Z_{\alpha/2}$), %95 güven aralığı için 1.960

p= üzerinde çalıştığımız özelliğin popülasyondaki oranı (ana kitle oranı) (p=0.5)

d= Ortalamadan sapma, izin verilen hata payı (0.05)

$$n = \frac{(1.960)^2 \times 0.5 \times (1 - 0.5)}{0.05^2} = 384.16$$

İlçelerde anket uygulanacak çiftçi sayısı, o ilçenin köylerinin toplam nüfusa göre oransal dağılımı ile hesaplanmıştır. Benzer yöntemle köylerde anket yapılacak çiftçi sayısı da hesaplanmıştır. Manisa İli'nde anket yapılan çiftçi sayısının ilçelere göre sayı ve yüzde olarak dağılımı Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1
Manisa ilinde anket uygulanan çiftçi sayının ilçelere göre dağılımı

İlçe	İlçedeki Köy Nüfusu Toplamı*	Nüfus Oranı %	Anket Sayılarının İlçeye Göre Dağılımı
Ahmetli	6.012	1.10**	4***
Akhisar	48.329	8.80	34
Alaşehir	58.351	10.65	41
Demirci	22.308	4.07	16
Gölmarmara	5.606	1.02	4
Gördes	17.419	3.18	12
Kırkağaç	17.771	3.24	12
Köprübaşı	8.026	1.47	6
Kula	22.218	4.06	16
Salihli	55.474	10.13	39
Sarıgöl	21.788	3.98	15
Saruhanlı	24.961	4.56	17
Selendi	15.231	2.78	11
Soma	15.115	2.76	10
Şehzadeler	36.705	6.70	26
Turgutlu	22.416	4.09	16
Yunusemre	150.007	27.39	105
Toplam	547.737	99.98	384****

* 2018 yılında nüfus verileri (TÜİK, 2018)

** $(6012 \times 100)/547737 = 1.10$

*** $(6012 \times 384)/547737 = 4.21$; 4

**** Toplam gerçekleşen anket sayısı=384

2.1.1. Verilerin Toplanması ve Analiz Edilmesi

Yapılan anketlerden elde edilen veriler Likert Ölçeği, Khi-Kare Bağımsızlık Testi ile analiz edilmiştir ve istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Veriler oransal olarak da hesaplanarak tablo ve grafikler ile değerlendirilmiştir. Tarım ilacı kullanım bilinç düzeyinin hesaplanması anket sorularının cevaplarına verilen puanlar ile yapılmıştır. Çiftçilerin anket sorularına verdikleri olumlu cevaplardan başlayarak puanlama yapılmıştır. Alınan cevaplar 3'lü Likert Skalası ile (Likert, 1932) gruplandırılmıştır. Bu puanlama doğrultusunda çiftçilerin alacakları en fazla puan 48 olmuştur. Buna göre pestisit kullanımı bilinç düzeylerini belirleyen puan aralıkları şöyledir (Akar ve Tiryaki, 2018);

Max. Puan : 48

Aralık : 0-48

Yüksek seviyede bilinç düzeyi: 34-48 puan

Orta seviyede bilinç düzeyi: 25-33 puan

Düşük seviyede bilinç düzeyi: 0-24 puan

Çiftçilerin tarım ilacı kullanımı bilinç düzeyleri ile diğer parametreler arasında ilişkinin varlığı Khi-Kare (χ^2) Bağımsızlık Testi (Eşitlik 2.2) ile hesaplanmış, P değerleri de bulunmuştur (Hovardaoğlu, 1994; Düzgüneş vd., 1983). Khi-Kare değerlendirmesinde hipotez olarak karşılaştırılan parametreler arasında ilişki yoktur H_0 hipotezi kurulmuştur.

$$\chi^2 = \sum \frac{(Gi - Bi)^2}{Bi} \quad (2.2)$$

χ^2 : Sınıf sayısını

G_i : i. sınıfının gözlemlenen değeri

B_i : i. sınıfının beklenen değeri

Aralarında ilişkisi araştırılan parametreler şöyledir;

Tarım ilacı kullanımı bilinç seviyesi ile eğitim ilişkisi;

Tarım ilacı kullanımı bilinç seviyesi ile yaş ilişkisi

Tarım ilacı kullanımı bilinç seviyesi ile çiftçilik deneyimi ilişkisi

Tarım ilacı kullanımı bilinç seviyesi ile arazi varlığı ilişkisi

Bağımlı bulunan değişkenlerin arasındaki ilişkinin ne derece anlamlı ya da önemli olduğu da Kontingenz (Coefficient of Contingency, CC) yani bağımlılık katsayısı Eşitlik 2.3'e göre hesaplanarak değerlendirilmiştir (Düzgüneş, 1983).

$$CC = \sqrt{\frac{x^2}{N + x^2}} \quad (2.3)$$

CC: Bağımlılık katsayısı

x^2 : Khi-Kare

N: Toplam anket yapılan çiftçi sayısı

3. Bulgular ve Tartışma

Çalışmada üreticilerin demografik durumları oransal olarak hesaplanarak, tablo ve grafikler ile değerlendirilmiştir. Çalışmaya katılan üreticilerin %31.2'si 21-30 yıl çiftçilik tecrübesi olduğunu, %53.1 ilköğretim mezunu olduğunu, %42.4'ü 1-20 da araziye sahip olduğunu ve %30.2'si 45-54 yaş aralığında olduğunu belirtmişlerdir. Üreticilerin çiftçilik deneyimleri ve arazi varlıkları ilgili verilerin en küçük, en büyük ve ortalama değerleri hesaplanmıştır (Tablo 2).

Tablo 2

Çiftçilerin genel özelliklerine ait tanımlayıcı istatistikler

İfade	En küçük	En büyük	Ortalama	Standart sapma
Çiftçilik deneyimi (yıl)	5	45	23	11
Arazi varlığı (da)	5	100	27	21

Üreticilerin pestisitlerin çevreye etkileri konusundaki görüşleri Tablo 3'de verilmiştir. Üreticilerin; %73.7'si pestisitlerin kuşlara zararlı olabileceğini, %71.9'u akarsu ve göllerde kirlilik yapabileceğini, %70.8'i memelilere zararlı olabileceğini, %70.1'i sürüngenlere zararlı olabileceğini ve %67.2'si yararlı böceklere ve arılara zararlı olabileceğini belirtmişlerdir.

Tablo 3
Pestisitlerin çevreye etkileri konusunda çiftçi görüşleri

İfade	Kesinlikle katılıyorum		Kararsızım. görüşüm yok		Kesinlikle katılmıyorum	
	Sayı	%	Sayı	%	Sayı	%
Kuşlarda zarar oluşturur	283	73.7	61	15.9	40	10.4
Göl/akarsularda kirlilik olur	276	71.9	64	16.7	44	11.4
Memelilerde zarar oluşturur	272	70.8	67	17.5	45	11.7
Sürüngenlerde zarar oluşturur	269	70.1	67	17.4	48	12.5
Yararlı böceklerde ve arılarda zarar oluşturur	258	67.2	80	20.8	46	12.0

Üreticilerin, pestisitlerin insan sağlığına etkileri hakkındaki görüşleri de irdelenmiştir (Tablo 4). Çiftçilerin, %69'u pestisitlerin kısa süreli zehirlenme yapabileceğini, %68.5'i kanserojen etkisinin olabileceğini, %66.9'u deri üzerini tahriş edebileceğini ve %62'si de bilmediğimiz bazı hastalıklara sebep olabileceğini belirtmişlerdir.

Akar ve Tiryaki, (2018)'nin çalışmalarında ise üreticilerin %40'ı tarım ilaçlarının çevreye herhangi bir zararlı etkisinin olmayacağını, %66'sı ürünlerinde olası tarım ilacı kalıntılarının kanser oluşturmayacağını, %33.3'ü zararını bildiklerini fakat kullanmak zorunda olduklarını belirtmişlerdir. Kumral vd., (2018) üreticilerin pestisitlerin çevreye ve insana olan olumsuz etkileri bilme oranının %53 olduğunu bildirmişlerdir.

Çiftçilerin uygulama sonrası artan ilaçlı suyu ne yaptıkları da araştırılmıştır (Tablo 5). Üreticilerin %74.2'si artan ilaçlı suyu tarlanın kenarına boşaltmakta, %21.1'i boş bir araziye püskürtmekte, %2.4'ü kanalizasyona dökmekte %1.8'i sulama kanalına ve akarsuya boşaltmakta, %0.5'i diğer yerlere boşaltmaktadır.

Tablo 4
Üreticilerin insan sağlığına pestisitlerin etkileri konusunda görüşleri

İfade	Kesinlikle katılıyorum		Kesinlikle katılmıyorum		Kararsızım görüşüm yok	
	Sayı	%	Sayı	%	Sayı	%
Kısa süren zehirlenme yapar	265	69.0	42	10.9	77	20.1
Kanserojen etkisi olur	263	68.5	47	12.2	74	19.3
Deri üzerini tahriş eder	257	66.9	43	11.2	84	21.9
Bilmediğimiz bazı hastalıklara sebep olur	238	62.0	31	8.1	115	29.9

Tablo 5
Çiftçilerin artan ilaçlı su ile ilgili davranışları

İfade	Sayı	%
Bahçede bir kenara dökme	285	74.2
Boş bir araziye püskürtme	81	21.1
Kanalizasyona dökme	9	2.4
Sulama kanalı/akarsuya boşaltma	7	1.8
Diğer	2	0.5
Toplam	384	100.0

Boş ilaç kaplarının akıbeti konusunda, katılımcıların %68.5'i kapları yaktığını, %19'u poşetleyerek çöp kutusuna attığını, %6.3'ü çevreye attığını, %4.9'u tekrar kullandığını, %1.3'ü de toprağa gömdüğünü belirtmişlerdir (Tablo 6). Akar ve Tiryaki, (2018), üreticilerin %55'inin boşalan ilaç kutularını yakarak imha ettiklerini, Akbaba, (2010) çiftçilerin %61.1'inin depolayıp daha sonra yaktıklarını, Tuna vd., (2012)

üreticilerin %32.9'u yakarak ya da gömerek imha ettiklerini, Çelik ve Karakaya, (2017) da üreticilerin %50'sinin bir yerde depolayarak daha sonra yaktıklarını belirtmişlerdir.

Tablo 6

Boş ilaç kutularını/ambalajlarını imha etme yöntemleri

Davranış	Sayı	%
Yakarak imha etme	263	68.5
Çöpe atma	73	19.0
Çevreye atma	24	6.3
Tekrar kullanma	19	4.9
Toprağa gömme	5	1.3
Toplam	384	100.0

Çiftçilerin pestisit kalıntısı hakkındaki görüşleri de ele alınmıştır (Tablo 7). Çiftçilerin %40.1'i bazı pestisitlerin kalıntı bırakabileceğini, %26.6'sı pestisit kalıntılarının yıkanma ile kaybolacağını, %21.6'sı kalıntı bırakmayacağını, %11.7'si pestisit kalıntısı hakkında bilgisinin olmadığını belirtmişlerdir. Özkan vd., (2003) çalışmalarında çiftçilerin %70.4'ü ürünlerde tarım ilacı kalıntısı olabileceğini belirtmişlerdir. Akar ve Tiryaki, (2018) ise çalışmalarında çiftçilerin %23.3'ü kalıntılarının yıkanma ile giderileceğini, %24.9'u kalıntı kalmayacağını, %34.1'i bazı ilaçların kalıntısı olabileceğini, %17.7'si kalıntı konusunda bilgilerinin olmadığını açıklamışlardır.

Tablo 7

Üreticilerin pestisit kalıntıları konusunda görüşleri

İfade	Sayı	%
Bazı tarım ilaçlarının kalıntısı olabilir	154	40.1
Kalıntı yıkama ile yok olur	102	26.6
Kalıntı bırakmaz	83	21.6
Pestisit kalıntıları konusunda bir düşüncem yok	45	11.7
Toplam	384	100.0

Ayrıca üreticilerin zararlı organizmalara karşı, %97.9'u kimyasal mücadeleyi %2.1'i de biyolojik mücadeleyi uyguladıklarını belirtmişlerdir. Çiftçilerin %44.6'sı su ile hastalık bulaşması veya yabancı ot gözlemlediğini belirtirken, %33.3'ü gözlemlemediğini belirtmişlerdir. Çiftçilerin uygulamada ilaç dozunu belirlemede %63.8'i tarım ilaç bayilerinin önerilerine, %19.0'ı tarım ilacı ambalajı bilgilerine, %9.4'ü tarım il ve ilçe müdürlüğü yetkililerin tavsiyelerine göre, %5.7'si kendi bilgi ve tecrübelerine, %1.3'ü komşu ve akrabaların önerilerine ve %0.8'i internet, radyo ve televizyon programlarına göre karar verdiklerini belirtmişlerdir. Üreticilerin %44.0'ü ilaçlama zamanını belirlemede ilaç bayilerinden yararlandıklarını ve %54.4'ü ilaç seçiminde zirai ilaç bayilerinin tavsiyelerine uyduğunu belirtmiştir. İlaç uygulama zamanını belirlemede Akar ve Tiryaki (2018)'nin çalışmalarında üreticilerin %42.1'i, Tanrıvermiş, (2000), çalışmasında ise %40.2'si tarım ilacı bayilerinden yararlanmışlardır. Benzer olarak Kalıpçı vd., (2011)'nin belirttiklerine göre çiftçilerin %33.3'ü ilaç dozunu belirlemede zirai ilaç bayilerinin tavsiyelerine uymaktadırlar. Akar ve Tiryaki, (2018) çiftçilerin %83.3'ünün hastalık zararlı ve yabancı otlarla kimyasal mücadele yaptığını, %46.8'inin su ile hastalık bulaşması veya yabancı ot gözlemlemediğini, %42.1'inin ilaçlama zamanını belirlemede tarım ilacı bayilerinden yararlandığını %71.4'ünün ilaç dozunu ayarlama ilaç bayilerin önerilerine uyduğunu belirtmişlerdir.

Üreticilerin %64,3 ü hastalık, zararlı ve yabancı ot görülmediği zaman ilaçlama yapmadığını belirtmiştir. Akar ve Tiryaki, (2018)'in çalışmasında bu oran %54.5, Kumral vd., (2018)'nin çalışmalarında %66'dır. Özkan vd., (2003)'e göre çiftçilerin %74.15'i ilaçlamayı herhangi bir zararlı organizma görüldüğünde yapmaktadır. Tanrıvermiş, (2000) ise üreticilerin %78.75'inin herhangi bir zararlı organizma görülmeden ilaçlama yaptıklarını belirtmiştir. Çiftçilerin ilacı alırken ruhsatlı olmasına dikkat etme oranları, çalışmamızda, Akbaba, (2010) ve Akar ve Tiryaki, (2018)'nin araştırmalarında, sırasıyla, %81.3, %81.5 ve

%71.2 olarak bulunmuştur. Son kullanma tarihlerine üreticilerin dikkat etme oranı çalışmamızda %83.9, Tanrıvermiş, (2000)'in çalışmasında %93.75 ve Akar ve Tiryaki, (2018)'nin çalışmasında %79.1, olarak bulunmuştur. Bu çalışmada çiftçilerin pestisit seçiminde yararlandıkları kaynaklar da araştırılmış, üreticilerin %54.4'ü ilaç seçiminde zirai ilaç bayilerinin önerilerine uymuştur. Bu değerler ve Özkan vd., (2003), Kalıpcı vd., (2011) ve Akar ve Tiryaki (2018) tarafından sırasıyla, %42.78, %35.8 ve %66.9 olarak bulunmuştur.

Ankete katılan çiftçilerin %71.4'i tarım ilacını zirai ilaç bayilerinden temin ettiğini belirtmişlerdir. Bu oran Tanrıvermiş, (2000), Akbaba, (2010), Cevizci vd., (2012) ve Akar ve Tiryaki, (2018) çalışmalarında, sırasıyla, %81.25, %89.90, %47.90 ve %92.10 olarak bulunmuştur. Çiftçilerin ilaç seçiminde ilacın etkili olmasına dikkat etme oranı, bu çalışmamızda ve Akar ve Tiryaki (2018)'nin çalışmasında, sırasıyla %85.7 ve %77.8'dir. Çiftçilerin tarım ilaçlarının etkisizlik sebebini, %50.8'i etken madde yetersizliğine, %15.3'ü doz ayarlaması yapamamaya, %16.5'i bitkinin dayanıklılık gösterdiğine bağlamışlardır.

Çiftçilerin pestisit uygulamaya karar verirken, %82.8'ü bitki koruma probleminin yaygınlık durumuna, %17.2'si pestisit fiyatına ve ilaçlamanın maliyetine bakmaktadır. Kalıpcı vd., (2011) ve Akar ve Tiryaki, (2018)'nin çalışmalarında bu oranlar, sırasıyla, %64.1, %32.5, ve %89.4, %10.6 olarak bulunmuştur.

Üreticilerin %59.9'u tarım ilaçlarını depolarında, %25.5'i özel bir dolapta, %5.7'si ahır ve hayvan barınağında, %4.4'ü özel bir odada rafta, %2.9'u tarım ilacını evin herhangi bir yerinde depoladıklarını belirtmişlerdir. Çelik ve Karakaya, (2017) ile Akar ve Tiryaki (2018)'nin çalışmalarında bu oranlar, sırasıyla, %35, %50, %15 %57.7 ve %22, %5, %4, %1.3 olarak bulunmuştur.

Çiftçilerin %15.4'ü PHI'ne (son ilaçlama ile hasat arasında olması gereken süre) dikkat etmediğini belirtmiştir. Çiftçilerin, %59.1'i ise maksimum kalıntı limiti (MRL) kavramını duymadıklarını belirtmiştir. Akar ve Tiryaki (2018) çalışmalarında çiftçilerin %12.7'si PHI değerine dikkat etmediğini, %65.6'sı MRL kavramını duymadıklarını belirtmişlerdir.

Çiftçilerin tarım ilacı kullanımı bilinç seviyesi üçlü Likert Ölçeği ile alınan cevaplara puan verilerek hesaplanmıştır. Üreticilerin %63.8'i yüksek, %25.3'ü orta, %10.9 u da düşük bilinç düzeyine sahiptir (Tablo 8). Kızılaslan ve Kızılaslan, (2005) ve Akar ve Tiryaki, (2018)'nin çalışmalarında bu oranlar, sırasıyla, %23.53, %49.02, %27.45 ve %58.2, %28.3, %13.5 şeklinde bulunmuştur.

Manisa İlinde üreticilik yapan çiftçilerin pestisit kullanım bilinç düzeyi ile aldıkları eğitim süreleri, çiftçilerin yaşları, çiftçilik deneyimi süreleri ve arazi varlıkları arasında bir ilişkinin olup olmadığı da araştırılmıştır. Üreticilerin eğitim durumlarına göre pestisit kullanım bilinç düzeyi Tablo 8'de verilmiştir. Uygulanan Khi-Kare testine göre bu 2 parametre arasındaki ilişki önemli bulunmuştur. Bağımlılık katsayısı da Eşitlik 2.3'e göre 0.29 olarak hesaplanmıştır. Eğitim seviyesi arttıkça üreticilerin pestisit kullanım bilinç düzeyleri de artmaktadır. En yüksek bilinç seviyesi de (%84.0) üniversite mezunlarında çıkmıştır.

Tablo 8

Çiftçilerin eğitim durumlarına göre pestisit kullanım bilinç düzeyleri

Eğitim	Pestisit Kullanım Bilinç Seviyesi						Toplam		Tüm anket bazında %
	Yüksek		Orta		Düşük		Sayı	%	
	Sayı	%	Sayı	%	Sayı	%			
Okur, yazar değil	6	22.2	9	33.3	12	44.5	27	100	7.1
Okuryazar	14	46.7	11	36.7	5	16.6	30	100	7.8
İlkokul	132	64.7	53	26.0	19	9.3	204	100	53.1
Ortaokul	35	77.8	8	17.8	2	4.4	45	100	11.7
Lise ve dengi okul	35	70.0	12	24.0	3	6.0	50	100	13.0
Üniversite	21	84.0	3	12.0	1	4.0	25	100	6.5
Lisansüstü	2	66.7	1	33.3	0	0.0	3	100	0.8
Genel Toplam	245	63.8	97	25.3	42	10.9	384	100	100.0

$$\chi^2=51.54$$

$$SD=12 \quad P=0.29$$

$$H_0:\text{Hipotezi red}$$

Çiftçilik deneyim süresi ve bilinç düzeyleri ile ilgili veriler Tablo 9'da verilmiştir. Khi-Kare testine göre üreticilerin çiftçilik deneyim yılları ile pestisit bilinç düzeyleri arasında bir ilişki yoktur. Ancak 31-40 yıl aralığında (orta seviyede tecrübeye sahip) ise en yüksek bilinç düzeyi (%78.8) bulunmuştur. Akar ve Tiryaki,

(2018) ise çiftçilik deneyimi süresi ile tarım ilacı kullanımı bilinç seviyesi arasındaki ilişki önemli bulunmuştur.

Tablo 9

Çiftçilik deneyimi sürelerine göre pestisit kullanım bilinç düzeyleri

Çiftçilik Deneyimi (yıl)	Pestisit Kullanım Bilinç Seviyesi								Tüm anket bazında %
	Yüksek		Orta		Düşük		Toplam		
	Sayı	%	Sayı	%	Sayı	%	Sayı	%	
1-10	32	59.3	17	31.5	5	9.3	54	100	14.1
11-20	47	57.3	24	29.3	11	13.4	82	100	21.3
21-30	71	59.2	36	30.0	13	10.8	120	100	31.3
31-40	78	78.8	12	12.1	9	9.1	99	100	25.8
41+	17	58.6	8	27.6	4	13.8	29	100	7.5
Genel Toplam	245	63.8	97	25.3	42	10.9	384	100	100.0
	$\chi^2=14.92$		SD=8	P=0.39		H ₀ =Hipotez kabul			

Çalışmamızda ve Akar ve Tiryaki, (2018)'nin çalışmalarında çiftçilerin pestisit kullanım bilinç düzeyi ile yaş durumları ve arazi varlıkları arasında istatistiki olarak önemli bulunmamakla birlikte en yüksek bilinç düzeyi (%69.8) orta yaş grubunda (45-54) bulunmuştur.

4. Sonuçlar

Bu anket çalışmasında üreticilerin yaş, çiftçilik deneyim süreleri ve arazi varlıklarının büyüklüğü ile pestisit kullanımı bilinç düzeyi arasında bir bağlantı bulunamamıştır. Ancak üreticilerin tarım ilacı kullanımı bilinç düzeyi ile eğitim süreleri ile arasında ilişkinin önemli olduğu bulunmuştur. Çiftçilikte tecrübe sahibi ve iyi eğitim almış kişilerin bilinç düzeyleri yüksek çıkmıştır. Bu sonuçla çoğu disiplinde olduğu gibi eğitimin rolünün önemi bir kez daha ortaya çıkmıştır. Diğer verilerden de şu sonuç çıkartılabilir; birçok çiftçi tarım kuruluşları ve zirai ilaç bayilerine güvenerek tarımsal faaliyetlerini ve ilaçlamalarını yürütmektedirler. Bu nedenle Ziraat Odalarına ve Tarım ve Orman Bakanlığı teknik teşkilatlarına bu konuda önemli görevler düşmekte, üreticileri bilinçlendirmek ve eğitmek için yapılan çalışmaların amacına ulaşması için hassas davranmaları gerekmektedir.

Teşekkür

Çalışmanın yürütülmesi sürecinde yardımlarından dolayı Esra ERDİL'e teşekkür ederiz. Bu makale Mehmet ERDİL'in yüksek lisans tez çalışmasının bir bölümüdür.

Yazar Katkıları

Mehmet ERDİL: Veri toplamış, değerlendirmesini yapmış ve makaleyi yazmıştır.

Osman TİRYAKİ: Veri analizi ve istatistiksel değerlendirme yapmış, makaleyi düzenlemiştir.

Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

Kaynaklar

- Altıkat, A., Turan, T., Torun, F.E. (2009). Türkiye'de pestisit kullanımı ve çevreye olan etkileri. *Atatürk Üniv Ziraat Fak Derg.*,40 (2):87-92.
- Akar, Ö., Tiryaki, O. (2018). Antalya ili'nde üreticilerin pestisit kullanımı konusunda bilgi düzeyi ve duyarlılıklarının araştırılması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 13 (1):60-70.

- Akbaba, B. Z. (2010). *Adana İli turunçgil yetiştiriciliği ve insektisit kullanımının değerlendirilmesi*. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 80s.
- Akpınar, T., Özyıldırım, K. (2016). Trakya Bölgesi'nde tarımsal faaliyette bulunan çiftçilerin iş sağlığı ve güvenliği açısından değerlendirilmesi. *Çalışma ve Toplum* 3: 1231-1270.
- Aydın, S. (2015). *Konya ili fasulye üreticilerinin bitki koruma uygulamalarına yaklaşımlarının belirlenmesi* Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enst. Bitki Koruma Anabilim Dalı, Türkiye.
- Cankurt, M., Miran, B., Şahin, A. (2010). Sığır eti tercihlerini etkileyen faktörlerin belirlenmesi üzerine bir araştırma izmir ili örneği. *Hayvansal Üretim*, 51(2): 16-22.
- Cevizci, S., Bakar, C. (2012). *Çanakkale Gelibolu'da tarım ilaçlarının kontrolsüz ve güvensiz kullanımı* ss,220-222. 1. Tarım Sağlığı ve Güvenliği Sempozyumu, 6-7 Nisan 2012, Şanlıurfa
- Collins, M. (1986). Sampling (Editör: R.Worcester ark. 1986). *Consumer market research handbook*.
- Çelik, A., Karakaya E. (2017). Bingöl ili Adaklı ilçesi elma üreticilerinin tarımsal ilaç kullanımında bilgi tutum ve davranışlarının değerlendirilmesi ve ekonomik analizi. *Türk Tarım Doğa Bilimleri Dergisi*, 4 (2): 119-129.
- Delen, N., Tosun, N., Toros, S., Öztürk, S., Yücel, A., Çalı, S. (1995). *Tarım ilaçları kullanımı ve üretimi* Türkiye Ziraat Mühendisliği IV. Teknik Kongresi, T.C. Ziraat Bankası Kültür Yayınları 26: 1015-1028.
- Delen, N., Durmuşoğlu, E., Güncan, A., Güngör, N., Turgut, C., Burçak, A.(2005). *Türkiye'de pestisit kullanım kalıntı ve duyarlılık azalışı sorunları* Türkiye Ziraat Mühendisliği 6 ıncı Teknik Kongresi, 3-7 Ocak 2005, 629-648.
- Delen, N., Tiryaki, O., Türkseven, S., Temur, C. (2015). *Türkiye'de pestisit kullanımı kalıntı ve dayanıklılık sorunları, çözüm önerileri* ss, 758-778. Türkiye Ziraat Müh. VIII. Teknik Kongresi, 12-16 Ocak 2015, Türkiye.
- Demircan, V., Yılmaz, H. (2005). Isparta ili elma üretiminde tarımsal ilaç kullanımının çevresel duyarlılık ve ekonomik açıdan analizi, *Ekoloji* 14 (57): 15-2.
- Düzgüneş, O., Kesici, T., Gürbüz, F. (1983). *İstatistik metodları*. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, 861, Ders Kitabı:229. Türkiye, 218s.
- Eryılmaz, G.A., Kılıç, O., Başer, U. (2018). Gıda güvenliği konusunda tüketici davranışlarının belirlenmesi Samsun ili kentsel alan örneği. *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 4(2): 237-245.
- Hovardaoğlu, S. (1994). *Davranış bilimleri için istatistik*, Hatiboğlu Yayınları No: 79. Türkiye, 365s.
- Jallow, M.F.A., Awadh, D.G., Albaho, M.S., Devi, V.Y, Thomas, B.M. (2017). Pesticide knowledge and safety practices among farm workers in kuwait: results of a survey. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14,340. DOI:10.3390/ijerph14040340.
- Kalıpçı, N., Özdemir, C., Öztaş, H. (2011). Çiftçilerin pestisit kullanımı ile ilgili eğitim ve bilgi düzeyi ile çevresel duyarlılıklarının araştırılması. *Tübvav Bilim Dergisi*, 4 (3),179-187.
- Kara, A., (1987). Zirai mücadelede erken uyarının önemi. *Hasad Dergisi*, 23, 24-25.
- Kılıç, B., Uzundumlu, A.S., Tozlu, G. (2018). Fındık üretiminde kimyasal ilaç kullanımının çevresel duyarlılık yönünden incelenmesi. giresun ili örneği, *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Derg.* 5(4): 396-405.
- Kiraz, E.D.E., Ergin, F., Serter, E., Karakaya, Ş. (2012). *Tarım işgücünde pestisit etkilenimi aydın farkındalık çalışması*, ss, 158-164. 1. Tarım Sağlığı ve Güvenliği Sempozyumu, 6-7 Nisan 2012, Şanlıurfa
- Kumral, N.A., Balta, P., Özdemir, B. N., Uludağ, G. ve Şahin, S. (2018). *Bursa ilinde çiftçilerin pestisitleri uygulama davranışları üzerine bir survey çalışma*. Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi 10. Tomurcuk Şenliği, Tarım ve Gıda Öğrenci Kongresi, 7-8 Mayıs 2018, Bursa
- Miran, B. (1996). *Çok amaçlı karar alma yöntemiyle salihli ve ahmetli yöresinde tarımsal ilaçların optimum kullanımı üzerine bir araştırma* E. Ü. Araştırma Fonu Saymanlığı Proje No: 93 ZRF 047, Türkiye.
- Miran, B. (2003). Temel istatistik Ege Üniversitesi Basımevi, ISBN 975-9308800 Bornova, Türkiye.
- Niyaz, Ö.C., İnan, H.İ. (2016). TR22 Güney Marmara Bölgesindeki tüketicilerin süt ve süt ürünleri tüketim düzeylerinin belirlenmesi. *ÇOMÜ Zir. Fak. Derg.*, 2016: 4 (2): 7-13.

- Oluwole, O., Cheke, R.A. (2009). Health and environmental impacts of pesticide use practices a case study of farmers in ekiti state, nigeria. *International Journal of Agricultural Sustainability* 7(3): 153–163.
- Önen, C., Avcı, S., Güneş, G. (2015). Çiftçilerin tarım ilaçlamasında kullandığı koruyucu sağlık önlemleri. *Turk J Public Health*, 13(2): 147-154.
- Özkan, B., Akçagöz, H.V., Karadeniz, C.F. (2003). Antalya ilinde turuncgil üretiminde tarımsal ilaç kullanımına yönelik üretici tutum ve davranışları. *Anadolu Dergisi*, 13 (2): 103-116.
- Özyörük, A., Erbek, E., Arslan, Ü. (2019). Manisa ili Salihli ve Sarıgöl ilçelerindeki zirai ilaç bayilerinin mesleki tutum ve davranışları ve üreticiler ile ilgili gözlemleri. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 22: 126-133.
- Peker, E.A (2012). Konya ili domates üretiminde tarımsal ilaç kullanımına yönelik çevresel duyarlılık analizi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2(1): 47-54.
- Resmi Gazete, (2014). *Bitki koruma ürünlerinin önerilmesi, uygulanması ve kayıt işlemleri hakkında yönetmelik Gıda Tarım ve Hayvancılık Bak.* 3 Aralık 2014, 29194.
- Sankoh, A.I., Whittle, R., Semple, K.T., Kones, K.C., Sweetman, A.J. (2016). An assessment of the impacts of pesticide use on the environment and health. *Environment International*, 94: 458-466.
- Sataloğlu, N., Aydın, B., Turla, A. (2007). Pesticide poisoning. *TAF Prev Med Bull* ; 6(3):169–174.
- Tanrıvermiş, H. (2000). *Orta Sakarya Havzası'nda domates üretiminde tarımsal ilaç kullanımının ekonomik analizi*. Ankara Üniversitesi. Proje Raporu 2000-4.
- Tarakcı, Ü., Türel, İ. (2009). Halk sağlığı amaçlı kullanılan pestisitlerin (biyosidal) güvenilirlik standartlarının karşılaştırılması. *Van Vet J.* 20(1):11–18.
- Tiryaki, O. (2016). Türkiye’de yapılan pestisit kalıntı analiz ve çalışmalar. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 32(1):72-82.
- Tiryaki, O., Canhilal, R., Horuz, S. (2010). Tarım ilaçları kullanımı ve riskleri. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 26 (2):154-169.
- Tosun, N., Karabay, N.Ü., Sayım, F. (2001). Pesticide usage and their potential adverse impacts on living organisms. *Anadolu J AARI* 11(1):113–125.
- Tuna, R.Y., Gün, İ., Ceyhan, O. (2012). Çiftçilerin pestisitleri saklama koşulları ve güvenli kullanımı konusunda bilgi, tutum ve davranışları ss, 155-157. 1. Tarım Sağlığı ve Güvenliği Sempozyumu, 6-7 Nisan 2012, Şanlıurfa.
- Turabi, M.S. (2004). *Türkiye Cumhuriyeti’nde tarımsal ilaç, teşkil ve ruhsat sistemi* Tarımsal İlaçlar ve Organik Tarım Konf., KTMMOB ZMO, 9 Haziran 2004, Türkiye.
- TÜİK, (2019). Tarımsal ilaç kullanımı. http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1001 Erişim tarihi, 10 Eylül 2019
- WCED, (1987). *World commission on environment and development, our common future the brundtland report* Oxford University Press, Oxford.
- Yücel, A., Çıkman, E., Yücel, M. (1995). *Güneydoğu Anadolu Bölgesi (GAP) uygulamaya konulmadan önce Harran ovasında çiftçinin tarımsal mücadeleye bakışı*. GAP Bölgesi Bitki Koruma Sorunları ve Çözüm Önerileri Sempozyumu, 27-29 Nisan 1995, Türkiye, s: 53-65.

Eksik Hidrolojik Verilerin Simbiyotik Organizmalar Arama Algoritması ile Tahmini

Kemal Saplıoğlu^{1,*}, Tülay Suğra Küçükerdem Öztürk¹, Fatih Ahmet Şenel²

¹İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye

²Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye

Makale Tarihiçesi

Gönderim: 03.10.2019

Kabul: 05.02.2020

Yayın: 22.05.2020

Araştırma Makalesi

Öz – Su kaynakları proje ve planlamalarının en etkili şekilde yapılabilmesi için düzenli olarak verilerin toplanması ve bu verilerin analiz edilmesi gerekmektedir. Ancak gerek maddi gerekse teknik nedenlerden dolayı bazı alanlarda veriler düzenli olarak toplanamamaktadır. Bu durum ise eksik veri problemini beraberinde getirmektedir. Eksik veri problemi su kaynaklarının planlanmasında, projelendirilmesinde ve yönetiminde birtakım sorunlar meydana getirmektedir. Bu problemin çözümü için ölçüm yapılan istasyona benzer nitelikteki diğer istasyon verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Eksik verilerin tamamlanması için literatürde çok farklı çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada ise Türkiye'nin Yeşilirmak nehri üzerinde bulunan ölçüm istasyonları kullanılmıştır. Çalışmada Symbiotic Organisms Search (SOS) algoritması yardımı ile 3 farklı fonksiyon optimize edilmiştir. Ayrıca optimize edilen fonksiyonlar yapay sinir ağları, normal oran metodu ve çoklu regresyon yöntemlerinden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Oluşturulan modellerden elde edilen sonuçlar Mallows's Cp ile test edilmiş ve sonuçların kabul edilebilir düzeyde olduğu görülmüştür. Yapay sinir ağları ile oluşturulan 6 adet modelin sonuçları ise normal oran metodu ve çoklu regresyona göre daha iyi sonuç vermesine rağmen Symbiotic Organisms Search optimizasyon yöntemi kadar başarılı olamamıştır. Yapay sinir ağları modellerinden en iyisi de bu çalışma için 8 nöronlu olarak tespit edilmiştir. Çalışmada SOS olmadan oluşturulan modellerin hata değerlerinin %3-%4 seviyelerinde olduğu, SOS ile optimize edilen fonksiyon sonuçlarının diğer yöntemlere göre daha iyi olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler – Eksik veriler, simbiyotik organizmalar arama algoritması, Yeşilirmak nehri, tahminleme

Estimation of Missing Hydrological Data by Symbiotic Organisms Search Algorithm

¹Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Suleyman Demirel University, Isparta, Turkey

²Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Suleyman Demirel University, Isparta, Turkey

Article History

Received: 03.10.2019

Accepted: 05.02.2020


Published: 22.05.2020


Research Article

Abstract – In order for water resources projects and planning to be made in the most effective way, data must be collected and analyzed regularly. However, due to financial and technical reasons, data cannot be collected regularly in some areas. This situation brings with it the missing data problem. The missing data problem poses some problems in planning, designing and managing water resources. For the solution of this problem, other station data similar to the station under measurement is needed. Many different studies have been conducted in the literature to complete the missing data. In this study it was used measuring station located on Turkey's Yesilirmak river. In the study, 3 different functions were optimized with the help of Symbiotic Organisms Search (SOS) algorithm. In addition, the optimized functions were compared with the results obtained from artificial neural networks, normal ratio method and multiple regression methods. The results obtained from the models created were tested with Mallows's Cp and the results were found to be acceptable. Although the results of 6 models created with artificial neural networks give better results than the normal rate method and multiple regression, Symbiotic Organisms Search was not as successful as the optimization method. The best of artificial neural network models was found to be 8 neurons for this study. In the study, it was observed that the error values of the models created without SOS were at the level of 3% 4%, and the results of the functions optimized with SOS were better than other methods.

Keywords – Missing data, symbiotic organisms search, Yesilirmak river, estimating

¹  <http://orcid.org/0000-0003-0016-8690> kemalsaplioglu@sdu.edu.tr

²  <http://orcid.org/0000-0002-1102-1718> tulaykucukerdem@sdu.edu.tr

³  <http://orcid.org/0000-0003-1918-7277> fatihsenel@sdu.edu.tr

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1. Giriş

İklim değişiklikleri ile birlikte artan çevresel problemlerin başında kullanılabilir su kaynaklarının azalması gelmektedir. Bu durum sınırlı bir kaynak olan suyun kullanımının planlanmasını önemli hale getirmektedir. Su kaynakları potansiyelinin belirlenmesinde doğal olaylar büyük rol oynamaktadır. Tabiat olayları çok uzun yıllardır devam etmesine rağmen bu olaylar ile ilgili kayıtlar sınırlıdır. Geçmiş tarihlere ait veriler; iklim koşullarının güçlüğü, ulaşım şartlarının zorluğu veya teknolojik yetersizlikler gibi sebeplerle bazı durumlarda kayıt altına alınamamıştır. Su kaynaklarının planlanması ve yönetiminde belirli hidrolojik verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Planlama ve yönetim çalışmaları bu veriler üzerinden yapılacağı için; verilerin, uzun süreli ve eksiksiz olmasının önemi büyüktür. Fakat çoğu zaman çeşitli sebeplerle ölçüm yapılamayan alanlarda eksik veriler oluşmaktadır. Verilerdeki bu kesinti, su kaynaklarının etkili bir şekilde planlanması, projelendirilmesi ve yönetiminde sorun haline gelmektedir (Önöz, 2015). Eksik verilerin tamamlanması ve gelecek planlaması amacıyla ileriye dönük tahminlerin yapılması da su kaynakları ve hidrolojik çalışmalar için önemlidir (Şen, 2004).

Eksik verilerin tamamlanması ve ileriye dönük tahminler yapmak için literatürde çeşitli yöntemlerin önerildiği farklı çalışmalar mevcuttur (Elshorbagy, Simonovic ve Panu, 2002; Partal, 2007; Yurdusev, Acı, Turan ve İçağa, 2008; Mwale, Adeloje ve Rustum, 2012; Bardossy ve Pegram, 2014; Tencaliec, Favre, Prieur ve Mathevet, 2015). Bu çalışmalar incelendiğinde; yapay sinir ağları, regresyon analizi ve zaman serisi analizi en çok kullanılan yöntemler olarak karşımıza çıkmaktadır.

Yapay sinir ağlarının, su kaynakları ve hidrolojik verilerin tahmininde kullanıldığı çok sayıda çalışma mevcuttur. Yıldırım ve Kandemir (2018), çalışmalarında yapay sinir ağları ile çok sayıda farklı modeller kurarak yağış miktarını tahmin etmeye çalışmışlar, elde ettikleri sonuçları çoklu doğrusal regresyon analizi sonuçları ile kıyaslamışlardır. Yapay sinir ağları ile kurdukları modellerin çoklu doğrusal regresyon analizi sonuçlarına göre daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Benzer bir çalışmada Turhan ve Çağatay (2016), Asi nehri için akım verilerini tahmin etmede ileri beslemeli geri yayımlı yapay sinir ağları modeli ile çoklu doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon modellerini kıyaslamışlar ve yapay sinir ağları modelleri ile daha başarılı sonuçlara ulaştıklarını belirtmişlerdir. Gümüş ve Kavşut (2013), çalışmalarında ileri beslemeli geri yayımlı, radyal tabanlı ve genelleştirilmiş regresyon yapay sinir ağları yöntemlerini kullanarak modelleme yapmışlar ve yapay sinir ağı yöntemlerinin birbirine yakın sonuçlar vermekle birlikte, ileri beslemeli geri yayımlı yapay sinir ağı modelinden daha başarılı sonuçlar elde ettiklerini ifade etmişlerdir.

Regresyon modellerinden faydalanılarak yapılan bir çalışmada Tosunoğlu, İspirli, Gürbüz ve Şengül (2017), Fırat havzasında eksik akım verilerini regresyon modelleri ve debi süreklilik çizgileri kullanarak tahmin etmeye çalışmışlar, her iki yöntem ile de iyi sonuçlar elde etmelerine rağmen kurulan regresyon modellerinin daha başarılı sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Bakış ve Göncü (2015), çalışmalarında Zap suyu havzasındaki istasyonlarda eksik verileri tamamlamak için bir regresyon analizi uygulamışlardır. Çalışma sonucunda istasyonlardaki eksik veri sayısının az olduğu durumlarda elde ettikleri sonuçların başarılı olduğunu, eksik veri sayısının fazla olduğu durumlarda güvenilir sonuçlar elde etmenin daha zor olduğunu ifade etmişlerdir.

Eksik verilerin tahmin edilmesinde zaman serileri analizi kullanımı söz konusu olduğunda ise, ülkemizde kısıtlı sayıda çalışma bulunmakla birlikte dünya genelinde fazla sayıda çalışma bulunmaktadır (Salas, 1993; Boakye ve Schultz, 1994). Beauchamp, Downing ve Railsback (1989), nehir akışını tahmin etmede regresyon modeli ve zaman serisi teknikleri kullanmışlar, eksik verilerin tahmininde zaman serisi modeli kullanmanın kabul edilebilir düzeyde doğru sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Ayrıca eksik verilerin tahmini için Devlet Su İşleri tarafından da kullanılan normal oran metodu sıklıkla kullanılmıştır (Bayazit, 2013; İsmail ve Zin, 2017).

Bu çalışmada Türkiye'nin Yeşilirmak nehrinde yer alan 5 adet istasyon kullanılmıştır. İstasyonlara ait aylık akım verileri Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) kayıtlarından elde edilmiştir. Bu veriler yardımıyla 1402 nolu istasyonun verileri 1401,1412,1413 ve 1414 nolu istasyonlar yardımı ile elde edilmeye çalışılmıştır. Symbiotic Organisms Search (SOS) algoritması yardımı ile optimize edilecek 3 farklı fonksiyon

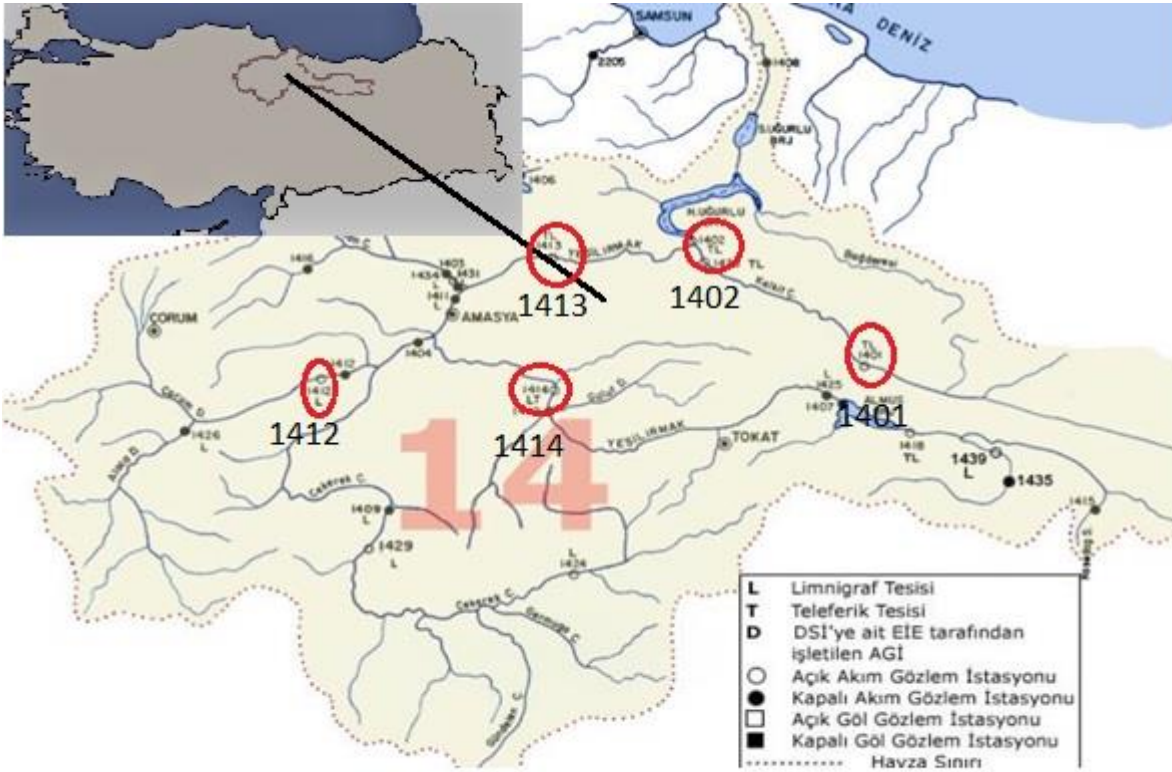
kullanılmıştır. Ayrıca bu fonksiyonların yanı sıra çoklu regresyon ve normal oran metodu ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Çalışmanın bu bölümünün ilk kısmında Yeşilirmak nehri ve kullanılan istasyonlar hakkında bilgi ve istatistiksel değerlendirme yapılacaktır. İkinci kısmında ise çalışmada kullanılan klasik yöntem, çoklu regresyon metodu ve Symbiotic Organisms Search ile ilgili bilgiler verilecektir. Ayrıca Symbiotic Organisms Search algoritmasında kullanılan fonksiyonlar gösterilecektir.

2.1. Çalışma Alanı ve Veriler

Yeşilirmak havzası $39^{\circ} 30'$ ile $41^{\circ} 21'$ enlemleri ve $34^{\circ} 40'$ ile $39^{\circ} 48'$ boylamları arasında bulunan Türkiye'deki 25 havzadan biridir (Şekil 1). Adını Yeşilirmak Nehri'nden alan havzadaki ana nehir kanalının uzunluğu 519 km'dir. Yeşilirmak Nehri'nin başlıca kolları Kelkit, Çekerek, Çorum Çat ve Tersakan derelelidir. Yaklaşık 3 873 280 ha olan havza, Türkiye'deki üçüncü en büyük havzadır (Kuruç, Yürekli ve Öztürk, 2005).



Şekil 1. Yeşilirmak havzası yer bulunduru haritası (E.İ.E., 2003)

Çalışmada Yeşilirmak nehrine ait 1401, 1402, 1412, 1413 ve 1414 nolu istasyonlar kullanılmıştır. İstasyonlara ait tanımlayıcı istatistik bilgileri Tablo 1'de bu istasyonların arasındaki akım verilerinin birbiri ile olan Spearman-Rank korelasyon katsayıları ise Tablo 2'de özetlenmiştir. E.İ.E (Elektrik İşleri Etüd İdaresi) tarafından açılan istasyonlardan 5 tanesi bu çalışmada kullanılmak üzere seçilmiştir. Tüm istasyonlardaki ölçümler için ortak dönem olan 1957-2012 su yılları arası aylık ortalama debi değerleri kullanılmıştır. Bu yıllardan 1957-2000 yılları arasındaki toplam 504 adet veri eğitim için geri kalan yıllara ait 132 veri ise test aşaması için ayrılmıştır. Eğitim ve test aşamasına ait istatistiksel özellikler Tablo 1, Tablo 2 ve Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 1
İstasyon ait eğitim verilerinin tanımlayıcı istatistiği

	1401	1412	1413	1414	1402
Ortalama	70.66	7.35	63.90	25.69	151.33
Standart Hata	3.42	0.38	2.38	0.87	5.58
Standart Sapma	76.81	8.55	53.52	19.53	125.23
Varyans	5899.65	73.09	2864.77	381.54	15682.93
Basıklık	3.46	5.31	3.13	5.28	2.54
Çarpıklık	1.90	2.12	1.64	1.88	1.54
Aralık	443.77	59.08	347.53	136.54	751.50
En Büyük	5.23	0.02	2.47	2.46	13.50
En Küçük	449.00	59.10	350.00	139.00	765.00
Toplam	35611.66	3705.22	32204.54	12946.99	76271.80
Sayı	504	504	504	504	504
Güvenirlilik Düzeyi (%95)	6.72	0.75	4.68	1.71	10.96

Tablo 2
İstasyon ait test verilerinin tanımlayıcı istatistiği

	1401	1412	1413	1414	1402
Ortalama	60.25	3.49	38.02	14.74	125.04
Standart Hata	3.59	0.36	2.98	0.76	6.64
Standart Sapma	41.26	4.09	34.29	8.68	76.26
Örnek Varyans	1702.67	16.75	1175.48	75.31	5815.13
Basıklık	2.09	5.87	2.97	3.69	0.92
Çarpıklık	1.44	2.16	1.88	1.85	1.34
Aralık	200.80	23.90	156.44	45.10	317.70
En Küçük	12.20	0.00	4.56	4.60	42.30
En Büyük	213.00	23.90	161.00	49.70	360.00
Toplam	7952.70	460.43	5018.68	1945.62	16505.00
Sayı	132	132	132	132	132
Güvenirlilik Düzeyi	7.10	0.70	5.90	1.49	13.13

Tablo 3
İstasyonlardan alınan eğitim verilerinin arasındaki debiler arası korelasyon katsayıları

	1401	1412	1413	1414	1402
1401	1.000				
1412	0.532	1.000			
1413	0.650	0.871	1.000		
1414	0.320	0.322	0.400	1.000	
1402	0.897	0.766	0.882	0.338	1.000

2.1.1. Normal Oran Metodu

Bu yöntemde her bir veri setinin yıllık ortalama değeri alınır. Verisi tamamlanacak istasyona ait veriler, bu istasyona ait ortalama debinin diğer istasyonlara oranı ile elde edilen katsayılar yardımı ile hesaplanır. Bu katsayılar ile istasyonların verileri ile çarpılır ve toplamları mevcut istasyon adedine bölünür (Ismail ve Zin, 2017).

$$Q_e = (Q_1 * \frac{Q_{e(ort)}}{Q_{1(ort)}} + Q_2 * \frac{Q_{e(ort)}}{Q_{2(ort)}} + \dots + Q_n * \frac{Q_{e(ort)}}{Q_{n(ort)}}) / n \quad (2.1)$$

Burada Q debi miktarını n ise tahmin için kullanılan istasyon adedini ifade eder.

2.1.2. Çoklu Regresyon Analizi

Birbirleriyle sebep-sonuç ilişkisi içinde bulunan iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi çözümlenmek ve bu ilişkiyi matematiksel anlamda modellemek için yapılan istatistiksel analize regresyon analizi denir. Bu analiz sonucunda elde edilen modelde bağımlı değişken bağımsız değişkenin bir fonksiyonu olarak ifade edilerek regresyon denklemi oluşturulur. Regresyon denklemi değişkenler arasındaki bağımsız değişkenlerde meydana gelecek bir birimlik artışın bağımlı değişkende getireceği değişimi ve kurulan fonksiyon biçimi hakkında bilgi verir. Regresyon analizi için iki değişken inceleniyorsa basit regresyon analizi, daha fazla değişken inceleniyorsa çoklu regresyon analizi olarak adlandırılır (Sun ve Trevor, 2018).

$$Y = a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_kX_k + U \quad (2.2)$$

Burada Y bağımlı (tahmin edilen) değişkeni, X bağımsız (açıklayıcı) değişkeni, a kısmi regresyon katsayılarını k girdi parametresi sayısını ve U hata terimini ifade etmektedir.

Çoklu doğrusal regresyon analizinin uygulanabilmesi için verilerin normal dağılım sergilemesi, bağımsız değişkenlerle bağımlı değişken arasındaki ilişkinin doğrusal olması ve her bir bağımsız değişken için hataların varyansının sabit olması gereklidir (Hair, Black, Babin ve Anderson, 2009).

2.1.3. Simbiyotik Organizmalar Arama Algoritması

Bir probleme en uygun çözümü bulmak için son yıllarda sezgisel yöntemler kullanılmaktadır. Sezgisel yöntemler iyiye çok yakın çözümler sunan, çözüm süresini oldukça kısaltan yöntemlerdir. Gerçek hayatta her gün kullandığımız bu yaklaşımlar genel olarak doğadaki olaylardan esinlenir (Özdemir, Aydemir, Olgun ve Mulbay, 2016; Çatal ve Saplıoğlu, 2018; Uzundurukan ve Saplıoğlu, 2019).

Her ne kadar yalnız yaşayan organizma türleri olsa da güvenlik ve yardım gibi konular nedeniyle organizmalar çoğunlukla ortak bir yaşamı paylaşırlar. Bazı durumlarda zorunlu bir ortak yaşam olabildiği gibi, organizmaların çıkarları için kendileri de ortak bir yaşamı tercih etmektedirler. Organizmalar arasındaki bu birlikte yaşam üç farklı şekilde gerçekleşebilmektedir. Bunlar; karşılıklı fayda birlikteliği (mutualizm), tek taraflı birliktelik (kommensalizm) ve asalaklık (parazitizm)'dir.

Simbiyotik Organizmalar Arama algoritması (SOS), Cheng ve Prayogo tarafından 2014 yılında geliştirilmiş güçlü bir sezgi ötesi optimizasyon algoritmasıdır (Cheng ve Prayogo, 2014). SOS, doğada yaşayan organizmaların hayatta kalmak için birbirleri ile olan etkileşimlerinden esinlenilerek geliştirilmiş ve literatürde farklı problemlerin çözümünde kullanılmıştır (Baysal ve Altas, 2017; Çelik ve Öztürk, 2017). SOS başlangıçta bir grup organizmanın rasgele oluşturulduğu bir ekosistem ile başlatılmaktadır. Her bir organizma aday çözümleri temsil etmekte ve uygunluk değerleri adaptasyon derecelerini ifade etmektedir. Başka diğer optimizasyon algoritmalarında da olduğu gibi, SOS algoritmasında da organizmaların yaşamlarını sürdürebilmesi için biyolojik etkileşim adımları bulunmaktadır. SOS algoritması mutualizm, kommensalizm ve parazitizm adımları olmak üzere üç adımdan oluşmaktadır.

Mutualizm adımı, birliktelik kuran organizmaların her ikisinin de karşılıklı olarak fayda elde ettikleri adımdır. Ekosistemdeki i . organizma (X_i) ile ekosistemden rasgele seçilen j . organizma (X_j)'nın fayda sağlayacakları bir ilişkinin kurulduğu aşamadır. Bu aşamada X_i ve X_j organizmaları için yeni aday çözümler üretilmektedir. Denklem 2.3, 2.4 ve 2.5'te gösterildiği şekilde aday çözümler oluşturulmaktadır (Çelik ve Öztürk, 2017).

$$X'_i = X_i + rand(0,1) * (X_{eniyi} - MV * BF_1) \quad (2.3)$$

$$X'_j = X_j + rand(0,1) * (X_{eniyi} - MV * BF_2) \quad (2.4)$$

$$MV = \frac{X_i + X_j}{2} \quad (2.5)$$

Burada, BF_1 ve BF_2 katsayıları sırasıyla i . ve j . bireylerin ilişkiden elde edeceği fayda faktörünü ifade etmektedir. BF_1 ve BF_2 katsayıları 1 veya 2 olarak rasgele seçilmektedir. MV değeri mutual_ vektör olarak adlandırılmakta ve organizmalar arasındaki ilişki karakteristiğini ifade etmektedir. Mutualizm adımı, üretilen yeni aday bireylerinin (X'_i ve X'_j) uygunluk değerleri eğer eski bireylerin (X_i ve X_j) uygunluk değerlerinden daha iyi ise, yeni aday bireyler ile eski bireyler yer değiştirmektedir. X_{eniyi} değeri ise en iyi adaptasyon sağlamış olan bireyi temsil etmektedir.

SOS algoritmasının kommensalizm adımı, ekosistemdeki organizmalardan biri fayda sağlarken diğeri herhangi bir fayda veya zarar sağlamamaktadır. Ekosistemdeki bir X_i organizmasına fayda sağlayacak X_j organizması rasgele olarak seçilmektedir. Denklem 2.6'da gösterildiği gibi X_i organizmasının yeni aday çözümü hesaplanmaktadır.

$$X'_i = X_i + rand(-1,1) * (X_{eniyi} - X_j) \quad (2.6)$$

Denklem 2.4'ten görüldüğü üzere X_j organizması hiçbir şekilde etkilenmemektedir. X'_i yeni aday organizmanın uygunluk değeri daha iyi olursa, mevcut X_i organizması yeni aday organizma ile değiştirilerek bu adım gerçekleştirilir.

Simbiyotik Organizmalar Arama Algoritması

```

1: Başlangıç ekosistemini rasgele olarak belirle
2: while Durdurma kriteri? do
3:   for  $i \leftarrow 1$  to  $eko_{boyut}$  do
4:     for  $i \leftarrow 1$  to  $eko_{boyut}$  do
5:        $f(X_i)$   $\triangleright$  Organizmaların uygunluk değerlerini hesapla
6:     end for
7:      $X_{eniye}$ 'yi belirle
8:     //Mutualizm aşaması
9:      $X_i$  organizmasından farklı  $X_j$  organizmasını rasgele seç
10:     $[X'_i, X'_j] = mutualizm(X_i, X_j, X_{eniye})$   $\triangleright$  Adayları oluştur
11:    if  $f(X'_i) < f(X_i)$  then
12:       $X_i = X'_i$ 
13:    end if
14:    if  $f(X'_j) < f(X_j)$  then
15:       $X_j = X'_j$ 
16:    end if
17:    //Kommensalizm aşaması
18:     $X_i$  organizmasından farklı  $X_j$  organizmasını rasgele seç
19:     $X'_i = kommensalizm(X_i, X_j, X_{eniye})$   $\triangleright$  Adayı oluştur
20:    if  $f(X'_i) < f(X_i)$  then
21:       $X_i = X'_i$ 
22:    end if
23:    //Parazitizm aşaması
24:     $X_i$  organizmasından farklı  $X_j$  organizmasını rasgele seç
25:     $X_i$  organizmasının parazitini ( $P_{X_i}$ ) oluştur
26:    if  $f(P_{X_i}) < f(X_j)$  then
27:       $X_j = P_{X_i}$ 
28:    end if
29:  end for
30: end while

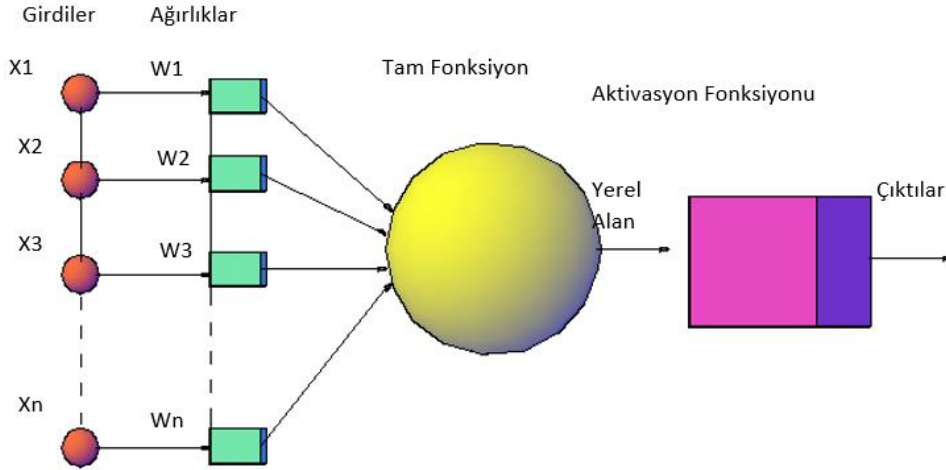
```

Şekil 2. Simbiyotik organizmalar arama algoritması

Parazitizm aşamasında bir organizma diğer organizma tarafından zarara uğratılmaktadır. X_i organizmasının bazı parametrelerinde rasgele değişiklikler yapılarak X_i organizmasının paraziti (P_{X_i}) oluşturulmaktadır. Daha sonra ekosistemden zarara uğratılacak olan organizma (X_j) rasgele olarak seçilmektedir. P_{X_i} ve X_j organizmalarının uygunluk değerleri hesaplanarak karşılaştırılır. Eğer P_{X_i} organizmasının uygunluk değeri daha iyi ise, X_j organizması ekosistemden çıkarılarak yerine P_{X_i} organizması yerleştirilir. Böylece X_j organizması bu birliktelikten ekosistemden ayrılarak zarar etmiş olmaktadır (Şekil 2).

2.1.4. Yapay Sinir Ağları

Yapay Sinir Ağı (YSA) canlı yapılarından ilham alınan biyolojik sinir ağlarından etkilenmiş programdır (Avcar ve Saplıoğlu, 2015). YSA kendisine verilen veri setindeki girdi ve çıktılar arasında bir ilişki kurmaya çalışan bu işlemi de bir takım öğrenme algoritmaları ile yürütmeye çalışan bir modeldir. En büyük dezavantajı verilen verileri ezberleyerek verilere göre ağırlık atmasıdır. Böyle bir durumda gerçek öğrenme olup olmadığını anlayabilmek için verilerin en az % 20 lik kısmı test için ayrılır ve hiçbir şekilde eğitime katılmaz. Test verilerinin de iyi sonuç vermesi modelin doğruluğu hakkında bir fikir verebilir.



Şekil 3. YSA model örneği (Avcar ve Saplıoğlu, 2015)

Birçok sinir ağı modeli vardır. Bazıları diğerlerinden daha fazla tercih edilmektedir ve en çok tercih edileni ise Geri Yayılım Modelidir. Bu modelin tahmin ve sınıflandırma süreçlerinde iyi sonuçlar verdiği tecrübe edilmiştir (Elmas, 2003).

Geril Yayılımlı Sinir Ağı lineer olmayan ve çok karmaşık yapıdaki problemleri çözümedeki üstünlüğünden ve kabiliyetinden dolayı çokça tercih edilen modeldir. Geril Yayılımlı Sinir Ağı, Geril Besleme Algoritmaları tarafından eğitilmiş çok katmanlı ve ileri beslemeli sinir ağıdır (Chandwani, Agrawal ve Nagar, 2015). Bu model girdileri ve sonuçları tekrar tekrar işler ve bu operasyonu kullanarak, model en küçük kareler hatalarını en aza indirmeye çalışır.

3. Bulgular ve Tartışma

Çalışmada Yeşilirmak havzasında yer alan 5 adet istasyondan yararlanılmıştır. 1957-2012 su yılları arasındaki aylık akım verilerinden 504 tanesi eğitim 132 tanesi ise test aşamasında kullanılmıştır. 5 istasyon içerisinde en mansapta bulunan 1402 nolu istasyonun verileri, diğer 4 istasyonun verileri kullanılarak tahmin edilmeye çalışılmıştır. Çalışmada 3 farklı fonksiyonun SOS ile optimizasyonu sağlanarak bu fonksiyonlara ait katsayılar belirlenmiştir. Ayrıca bu 3 fonksiyonun yanı sıra modelleri, çoklu regresyon ve normal oran metodu da kullanılarak tahmin modelleri oluşturulmuş ve SOS ile optimize edilen fonksiyonlarla kıyaslanmıştır.

Normal oran metodunda kullanılan (Denklem 1) katsayılar istasyonlara ait uzun dönem ortalamaları dikkate alınarak oluşturulmaktadır. Bu çalışmada bu katsayıların uzun dönem ortalamaları yerine sezgisel optimizasyon tekniklerinden olan SOS ile yapılması düşünülmüştür. Optimize edilecek fonksiyonlar oluşturulurken normal oran metodunun oluşturulma mantığı temel alınmıştır (Denklem 3.1). Temel alınan bu birinci fonksiyonu iyileştirebilmek içinse taban akışını temsilen bir sabit sayı (Denklem 3.2) ve fonksiyonun sonucunu (Denklem 3.3) oluşturulmuştur. Oluşturulan bu denklemler eğitim verileri yardımı ile SOS kullanılarak optimize edilmiştir.

$$Q_{1402} = X_1 * Q_{1401} + X_2 * Q_{1412} + X_3 * Q_{1413} + X_4 * Q_{1414} \quad (3.1)$$

$$Q_{1402} = X_1 * Q_{1401} + X_2 * Q_{1412} + X_3 * Q_{1413} + X_4 * Q_{1414} + C \quad (3.2)$$

$$Q_{1402} = (X_1 * Q_{1401} + X_2 * Q_{1412} + X_3 * Q_{1413} + X_4 * Q_{1414} + C)^m \quad (3.3)$$

Çoklu regresyon (Denklem 2) ve Normal oran metodu (Denklem 1) yöntemleri için elde edilen denklemler de Denklem 3.4 ve Denklem 3.5 de gösterilmiştir.

$$Q_{1402} = 0.93 * Q_{1401} + 0.941 * Q_{1412} + 1.119 * Q_{1413} + 0.363 * Q_{1414} + 16.521 \quad (3.4)$$

$$Q_{1402} = 2.14 * Q_{1401} + 20.59 * Q_{1412} + 2.37 * Q_{1413} + 25.68 * Q_{1414} \quad (3.5)$$

Denklem 3.1, 3.2 ve 3.3 'un SOS yöntemiyle optimize edilmesi ile elde edilen katsayılar Tablo 4' de gösterilmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken bir nokta ise Tablo 3'de verilen korelasyonu en düşük olan 1414 nolu istasyonu SOS ile yöntem dikkate almamış ve katsayısını 0 olarak tespit etmiştir.

Tablo 4
SOS ile optimize edilmiş denklem katsayıları

	X_1	X_2	X_3	X_4	C	m
Denklem 3.1	0.9855	0.1914	1.2024	0		
Denklem 3.2	0.9825	0.2632	1.7712	0	1.302	
Denklem 3.3	1.2435	0.5067	1.4027	0	0	0.9632

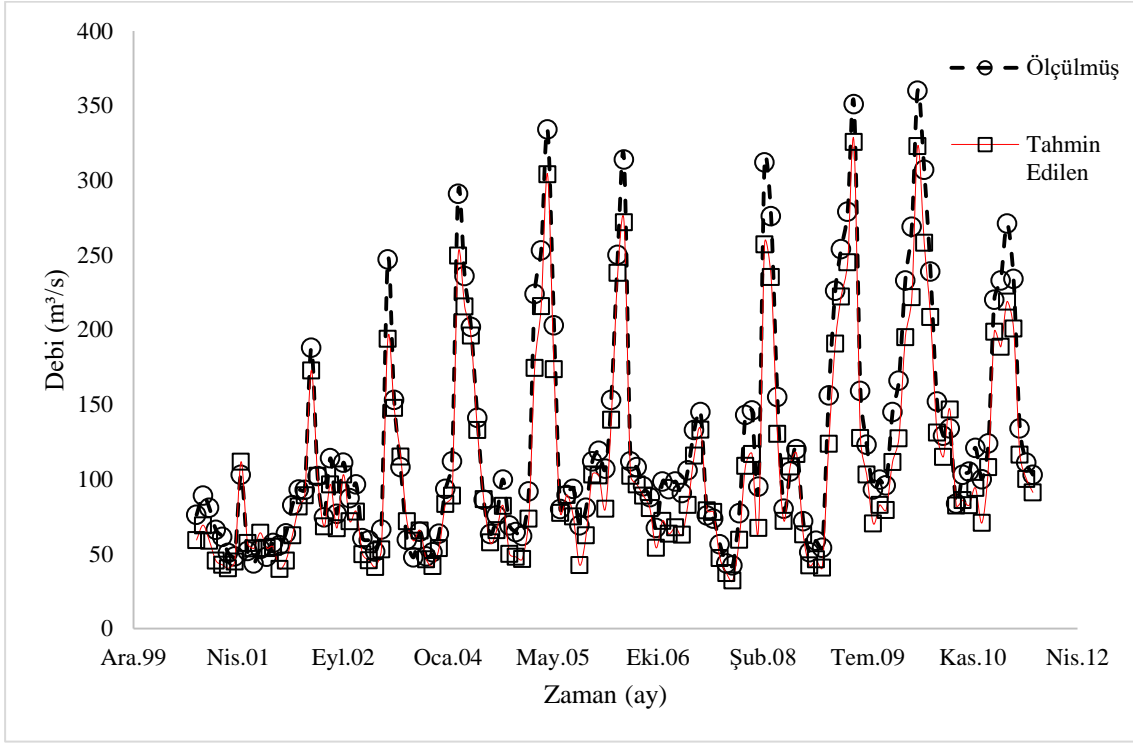
Elde edilen sonuçlar ve bu sonuçlara göre elde edilmiş değerlerin hem eğitim hem de test verileri için R^2 değerleri ile ortalama karesel hataları Tablo 5' de verilmiştir. Bu sonuçlara göre SOS ile oluşturulmuş tüm fonksiyonlar ile yapılan tahminlerin diğer iki yöntemle göre çok daha iyi olduğu görülmüştür. Optimize edilen bu üç denklemden ise Denklem 3.3 ile yapılan tahminlerin diğer optimize edilen denklemlere göre çok farklı olmadığı ancak diğerlerine oranla %0.5 ila %0.7 arasında bir doğruluk sağlamıştır.

Tablo 5
Elde edilen sonuçların karşılaştırılması

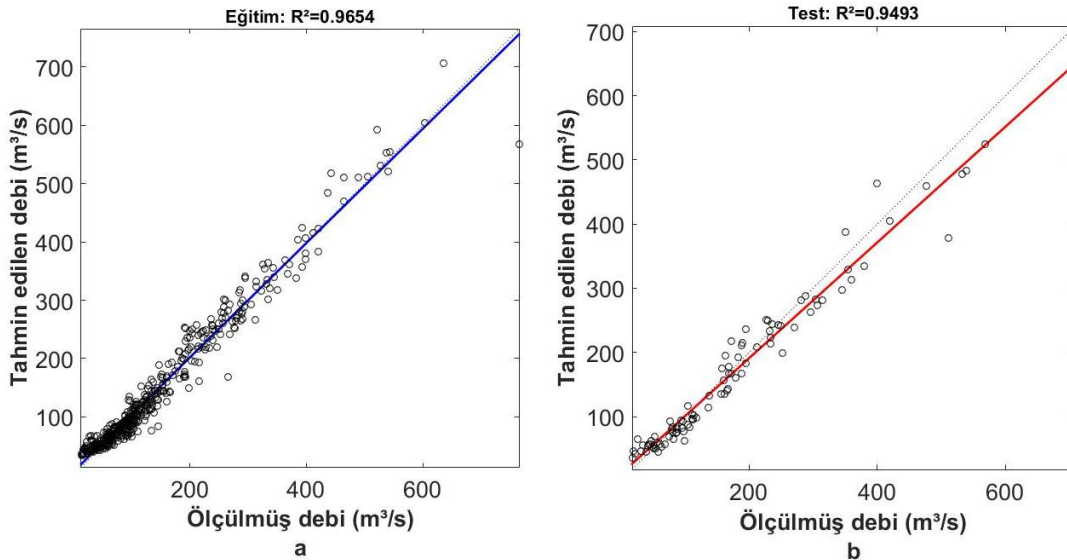
	Eğitim			Test		
	R^2	Adj R^2	OKH	R^2	Adj R^2	OKH
Denklem 3.1	0.9601	0.9598	0.043	0.9773	0.9766	0.0388
Denklem 3.2	1.0000	1.000	0.0461	1.0000	1.000	0.0364
Denklem 3.3	0.9997	0.9997	0.0360	0.9996	0.9996	0.0311
5 N. YSA	0.9435	0.9433	0.0481	0.9332	0.9328	0.0492
6 N. YSA	0.9502	0.9498	0.04752	0.9435	0.9432	0.05221
7 N. YSA	0.9632	0.9625	0.04685	0.9598	0.9593	0.05132
8 N. YSA	0.9654	0.9651	0.04621	0.9641	0.9637	0.04728
9 N. YSA	0.9621	0.9617	0.04681	0.9603	0.9599	0.04792
10 N. YSA	0.9618	0.9614	0.04793	0.9594	0.9591	0.05345
Çoklu Reg.	0.8809	0.8923	0.0566	0.9212	0.9058	0.0566
N.Oran Met.	0.8932	0.8800	0.01035	0.9086	0.9187	0.0750

Denklem 3.3 ile elde edilen debi gidiş çizgisi ile ölçülen debi gidiş çizgisi kıyaslandığında özellikle diğer yöntemlerde hataların yoğunlaştığı maksimum debilerde hata oranının oldukça az olduğu görülmektedir (Şekil 4). Yapılan çalışmada oluşturulan 6 farklı nöron sayısına sahip YSA modelleri (5,6,7,8,9,10 nöronlu) ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde tüm YSA modellerinin çoklu regresyon modelinden ve normal oran

metodundan daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür (Tablo 5). Ancak tüm YSA modellerinin de Denklem 3.2 ve Denklem 3.3 den elde edilen sonuçlar kadar başarılı olmadığı da tespit edilmiştir. YSA modelleri içerisinde en verimli modelin ise 8 nöronlu model olduğu söylenebilir (Şekil 5). Ayrıca hem eğitim hem test verilerinin P değerleri 0 olarak tespit edilmiştir. Ayrıca Mallows Cp değeri tüm modellerde 2 çıkmıştır. Karşılaştırmalar 2 parametre ile yapıldığından sonuçların kabul edilebilir olduğu düşünülmüştür.



Şekil 4. Test verileri debi gidiş çizgisi ile Denklem 9'dan elde edilen debi gidiş çizgisinin karşılaştırılması



Şekil 5. a) 8 nöronlu YSA modeli eğitim verileri saçılım diyagramı b) 8 nöronlu YSA modeli test verileri saçılım diyagramı

4. Sonuçlar

Küresel ısınma ve nüfus artışı sebebiyle suya olan talebin artmasından dolayı proje planlama çalışmalarının optimum şekilde yapılması gerekmektedir. Optimum bir analiz yapabilmek ise doğru ve güvenilir veri ile mümkün olabilmektedir. Ancak bazen fiziki ve maddi şartlar verilerin eksik alınmasına

veya hiç alınamamasına sebep olmaktadır. Bu çalışma, eksik olan akım verilerinin ölçüm yapılan diğer istasyonlar yardımı ile tamamlanması üzerine yapılmıştır. Bu amaçla Yeşilirmak nehri üzerinde mevcut olan 5 adet istasyondan faydalanılmıştır. Bu istasyonlardan bir tanesinin verileri diğer 4 istasyondan alınan veriler yardımı ile tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bunun için literatürde mevcut çoklu regresyon ve normal oran metodunun yanı sıra çalışmada 3 farklı fonksiyon kullanılmış ve bu fonksiyonların katsayılarının tespitinde ise sezgisel bir optimizasyon tekniği olan SOS algoritmasından faydalanılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, SOS algoritması yardımı ile optimize edilen 3 fonksiyondan elde edilen sonuçların tamamının 6 farklı YSA modelinin yanı sıra hem çoklu regresyon hem de normal oran metoduna göre çok daha iyi olduğu görülmüştür. Ayrıca bu 3 fonksiyon irdelendiğinde düzeltme katsayılı fonksiyonun diğerlerine oranla %0.1-%0.7 arası daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Ancak çalışmada kullanılan 3 fonksiyonun tamamının hata değerleri %3-%4 aralığındadır. Bu nedenle bu fonksiyonlar ve bu fonksiyonları optimize etmek için kullanılan SOS algoritmasının eksik akım verilerinin tahmininde kullanılabileceği, hatta yeni açılmış istasyonların geçmişe yönelik verilerinin tamamlanmasında da kullanılabileceği düşünülmüştür. Çalışmada elde edilen sonuçlar göstermektedir ki; sezgisel optimizasyon tekniklerinden olan SOS algoritması bu fonksiyonların optimize edilmesi için iyi sonuçlar vermesine karşın en iyi sonucu verecek başka optimizasyon tekniklerinin olabileceği de unutulmamalıdır. Bu nedenle çalışmanın diğer optimizasyon teknikleri ile de denenmesinin yararlı olabileceği düşünülmektedir.

Yazar Katkıları

Kemal SAPLIOĞLU: Analiz planlamış, matlab yazılımı ve istatistiksel karşılaştırma yapmıştır.

Tülay Suğra KÜÇÜKERDEM ÖZTÜRK: Literatür taramış ve YSA modelini kurmuştur.

Fatih Ahmet ŞENEL: Optimizasyon modelini kurmuştur.

Çıkar Çatışması

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

Kaynaklar

- Avcar, M. ve Saphioğlu, K. (2015). An artificial neural network application for estimation of naturel frequencies of beams. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 6(6), 94-102.
- Bakış, R. ve Göncü, S. (2015). Akarsu debi ölçümlerinde eksik verilerin tamamlanması: Zap suyu havzası örneği. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknolojisi Dergisi A- Uygulamalı Bilimler ve Mühendislik*, 16(1):63-79.
- Bardossy, A. ve Pegram, G. (2014). Infilling missing precipitation records- A comparison of a new copula-based method with other techniques. *Journal of Hydrology*, (519), 1162-1170.
- Bayazıt, M. (2013). *Hidroloji*. İstanbul: Birsen Yayınevi.
- Baysal, YA. ve Altas, IH. (2017). Power quality improvement via optimal capacitor placement in electrical distribution systems using symbiotic organisms search algorithm. *Mugla Journal of Science and Technology*, 3(1) ,64-68.
- Beauchamp, JJ. Downing, DJ. Ve Railsback, SF. (1989). Comparison of regression and time-series methods for synthesizing missing streamflow records. *Journal of the American Water Resources Association*, 25(5), 961-975.
- Chandwani, V. Agrawal, V. ve Nagar, R. (2015). Modeling slump of ready mix concrete using genetic algorithms assisted training of artificial neural networks. *Expert Systems with Applications*, 42(2), 885-893.
- Cheng, M. ve Prayogo, D. (2014). Symbiotic Organisms Search: A new metaheuristic optimization Algorithm. *Computers and Structures*, (139), 98-112.
- Çatal, Y. ve Saphioğlu, K. (2018). Comparison of adaptive neuro-fuzzy inference system, artificial neural networks and non-linear regression for bark volume estimation in Brutian Pine (*Pinus brutia ten.*) *Applied Ecology and Environmental Research*, 16(2), 2015-2027.
- Çelik, E. ve Öztürk, N. (2017). Doğru akım motor sürücülerini için PI parametrelerinin simbiyotik

- organizmalar arama algoritması ile optimal ayarı. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 10(3), 311-318.
- E.İ.E. (2003). Elektrik İşleri Etüd İdaresi
- Elmas, Ç. (2003). *Yapay sinir ağları (Kuram, mimari, eğitim, uygulama)*. Ankara: Seçkin Yayınevi.
- Elshorbagy, A. Simonovic, SP. ve Panu, US. (2002). Estimation of missing streamflow data using principles of chaos theory. *Journal of Hydrology*, (255),123-133.
- Gümüş, V. ve Kavşut, ME, (2013). Zamanti Nehri-Ergenüşağı istasyonu eksik aylık akım verilerinin tahmini. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part:C*, 1(2), 81-91.
- Hair, JF. Black, WC. Babin, BJ. ve Anderson, RE. (2009). *Multivariate data analysis*. Pearson Education.
- Ismail, WNW. ve Zin, WZW. (2017). Estimation of rainfall and stream flow missing data for Terengganu, Malaysia by using interpolation technique methods. *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 13(3), 213-217.
- Kuruç, A. Yürekli, K. ve Öztürk, F. (2005). Effect of discharge fluctuation on water quality variables from the Yeşilirmak river. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 11(2), 189-195.
- Mwale, FD. Adeloye, AJ. ve Rustum, R. (2012). Infilling of missing rainfall and streamflow data in the Shire river basin, Malawi- A self organizing map approach. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 50(52), 34-43.
- Özdemir, G. Aydemir, E. Olgun, MO. ve Mulbay, Z. (2016). Forecasting of Turkey natural gas demand using a hybrid algorithm. *Energy Sources Part B- Economics Planning and Policy*, 11(4), 295-302.
- Önöz, B. (2015). Ölçüm olmayan havzalarda akım tahmin yöntemleri, <http://www.dsi.gov.tr/docs/tuhk/ölçüm-olmayan-havzalarda-akım-tahmin-yöntemleri.pdf?sfvrsn=2> (Erişim Tarihi:23.05.2019).
- Partal, T. (2007). *Türkiye yağış miktarlarının yapay sinir ağları ve dalgacık dönüşümü yöntemleri ile tahmini* (Yayımlanmış doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Salas, JD. (1993). *Analysis and modeling of hydrologic time series*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Sun, W. ve Trevor, B. (2017). Multiple model combination methods for annual maximum water level prediction during River Ice breakup. *Hydrological Processes*, 32, 421-435.
- Şen, Z. (2004). *Yapay sinir ağı ilkeleri*. İstanbul:Su Vakfı Yayınları .
- Tencaliec, P. Favre, A. Prieur, C. ve Mathevet, T. (2015). Reconstruction of missing daily streamflow data using dynamic regression models. *Water Resources Research*, 51, 9447-9463.
- Tosunoğlu, F. İspirli, MN. Gürbüz, F. ve Şengül, S. (2017). Fırat Havzası'ndaki eksik akım verilerinin debi süreklilik çizgileri ve regresyon modelleri ile tahmin edilmesi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(4), 85-94.
- Turhan, E. ve Çağatay, HÖ. (2016). Eksik akım verilerinin tahmin modelinin oluşturulmasında yapay sinir ağlarının kullanımı: Asi Nehri-Demirköprü akım gözlem istasyonu örneği. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(1), 93-106.
- Uzundurukan, S. Saphoğlu, K. (2019). Bilimsel çalışmalarda kullanılan yapay zekâ uygulamalarının ve trendlerinin incelenmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 10(1), 249-262.
- Yıldıran, A. Yerel Kandemir, S. (2018). Yağış miktarının yapay sinir ağları ile tahmini. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 5(2), 97-104.
- Yurdusev, MA. Acı, M. Turan, ME. ve İçağa, Y. (2008). Akarçay nehri aylık akımlarının yapay sinir ağları ile tahmini. *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4(1), 73-88.

Epifragma Mineral Bileşiminin ve Oluşum Sürecinin Dört Kara Salyangozu Türünde (Mollusca: Gastropoda: Helicidae) İncelenmesi

Hülya Şereflişan^{1*}

¹Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Fakültesi, İskenderun Teknik Üniversitesi, İskenderun/ Hatay, Türkiye

Makale Tarihi

Gönderim: 01.10.2019

Kabul: 04.03.2020

Yayın: 22.05.2020

Araştırma Makalesi

Öz – Kara salyangozları, iklim koşullarının sert olduğu kuru veya sıcak aylarda uyku hali süreci olan estivasyon dönemine girerken, apertür kabuk açıklığını kapatan, vücut sıvısını koruyan ve yumuşak dokuların mekanik hasarını önleyen epifragma tabakasını oluşturmaktadırlar. Bu çalışmada, *Helix pomacella*, *Eobania vermiculata*, *Helix melanostoma* ve *Helix asemnis* türü kara salyangozlarında, epifragma oluşumu ve mineral bileşimi araştırılmıştır. Olgun bireylerden seçilen seksen adet salyangoz, içinde 10 cm derinliğinde humuslu toprak bulunan, 60x60x45 cm büyüklüğündeki dört adet pene yerleştirilmiştir. Salyangozları estivasyona teşvik etmek için sıcaklığın yüksek olduğu Haziran ayında besleme sonlandırılmış ve nem için spreyleme yapılmamıştır. Estivasyon sürecinde oluşan epifragma tabakasının iyonik konsantrasyonu (kalsiyum, demir ve fosfor) analiz edilmiş ve oluşum süresi incelenmiştir. Araştırmada *H. pomacella*, *E. vermiculata*, *H. melanostoma* ve *H. asemnis*'in apertür genişliği ölçülmüş ve sırasıyla 15.6 ± 0.28 mm, 8.1 ± 0.21 mm, 19.4 ± 0.21 mm ve 22.8 ± 0.28 mm olduğu belirlenmiştir. Epifragma oluşum süresi en düşük *E. vermiculata*'da (9 ± 0.35 gün), en yüksek *H. asemnis*'te (15 ± 0.22 gün) olduğu görülmüştür. İyonik konsantrasyonu bakımından en yüksek kalsiyum oranı *H. asemnis*'te (32.52 ± 0.22 mg/g), en yüksek fosfor oranı (4.13 ± 0.18 mg/g) *E. vermiculata*'da ve en yüksek demir oranı ise *H. pomacella*'da (20.78 ± 0.25 mg/g) bulunmuştur. Araştırmada, dört salyangoz türünden elde edilen epifragma ağırlığının, kabuk genişliği, canlı ağırlık ve apertür genişliği ile doğrusal değerler gösterdiği belirlenmiştir. Bu çalışmada elde edilen veriler ışığında, kara salyangoz yaşamında estivasyon aracı olan epifragma'nın, canlı kültüründe ve sürdürülebilir biyoçeşitlilikte oldukça önemli bir yapı olduğuna dikkat çekilmiştir.

Anahtar Kelimeler – *Helicidae*, *epifragma*, *apertür*, *sıcaklık*, *Ca*, *estivasyon*

Investigation of Epiphragm Mineral Composition and Formation Process in Four Land Snail Species (Mollusca: Gastropoda: Helicidae)

¹Faculty of Marine Science and Technology, İskenderun Technical University, İskenderun/Hatay, Turkey

Article History

Received: 01.10.2019


Accepted: 04.03.2020

Published: 22.05.2020

Research Article

Abstract – The land snails form an epiphragm layer when the climatic conditions are harsh. In this study, epiphragm formation and mineral composition of *Helix pomacella*, *Eobania vermiculata*, *Helix melanostoma* and *Helix asemnis* species were investigated. Eighty snails selected from mature individuals were placed in four pens, 60 x 60 x 45 cm in size, filled with 10 cm deep humus soil. The feeding and humidification process was terminated in June to stimulate snails to aestivation. The ionic concentration (calcium, iron and phosphorus) of the epiphragm layer formed during the aestivation process was analyzed and the formation time was investigated. The aperture width of *H. pomacella*, *E. vermiculata*, *H. melanostoma* and *H. asemnis* was measured and it was found to be 15.6 ± 0.28 mm, 8.1 ± 0.21 mm, 19.4 ± 0.21 mm and 22.8 ± 0.28 mm, respectively. Epiphragm formation time was found to be the lowest in *E. vermiculata* (9 ± 0.35 days) and highest in *H. asemnis* (15 ± 0.22 days). In terms of ionic concentration, the highest calcium content was found in *H. asemnis* (32.52 ± 0.22 mg / g), the highest phosphorus rate was found in *E. vermiculata* (4.13 ± 0.18 mg/g) and the highest iron content was found in *H. pomacella* (20.78 ± 0.25 mg/g). The epiphragm weight obtained from the four snail species showed linear values with shell width, live weight and aperture width. In this study, it has been pointed out that epiphragm, which is a means of aestivation in the life of land snails, is a very important structure in living culture and sustainable biodiversity.

Keywords – *Helicidae*, *epiphragm*, *aperture*, *temperature*, *Ca*, *aestivation*

¹  <https://orcid.org/0000-0002-2510-3714> hulya.sereflisan@iste.edu.tr

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1. Giriş

Yumuşakçalar, karasal fauna içinde, eklembacaklılardan sonra ikinci sırada bulunan en yaygın hayvan grubudur. Yumuşakçalar, yüksek veya düşük sıcaklıklara, aşırı güneş ışığı ve rüzgara karşı vücut yüzeylerinin kurummasını kontrol edemeseler de, kuraklık koşullarında hayatta kalmalarına izin veren mekanizmalar geliştirmişlerdir (González vd., 2009). Hayvanlar, uygun olmayan stresli bir çevresel ortama girdiklerinde fizyolojik, morfolojik ve biyokimyasal olarak buldukları ortama uyum davranışı sergileyebilmektedirler (Storey, 2002; Şereflişan, 2019). Pulmonat kara salyangozlarının en önemli özelliklerinden biri, kuru ve sıcak çevre koşullarında hareketsiz duruma geçip estivasyona (yaz uykusu) girmesidir (Rees ve Hand, 1993). Estivasyon, salyangozların normal fizyolojik sürecini yavaşlatan doğal bir fenomendir. Kuru şartlar altında, kara salyangozları buharlaşmadan kaynaklanan su kaybını en aza indirmek için apertür denilen kabuk açıklığını kalsiyum içerikli mukus zarı olan epifragma ile kapatarak kabuklarına çekilme eğilimi göstermektedirler (Omoyakhi, Osinowo, Onadeko ve Ozoje 2008; Kingsolver, ve Huey, 2008). Süreksiz nefes alma modeli kullanılarak su kaybını daha da geciktirmek için epifragma, hızlı bir CO₂ ve O₂ değişimini sağlamak için aralıklarla açılmaktadır (Hermes-Lima, Storey ve Storey, 1998). Epifragma sayesinde estivasyona giren salyangozlar, yağ ve glikojenin rezervini çok düşük oranda kullanarak, aşırı ağırlık kaybını önlemektedirler (Ademolu, Fakeye, Dedeke ve Idowu, 2009; Abdussamad, Olusegun, Olusiji ve Samuel, 2010). Estivasyon sürecinde büyük salyangozların küçük olanlara göre daha geç epifragma oluşturmaktadırlar (Abdussamad vd., 2010).

Kara salyangozlarında estivasyon, besin ve atığın çeşitli organlara taşınmasında önemli bir ortam olan hemolenf dinamikleri için kritik bir rol oynamaktadır (Akinnusi, 2014). Salyangoz kabuğu ve epifragmanın iyonik ve organik bileşiminin estivasyon sırasında arttığı, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, Zn²⁺, Fe²⁺ ve Cl⁻ bakımından zengin olan salyangoz hemolenfinin (Ademolu, Idowu, Mafiana ve Osinnowo, 2004; Abdussamad vd., 2010), epifragma oluşumunun fizyolojik temelini oluşturduğu bildirilmiştir (Ajayi, Fawole, Idowu ve Ademolu, 2012). Salyangozlarda estivasyon süresince epifragma oluşumu strese karşı koymak için önemli bir davranışsal adaptasyon olduğu, %20'ye kadar su tasarrufu sağlayan su koruma stratejilerinden biri olduğu bildirilmektedir (Arad, 2001; Kingsolver, 2009). Epifragma tabakası yırtıcı hayvanlara, patojenlere karşı caydırıcı olup, kabuk içindeki yumuşak dokunun dış etkenlerden mekanik olarak hasar görmesini engelleyen, gelebilecek tehlikeleri tutma görevi olan bir organ niteliğindedir (Ademolu, Fantola, Bamidele, Dedeka ve Idowu, 2016). Salyangozların sürdürülebilir yaşam döngüsünde ve yetiştiriciliğinde önemli olduğu vurgulanan epifragma tabakasının çok daha iyi anlaşılması gerekmektedir. Doğa, organik bir matrisi inorganik kristallerle birleştiren birçok kompozit malzeme örneği sunmaktadır (Weinier, Addadi ve Wagner, 2000), ancak hepsi tipik olarak, epifragma oluşumuna göre çok daha yavaş oranlarda gerçekleşmektedir. Literatürde, farklı salyangoz türlerinde ve kompozisyonundaki epifragma oluşumu hakkında hala bilgi eksikliği bulunmaktadır.

Bu konuda bulunan en eski referans (Woodward, 1851), epifragmanın bazen kireç karbonatıyla güçlendirilmiş sertleştirilmiş bir mukus tabakası olduğudur (Struthers, Rosair, Buckman ve Viney, 2002). Epifragma yapısının mineral fazda CaCO₃'tan oluştuğu, yaklaşık %1'lik bir oranda MgCO₃ içerdiği bildirilmektedir (Barnhart, 1983; Barnes, 1987; Struthers, Rosair, Buckman ve Viney, 2002). Bu çalışmanın amacı, Hatay ili ve çevresinde bulunan *Helix pomacella*, *Helix vermiculata*, *Helix melanostoma* ve *Helix asemnis*'in biyoçeşitlilikteki önemleri çerçevesinde, sürdürülebilirlik noktasında önem taşıyan epifragma oluşum sürecini, inorganik faza özgü kompozisyonel ve yapısal bilgilerini ortaya koymaktır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Araştırma Yeri ve Canlı Materyal Temini

Bu çalışma İskenderun Teknik Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Fakültesinde yapılmıştır. Bu çalışmada ortalama ağırlıkları sırasıyla 10.9 ± 0.25 g, 5.6 ± 0.23 g, 13.9 ± 0.24 g, 16.8 ± 0.27 g olan *H. pomacella*, *H. vermiculata*, *H. melanostoma* ve *H. asemnis*, Mayıs 2018 yılında Hatay'ın İskenderun ilçesi Geyikli mevkiinden, her bir türden 20 adet olmak üzere toplamda 80 adet toplanmıştır.

2.2. Araştırma Prosedürü

Schütt, (1993)'e göre teşhis edilen salyangozlar (*H. pomacella*, *E. vermiculata*, *H. melanostoma* ve *H. asemnis*), 60x60x45 cm büyüklüğünde toplam 4 adet pen (salyangoz kültüründe kullanılan kapaklı veya kapaksız farklı materyalden yapılmış kaplar) içine yerleştirilmiştir. Penlerin içine nemlendirilmiş 10 cm derinliğinde humuslu toprak konulmuştur. Her bir pende bulunan salyangozların beslenmesi için beslenme tablaları yerleştirilmiştir. Salyangozlar bir ay boyunca marul yapraklarıyla beslenerek ortama adaptasyonu sağlanmıştır. Adaptasyon süresince penlerdeki toprak spreyleme yöntemi ile nemlendirilmiştir. Daha sonra, salyangozların besin ve nemlendirilmesi durdurularak estivasyona girmeleri teşvik edilmiştir.

2.3. Veri Toplama

Salyangozların ortama adaptasyonu sırasında estivasyona girmeden önce morfometrik ölçümleri yapılmıştır. Kabuk ve apertür genişliği ölçümü Schultes, (2012)'e göre, 0,01 mm hassasiyetli dijital kumpas ile ölçümlenmiştir. Canlı ağırlık ölçümü için 0.1 g hassasiyetli dijital terazi kullanılmıştır. Ayrıca deneme süresince (Haziran-Temmuz) günlük hava sıcaklığı, nem ve yağış değerleri takip edilmiştir.

2.4. Epifragma Analizi

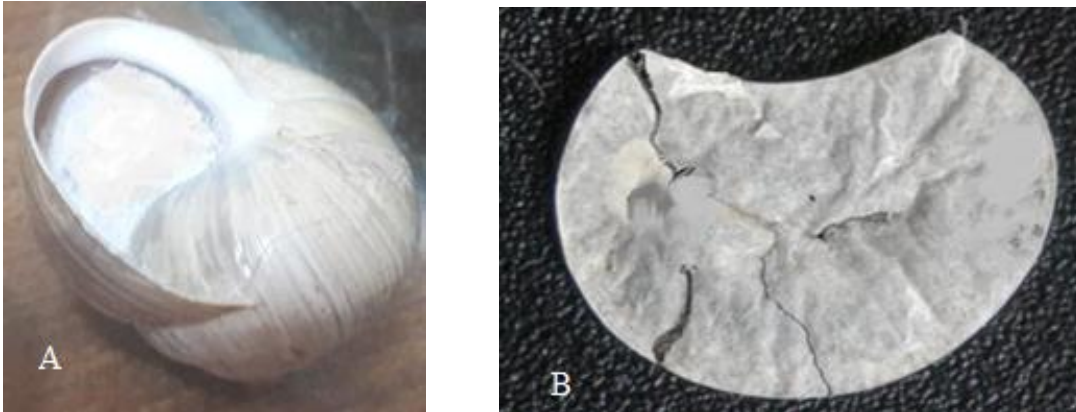
Estivasyon sürecindeki salyangozların, apertür açıklığında oluşan epifragma tabakaları, pens yardımı ile dikkatlice alınarak temiz petri kaplarına konulmuştur. Her birinin tartımları yapıldıktan sonra porselen havanda toz haline getirilmiştir. Kimyasal analiz için 5 g tozlaştırılmış epifragma, Atomik Absorpsiyon Spektrofotometre (AAS)'nde, kalsiyum (Ca^{2+}), demir (Fe^{2+}) ve fosfor (P) analizleri yapılmıştır.

2.5. İstatistiksel Analiz

Bu çalışma sonucunda elde edilen veriler tek yönlü varyans analizine (ANOVA) tabi tutulmuş ve vücut ölçümleri arasındaki ilişkiyi belirlemek için Duncan Çoklu Test uygulanmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Araştırmada, salyangozlar arasında ve canlı ağırlık, kabuk ve apertür genişliği bakımından *H. asemnis*'in daha büyük olduğu gözlenmiştir. Tüm türlerin morfometrik değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Türlerin morfometrik değerlerine bakıldığında, kabuk genişliği ile apertür genişliği arasında paralel bir büyüklük olduğu görülmüştür. Apertür genişliği ile epifragma ağırlığına bakıldığında (Tablo 2) kabuğu geniş olan salyangozların epifragma ağırlığının bu büyüklüğe paralel olduğu belirlenmiştir. Epifragma oluşum süresi incelendiğinde, yapısal olarak en büyük tür olan *H. asemnis* bu süreci 15 gün de tamamlarken, en küçük tür olan *E. vermiculata*'nın 9 günde tamamladığı gözlenmiştir. Salyangozlarda epifragma oluşum süresinin (Tablo 1), apertür genişliği ile doğru orantılı olduğu anlaşılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. A) Apertür açıklığında epifragma oluşmuş salyangoz (*H. pomacella*) görüntüsü, B) Epifragma tabakası

Estivasyona girerken oluşturulan epifragma tabakasının mineral bileşimine bakıldığında (Tablo 3), mineral değerlerin salyangoz kabuk genişliği, canlı ağırlık, epifragma ağırlığı ve apertür genişliği ile paralellik göstermediği, değişkenlik içerdiği görülmektedir. Epifragma yapısında oldukça önemli olan kalsiyumun *H. asemnis*'te, fosforun *E. vermiculata*'da ve demirin *H. pomacella*'da en yüksek olduğu belirlenmiştir (Tablo 3). Tüm türler içinde epifragma yapısında en az düzeyde fosfor olduğu anlaşılmıştır

Tablo 1

Dört salyangoz türünde ağırlık (g), kabuk ve apertür genişlik değerleri (mm)

Türler n=20	Kabuk genişliği (mm)		Apertür genişliği (mm)		Canlı ağırlık (g)	
	ort. ±SH	min-mak.	ort. ±SH	min-mak.	ort. ±SH	min-mak.
<i>Helix pomacella</i>	27.5 ± 0.25 ^c	24.1-28.3	15.6 ± 0.28 ^c	12.2-15.8	10.9 ± 0.25 ^c	3.2-16.1
<i>Eobania vermiculata</i>	16.2 ± 0.22 ^d	9.2-22.3	8.1 ± 0.21 ^d	4.6-11.7	5.6 ± 0.23 ^d	2.5-9.8
<i>Helix melanostoma</i>	32.2 ± 0.19 ^b	25.3-36.8	19.4 ± 0.21 ^b	15.3-21.1	13.9 ± 0.24 ^b	7.2-16.5
<i>Helix asemnis</i>	39.4 ± 0.31 ^a	33.1-41.5	22.8 ± 0.28 ^a	19.5-25.3	16.8 ± 0.27 ^a	14.2-19.1

Tablo 2

Dört salyangoz türünde epifragma oluşum süreleri (gün)

Türler n=20	Epifragma oluşum süresi (gün)	Epifragma ağırlığı (g)
<i>Helix pomacella</i>	11 ± 0.28 ^b	0.41 ± 0.18 ^a
<i>Eobania vermiculata</i>	9 ± 0.35 ^c	0.05 ± 0.14 ^c
<i>Helix melanostoma</i>	14 ± 0.36 ^a	0.21 ± 0.22 ^b
<i>Helix asemnis</i>	15 ± 0.22 ^a	0.63 ± 0.35 ^a

Tablo 3

Dört salyangoz türünde epifragma tabakasının mineral kompozisyonu (mg/g)*

Mineraller/Türler	<i>Helix pomacella</i> (mg/g)	<i>Eobania vermiculata</i> (mg/g)	<i>Helix melanostoma</i> (mg/g)	<i>Helix asemnis</i> (mg/g)
Kalsiyum	15.35 ± 0.21 ^c	25.32 ± 0.31 ^b	22.18 ± 0.16 ^b	32.52 ± 0.22 ^a
Fosfor	3.88 ± 0.12 ^a	4.13 ± 0.18 ^a	3.42 ± 0.35 ^a	3.92 ± 0.24 ^a
Demir	20.78 ± 0.25 ^a	15.25 ± 0.18 ^c	18.65 ± 0.28 ^{ab}	19.64 ± 0.21 ^a

* Aynı satırda farklı üst simge olan ortalama değerler önemli ölçüde farklıdır (p < 0.05).

Tablo 4

Haziran ve Temmuz aylarının günlük ortalama sıcaklık, nem ve yağış değerleri

Günlük	Haziran	Temmuz	S.H
Maksimum sıcaklık (°C)	34.1	37.3	0.25
Minimum sıcaklık (°C)	24	29	0.33
Ortalama günlük sıcaklık (°C)	31.22	33.15	0.21
Nem (%)	60	63	0.25
Günlük yağış (mm.)	7.9	1.3	0.4

Yapılan estivasyon çalışmalarında, salyangozların stresli koşullarda hayatta kalmak için fizyolojik ve biyokimyasal adaptasyonlar sergilediği (Storey, 2002) ve kalsiyum içerikli epifragma tabakası oluşturarak, vücut suyunu muhafaza ettikleri bildirilmiştir (Storey, 2007). Bu çalışmada, Mayıs ayında toplanılan salyangozların ortama adaptasyonu sağlandıktan sonra besin ve nem girişi kesilmiştir. Haziran ayında sıcaklığın artışı (Tablo 4) ile salyangozların apertür açıklığında epifragma oluşumu gözlenmiştir. Çevresel stresten dolayı salyangoz davranış ve fizyolojisinin anlaşılmasında epifragma oluşumunun organizmadaki en güzel model olduğu belirtilmiştir (Malleswar, Basavaraju, ve Krupanidhi, 2013). Sıcaklık, organizmaların tüm yaşam fonksiyonlarını fizyolojik ve biyokimyasal işlevlerini etkilemektedir (Kingsolver ve Huey, 2008). Canlıların hareket oranı, büyüme, gelişme ve zindelik durumu kritik sıcaklık sınırlarında değişkenlik göstermektedir (Kingsolver, 2009). Bu çalışmada kullanılan salyangozların epifragma oluşturmalarına neden olan en önemli stres faktörünün sıcaklık olduğu anlaşılmıştır. Sıcaklığın 34 °C'ye yükselmesi (Tablo 4) salyangozlarda stres oluşturmuş ve bu durumdan etkilenmemek ya da daha az etkilenmek için bir durağan hal alıp hareketlerini kısıtlayarak, epifragma oluşturmaya başlamışlardır. Literatüre paralel bir sonuç elde edilmiştir.

Yapılan araştırmalarda, estivasyon süresindeki artışın canlı ağırlık kaybını artırdığı (Onadeko, 2010), epifragma oluşumu ve ağırlık kaybı konusunda, salyangoz kabuk renginin ayrıca etkili olduğu bildirilmektedir (Şereflişan ve Alkaya, 2019). Estivasyon sürecinde Mg / Ca oranı ile ilgili bir çalışmada, mineral tuzlarının kabuktan hemolenf yoluyla kalsik hücrelere ve bağırsak sıvısına taşındığını böylece estivasyon güz sayısı artışında salyangoz kabuğunda incelmeler olabileceği bildirilmektedir (Porcel, Bueno ve Almendros, 1996). Bu araştırmada dört farklı kara salyangozunun epifragma oluşumu gözlenmiş, estivasyon belirtilerini hissetmeye başlayan salyangozların, epifragma tabakasını farklı sürelerde tamamladıkları görülmüştür (Tablo 2). Apertür genişliği ile epifragma oluşum süresi arasında pozitif bir ilişki olduğu gözlenmiştir. Salyangoz kabuk yapısı kalsiyum karbonattan (CaCO₃) oluşmaktadır (Ademolu, ve ark., 2004). Yapılan bir çalışmada, *Achatina achatina* ve *Archachatina marginata*'nın epifragma yapısını oluşturan mineral yapıları kalsiyum bakımından analiz edilmiş, *A. achatina*'da 40.68±1.20 mg/g oranında bulunurken, *A. marginata*'da demirden sonra en yüksek kalsiyum miktarı 10.12±0.32 mg/g düzeyinde bulunmuştur (Ademolu ve ark., 2016). Bu araştırmada, dört kara salyangozu türünün epifragma tabakasının mineral kompozisyonuna bakılmış ve literatüre paralel olarak *H.pomacella* dışındaki tüm türlerde, Ca değeri yüksek düzeyde bulunmuştur. Epifragma mineral kompozisyonu içinde fosfor ve demirin önemli olduğunu belirten Ademolu ve ark., (2016), *A.achatina* ve *A.marginata*'da sırasıyla 4.26±0.13 mg/g ve 4.10±1.01 mg/g olarak bulmuşlardır. Çalışmada, dört tür arasında en küçük tür olan *E. vermiculata*'da fosfor değeri 4.13±0.18 mg/g olarak benzer bir değer de bulunmuştur. Ademolu ve ark., (2016)'nın yaptığı çalışmada, demirin, epifragma yapısında kalsiyumdan sonra yüksek düzeyde bulunan bir mineral olduğunu belirtmiş ve *A. achatina* *A. marginata* *A. fulica* epifragma tabakasında sırasıyla 21.67±0.11mg/g, 20.81±0.32mg/g ve 15.72±0.10mg/g düzeyinde bulmuşlardır. Bu araştırmada, en yüksek demir miktarı *H. pomacella*'da 20.78±0.25 mg/g değerinde, en düşük olarak *E. vermiculata*'da 15.25±0.18 mg/g olarak tespit edilmiştir.

4. Sonuçlar

Elde edilen sonuçlara göre; *H. pomacella*, *E. vermiculata*, *H. melanostoma* ve *H. asemnis* türü salyangozlarda, başta sıcaklık artışı olmak üzere ortamda besinin olmayışı ve nemin azalması ile estivasyon (yaz uykusu) süreci başlamıştır. Bu sürecin yaratmış olduğu stresli duruma karşı bir savunma modeli olan epifragma

tabakası, apertür açıklığında oluşturulmuştur. Bu yapının oluşum süresi türlere göre değişmekle birlikte, apertür genişliği ile doğru orantılı bir oluşum süresi kaydedilmiştir. Salyangozun vücut suyunu muhafaza eden önemli bir izolasyon mekanizması olan epifragma tabakasının iyonik kompozisyonunda, en yüksek düzeyde kalsiyum, ikinci yüksek düzeyde ise demir olduğu anlaşılmıştır. Mineral düzeylerinin apertür ve kabuk genişliği ile paralel bir yaklaşımda olmadığı belirlenmiştir. Bu sonuçlar ışığında, salyangozların ekolojik toleransları ve sürdürülebilirlikleri noktasında, epifragma yapısının önemi ortaya konulurken, salyangoz yetiştiriciliğinde estivasyon sürecinde epifragma yapısının önemli olduğu vurgulanmaya çalışılmıştır.

Yazar Katkıları

Hülya ŞEREFLİŞAN: Çalışmanın; analizi, veri toplama, uygulaması, görüntülenmesini yapmış ve makaleyi yazmıştır.

Kaynaklar

- Abdussamad, M.A., Olusegun, A.O., Olusiji, F.S. and Samuel, A.O. (2010). Some haemolymph biophysical parameters in the giant African land snail *Archachatina marginata* during a six-week aestivation period. *Global Veterinaria*, 4(4): 400–408.
- Ademolu, K.O., Idowu, A.B., Mafiana, C.F. and Osinnowo, O.A. (2004). Performance, proximate and minerals analysis of African giant land snail (*Archachatina marginata*) fed different nitrogen sources. *African Journals of Biotechnology*, 3(8): 412–414.
- Ademolu, K.O., Fakeye, O.D., Dedeke, G.A. and Idowu, A.B. (2009). Activities of glycosidases in the foot muscles of African giant land snail *A. marginata* during aestivation. *Ethiopia Journal of Biological Sciences*, 8(2): 165–170.
- Ademolu, K.O., Fantola, F.O., Bamidele, J.A., Dedeka, G.A. and Idowu, A.B. (2016). Formation and composition of epiphragm in three giant African land snails (*Archachatina marginata*, *Achatina fulica* and *Achatina achatina*). *Ruthenica*, 26(3-4): 165-169.
- Ajayi, O.A., Fawole, J.K., Idowu, A.B. and Ademolu, K.O. (2012). Dynamics of nutrient in the tissues of giant African land snail (*Archachatina marginata*) during aestivation. 1st International Conference on giant African land snails [GALS]. *Held at Federal University of Agriculture, Abeokuta, Nigeria on 12th-15th February, 2012: 67–71*.
- Akinnusi, O. (2014). Snail production and management. Tolukoya publishing company, Abeokuta, Nigeria, 105 p.
- Arad, Z. (2001). Desiccation and rehydration in land snails – a test for distinct set points in *Theba pisana*. *Israel Journal of Zoology*, 47: 41–53.
- Barnhart, M.C. (1983). Gas permeability of the epiphragm of a terrestrial snail, *Otala lactea*. *Physiological Zoology*, 56: 436–444.
- González, O., Camargo, G.P., Membiela, M., Frezza, D., Bartoloni, N. and Vieites, C. (2009). Discrete observations of the spatial distributions of the *Helix aspersa* snail in an outdoor system. *Cien. Inv. Agr.*, 35(1):123-130.
- Hermes-Lima, M., Storey, J.M. and Storey, K.B. (1998). Antioxidant defenses and metabolic depression. The hypothesis of preparation for oxidative stress in land snail. *Comp. Biochem. Physiol. B. Comp. Biochem.*, 120:437-448.
- Kingsolver, J.G. and Huey, R.B. (2008). Size, temperature, and fitness: three rules. *Evol Ecol Res.*, 10: 251–268.
- Kingsolver, J.G. (2009). The well-temperated biologist. (American Society of Naturalists Presidential Address). *Am. Nat.*, 174: 755–768.
- Malleswar, V.N.S., Basavaraju, R. and Krupanidhi, S. (2013). Behavioral and Physiological Changes in *Pila globosa* (Indian Apple Snail) During Aestivation. *Zoology*, 2:8 ,54-55.
- Omoyakhi, J.M., Osinowo, O.A., Onadeko, S.A., Ozoje M.O. (2008). Adaptive changes in growth and morphological composition of aestivating giant African land snails, *Achatchatina marginata* and *Achatina achatina*. *African Journal of General Agriculture*, (4)4: 241–249.
- Onadeko, S.A. (2010). Live weight changes and mortality rate in the giant african snail *Archachatina marginata* during six week aestivation period. *World journal of Zoology*, 5(2): 75- 81.

- Porcel, D., Bueno, J. D. and Almendros, A. (1996). Alterations in the digestive gland and shell of the snail *Helix aspersa* Müller (gastropoda, pulmonata) after prolonged starvation. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 115(1): 11-17.
- Schütt, H. (1993). *Türkische Landschnecken. - Prodromus faunae Anatolicae molluscorum terrestrium viventium testaceorumque. - Vorläufige Zusammenstellung der aus Anatolien bekannt gewordenen gehäusetragenden Landschnecken. - Türkiye'nin karasal salyangozları. - pp. 1-433. Wiesbaden. (Hemmen).*
- Rees, B.B. and Hand, S.C. (1993). Biochemical correlates of aestivation tolerance in the Mountain snail *Oreohelix* (Pulmonata: Oreohelicidae). *Biology Bulletin*, 184: 230–242.
- Schultes, F.W. (2012). *European non-marine molluscs, a guide for species identification. Bestimmungsbuch für europäische Land- und Süßwassermollusken.* Planet Poster Editions, Göttingen. Pp. A1-A3, 1-679, Q1-Q78 ISBN-10: 3-933922-75-5.
- Storey, K.B. (2002). Life in the slow lane: molecular mechanisms of estivation. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 133(3): 733-754.
- Struthers, M., Rosair, G., Buckman, J., Viney, C. (2002). The Physical and Chemical Microstructure of the *Achatina Fulica* Epiphragm. *J. Moll. Stud.*, 68:165–171
- Storey, K.B. (2007). Tribute to P. L. Lutz: putting life on 'pause'--molecular regulation of hypometabolism. *Journal of Experimental Biology*, 210(10): 1700-1714.
- Şereflişan, H. ve Alkaya, A. (2019). *Estivasyon Döneminde Siyah Rengin Kara Salyangozunun (Helix aspersa) Ağırlık Kaybı Üzerine Etkisi. 1st International Conference on Environment, Technology and Management. 27-29 June/Niğde Halisdemir Üniversitesi, Environmental Engineering Department/Niğde/ Turkey.*
- Şereflişan, H. (2019). *Biyçeşitlilik Noktasında Kara Salyangozunun (Helix Aspersa) Hayatta Kalma Direnci. 1st International Conference on Environment, Technology and Management. 27-29 June/Niğde Halisdemir Üniversitesi, Environmental Engineering Department/Niğde/ Turkey.*
- Weinier, S., Addadi, L. and Wagner, H.D. (2000). Materials design in biology. *Materials Science and Engineering C-Biomimetic and Supramolecular Systems*, 11: 1–8.

Sıvı Sintilasyon Spektrometrik Yöntemle İçme Sularında Tritiyum Analizi ve Belirsizlik Bütçesinin Hazırlanması

Nazife Aslan^{1,2*}

¹Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, Polatlı Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, 06900, Ankara, Türkiye

²Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi, Radyoaktivite Ölçüm ve Analiz Birimi, Ankara, Türkiye

Makale Tarihiçesi

Gönderim: 17.07.2019

Kabul: 10.01.2020

Yayın: 22.05.2020

Araştırma Makalesi

Öz – Hızla gelişen ve büyüyen ekonomik rekabet ortamında bir ürünün veya sunulan bir hizmetin kalitesinin güvenli ölçümlere bağlı olduğu gerçeği kaçınılmazdır. Çünkü alınan birçok önemli karar kimyasal analiz sonuçlarına dayanmaktadır ve bu sonuçlar, malzemelerin yasal sınırlara uygunluğunu kontrol etmek veya parasal değeri tahmin etmek gibi çeşitli amaçlar için kullanılır. Bu nedenle kararlar analitik sonuçlara dayandığında, rapor edilen bir ölçüm sonucunun belirsizlik değeri ile birlikte verilmesinin önemi daha da artmaktadır. Bu çalışmada, sıvı sintilasyon spektrometrik yöntemle içme sularında trityum radyoizotopunun analizinden kısaca bahsedilmiş ve analiz sonuçları üzerine etkisi olan belirsizlik bileşenleri ve her bir parametrenin toplam belirsizliğe katkıları da ayrı ayrı incelenmiştir. Cihazın sayım verimini, sayım süresini, numune hacmini ve uygulanan yöntemin geri kazanma faktörünü belirlemek amacıyla trityum içermeyen su (ölü su) kullanılarak trityum aktivite derişimi 16,33 Bq/kg olan spike içme suyu numunesi hazırlandı ve ASTM D 4107-08 standardına uygun olarak distilasyon işlemine tabi tutuldu. Numunelerin trityum aktivite ölçümleri Quantulus 1220 Model çok düşük zemin sayımlı sıvı sintilasyon spektrometresi kullanılarak yapıldı. Sintilatör olarak Ultima Gold LLT, örneklerin sayımında ise 20 mL hacimli teflon kaplı polietilen vialler kullanıldı. Cihazın trityum için sayım penceresi düşük enerjili beta spektrumunda 5-450 kanal aralığına ayarlandı ve spektrumlar, EASY View Spektrum Yazılımı kullanılarak analiz edildi. Analiz sonucuna etkisi olan belirsizlik parametreleri arasından numunenin sayım belirsizliğinin beklenildiği gibi en önemli belirsizlik bileşeni olduğu görüldü ve birleşik bağıl standart belirsizlik değeri 3,47 Bq/kg (k=2) olarak hesaplandı.

Anahtar Kelimeler – İçme suyu, ölçüm belirsizliği, radyoaktivite, sıvı sintilasyon spektrometresi, trityum

Liquid Scintillation Spectrometric Analysis of Tritium in Drinking Water and Preparation of Uncertainty Budget

¹Ankara Hacı Bayram Veli University, Polatlı Science and Arts Faculty, Chemistry Department, Ankara, Turkey

²Turkish Atomic Energy Authority, Sarayköy Nuclear Research and Training Center, Radioactivity Measurement and Analysis Unit Ankara, Turkey

Article History

Received: 17.07.2019

Accepted: 10.01.2020

Published: 22.05.2020

Research Article

Abstract – The fact that the quality of a product or service is dependent on the reliable measurements inevitable in a rapidly developing and growing economic competition. Because many important decisions are based on the results of chemical analysis. The results are used to check materials according to legal limits or to estimate the monetary value. Therefore, when decisions are based on analytical results, the importance of making a reported measurement result with the uncertainty value increases. In this study, analysis of tritium radioisotope in drinking water by liquid scintillation spectrometric method is briefly mentioned and the uncertainty components that affect the results of the analysis and the contribution of each parameter to the total uncertainty are examined separately. A standard tritium solution with tritium-free water of about 16.33 Bq/kg was prepared and subjected to distillation in accordance with ASTM D 4107-08 to determine the counting efficiency, counting time, sample volume and recovery factor of the method. Tritium activity measurements of the samples were performed using Quantulus 1220 Model Ultra Low Level liquid scintillation spectrometer. Ultima Gold LLT was used as scintillator and 20 mL teflon coated polyethylene vials were used for counting samples. The counting window for the tritium of the spectrometer was adjusted in the range of 5-450 channels in the low-energy beta spectrum region and spectra were analyzed using EASY View Spectrum Software. It was seen that the major source being the statistical counting uncertainty as expected and the combined relative standard uncertainty was calculated as 3.47 Bq/kg (k=2).

Keywords – Drinking water, liquid scintillation spectrometry, measurement uncertainty, radioactivity, tritium

¹  <https://orcid.org/000-0002-2622-5908> nazife.aslan@hbv.edu.tr

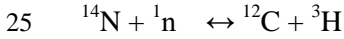
*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1. Giriş

Su, insanın ve tüm canlı hayatının devamı için vazgeçilmez ihtiyaçlardan birisidir. Bu nedenle tarih boyunca uygarlıkların hemen hemen tamamının bilinçli bir seçimle su kenarlarında veya suya en yakın alanlarda kurulduğunu görmekteyiz. Sayılarla ifade edilecek olursa, dünyadaki toplam su miktarının yaklaşık 1 milyar 400 milyon km³ olduğu ve yerkürenin dörtte üçünü kapladığı bilinmektedir. Ancak, bu miktarın tamamına ulaşılabilmesi ve kullanılabilmesi teknik ve ekonomik açıdan mümkün değildir. Çünkü suların %97,5'i deniz ve okyanuslarda tuzlu su olarak bulunmakta ve sadece %2,5'lik kısmı tatlı sudur (DSİ, 2014). Tatlı suyun da %69,5 gibi önemli bir kısmı kutuplarda buzul olarak veya donmuş toprak tabakasında bulunmaktadır. Kullanılabilir durumda olan tatlı suların ise %30,1'i yeraltı suyu, kalan %0,4'ü ise atmosfer suları ve yüzey sularıdır (Benliay, A.,2019). Yüzeyde bulunan tatlı su oranının bu denli az olması, kolaylıkla yararlanabilecek miktarın çok sınırlı olduğunun da önemli bir göstergesidir. 2025 yılına gelindiğinde dünya nüfusunun yaklaşık 8 milyara ulaşacağı tahmin edilmektedir. Bu durumda günümüzde bile kısıtlı olan su kaynaklarının artan dünya nüfusuna paralel olarak zamanla tüm bölgelerde de yetersiz kalacağı kaçınılmazdır. Artarak devam eden su sıkıntısının giderilebilmesi ancak, mevcut su kaynaklarının israf edilmeden ve kalitesi korunarak etkin bir şekilde kullanılmasını sağlayan, sürdürülebilir bir su yönetimi politikasının oluşturulması ve uygulanması ile mümkündür.

Avrupa Birliği Uyum yasaları kapsamında ülkemizde insani tüketim amaçlı suların kalitesinin kontrolünde mikrobiyolojik, kimyasal, fiziksel, radyoaktivite ilgili çok çeşitli parametreler incelenmekte ve sıkı kontrol altında tutulmaktadır. Bu çerçevede, Sağlık Bakanlığı'nın 17/02/2005 tarihinde yayımladığı "İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik" gereği içme sularında trityum analizi (³H) zorunlu olup, izin verilen sınır değer 100 Bq/L'dir (Resmi Gazete No: 25657, 002004).

Trityum zayıf beta ışınması ($E_{\max} = 18,6 \text{ keV}$) yapan ve 12,32 yıl yarılanma ömrü olan bir radyonüklittir. Doğal olarak, atmosferin üst tabakalarında bulunan atmosferik azot atomlarının kozmik nötronlarla etkileşmesiyle oluşur.



Trityumun atmosferdeki bu doğal oluşum hızınının 0,25 atm/cm².s olduğu tahmin edilmektedir. Oluşan bu trityum atomu, sudaki hidrojen atomu ile yer değiştirerek HTO ya dönüşür ve bu şekilde hidrolojik çevrime katılır.

Trityum, yapay olarak ise nükleer denemeler sonucunda oluşmaktadır. 1952-1963 yılları arasında dünyadaki nükleer silah denemelerinin artması ile birlikte atmosfere yoğun bir şekilde trityum salımı olmuş ve bunun sonucu olarak da özellikle 1962-1965 yılları arasında atmosferik trityum derişimi maksimum seviyeye ulaşmıştır (Thomas ve ark., 1987). Atmosferde doğal ve yapay olarak oluşan trityum, yağış ile hidrolojik çevrimdeki bütün sulara bölgenin coğrafik konumuna ve mevsim koşullarına bağlı olarak değişik oranlarda karışmaktadır.

Su içerisindeki trityum konsantrasyonu Bq/L ya da trityum birimi (TU) olarak verilmektedir. 10¹⁸ hidrojen atomuna karşı bir trityum atomunun bulunması 1 Trityum Birimi (TU) olarak tanımlanır.

$$1 \text{ TU} = 3,19 \text{ pCi/L} = 0,118 \text{ Bq/L}$$

Yağışlardaki doğal şartlarla oluşan trityum derişimi yaklaşık 5 TU'dur (Roether W, 1967). Nükleer denemelerin takip ettiği 1963 yılından sonra bu değer yaklaşık 1000 katına çıkmıştır. Bu tarihten sonra nükleer denemelerin azalması ve durdurulması ile trityum derişimi giderek azalmış ve günümüzde doğal oluşum seviyesine gelmiş bulunmaktadır (IAEA, Environmental Isotopes in the Hydrological Cycle, 2000). Bu nedenle 18 keV'luk bir enerji ile zayıf beta ışınması yapan trityumun ölçümü, yüksek sayım verimine sahip ve çok düşük ortam (zemin) sayımına inebilen sistemlerin geliştirilmesi ile mümkündür.

44 Doğal olarak oluşan suların trityum aktivite derişimlerinin ölçümlerinde kullanılan tekniklerden biri Gaz
45 sayma tekniğidir. Bu teknikte elektroliz yöntemi ile zenginleştirilen su numunesi sıcak magnezyum
46 üzerinden geçirilerek hidrojen gazı açığa çıkarılır. Oluşan hidrojen gazı bir katalizör yardımıyla etilen
47 gazıyla reaksiyona sokularak etan gazına dönüştürülür ve orantılı gaz sayacıyla sayılır. Bu teknikte
48 kullanılan numune hazırlama işleminin uzun zaman alması ve sayaç sisteminin otomatik olmaması yöntemin
49 en önemli dezavantajıdır (Altay ve Çifter, 1996).

50 Trityum ayrıca ^3He kütle spektrometresinde ve atomik kütle spektrometresinde (AMS) ölçülebilir. Numune
51 ^3He kütle spektrometresinde ölçüm için ilk önce bütün gazlardan arıtılır ve ^3He 'un trityum bozunmasından
52 elde edilmesi için bir süre bekletilir. Daha sonra ^3He soy gaz kütle spektrometresi ile ölçülür. ^3He kütle
53 spektrometre yöntemi Sıvı sintilasyon spektrometrik (LSS) yöntemden daha hassas bir yöntem olmasına
54 rağmen numune hazırlık aşaması karmaşıktır ve analiz süresi de çok uzundur (Xiaolin ve Per, 2008).

55 Atomik kütle spektrometresi de trityum tayini için kullanılan bir diğer hassas yöntemdir. Bu yöntemin en
56 önemli avantajı biyolojik numunelerin analizi için oldukça küçük numune miktarı (2 mg hidrojen) ile
57 çalışılmasına olanak sağlamasıdır. Ancak AMS'nin numune hazırlığı LSS ile karşılaştırıldığında daha
58 karmaşıktır ve trityum tayini için AMS uygulaması oldukça sınırlıdır.

59 Doğada bu kadar az bulunan trityum atomunun analiz edilebilmesi için gelişmiş nükleer tekniklerin
60 kullanılması zorunlu olmaktadır. Trityum gibi beta ışıması yapan radyoizotopların rutin analizlerinde yaygın
61 olarak kullanılan sistemlerden birisi sıvı sintilasyon spektrometrik yöntemdir (Wallac-PerkinElmer, 2002).
62 Elektronik teknolojisindeki gelişmeler sayesinde tayin sınırları çok küçük değerlere inebilmiş ve atmosferde
63 doğal olarak oluşan trityumun bu sayaçlarla dedeksiyonu mümkün olmuştur. Ayrıca, bu teknikte kullanılan
64 numune hazırlama yönteminin adı geçen diğer tekniklere nazaran daha kolay ve çabuk olması, Sıvı
65 Sintilasyon Sayma Tekniğinin bütün dünyada yaygın olarak kullanılmasını sağlamıştır.

66 Bu yöntemde sayılacak örnek, sintilatör denilen ve iyonlaştırıcı radyasyonun etkisiyle uyarıldıktan çok kısa
67 süre sonra foton yayan bileşiklerle hazırlanan sintilasyon çözeltisine ilave edilir. Radyoaktif örnekten yayılan
68 beta parçacıkları çözücü moleküllerinin uyarılması ve iyonlaşmasına neden olur. Bunlar da enerjilerini
69 sintilatör moleküllerine transfer ederler. Sintilatör molekülünün uyarılmış orbital elektronları temel
70 seviyelerine dönmek için foton yayarlar. Bu fotonlar sintilasyonu oluşturur. Sintilasyondaki ışımının şiddeti
71 beta parçacığının enerjisi ile orantılıdır.

72 Gerek radyokimyasal gerekse analitik ölçüm sonuçları ölçüm belirsizliği ile beraber verilirse anlamlı ve
73 güvenilir olur. Ölçüm belirsizliği en basit anlamı ile bir ölçümün sonucu ile ilgili olası farklılıkları
74 tanımlayan ve bunların dağılım düzeyini gösteren istatistiksel bir kalite göstergesidir. Analiz sonuçlarının
75 belirsizlik değeri ile birlikte rapor edilmesi ISO/IEC 17025 kalite sistemine göre, önemli bir gereklilik olup,
76 ölçüm belirsizliğinin tayini ile ilgili prosedürler dokümanın ilgili bölümünde detaylıca açıklanmıştır
77 (Anonymous, 2005).

78 Bir sonucun ölçüm belirsizliğinin kullanılan metoda bağlı olarak karşılaşılan ve ölçüm sonuçlarını etkileyen
79 faktörleri kapsadığı kabul edilir. Numunenin cinsi, bozucu etki yapan türler, çevresel etkiler, referans
80 malzemeler, kütle ve hacim ölçüm kaplarının belirsizliği gibi pek çok neden sonuçların belirsizliğine katkısı
81 olabilecek parametrelerdir. Bunların bir kısmı rastgele olabildiği gibi bir kısmı da sistematik olabilir. Sonuçta
82 toplam belirsizliğin tahmin edilebilmesi için belirsizliğe katkıda bulunan her bir bileşenin ayrı ayrı
83 değerlendirilmesi gerekir.

84 Bu çalışmanın amacı da, sıvı sintilasyon spektrometrik yöntemle içme sularında trityum analizlerinde
85 karşılaşılan ölçüm belirsizliği parametrelerini belirlemek ve her bir parametrenin sonuçlar üzerine katkısını
86 ayrı ayrı değerlendirmektir. Böylece sonuçların belirsizliğine en fazla katkısı olan parametre belirlenmiş
87 olacak ve bu bileşenin toplam belirsizliğe katkısının en aza indirebilmesi için gerekli düzenlemeler veya
88 tedbirler alınabilecektir.

89 2. Materyal ve Yöntem

90 2.1. Kullanılan Cihazlar

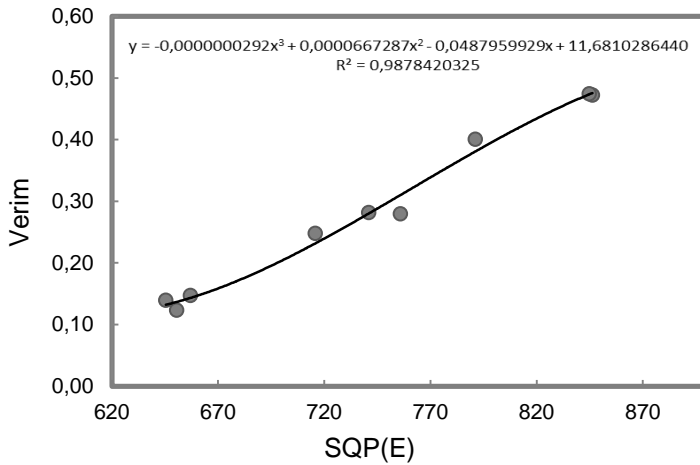
91 Bu çalışmada aktivite ölçümleri Quantulus 1220 Model düşük zemin sayımlı sıvı sintilasyon spektrometresi kullanılarak yapıldı. Sintilatör olarak Ultima Gold LLT (UGLLT), örneklerin sayımında ise 20 mL hacimli teflon kaplı polietilen vialler kullanıldı. Numune hazırlama sırasında tartımlar, uluslararası izlenebilirliği olan akredite bir kuruluş tarafından kalibre edilmiş AND marka ER182A model hassas terazi kullanılarak yapıldı.

96 2.2. Kimyasal Maddeler ve Çözeltiler

97 Sönüm eğrisi hazırlamakta kullanılan trityum standardı Isotope Products firmasından ($7,385 \pm 0,110$ kBq/g aktivitede, Katalog No: 1389-13-2 ve referans tarihi 1 Ağustos 2009), yapay sönüm reaktifi olarak kullanılan nitrometan ise Merck firmasından temin edildi.

100 2.3. Sönüm Eğrisinin Hazırlanması

101 Sıvı sintilasyon spektrometresi ölçümlerinde karşılaşılan en temel sorunlardan birisi de “sönüm (quenching)” yani örnek veya sintilatör karışımlarının renk veya kimyasal özelliklerinden kaynaklanan sönme nedeniyle ölçüm sonuçlarının normalden daha düşük olmasıdır. Bunun sonucunda sayım verimi düşer. Bu yüzden örneklerdeki 3H aktivitesini doğru olarak bulabilmek için örnek sayımları yapılmadan önce bilinen aktivitede trityum standardı ve değişen miktarda nitrometan içeren sönüm seti hazırlandı ve bu setler sıvı sintilasyon spektrometresinde sayılarak sönüm eğrisi oluşturuldu. Sönüm setleri 15 mL UGLLT ve değişik miktarlarda nitrometan içeren karışımlara bilinen aktivitede 3H standart çözeltisi eklenerek hazırlandı. Ölçümler 12 ± 2 °C da sabit tutulan cihaz iç sıcaklık koşullarında yapıldı. Ölçüm sonucu her bir örnek için cihazdan okunan sönüm parametresi, SQP(E), değeri eklenen trityum aktivitesine karşı grafiğe geçirildi (Şekil 1). Bu eğriden elde edilen üçüncü dereceden üstel fonksiyon değeri, CIEMAT/NIST metodunda kullanılarak trityum için sayım verimi hesaplandı (Grau Molanda ve ark., 1985; Grau Molanda ve Garcia-Toran, 1982).



114 Şekil 1. Trityum standardı ile hazırlanan sönüm eğrisi

116 2.4. Sayım Verimi ve Geri Kazanma Faktörünün Belirlenmesi

117 Trityum örneklerinin analize hazırlanması ve hesaplamaları ASTM D 4107-08 “Standard Test Method for
118 Tritium in Drinking Water” standardına uygun olarak yapıldı (ASTM D 4107-08, 2013). Bunun için öncelikle sıvı sintilasyon sayım cihazının sayım verimini ve kullanılan metodun geri kazanma faktörünü belirle-

120 mek amacıyla trityum içermediği bilinen ve ölü su olarak tanımlanan su numunesinden yaklaşık 2 L'lik bir
 121 kısım metoda uygun olarak distillendi. Elde edilen bu distillenmiş ölü su kullanılarak trityum aktivitesi yak-
 122 laşık 15 Bq / kg olan standart trityum çözeltisi hazırlandı ve distillenmiş trityum standart çözeltisi (DTS)
 123 olarak kodlandı. Hazırlanan DTS'den 100 g alındı ve ölü su eklenerek toplam kütle 150 grama tamamlanarak
 124 bazik ortamda (pH 9-10) KMnO₄ üzerinden distillendi. Distilasyon ürününün ilk 20 mL'si atıldı ve sonraki
 125 40 mL distilat toplama tüplerinde toplandı (DTS, destilat). Distilatın ilk 20 mL'sinin atılması ile aynı zaman-
 126 da numuneden gelecek kontaminasyon belirsizliği parametresi de önlenmiş oldu.

127 3 adet distillenmiş trityum standardı (DTS), 3 adet distillenmemiş trityum standardı (UDTS) ve 3 adet de
 128 distillenmiş ölü sudan (B, zemin sayımı) 8'er gram sintilasyon viallerine alındı ve 12 mL UGLLT sintilatör
 129 çözeltisi ilave edildi. Vialler sayımdan önce iyice çalkalanarak metanolle ıslatılmış kağıt havlu ile silindi.
 130 Bu şekilde ölçüme hazır hale getirilen numunelerin sayımı trityum için tanımlanan sayım protokolü kullanı-
 131 larak sıvı sintilasyon spektrometresinde yapıldı.

132 Sayım verimi (ϵ) ve geri kazanma faktörü (F) aşağıda verilen eşitlikler kullanılarak hesaplandı.

133

$$134 \quad \epsilon = \frac{DTS_{cpm} - B}{DTS_{dpm}} \quad (2.1)$$

135

136 DTS : Distillenmiş trityum standardı
 137 B : Zemin (distillenmiş ölü su) sayım hızı, cpm

138

$$139 \quad F = \frac{DTS_{cpm} - B}{\epsilon \times UDTS_{dpm}} \quad (2.2)$$

140

141 UDTS : Distillenmemiş trityum standardı (distilasyondan önce)

142 2.5. Su Numunesinin Analize Hazırlanması

143 Trityum analizi için laboratuvara gelen su numunelerinden alınan 150 mL'lik kısım ilk olarak içerdiği ya-
 144 bancı maddelerden ve madensel tuzlardan arındırılması için ASTM D 4107-08 standardına uygun olarak
 145 distilasyon işlemine tabi tutuldu. ASTM D 4107-08 standardında tüm işlemler hacim üzerinden yapılmıştı.
 146 Ancak hacim ölçümünden gelen belirsizliğin bileşenleri için de ortam sıcaklığı, bağıl nem, ölçüm kabının
 147 belirsizliği ve tekrarlanabilirlik gibi farklı kaynaklardan gelen belirsizlik bileşenlerinin katkıları vardır. Bu
 148 bileşenlerin her birinin hacim ölçümüne katkılarının ayrı ayrı değerlendirilip hesaba katılması gerekmektedir
 149 ki bu da hacimden kaynaklanan belirsizlik bileşeninin daha da büyümesine neden olmaktadır. Ancak tartım-
 150 dan gelen belirsizlik bileşeni sadece terazinin kalibrasyonundan gelen belirsizlik olup kaynağı tektir. Bu ne-
 151 denle numune alırken ve diğer hacimle ilgili parametrelerde tartım kullanılarak belirsizlik bileşenlerinin azal-
 152 tilması amaçlanmıştır.

153 Sayım verimi ve geri kazanma faktörünün belirlenmesi çalışmalarında olduğu gibi toplanan distilattan 8 g'lık
 154 kısım sintilasyon vialine alındı ve üzerine 12 mL UGLLT eklenerek sayıma hazır hale getirildi. Her bir nu-
 155 mune 50'şer dakikalık peryotlar halinde 5-7 kez sayılarak sayım sonuçlarının ortalaması alındı.
 156

157 2.6. Tritiyumun Aktivite Derişiminin Hesaplanması

158 Sayımı tamamlanan su numunelerinin trityum aktivite derişimi aşığıdaki bağıntı kullanılarak hesaplandı.

159

$$160 \frac{A_{Bq}}{g} = \frac{R-B}{\varepsilon \times m \times F} \quad (2.3)$$

161

162 Eşitlikte;

163 A : Numunenin trityum aktivite derişimi, Bq/g

164 R : Numunenin dakikadaki ortalama sayım hızı, cpm

165 B : Ölü suyun dakikadaki ortalama sayım hızı (zemin sayımı), cpm

166 ε : Sayım verimi,

167 m : Viallerdeki numune veya ölü suyun kütlesi, g

168 F : Geri kazanma faktörüdür.

169

170 3. Bulgular ve Tartışma

171 3.1. Standart Ölçüm Belirsizliğinin Değerlendirilmesi

172 Ölçüm yapmak bir cihazı okumaktan ve bazı hesaplamalar yapmaktan daha fazlasıdır. Genel olarak bir
173 ölçüm sonucu olarak verilen sayı, ölçülen büyüklüğe ait tahmini bir değerdir ve mutlaka belli bir belirsizlik
174 içerir. Çünkü ölçüm belirsizliğinin, ölçüm yöntemine bağılı olarak meydana gelen ve ölçüm sonucunu etkile-
175 yen faktörleri kapsadığı kabul edilir (NPAAC, 2007). Numunenin bileşimi, çevresel etkiler, ölçüm yöntemi
176 içinde yer alan kabuller, kütle ve hacim ölçümündeki belirsizlikler gibi pek çok neden ölçüm sonuçlarının
177 belirsizliğine katkıda bulunabilir (ISO 15189, 2003). Bu nedenle bir ölçümün belirsizlik değeri hesaplanma-
178 dan önce sonuca etkisi olabilecek bütün parametrelerin tespit edilmesi ve her birinin temel belirsizlik kav-
179 ramları ile ilişkilendirilmesi gerekir. Daha sonra her bir belirsizlik bileşeninden gelen belirsizlik, standart
180 belirsizlik (u(x)) olarak hesaplanır.

181 Ölçüm sonucuna etki eden parametrelerin bir bölümü rastlantısal olabildiği gibi bir bölümü de sistematik
182 olabilir. Ölçme hatası U, genellikle istatistiksel yöntemle hesaplanan rastgele hata (α) ve istatistiksel olma-
183 yan yöntemlerle hesaplanan sistematik hataların (β) toplamı olarak ifade edilir. Dolayısıyla;

184

$$U = \alpha + \beta \quad (3.1)$$

185 olur.

186 Bu çalışmada, trityumun aktivite derişiminin belirlenmesinde sonuca etki eden, numunenin sayım hızı, kim-
187 yasal geri kazanım, sayım verimi, numunenin kütlesi, hacmi gibi belli başlı parametrelerin birleşik ölçüm
188 belirsizliğine katkıları ayrı ayrı incelendi.

189 3.1.1. Numunenin Net Sayım Hızından Gelen Belirsizlik

190 Numunenin gerçek aktivite derişimini bulabilmek için zemin sayım hızını toplam sayım hızından çıkart-
191 mak gerekir. Bu durumda düzeltilmiş net sayım hızından gelen belirsizlik $U_{(R)}$ aşığıdaki formül kullanılarak
192 hesaplandı.

193

$$194 R_{net} = R_{numune} - B \quad (3.2)$$

195

$$U_R = \sqrt{\frac{R_{\text{numune}}}{t_{\text{numune}}} + \frac{B}{t_{\text{zemin}}}} \quad (3.3)$$

- 197 .
 198 R_{net} : Numunenin net sayım hızı, cpm
 199 R_{numune} : Numunenin toplam sayım hızı, cpm
 200 B : Zemin (ölü su) sayım hızı, cpm
 201 t_{numune} : Numunenin sayım süresi, dk
 202 t_{zemin} : Zemin (ölü su) sayım süresi, dk

203

204 50'şer dakikalık periyotlar halinde 5 tekrarlı olarak sayımı tamamlanan spike trityum numunesinin net sayım
 205 hızından gelen belirsizlik değeri $10,82 \text{ s}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır.

206

$$u_{(m)} = 2,66 \times 10^{-4} g + 3,05 \times 10^{-6} \times R \quad (3.4)$$

208

209 Ölü su üzerine eklenen trityum miktarı, standart ile doldurulan piknometrenin eklemeyen önce ve sonraki t
 210 artımları arasındaki farktan hesaplandı. Her iki tartım için eşitlik (3.4) kullanılarak hesaplanan belirsizlik
 211 değerlerinin kareleri toplamının karekökü tartımdan gelen birleşik standart belirsizlik değeridir ve % 0,027
 212 olarak bulundu.

213 Trityum standardının aktivite derişiminden gelen belirsizlik değeri, standardın kalibrasyon sertifikasında
 214 verilen değer kullanılarak

$$[U_{H-3}/C_{H-3}] = 0,0041$$

216 olarak hesaplandı.

217 3.1.3. Geri Kazanım Faktöründen Gelen Belirsizlik

218 Geri kazanım faktöründen gelen belirsizlik Eşitlik 2'de verilen distilasyon geri kazanım oranı kullanılarak
 219 hesaplandı. Buna göre yapılan 10 ayrı distilasyon sonucu elde edilen % geri kazanım faktörü (F) 1,00 olarak
 220 belirlendi ve belirsizlik değeri

221

$$U_{(F)} = RSD/\sqrt{n} \quad (3.5)$$

223

224 eşitliği kullanılarak 0,0154 olarak hesaplandı.

225 3.1.4. Tekrarlanabilirlikten Gelen Belirsizlik

226 Analizi yapan laboratuvar personelinin tekrarlanabilirlik çalışmasından gelen belirsizlik ($U_{(T)}$), çalışmaya
 227 katılan kişilerin analiz sonuçlarının bileşke standart sapmasının toplam analiz sayısının kareköküne
 228 bölünmesiyle,

229

$$[U_{(T)} = RSD_{\text{bileşke}}/\sqrt{n_{\text{toplama}}}] = 0,00128 \quad (3.6)$$

231

232 olarak hesaplandı.

233 3.2. Birleşik Standart Belirsizliğin Hesaplanması

234 Bileşenlerin tek tek belirsizliklerinin hesabı kolaydır, fakat bütün bileşenlerin toplam belirsizlik üzerine
235 katkısı hakkında çok fazla bilgi vermezler. Ancak bütün bileşenlerin oransal olarak katkıları karşılaştırılabi-
236 lir. Bu amaçla trityumun hesaplanan aktivite derişimi üzerine katkısı olan belli başlı parametrelerin belirsiz-
237 lik değerleri ve katkıları Tablo 1’de verildi.

238 Birleşik belirsizlik, net sayım belirsizliği ile sayım verimi belirsizliğine bağlı olarak değişkenlik gösterdiğin-
239 den genel bir formülle ifade edilememektedir.

240 Ancak analiz sonucu (Y), birleşik belirsizlik değeri ile birlikte aşağıda verildiği şekilde rapor edilmiştir.

241

$$242 Y \pm \sqrt{\sum(U_{xi}/X_i)^2} \quad (3.7)$$

243

244 Y : Trityum aktivite derişimi (Bq/kg)

245 X_i: Belirsizlik bileşeninin değeri

246 U_{xi}: Her bir bileşenin belirsizliği

$$247 A_{Bq/kg} = 16,33 \pm 3,47 \quad (k=2 \quad \% 95 \text{ Güven Seviyesi})$$

248

249 Tablo 1

250 Trityumun aktivite derişiminin belirlenmesi ile ilgili belirsizlik bileşenleri ve standart birleşik belirsizlik.

Bileşen	Değer, X	Belirsizlik, $u_{(x)}$	Bağlı belirsizlik, $u_{(x)}/X$	% Kat- kı
Net sayım hızı (R-B)	117	10,82	0,092	74,8
Sayım verimi, ϵ	0,30	0,015	0,051	23,0
Geri kazanım faktörü, F	100	1,50	0,0154	2,09
Tekrarlanabilirlik	100	1,277	0,00128	0,014
Tartım, g	8	0,00029	0,0000363	0,0
Aktivite, (Bq/kg)	16,33			
Standard birleşik belirsizlik			1,74	
Genişletilmiş belirsizlik (k = 2)			3,48	

251

252 4. Sonuç

253 Günümüzde bir analiz sonucunun ölçüm belirsizliği ile birlikte rapor edilmesi, hem analizi yapan kişinin
254 kendi sonuçlarının kalitesini görebilmesi açısından hem de analiz sonucunu kullananlara sonucun güvenilir-
255 liği hakkında oldukça önemli bilgiler verir. Çünkü analiz sonucu ile birlikte rapor edilen belirsizlik değeri
256 laboratuvarın izlenebilir ve iyileştirmelere açık bir analiz yöntemi kullandığının açık bir göstergesidir. Ölçüm
257 belirsizliği bütçesinin hazırlanması, belirsizlik bileşenlerinden hangisinin veya hangilerinin daha etkili oldu-
258 ğunu ve böylece analiz yönteminin hangi aşamalarında iyileştirmelere gerek duyulduğunu gösterecektir.
259 Aynı zamanda performansı daha iyi cihaz sistemleriyle çalışılması, çevresel ve dış etkenlerin sürekli kontrol
260 edilmesiyle daha düşük belirsizlik düzeylerine inmek her zaman mümkündür. İçme sularında trityum radyoi-
261 zotopunun aktivite derişiminin belirlenmesi amacıyla, spike su numunesine uygulanan ASTM D 4107-08
262 standart analiz metodunun sonuçları belirsizlik bileşenleri ve bunların standart birleşik belirsizlik değeri üze-
263 rine katkıları ile birlikte Tablo 1’de verilmiştir. Tablodan da görüldüğü gibi en büyük belirsizlik bileşenleri-
264 nin sırasıyla numunenin sayım hızı ve sayım verimi olduğu görülmektedir. Sayım hızı numunedeki trityu-
265 mumun aktivite derişimi ile sayım verimi de trityumun beta ışın enerjisi ile doğrudan ilgili parametrelerdir. Bu
266 nedenle özellikle düşük aktiviteye sahip numunelerin sayım sürelerini uzun tutmakla sayım hızından ve sa-
267 yım veriminden gelen belirsizlik katkılarını önemli ölçüde azaltmak mümkündür.

268 **Teşekkür**

269 Çalışmanın yapıldığı Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi,
270 Radyoaktivite Ölçüm ve Analiz Bölümü, Sıvı Sintilasyon Sayım Laboratuvarı'na teşekkürlerimi sunarım.

271 **Kaynaklar**

272 Altay, T. ve Çifter, C. (1996). Tritiyum laboratuvarı el kitabı, *DSİ TAKK Dairesi Başkanlığı, Ankara, İZ-90,*
273 55s Erişim adresi: www.academia.edu > Gülcan top -Sıvı Sintilasyon Cihazı ile İçme Sularında Trit-
274 yum Seviyelerinin Belirlenmesi

275 Anonymous. (2005). ENISO/IEC 17025, General requirements for the competence of testing and calibration
276 laboratories, *CEN Management Centre, Brussels.* Erişim adresi:
277 <https://www.iso.org/standard/39883.html>

278 ASTM D 4107-08. (2013). Standard test method for tritium in drinking water. Erişim adresi:
279 <https://www.astm.org/Standards/D4107.htm>

280 DSİ Genel Müdürlüğü, Toprak Su Kaynakları. Erişim adresi: <http://www.dsi.gov.tr/toprak-ve-su-kaynaklari>

281 Environmental Isotopes in the Hydrological Cycle. (March 2000). Principles and Applications. Water Reso-
282 urces Programme, *International Atomic Energy Agency and United Nations Educational, Scientific*
283 *and Cultural Organization, Paris / Vienna.* Vol. 1, s. 84. Erişim adresi: [http://www-](http://www-naweb.iaea.org/naweb/ih/documents/global_cycle/Environmental_Isotopes)
284 [naweb.iaea.org/naweb/ih/documents/global_cycle/Environmental_Isotopes](http://www-naweb.iaea.org/naweb/ih/documents/global_cycle/Environmental_Isotopes)

285 Grau Malonda, A., Garcia-Toran, E. (1982). Evaluation of counting efficiency in liquid scintillation coun-
286 ting of pure beta-ray emitters. *The International Journal of Applied Radiation and Isotopes*, 33(4),
287 249-253. Erişim adresi: http://www.nipne.ro/rjp/2011_56_9-10/1148_1155.pdf

288 Grau Malonda, A., Garcia-Toran, E., Los Arcos, J. M. (1985). Liquid-scintillation counting efficiency as a
289 function of the figure of merit for pure beta-particle emitters. *International Journal of Applied Radia-*
290 *tion and Isotopes*, 36(2), 157–158. Erişim adresi: [http://www.nipne.ro/rjp/2011_56_9-](http://www.nipne.ro/rjp/2011_56_9-10/1148_1155.pdf)
291 [10/1148_1155.pdf](http://www.nipne.ro/rjp/2011_56_9-10/1148_1155.pdf)

292 International Organization for Standardization. ISO 15189:2003. Medical laboratories-Particular require-
293 ments for quality and competence. International Organization for Standardization, Geneva. Erişim ad-
294 resi: <https://www.iso.org/standard/26301.html>

295 NPAAC, National Pathology Accreditation Advisory Council. (2007) Requirements for the estimation of
296 measurement uncertainty. Common wealth Department of Health and Ageing, Canberra. Erişim adre-
297 si: <https://www.apfcb.org/umnpaac.pdf>

298 Benliay, A. *PLANT, Peyzaj ve Süs Bitkiciliği Dergisi.* (2019). Erişim adresi:
299 <https://www.plantdergisi.com/yrd-doc-dr-ahmet-benliay/su-varligi.html>

300 Roether, W. (1967). Estimating the tritium input to ground water from wine samples: ground-water and di-
301 rect run-off contribution to central European surface waters, *Proc. IAEA Conference on Isotopes in*
302 *Hydrology, IAEA, Vienna,* 73–90. Erişim adre-
303 si: https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:38061056

304 Thomas, B. C., William, M. A., Robert, S. N., Milton, M.H. (1987). Nuclear Weapons Data Book, Vol II,
305 U.S. *Nuclear Warhead Production, Appendix C, Tritium Inventory*, 179-182. Erişim adresi:
306 https://fas.org/pubs/_docs/nuclear_weapons_databook_v1.pdf

307 Turkish Ministry of Health. Regulation about natural mineral waters. *Official Gazette No: 25657,02004.*
308 Erişim adresi: <https://www.researchgate.net/publication/6258866>

- 309 Wallac Quantulus 1220™. (2002). Ultra low level liquid scintillation spectrometer. *Instrument Manual*,
310 Wallac, Perkin Elmer, 1220-931-06. Erişim adresi:
311 https://www.perkinelmer.com/content/manuals/gde_quantulusinstrumentmanual.pdf
- 312 Xiaolin, H. ve Per, R. (2008). Critical comparison of radiometric and mass spectrometric methods for the
313 determination of radionuclides in environmental, biological and nuclear waste samples. *Analytica*
314 *Chemica Acta*, 608: 105-139. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1016/j.aca.2007.12.012>
- 315
- 316

Temizlik Çalışanlarının Çalışma Duruş Pozisyonlarının REBA

Yöntemi ile Ergonomik Açından İncelenmesi

Müge Ensari Özay^{1*}, Gülçin Özcan¹

¹İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Üsküdar Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

Makale Tarihiçesi

Gönderim: 25.10.2019

Kabul: 11.02.2020

Yayın: 22.05.2020

Araştırma Makalesi

Öz – İşyerlerindeki yoğun çalışma temposu, çalışanların uygun olmayan fiziki şekillerde çalışmasına ve bunun sonucunda kas iskelet sistemi hastalıklarına neden olmaktadır. Bu çalışmada REBA yönteminin seçilmesinin nedeni duruş bozukluklarını nicel olarak kategorize edilmesi ve hızlı bir şekilde tüm vücut duruş pozisyonu analizi yapılabilmesidir. Bu çalışmada iki farklı işyerinde beş farklı temizlik işi ve on iki çalışma duruş pozisyonu REBA yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. İki iş yerinde toplam 30 temizlik çalışanı görev yapmakta ve aynı temizlik işleri yapılmaktadır. Yapılan temizlik işleri analiz edildiğinde 11 farklı iş ve 51 çalışma duruş pozisyonu belirlenmiştir. Bu amaçla, haftada bir kez olmak üzere bir ayda toplamda 4 defa her iki firmaya da gidilerek çalışmalar kaydedilmiş ve izlenmiş ve fotoğraflanmıştır. Bu pozisyonların içinden riskli olduğu düşünülen ve en sık yapılan 5 farklı iş ve 12 çalışma duruş pozisyonu detaylı incelenmiştir. Beş farklı temizlik işinden dördü orta seviyede riskli, biri düşük seviyede riskli olarak hesaplanmıştır. Bina içerisinde camların silinmesi işlemi ve dış cephe cam silme işleminde REBA skoru ortalaması 4.7, makine ile yer silme işleminde 7, yer süpürme işleminde 6.5 olarak hesaplanmış olup risk seviyeleri orta, önlemleri ise gerekli çıkmıştır. Yer silme işleminde REBA skoru ortalaması 3 olarak hesaplanmış ve risk seviyesi düşük bulunmuştur. İncelenen beş çalışma duruş pozisyonundan, risk seviyesi orta olan makine ile yer silme ve yer süpürme işlemleri ile ilgili tavsiyelerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler – Ergonomi, iş sağlığı ve güvenliği, REBA yöntemi, risk analizi, temizlik çalışanları

Ergonomic Investigation of Working Posture Positions of Cleaning Workers by REBA Method

¹Department of Occupational Health and Safety, Faculty of Health Sciences, Uskudar University, Istanbul, Turkey

Article History

Received: 25.10.2019


Accepted: 11.02.2020

Published: 22.05.2020

Research Article

Abstract – The intensive work tempo and inappropriate physical conditions in the workplace causes musculoskeletal diseases. The reason for choosing REBA method in this study is that it is able to categorize posture disorders quantitatively and to analyse whole body posture position quickly. In this study, five different cleaning jobs and twelve working posture positions in two different workplaces are analysed by using REBA method. A total of 30 cleaning employees work in two workplaces and the same cleaning jobs are carried out. When the cleaning works are analysed, 11 different jobs and 51 working positions are determined. For this purpose, the postures have been recorded, monitored and photographed by visiting both companies once a week, 4 times in a month. Among these positions, the most frequently performed 5 different jobs and 12 working postures, which are considered to be risky, are examined in detail. As a result of these analyses, four of the working positions are calculated as moderately risky and one has low risk score. The average REBA score in the process of wiping windows and facade wiping in the building, machine wiping and floor sweeping are 4.7, 7 and 6.5, respectively. These risk levels were moderate and measures were required. The average of REBA score in floor cleaning process is 3, the risk level is low. The five working stop positions are examined, and suggestions are made for the machine wiping and sweeping operations with medium risk.

Keywords – Ergonomics, occupational health and safety, REBA method, risk analyses, cleaning workers

¹  <https://orcid.org/0000-0002-4785-5503> müge.ensariozay@uskudar.edu.tr

²  <https://orcid.org/0000-0003-0367-0416> gulcncobanoglu@gmail.com

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1. Giriş

Çalışanların sağlıklı bir çalışma yaşamı sürebilmeleri ve çalışma verimliliğini arttırmak için çalışma duruş pozisyonlarının ergonomik olarak değerlendirilmesi ve uygulanabilirliğinin sağlanması gerekmektedir (Dul ve Weerdmeester, 2008). Ergonomi, refah düzeyini artıracak sosyal hedeflere ve performans attıracak ekonomik hedeflere hizmet edebilmektedir. Toplumsal olarak ergonomi, çalışma şartlarının iyileştirilmesiyle kas iskelet sistemi hastalıklarını önlemeyi amaçlar (Duran ve Köksal, 2016). Ergonomik olarak tasarlanmış üretim süreçleri ile bir şirket, verimlilik ve kalite açısından insan performansını artırabilir ve önemli maliyet düşürme işlemlerini gerçekleştirebilir (Dul ve Weerdmeester, 2008). 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu'nun çıkmasıyla birlikte, iş kazaları ve meslek hastalıklarının azaltılması veya önlenmesi, çalışanlar için işyerinde sağlıklı ve güvenli bir ortam sağlanması temel amaç ve hedef haline gelmiştir. İşyerlerinde ergonominin önem verdiği ve çalıştığı konulardan biri de çalışma duruş pozisyonlarıdır. Duruş işin yapıldığı anda oluşan vücut şeklidir. Eklem, vücutun hareketi sırasında en az zorlandığı ve enerji harcadığı duruş pozisyonu, nötral pozisyonur. Omurga ve her bir eklem için belirli olan nötral duruş pozisyonunun uygulanması ve korunması, bel, sırt, boyun ve tüm eklemlerin sağlıklı olmasında ve sağlığının devam etmesinde oldukça etkilidir (Yetim ve Gündüz, 2015).

İş hayatını olumsuz etkileyen en önemli sorunlardan biri olan kas iskelet sistemi rahatsızlıkları (KİSR) kaslar, sinirler, tendonlar, kıkırdaklar, bağlar ve diskler (omurga) gibi vücutun belirli bölgelerinde oluşabilmektedir. Kas ve iskelet sistemi sendromları ise eğilme, doğrulma, tutma, kavrama, bükme ve uzanma gibi sıradan vücut hareketlerinden ortaya çıkmaktadır (Akay Dağdeviren ve Kurt, 2003). Kas iskelet sistemi hastalıklarının meydana gelmesi büyük oranda hatalı duruş pozisyonlarından kaynaklanmaktadır. Çalışma ortamının moral motivasyon düzeyi, ortamın ergonomik şartlara uygun dizayn edilip edilmemesi ve çalışanların ergonomi ve KİSR konusunda eğitilmiş olup olmamaları, bu hastalığın ortaya çıkmasındaki diğer etkenler arasındadır. KİSR aynı zamanda iş verimini düşürmekte, çalışanlar arasında çatışmalara neden olmakta ve çalışanın iş kazası geçirme riskini arttırmaktadır. Bu süreçler sonucunda oluşan rahatsızlıklar maddi ve manevi kayıplara sebep olmaktadır. Kas ve iskelet sistemi rahatsızlıklarını önlemek ve azaltmak konusunda bütünleşmiş bir yönetim çalışmasına ihtiyaç vardır. Kas ve iskelet sistemi hastalıkları engellilik nedenleri arasında önemli bir yere sahiptir. Ortaya çıkan kişilerde, yaşam kalitesi olumsuz şekilde etkilenmektedir. Ayrıca sosyal ve ekonomik yükü büyük olan hastalıklardır. Hastalığın erken fark edilmesi ve tedavi edilmesi sonucunda yaşam kalitesini ve alanını arttırmak mümkündür (T.C. Sağlık Bakanlığı, 2015).

KİSR'e sebep olan kişisel risk faktörleri; sigara kullanımı, yaş, cinsiyet, eğitim durumu, tıbbi durumu, çalışırken harcadığı fiziksel güç ve mesleğe uygun olmayan fiziksel aktiviteler olarak sıralanabilir (Enez ve Nalbantoğlu, 2015). KİSR'e neden olan fiziksel ve ergonomik risk faktörleri; vücut pozisyonu, vücutun tekrar eden hareketleri, dinlenmeden uzun süre çalışma, elle ağır iş taşıma/indirme/kaldırma gibi güç gerektiren hareketler, yapılan işin hızı, çalışma ortamındaki fiziksel riskler (termal konfor, titreşim gibi), psikososyal riskler (stres, baskı, düşük maaş, çalışma arkadaşları arasındaki anlaşmazlık gibi) şeklinde sıralanabilir (Esen ve Fırlalı, 2013; Kazemi, 2016). KİSR'e neden olduğu bilinen psikososyal risk faktörleri de bulunmaktadır. Bunlar, yaptığı işten memnun olmama, sürekli aynı işin yapılması, zaman baskısı, yetersiz denetçi ve iş arkadaşı desteği, dinlenme sürelerinin yetersizliği gibi yetersiz organizasyonel etkenler, çalışma süresi, alınan ücret, ayrımcılık, stres, şiddet, rol belirsizliği şeklindedir (Özcan ve Kesiktaş, 2007).

Amerika'da kayıt altına alınan kas iskelet sistemi hastalıkları vakalarının %32'si aşırı zorlanma veya tekrarlanan hareket, %65'i aşırı zorlanma ile kaldırma, %52'si nesnelere itme veya çekme, %58'i tutma, taşıma veya aşırı zorlama hareketleri kaynaklı olduğu rapor edilmiştir. Bu uygunsuz şekilde çalışmanın geri dönüşü ise sırt ağrısı, omuz ağrısı, yaralanma ve işten en az 6 gün uzak kalma şeklinde olmuştur (Bernard, 1997). İngiltere sağlık ve güvenlik idaresinin 2006 yılındaki raporunda en fazla oluşan hastalığın mesleki kas iskelet sistemi hastalığının olduğu ve yılda bir milyon kişiyi etkilediği belirtilmektedir (Özel ve Çetik, 2010). Mesleki kas iskelet sistemi hastalıklarının ulusal bir halk sağlığı önceliği olduğu, erken tanı ve tedavi ile klinik ölçümlerle, sağlık ekonomisi, teknolojisi ve üretim verimliliği ile birlikte desteklenmesi gerektiği uluslararası platformlarda vurgulanmıştır (Duran ve Köksal, 2016; Yetim ve Gündüz, 2015).

Çalışma koşullarına ve eğitim düzeyine bağlı olarak işyerlerinde ergonomik olmayan çalışmalarda meydana gelebilecek kas iskelet sistemi hastalıklarının değerlendirilmesi ve çözümler üretilmesi çalışanın iş yaşamı sonrasındaki hayatında da oldukça önemlidir. İşyerlerindeki yoğun çalışma temposu çalışanların uygun olmayan fiziki şekillerde çalışmasına neden olmakta ve bunun sonucunda kas iskelet sistemi hastalıkları meydana gelmektedir. Bu hastalıkların oluşmasını ve sürekli hale gelmesini engellemek amacıyla uygun olmayan duruş pozisyonlarının değerlendirilmesi için günümüzde kullanılan birden fazla ergonomik risk analizi metodu mevcuttur. Bu metotlar gözlemsel ve ölçüm tabanlı teknikler olarak ikiye ayrılmaktadır (Kee ve Karwowski, 2007). REBA, RULA, OWAS ve bunlar gibi gözlemsel yöntemler, fiziksel iş yükünü değerlendirmede kullanılan en yaygın yaklaşımdır (Takala vd., 2010). REBA risk analizi yöntemi, çalışma duruş pozisyonları esnasında ortaya çıkan yüklere göre bir risk skoru belirleyen ve vücudun tüm kısımlarının değerlendirilmesine imkân sağlayan bir yöntemdir (Atıcı, Gönen ve Oral, 2015; Özay ve Doğanbatır, 2018).

Temizlik işleri silme, ovma gibi sık ve tekrarlı hareketler, eğilme, çömelme gibi uygun olmayan vücut duruşları, itme, çekme ve ağırlık kaldırma gibi aşırı güç gerektiren faaliyetlerden oluştuğu için kas iskelet sistemi rahatsızlıklarının fazlaca görüldüğü işlerdendir (Çırpan, Kahraman ve Çırpan, 2016). Bu çalışmada temizlik çalışanlarının duruş pozisyonları REBA analizi yöntemi ile değerlendirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre çalışanların kas iskelet sistemi hastalıklarının azaltılması için önerilerde bulunulmuş ve ergonomik risk değerlendirmesi yapılmıştır. Bu çalışmada REBA yönteminin seçilmesinin temel nedeni hızlı ve kolay bir şekilde tüm vücut duruş pozisyonu analizi yapılabilmesi ve duruş bozukluklarını nicel olarak kategorize ederek risklerin belirlenebilmesidir.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada 3 bloktan oluşan bir üniversitenin ve 3 katlı genel merkezi olan ofis malzemeleri satışı yapan bir firmanın temizlik işleri REBA metodu ile incelenmiştir. İki iş yerine de aynı taşeron firma hizmet vermekte, aynı temizlik işleri yapılmakta ve toplam 30 temizlik çalışanı görev yapmaktadır. Yapılan 11 farklı iş ve 51 çalışma duruş pozisyonu belirlenmiş, bu pozisyonların içinden riskli görünen ve en sık yapılan 5 farklı iş ve 12 çalışma duruş pozisyonu incelenmiştir. REBA analizi yapılan çalışma alanları fotoğraflaması ve izlemesi için haftada bir kez olmak üzere bir ayda toplamda 4 kez firmaya gidilerek çalışmalar kaydedilmiş ve izlenmiştir.

Hignett ve McAtamney (2000) tarafından REBA yöntemi; hatalı duruş pozisyonlarını belirleyerek sayısal ve sözel tablolar sayesinde duruş pozisyonlarına bağlı oluşabilecek kas iskelet hastalıklarının önlenmesi için tasarlanmıştır. Yöntemi geliştirmek için fizyoterapistlerden ve ergonomistlerden oluşan bir ekip 600'den fazla duruş pozisyonu örneğini toplayarak kodlama yapmışlardır. REBA metodu ile çalışma sırasında birden fazla duruş pozisyonu önemli bir zaman, çaba, maliyet olmadan hızlı bir şekilde değerlendirilebilmektedir. REBA yöntemi, vücudun sağ ve sol tarafının aynı anda değerlendirilmesini de olanaklı kılmaktadır (Sağiroğlu, Coşkun ve Erginel, 2015).

REBA skorunun belirlenme algoritmasında (Hignett ve McAtamney, 2000; Sağiroğlu, Coşkun ve Erginel, 2015) REBA duruş puanlama tablolarına göre; gövde, boyun ve bacaklar A grubunu, üst kol, alt kol ve bilek B grubunu oluşturur. A grubunda belirlenen bu değere yük/kavrama skoru eklenir. Yük/kavrama tablosuna göre verilecek değer, <5 kg ise 0 puan, 5-10 kg arası ise 1 puan, >10 kg ise 2 puan, ani veya hızlı kuvvet artışı var ise +1 puan şeklindedir. B grubunda belirlenen değere kavrama skoru eklenir. Kavrama skoru 0 ile 3 arasındadır. Bu değerler, iyi bir tutma ve orta derecede kavrama gücü var ise 0 puan, el tutuşu uygun fakat ideal değil veya vücudun başka bir bölgesi ile kavrama uygun ise 1 puan, el tutuşu uygun değil fakat mümkün ise 2 puan, zor ve güvenli olmayan tutuş var ve tutma kolu yok ise veya vücudun başka bir bölgesini kullanarak uygun olmayan tutuş ise 3 puan şeklindedir. Elde edilen A ve B skorları C tablosunda birleştirildiğinde çıkan sonuç C skorunu verir. Belirlenen C skoruna aktivite skor değeri eklenerek REBA skoru elde edilir. Aktivite skor değeri, bir veya birden fazla vücut bölgesi sabit ise +1 puan, kısa aralıklarla tekrar edilen işler var ise (yürüme hariç) +1 puan, yapılan iş duruşta hızlı ve büyük değişikliklere neden oluyorsa veya sabit olmayan zeminde çalışılıyorsa +1 puan eklenmesi şeklinde hesaplanır. Tablo 1'de görüldüğü gibi elde edilen REBA derecesi 0 ile 4 arasında, REBA skoru 1-15 arasında olabilir (Hignett ve McAtamney, 2000).

Tablo 1
REBA Derecelendirme Tablosu (Hignett ve McAtamney, 2000)

Derece	REBA Skoru	Risk Seviyesi	Önlem
0	1	İhmal Edilebilir	Gerekli değil
1	2-3	Düşük	Gerekli olabilir
2	4-7	Orta	Gerekli
3	8-10	Yüksek	Kısa zaman içerisinde gerekli
4	11-15	Çok Yüksek	Hemen gerekli

3. Bulgular ve Tartışma

Çalışmada analizi yapılan tüm pozisyonların REBA sonuçları Tablo 2’de verilmiştir. Bina içerisinde camların silinmesi işlemi ve dış cephe cam silme işleminde REBA skoru ortalaması 4.7, makine ile yer silme işleminde REBA skoru ortalaması 7, yer süpürme işleminde REBA skoru ortalaması 6.5 olarak hesaplanmış olup risk seviyeleri orta, önlemleri ise gerekli çıkmıştır. Yer silme işleminde REBA skoru ortalaması 3, risk seviyesi düşük, önlem ise gerekli olabilir şeklindedir. İncelenen 5 çalışma duruş pozisyonundan, risk seviyesi orta fakat sayısal değeri yüksek olan makine ile yer silme ve yer süpürme işlemleri ile ilgili önerilerde bulunulmuştur.

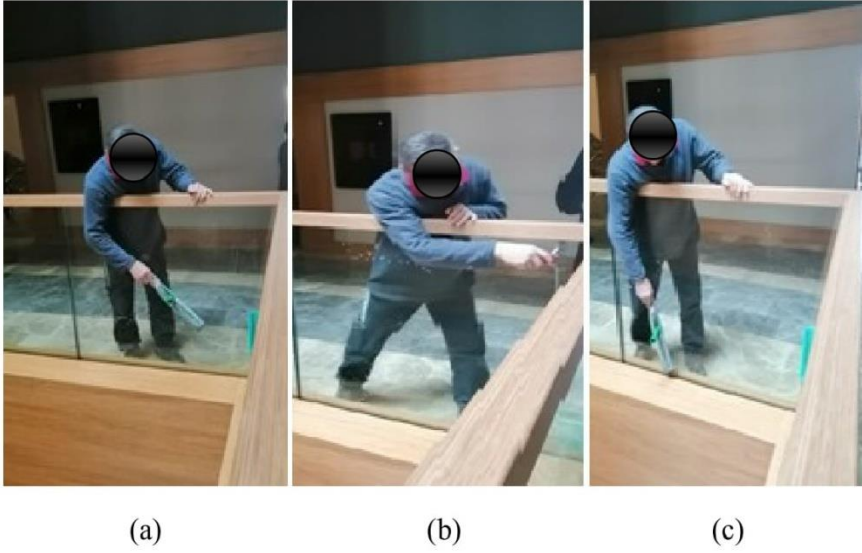
Tablo 2
Reba Skoru Hesaplamaları

	Bina İçinde Cam Silme İşlemi Şekil 1			Dış Cephe Cam Silme İşlemi Şekil 2			Mop ile Yer Silme İşlemi Şekil 3		Makine ile Yer Silme İşlemi Şekil 4		Yer Süpürme İşlemi Şekil 5	
	a	b	c	a	b	c	a	b	a	b	a	b
DURUŞLAR												
Gövde	2	2	2	1	2	3	1	3	3	2	2	3
Boyun	2	2	2	2	1	2	1	2	2	1	1	2
Bacaklar	2	2	2	1	1	2	1	1	2	2	2	2
Tablo A	4	4	4	1	3	5	1	3	5	3	3	5
Yük/Kuvvet Skoru	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	1	1
A Skoru	4	4	4	1	3	5	1	3	7	5	4	6
Üst Kol	1	2	2	4	4	2	1	2	2	2	1	2
Alt Kol	1	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2
Bilekler	1	1	1	1	1	2	1	2	2	1	1	2

Tablo B	1	2	2	5	5	2	1	3	3	2	2	3
Kavrama	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
B Skoru	1	2	2	5	5	2	1	3	4	3	3	4
C Skoru	3	4	4	3	4	4	1	3	8	4	4	7
Aktivite Skoru	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
REBA SKORU	4	5	5	4	5	5	2	4	9	5	5	8
Ortalama		4.7			4.7		3		7		6.5	

3.1. Bina İçindeki Camların Silinmesi İşlemi

Binada günlük cam silme işlerinin yanı sıra 2 hafta bir 200 m²'den oluşan bina içinde bulunan cam korkuluklar silinmektedir. Şekil 1'de bina içindeki cam silinmesi işlemleri görülmektedir. Cam silme işlemini sadece bir kişi yapmaktadır.

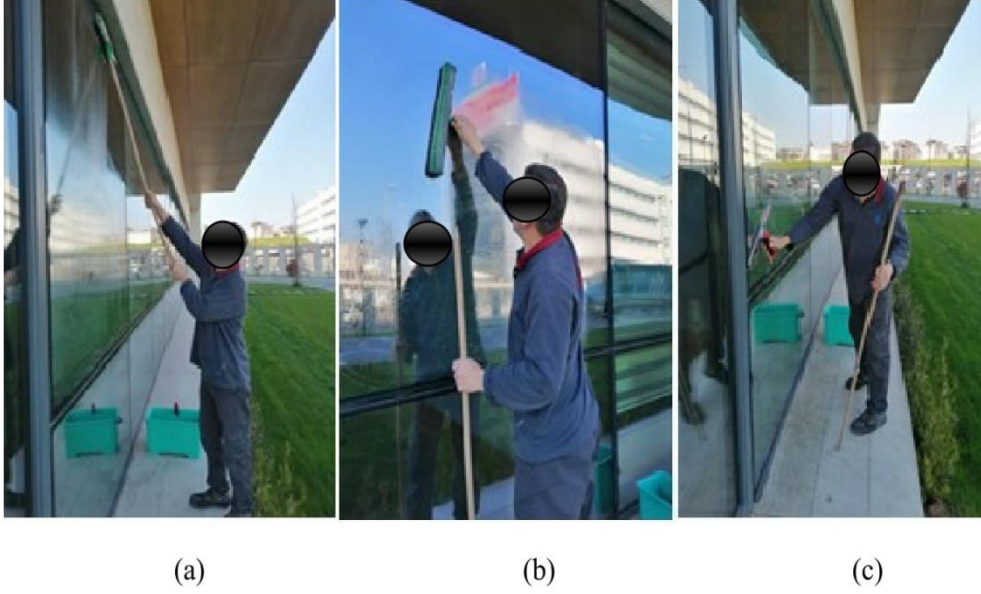


Şekil 1. Bina İçinde Cam Silme İşlemi

REBA skoru 4.7 olarak hesaplanmıştır. Tablo 1'e göre risk seviyesi orta ve derecesi 'önlem gerekli' şeklindedir. Sadece bu alan için değil genel olarak cam silme işleminin her gün bir kişi tarafından yapılması ve silme işlemi için kullanılan malzemelerin sürekli taşınması sırt ve bel ağrılarının neden olmaktadır. Bu işin iki kişi ile yapılması, dinlenme saatlerinin yasal düzenlemelere uygun verilmesi, taşınan malzemelerin elde değil de hareketli bir aparat (araba vb.) ile taşınması sırt ve bel ağrılarının azalmasını sağlayacaktır.

3.2. Dış Cephe Cam Silme İşlemi

Şekil 2'de görülen dış cephe cam silme işlemi ayda bir defa yapılmaktadır. Dış cephe cam silme işlemini sadece bir kişi yapmaktadır.

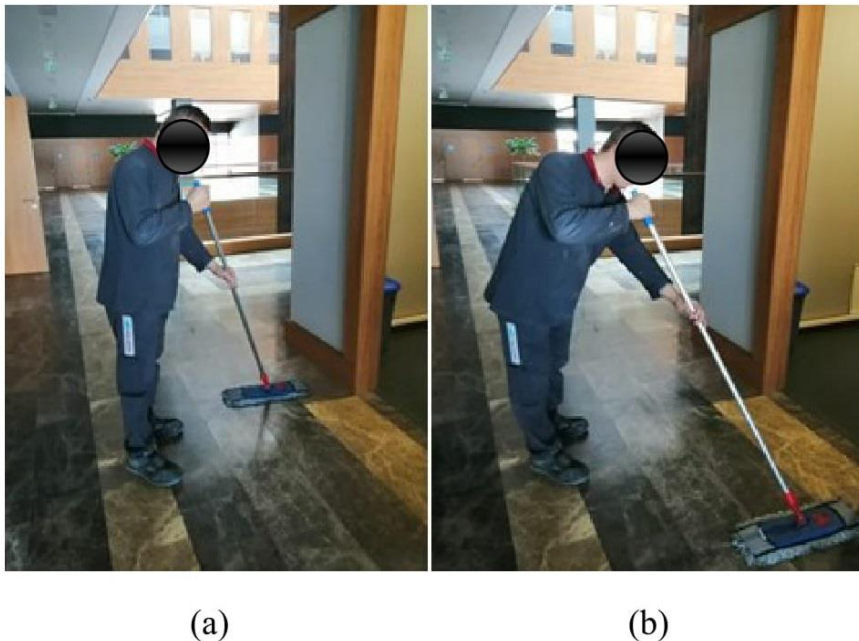


Şekil 2. Dış Cephe Cam Silme İşlemi

REBA skoru 4.7 olarak hesaplanmıştır. Tablo 1'e göre risk seviyesi orta, derecesi ise 'önlem gerekli' şeklindedir. İşlemin sürekli yapılması kas ve iskelet sistemi rahatsızlıklarının artmasına neden olabilmektedir. Dış cephe cam silme işleminin sürekli olmayıp ayda bir defa yapılması risk seviyesi değerini korumaktadır. Bu süreçte dinlenme süresinin uzun tutulması ve bir günde bitirmek yerine işin iki güne yayılması önerilmektedir. Cam silerken yerdeki kovadan su alma, kirlenen suyu değiştirme, yeni su hazırlama gibi işlemlerde eğilme ve kalkma hareketi sık sık yapılmaktadır. Ayrıca kovaya doldurulan suyun hacmi en az 2 litredir. Eğilme kalkma hareketlerinin ve kovanın taşınmasının engellenebilmesi için günümüz teknolojisinde üretilen akülü cam temizleme makinesinin kullanılması önerilmektedir.

3.3. Mop ile Yer Silme İşlemi

Yer silme işlemi her gün mop ve makine olmak üzere 2 şekilde yapılmaktadır. Şekil 3'de mop ile yer silme işlemlerinin duruş pozisyonları görülmektedir.



Şekil 3. Mop ile Yer Silme İşlemi

REBA skoru 3 olarak hesaplanmıştır. Tablo 1'e göre risk seviyesi düşük ve derecesi 'önlem gerekli olabilir' şeklindedir. Mop paspasının yapısının hafif ve zemine uygun kolay kayan türden olması gerekmektedir. Mop paspası ıslandıkça ağırlaşır ve hareket etmesi zorlaşır. Bu sebeple paspasın sık sık değişmesi önerilmektedir. Silinen alanda çalışanın sabit durup mopu uzatarak silme işlemi yapılmamalıdır. Silinecek her noktaya vücut dik duracak şekilde hareket edilmesi ve sık sık baş boyun egzersizlerinin yapılması tavsiye edilmektedir.

3.4. Makine ile Yer Silme İşlemi

Şekil 4'de görülen makine ile yer silme işlemi her gün yapılmaktadır. Çalışanın kullandığı makine ağırlığı yaklaşık 65 kg civarındadır.



(a)

(b)

Şekil 4. Makine ile Yer Silme İşlemi

REBA skoru 7 olarak hesaplanmıştır. Tablo 1'e göre risk seviyesi orta ve derecesi 'önlem gerekli' şeklindedir. Yapılan iş ise her sabah 2 saat kadar sürmektedir. Bu süre içerisinde çalışanın makineyi itmek için sarf ettiği güç ile birlikte oluşan uygunsuz duruş pozisyonları sonucunda oluşabilecek bel, boyun, kol ve bacak rahatsızlıklarının önlenmesi için daha hafif, oturarak kullanılabilen bir makine ile yer değiştirmek ve çalışmayı 2 kişinin saatleri bölüşerek yapması tavsiye edilmektedir.

3.5. Yer Süpürme İşlemi

Şekil 5'de görüldüğü şekilde 2 günde bir halı olan tüm alanlar süpürülmektedir.



(a)

(b)

Şekil 5. Yer Süpürme İşlemi

REBA skoru 6 olarak hesaplanmıştır. Tablo 1'e göre göre risk seviyesi orta, önlem ise gerekli şeklindedir. Firmanın tamamının yer döşemesi halı şeklindedir. Fazla çalışanın da olması nedeniyle tozların önlenmesi için sık sık süpürme işlemi yapılmaktadır. Kullanılan makine eski model bir makine olup hem çok gürültülü, hem süpürdüğü alanda ekstra bir toz meydana getirmektedir. Uzatma kablosu kullanılmadığı için Şekil 5a'da görüldüğü üzere mümkün olan yere uzanma eğilimi meydana gelmektedir. Süpürge makinesinin hortum boyunun kısa olması kişinin fazlaca eğilmesine neden olmaktadır. Öncelikle; ekstra toz çıkarmayan, daha az gürültülü ve hortum kısmı ergonomik olan bir süpürge makinesi tercih edilmelidir. Süpürge makinesinin değişmesi ile sırt ve bel ağrılarının önüne geçeceği düşünülmektedir. Çalışmanın sonunda yapılan işlerin, REBA skoru, risk seviyesi ve önlem derecesi liste haline getirilerek aşağıdaki Tablo 3'de sunulmuştur.

Tablo 3
Genel Değerlendirme Tablosu

Yapılan İş	Reba Skoru	Risk Seviyesi	Önlem
Bina İçinde Cam Silme İşlemi	4.7	Orta	Önlem gerekli
Dış Cephe Cam Silme İşlemi	4.7	Orta	Önlem gerekli
Mop ile Yer Silme İşlemi	3.0	Düşük	Önlem gerekli olabilir
Makine ile Yer Silme İşlemi	7.0	Orta	Önlem gerekli
Yer Süpürme İşlemi	6.5	Orta	Önlem gerekli

Yapılmış olan araştırmalarda duruş, kuvvet ve zaman parametrelerinin kas iskelet sistemine yüklenmesiyle, iş ile alakalı kas iskelet sistemi rahatsızlıklarının görülme sıklığıyla doğru orantılı olduğu doğrulanmıştır (Özcan, 2011). İşe bağlı hastalıklarının %50'sini KISH oluşturmaktadır ve bu hastalıkların oluşumlarında çalışma sırasında tekrarlamalı, zorlamalı hareketler, vücudun kötü pozisyonlarda kullanımı

önemli rol oynamaktadır (Özcan ve Kesiktaş, 2007). Türkiye’de Sakatlık yükü (Years Lost due to Disability) sıralamasında KİSH, %9,9 ile üçüncü sırada yer almaktadır (Bilir, 2007).

Erdemir ve Eldem (2019), bir döküm işletmesinde pota hazırlama sürecindeki duruş pozisyonlarını REBA yöntemi ile inceleyerek kas ve iskelet sistemi rahatsızlıklarını değerlendirilmiştir. Sevimli ve arkadaşları (2018), pirinç paketleme işindeki çalışanların duruş pozisyonları REBA ve BAUA yöntemleri ile analiz etmiş, iyileştirme önerileri sonucunda risklerin azaldığını bildirmiştir. Özay ve Doğanbatır (2018), perakende sektöründe bir süpermarkette çalışanların duruş pozisyonlarını REBA, NIOSH ve SNOOK yöntemlerini kullanarak kasap, şarküteri, depo ve manav reyonlarındaki kaldırma, taşıma, itme, çekme ve tutma pozisyonlarını incelemişler ve önerilen iyileştirmeler sonucunda daha güvenli çalışma ortamı sağlandığını belirtmişlerdir. Bu çalışmada yapılan analizler ve düşük maliyetli öneriler sonucunda temizlik çalışanlarının çalışma duruş pozisyonlarının düzeldiği gözlemlenmiş ve KİSH’ların azalması beklenmektedir.

4. Sonuçlar

İşletme yöneticilerinin en önemli hedeflerinden biri verimliliği arttırmaktır. İşletmelerde verimliliği ve performansı etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bunların en başında ve en önemli olanı insan faktörüdür (Yapıcı ve Baş, 2015). Temizlik tüm işyerlerinde sürekli yapılması gereken vazgeçilmez bir iştir. Sürekli yapılan işlerde kas iskelet sistemi rahatsızlıklarının daha fazla meydana geldiği düşünülmektedir. İşyerlerinde rutin yapılan işlere rotasyon eklenerek insanların farklı işlerde çalışması sağlanabilmektedir. Tek başına yapılan çalışmaların iki kişi yapılması itme çekme kuvvetini ve kas yorgunluklarını azaltabilmektedir. Dinlenme molalarının düzenli olarak kullanılması, kas iskelet sistemi rahatsızlıklarını azaltacağı düşünülen önlemler arasındadır. Kuvvet uygulanarak yapılan işlerde mola saatlerinin düzenli kullanılması veya işin iki kişi tarafından yapılması yerine mühendislik önlemleri düşünülerek yükün hafifletilmesi ve günümüz teknolojisine uygun olarak değiştirilmesi önerilmektedir. Sadece işyerlerinde değil toplumsal olarak da ergonomi eğitimlerinin yaygınlaştırılması kas iskelet sistemi rahatsızlıklarının azalması için tavsiye edilmektedir. Ergonomi eğitimlerinin verilmesinin yanında işyerinde ergonomik risk analizlerinin REBA yöntemi gibi çeşitli ergonomik analizler ile değerlendirilmesi risklerin tespiti açısından önemlidir. Bu çalışmanın bulgularında da görüldüğü gibi, mob ile yer silme işlemi dışında analizi yapılan tüm temizlik işleri orta risk seviyesinde çıkmıştır. Bu sonuç gerekli önlemler alınmazsa bir süre sonra çalışanlarda kas iskelet sistemi rahatsızlıklarının çıkacağını göstermektedir. REBA analizi yöntemi risklerin neredeyse maliyet harcanmadan kas iskelet sistemi hastalıklarının tespitini sağlamakta yardımcı olmaktadır. REBA yöntemi ile inceleyerek ortaya çıkan riskli duruş çalışma pozisyonları işveren, çalışan ve iş güvenliği uzmanı iş birliği ile düzeltilmeli ve kolay uygulanabilir çözümler üretilmelidir.

Bu çalışmada, temizlik işçilerinin duruş pozisyonlarını REBA yöntemi ile değerlendirerek kas iskelet sistemi rahatsızlıklarına yol açabilecek duruş pozisyonları belirlenmiş, değerlendirilmiş ve çözüm önerileri üretilmiştir. Bu çalışmanın çeşitli sektörlerde yapılacak olan çalışmalar için örnek teşkil etmesi temenni edilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma Üsküdar Üniversitesi Tezsiz Yüksek Lisans projesi olarak yapılmıştır.

Yazar Katkıları

Müge ENSARİ ÖZAY: Analizi planlamış ve tasarlamıştır. Makalenin yazımına ve düzenlenmesine katkı sağlamıştır.

Gülçin ÖZCAN: Veri toplamış ve analizini yapmıştır. Makalenin yazımına katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

Kaynaklar

- Akay, D., Dağdeviren, M., Kurt, M. (2003). Çalışma Duruşlarının Ergonomik Analizi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 18(3), 73-84. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/76208>
- Atıcı, H., Gönen, D., Oral, A. (2015). Çalışanlarda Zorlanmaya Neden Olan Duruşların REBA Yöntemi İle Ergonomik Analizi. Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Ve Tasarım Dergisi, 3(3), 239-244. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/195456>
- Bilir, N. (2007). Mesleki kas iskelet sistemi hastalıkları. İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi, 34,10-3. Erişim adresi: <https://www.ailevecalisma.gov.tr/isggm/dergiler/34.pdf>
- Bernard, B.P. (1997). *Musculoskeletal Disorders and Workplace Factors A Critical Review of Epidemiologic Evidence for Work-Related Musculoskeletal Disorders of the Neck, Upper Extremity, and Low Back*. DHHS (NIOSH) Publication, Cincinnati, USA. Erişim adresi: <https://www.cdc.gov/niosh/docs/97-141/pdfs/97-141.pdf>
- Çırpan, M., Kahraman, F., Çırpan, R. (2016). Temizlik İşlerinde Çalışanların Kas İskelet Sistemi Hastalıklarının Değerlendirilmesi. 8. İş Sağlığı ve Güvenliği Konferansı Bildiri Tam Metinleri Kitabı, 1, 652. Erişim adresi: <http://cisam.cu.edu.tr/Tr/Belgeler/8uluslararasıbldr.pdf>
- Dul, J., Weerdmeester, B. (2008). *Ergonomics for Beginners: A Quick Reference Guide*. 3rd Ed., CRC Press, Boca Raton.
- Duran, F.M., Köksal, N. S. (2016). REBA Yöntemi Kullanılarak Düşük Maliyetli Ergonomik Çözümlerin Araştırılması. 8. İş Sağlığı ve Güvenliği Konferansı, Bildiri Tam Metinleri Kitabı, 2, 645. Erişim adresi: <http://cisam.cu.edu.tr/Tr/Belgeler/8uluslararasıbldr.pdf>
- Enez K., Nalbantoğlu, S.S. (2015). REBA Yönteminin Ormancılık Faaliyetleri Açısından Değerlendirilmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 3(3), 127-131. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/195437>
- Erdemir, F., Eldem, C. (2019). Bir Döküm Atölyesindeki Çalışma Duruşlarının Dijital İnsan Modelleme Tabanlı REBA Yöntemi ile Ergonomik Analizi. Gazi Üniversitesi Politeknik Dergisi, 22(3):1-10. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/737475>
- Esen, H., Fiğlalı, N. (2013). Çalışma Duruşu Analiz Yöntemleri Ve Çalışma Duruşunun Kas-İskelet Sistemi Rahatsızlıklarına Etkileri. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 17: 41-51. Erişim adresi: <http://www.saujs.sakarya.edu.tr/tr/issue/20670/220542>
- Hignett, S., McAtamney, L. (2000). Rapid Entire Body Assessment (REBA). *Applied Ergonomics*, 31, 201-205. Erişim adresi: https://www.researchgate.net/publication/12603778_Rapid_entire_body_assessment_REBA
- Kazemi, S. (2016). *Gazi Üniversitesi Besyo Öğrencileri İle Diğer Fakültelerde Öğrenim Gören Öğrencilerin Kas İskelet Rahatsızlıkları Hakkında Farkındalıklarının Tanımlanması Ve REBA Yöntemi İle Ergonomik Risk Değerlendirmesi* (Doktora Tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Kee, D., Karwowski, W. (2007). A comparison of three observational techniques for assessing postural loads in industry. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 13(1), 3–14. Erişim adresi: https://www.researchgate.net/publication/6443870_A_Comparison_of_Three_Observational_Techniques_for_Assessing_Postural_Loads_in_Industry
- Özay, E. M., Doğanbatır. Ç. Ş. (2018). Perakende Sektöründe Bir Süpermarkette REBA, Niosh Ve Snook Tabloları Yöntemlerini Kullanarak Ergonomik Risk Analizi Vaka Çalışması. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6(3), 448 – 459. <https://doi.org/10.21923/jesd.321303>
- Özcan, E., Kesiktaş, N. (2007). Mesleki Kas İskelet Hastalıklarından Korunma ve Ergonomi. *İş Sağlığı Ve Güvenliği Dergisi*, 34, 6. Erişim adresi: <https://www.ailevecalisma.gov.tr/isggm/dergiler/34.pdf>
- Özcan, E. (2011). İş Yerinde Ergonomik Risklerin Değerlendirilmesi ve Hızlı Maruziyet Değerlendirme (HMD) Yöntemi. *Mühendis ve Makine*, 52(616), 86-89. Erişim adresi: <https://www.mmo.org.tr/mayis-2011/makale/makale-yerinde-ergonomik-risklerin-degerlendirilmesi-ve-hizli-maruziyet>
- Özel, E., Çetik, O. (2010). Mesleki Görevlerin Ergonomik Analizinde Kullanılan Araçlar ve Bir Uygulama Örneği. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22, 43. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/pub/dpufbed/issue/36008/405251>

- Sağiroğlu, H., Coşkun, M. B., Erginel N. (2015). REBA İle Bir Üretim Hattındaki İş İstasyonlarının Ergonomik Risk Analizi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 3(3), 341. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/195469>
- Sevimli, M., Atıcı, H., Gündüz, T. (2018). Pirinç Paketleme İşinde Çalışanların Çalışma Koşullarının Ergonomik Risk Analizleri ile Geliştirilmesi. *BAUN Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 20(1), 28-54. Erişim adresi: <https://doi.org/10.25092/baunfbed.369102>
- Takala, E. P., Pehkonen, I., Forsman, M., Hansson, G. A., Mathiassen, S.E., Neumann, W. P., Sjogaard, G., Veiersted, K. B., Westgaard, R. H. ve Winkel, J. (2010). Systematic evaluation of observational methods assessing biomechanical exposures at work. *Scandinavian Journal Work Environmental Health*, 36(1), 3–24. Erişim adresi: <https://pdfs.semanticscholar.org/3b43/cca5780cb8fe7b44f4887979ef2775cd2be9.pdf>
- T.C. Sağlık Bakanlığı. (2015). *Türkiye Kas Ve İskelet Sistemi Hastalıkları Önleme Ve Kontrol Programı (2015-2020)*. T.C. Sağlık Bakanlığı Yayın No: 1013, Ankara, Türkiye. Erişim adresi: <https://dosyaism.saglik.gov.tr/Eklenti/24851,kas-iskelet-sistemi-hastaliklarini-onleme-ve-kontrol-programipdf.pdf?0>
- Yetim, H., Gündüz, T. (2015). Ergonomic Analysis of Working Postures That Cause Strain on Workers That Work in Hand Placement Business of Transporting Containers. *PressAcademia Procedia*, 1(1), 1-10. Erişim adresi: <https://doi.org/10.17261/pressacademia.2016118133>
- Yapıcı, F., Baş, H. (2015). Verimlilikte Ergonomik Faktörler. *Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 3(3), 591-595. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/195449>

İşyerlerinde Ramak Kala Bildirimlerinin İş Kazalarına Etkisi ve İnşaat Sektöründe Uygulama

Mehmet PİŞKİN¹, Orkun DALYAN^{2,*}

¹Gıda İşleme Bölümü, Çanakkale Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale, Türkiye
²İş Güvenliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale, Türkiye

Makale Tarihiçesi

Gönderim: 23.08.2019
Kabul: 08.04.2020
Yayın: 22.05.2020

Araştırma Makalesi

Öz – İş kazaları Türkiye’de olduğu kadar Dünyada da önemli bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. İş kazalarının gerçekleşmeden önce önlenmesi, proaktif yaklaşımın temelidir. Ramak kala olaylar, iş kazalarının önceden tahmin edilmesini sağlayacak proaktif yöntemlerden en önemlisidir. Daha önce yapılmış olan kaza piramidi çalışmaları, ramak kala (near miss) bildirimlerinin önemini vurgulamaktadır. Bu çalışmanın amacında ise çalışanların ramak kala olaya ilişkin bilgi ve algı düzeylerinin çalışanların demografik özelliklerine göre etkileri tespit edilmiştir. Çanakkale ili kapsamında inşaat şantiyelerinde görevli personeller tarafından cevaplandırılmak üzere bir anket çalışması düzenlenmiştir. 125 çalışan tarafından cevaplandırılan anket verileri Sosyal Bilimler için İstatistik Programı (SPSS) 22.0 ile analiz edilmiştir. Araştırmaya katılan çalışanların 118’i (%94.4) erkek, 87’si (%69.6) bekârdır. Katılımcıların 98’i (%78.4) lise ve üzeri düzeyde eğitim almıştır. Katılımcıların sadece 8’i (%6.4) 50 yaş üzerindedir. Katılımcıların 50’si (%40.0) 3 yıldan az, 58’i (%46.4) 3-5 yıl arası ve 17’si (%13.6) 5 yıldan fazla mesleki tecrübeye sahiptir. Elde edilen verilere göre, katılımcıların%50’sinden fazlasının bildirim sisteminin varlığı, gerekliliği ve iş kazaları arasındaki bağlantıların varlığı hakkında "bilmiyorum" diye cevap verdiği belirlenmiştir. Diğer yandan; katılımcıların eğitim düzeyi ve mesleki tecrübe süresi değişkenleri ile ramak kala olay bilgi düzeyleri arasında anlamlı bir ilişki saptanamamıştır. Ancak cinsiyet, medeni durum ve yaş değişkenleri ile ramak kala olay bilgi düzeyi arasında anlamlı bir ilişki olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen veriler ve analiz sonuçları ışığında, çalışanların ramak kala olay bilgisi ve farkındalığının artırılmasını sağlayacak çalışmaların planlanması ve böylece daha güvenli iş yerlerinin oluşturulmasına katkı sağlayacağı önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler – İş güvenliği, iş kazaları, kaza piramidi, proaktif yaklaşım, ramak kala

The Impact of Near Miss Notices on Occupational Accidents at Workplaces A Study from Construction

¹Department of Food Processing, Vocational School of Technical Sciences, Çanakkale Onsekiz Mart University, Çanakkale, Turkey
²Department of Occupational Safety, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Çanakkale Onsekiz Mart University, Çanakkale, Turkey

Article History


Received: 23.08.2019
Accepted: 08.04.2020
Published: 22.05.2020

Research Article

Abstract – Work-related accidents, as in Turkey emerges as an important issue in the world. Prevention of work accidents before occurrence is the basis of the proactive approach. Near miss events are the most important of the proactive methods for predicting work accidents. The purpose of this study was to determine the effects of knowledge and perception levels regarding the incident according to the demographic characteristics of the participants. For this purpose, a survey has been applied. The survey data answered by 125 employees were analyzed by the Statistical Program for Social Sciences (SPSS) 22.0. Of the employees surveyed, 118 are man and 87 are single. 98 of the participants have high school or higher education. 8 of the attendants are over 50 years of age. Of the participants, 50 people have less than 3 years, 58 people between 3 and 5 years, and 17 people have more than 5 years of professional experience. In the light of the data obtained, it was determined that more than 50% of the participants answered that "I don't know" about the presence of the notification system, its necessity and the presence of connections between work accidents. On the other hand; no significant relation was found between the variables in the education levels and professional experience of the participants and their level of near miss event information. In contrast, it was determined that there was a significant relationship between variables such as gender, marital status and age and the level of near miss event information. The research details will make contribution to the planning of studies and the creation of safer workplaces to increase employee incident information and awareness.

Keywords – Occupational safety, occupational accidents, accident pyramid, proactive approach, near miss

¹  <https://orcid.org/0000-0002-4572-4905> mehmetpiskin@comu.edu.tr

²  <https://orcid.org/0000-0003-4791-9084> orkundalyan@outlook.com

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1. Giriş

Sanayileşme ve teknolojik gelişmeler ile beraber çalışan nüfus artmaya başlamıştır. Farklı iş prosesleri, makineye dayalı üretim ve çeşitlenen çalışma ortamı sonucunda iş hayatı tehlikeli ve riskli bir ortam haline gelmiştir (Özpinar, 2018). Tehlike ve risklerin yönetilmemesi durumunda yaralanmalar, ölümler ve ciddi maddi kayıplar yaşanabilmektedir. Bahsi geçen tüm uygunsuzlukların giderilmesi ve hatta risk meydana çıkmadan önlem alınması düşüncesi iş sağlığı ve güvenliği (İSG) kavramını doğurmuştur. İSG kavramı, işyerindeki personellerin, diğer kişilerin (sürekli olmayan iş için gelen personeller, alt yüklenici firma personelleri vb.) veya ziyarete gelen kişilerin de sağlık ve güvenliğini etki eden ya da etkileyebilecek koşullar ve durumlar olarak belirtilmiştir (Türk Standartları Enstitüsü, 2008). İSG sürdürülebilir iyi çalışma koşulları ve güçlü önleyici güvenlik kültürlerinin elde edilmesinde kilit bir unsurdur (Alli, 2008). Personellerin çalışma ortamında karşılaşabileceği risklere karşın her türlü önlemi almak, belirtilen önlemler için gerekli teçhizatı sağlamak İSG açısından önemlidir. (Tan ve Çalışkan, 2018). Bahsi geçen İSG önlemleri alınmadığı takdirde iş kazası kaçınılmaz olacaktır.

İş kazaları Türkiye’de olduğu kadar Dünyada da önemli bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO)’ne göre iş kazası, sonucu ölüm olan ya da olmayan, personellerin yaralanmasına neden olan ve iş illiyeti bulunan durumları kapsamaktadır (Koçak, Eravcı, Ayan, Çelik ve Akaner, 2018). Dünya Sağlık Örgütü (WHO)’ne göre iş kazası, plansız olarak ortaya çıkan, yaralanma ya da işyerindeki ekipmanı zarara uğratan ve imalatın aksamına sebep olan olay olarak tanımlanmaktadır (WHO, 2017). İş kazası, mevzuatımızda; çalışma alanı içinde meydana gelen, personelleri fiziksel ya da psikolojik olarak engelli hale getirebilecek olaylar şeklinde açıklanmıştır (6331 Sayılı İSG Kanunu madde 3/g). Hangi kazaların iş kazası kapsamına girdiği ise 5510 sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası (SGK) Kanunda detaylı şekilde tanımlanmıştır. 5510 sayılı kanuna göre; çalışanın işyerinde bulunduğu sırada, çalışanın iş yürüttüğü esnada, işveren tarafından işyeri dışına görevli olarak gönderildiğinde, emziren kadın kategorisindeki çalışanların çocuğuna süt verme aralığında ve işverence sağlanmış olan serviste işe gidiş-geliş sürelerinde yaşanan kazalar iş kazası sayılmaktadır (5510 SGK Kanunu madde 13). İş kazaları, sadece çalışanların zarar görmesine ya da can kaybına değil işletme içerisindeki makinaların, proseslerin zarar görebilmesine, malzeme veya ekipman kayıplarına neden olmaktadır (Özkılıç, 2005). Oluşabilecek iş kazası sonucunda çalışan, işveren ve ülke ekonomisi ekonomik yönden de zarar görebilmektedir (Yenisarı, Mestav ve Öztürk, 2019). İş kazalarının nedenlerinin tespitinde birçok çalışma yapılmıştır ancak genel olarak iş kazalarının sebeplerinin %88’i güvenli olmayan davranış, %10’u güvenli olmayan durum ve %2’si önlenemeyen durumlar olduğu dünya çapında kabul gören bir görüştür (Anonim, 2011). İş kazaları temelde insan davranışından kaynaklanmayan tehlikeli ortamdaki, insan davranışından kaynaklanan tehlikeli eylemden ya da her ikisinin birleşmesi sonucu oluşmaktadır (Selek Öz ve Nam, 2018). İş kazalarının önlenmesi için çeşitli yaklaşımlar mevcuttur. Yaşanmış olan iş kazalarının nedenlerinin araştırılması, kök-neden analizlerinin yapılması yaygın kullanılan bir yöntemdir. Bir önceki yıla ait iş kazası verileri kullanılarak iş kazası sıklık ve ağırlık oranları hesaplanmakta ve gelecek yıldaki yaşanabilecek iş kazası oranları yaklaşık olarak tahmin edilmektedir (Yılmaz, 2013). Ancak bahsi geçen yaklaşım bir iş kazasının yaşanmış olması sebebiyle olaydan sonra alınan önlem, gelecekte yaşanması muhtemel kazaların engellenmesi yönüyle olaydan önce alınan önlem niteliğindedir.

İş kazaları gerçekleşebilme potansiyelini gösteren bir başka gösterge ramak kala olaylardır. Ramak kala olay mevzuat kapsamında, çalışma ortamında yaralanma ya da maddi hasarlı kaza oluşturma potansiyeli olduğu halde herhangi bir şekilde zarar vermeyen durum olarak tanımlanmıştır (İSG Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği madde 4/d). 6331 sayılı İSG kanunda işverenin görevleri arasında işyerinde meydana gelen ramak kala olayların raporlanmasından bahsetmektedir. (6331 Sayılı İSG Kanunu madde 14). Risk değerlendirmesi çalışmalarının tehlikelerin tanımlanması safhasında ramak kala olay kayıtlarının toplanmasının kanuni zorunluluğundan bahsedilmiştir (İSG Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği madde 8/m). Yine risk değerlendir-

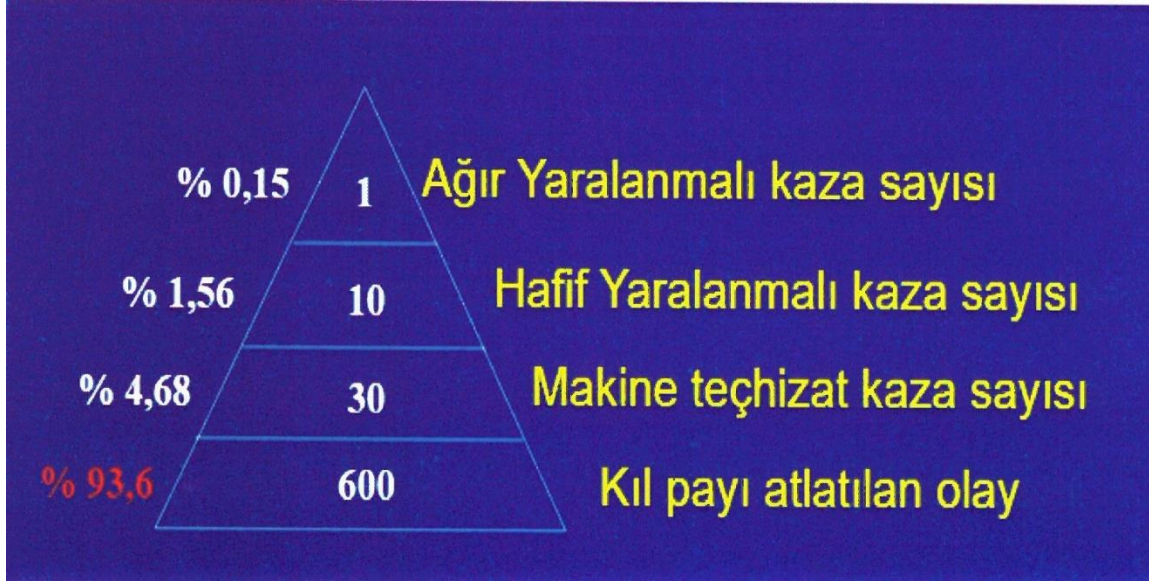
mesinin revizyonu için gerekli olan kriterler de ramak kala olayın önemi vurgulanmıştır (İSG Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği madde 12/ç).

İşletme içerisinde yaşanan ramak kala olaylar ve iş kazaları arasındaki oran üzerine literatürde yapılan çalışmalar mevcuttur. Herbert W. Heinrich'in 1931 yılında yayınladığı kitabında bahsettiği araştırma sonuçları ramak kala olayın önemini bir kez daha vurgulamaktadır. Herbert W. Heinrich 75.000 adet yaralanma ve hastalık vakasını, 63.000 aktüeryal ve mühendislik raporunu ve 12.000 sigorta kayıtlarını gözden geçirmiştir (Taşyürek, 2018). Bu araştırmanın sonucunda, bir işyerinde 330 adet iş kazası grubunda; majör etkisi (ölüm, uzuv kaybı vb.) olan kazaların temelinde, 29 adet minör etkisi olan (hafif) yaralanmalı kaza ve bunların da temelinde 300 adet ramak kala olayın meydana geldiğini iddia etmiştir (İnci, 2016). İş güvenliği literatürüne Heinrich Piramit Teorisi olarak kazandırılan kaza piramidi Şekil 1.'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Herbert W. Heinrich kaza piramidi

1969 yılında Frank Bird Jr., bir işyerinde 641 adet iş kazası grubunda; majör etkisi (ölüm, uzuv kaybı vb.) olan kazaların temelinde, 10 adet minör etkisi olan (hafif) yaralanmalı kaza, makine-ekipman kaynaklı 30 adet kaza ve bunların da temelinde 600 adet ramak kala olayın meydana geldiğini öne sürmüştür (İnci, 2016). Frank Bird Jr. kaza piramidi Şekil 2.'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Frank Bird Jr. kaza piramidi

1973 yılında Type ve Pearson, bir işyerinde 534 adet iş kazası grubunda; majör etkisi (ölüm, uzuv kaybı vb.) olan kazaların temelinde, iş gücü kayıplı 3 kaza, 50 ilk yardım gerektiren kaza, 80 maddi hasarlı kaza ve bunların da temelinde 400 ramak kala olay olduğunu öne sürmüştür (İnci, 2016). Type ve Pearson kaza piramidi Şekil 3.'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Type ve Pearson kaza piramidi

Çalışanların işyerinde karşılaştığı tehlikeleri işverene bildirmesi birçok kişinin kurtulmasını sağlayabilir. Personeller, çalışma ortamındaki ekipmanlarda ve yapılarda can güvenliği için tehlike oluşturan durumları çalışan temsilcisine bildirmekle yükümlüdürler. İlâveten tehlikelere karşın alınan tedbirlerde yetersizlik tespit ettiklerinde de çalışan temsilcisine bilgi vermek zorundadırlar (6331 Sayılı İSG Kanunu madde 19/c). Ramak kala olayların raporlanması olası iş kazalarını önleyebilecektir. Personellerin ramak kala olaylarını fark ederek kayıt altına alması, iş güvenliği bilincinin desteklenmesine olumlu katkı sağlamaktadır (Güven, 2018). Çalışanların kendilerini güvende hissetmeleri için, iş güvenliği yönetim sistemi ve mevzuatlar mevcuttur fakat bu bildirim sisteminin işlemesi için çalışanların ramak kala bildirim yapmaları gerekmektedir. Ancak, pek çok kurumda güvenlik kültürünün tam olarak yerleşmemiş olması bildirimlerin önündeki engel-

lerin başında gelmektedir (Moy vd., 2018). Çünkü ramak kala bildirimleri raporlanması yüksek güvenlik kültürüne sahip işyerlerinin tipik özelliklerindedir (Pertulla, 2016).

Çalışanların ramak kala olayın ayırımı yapamaması, bildirim için ekstra zaman kaybına sebep olacağını düşünmeleri, bildirim de bulunulacağını bilmemeleri, bilse bile arkadaşları tarafından suçlanacağı endişesi gibi nedenler dolayısıyla çalışanlar bildirim yapmamaktadırlar. Ramak kala olayların nedenlerinin detaylı irdelenmesi, olası kazaların önlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Çünkü ramak kala olay ile iş kazasının arasındaki tek fark sonuçlarıdır.

Ramak kala olayın ülkemiz mevzuatı kapsamında iş kazası gibi dikkate değer alındığı görülmektedir. Ancak uygulamada ülkemizde ramak kala olaylar hakkında yayınlanan genel kayıtlar veya yayınlara sınırlı sayıda (Durduran vd., 2019). İş kazalarının aksine “az kalsın oluyordu” diye tanımlanan ramak kala olaylar, inşaat sektöründe mevcut olup ramak kala durumlarının tekrarlanmaması için herhangi bir kayıt tutulmamaktadır (Odabaş, 2019).

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Araştırmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı katılımcıların ramak kala olaya ilişkin algı düzeylerinin demografik özelliklere göre anlamlı bir farklılığın varlığını belirlemektir.

2.2. Araştırma Yöntem

Bu çalışmada, ramak kala olay ile ilgili literatür taraması yapılarak ve iş güvenliği mevzuatı araştırılarak bilgiler toplanmış ve toplanan bilgiler doğrultusunda anket soruları hazırlanmıştır. Hazırlanan anket soruları Ek 1’de verilmiştir. Bu çalışma betimsel araştırma çalışması olup, tarama (anket) ve karşılaştırmalı araştırma yöntemleri kullanılmıştır.

2.3. Veri Toplama Araçları

Bu çalışmada, ramak kala olay ile ilgili bilgi düzeyini değerlendirmek ve farkındalık yaratmak amacıyla 2 bölümden oluşan bir anket formu düzenlenmiştir. Anket çalışanlar ile yüz yüze görüşülerek gerçekleştirilmiştir. Yüz yüze yapılan anketler elektronik ortamda yapılan anketlere göre daha güvenilir sonuçlar ortaya çıkarabilmektedir.

Anketin ilk kısmında katılımcıların demografik özelliklerinin (yaş, medeni durum, cinsiyet, öğretim düzeyi ve mesleki tecrübe) tespiti amacıyla 5 soru bulunmaktadır. Diğer kısımda ise ramak kala olay hakkında çalışanların bilgi düzeyleri ve farkındalıklarını ölçmek üzere 7 adet soru yer almaktadır. Anketin birinci sorusunda (iş kazası yaşama durumu) 2’li Likert ölçeği (Evet, Hayır) kullanılmış olup anketin diğer sorularında 3’lü Likert ölçeği (Evet, Hayır ve Bilgim yok) kullanılmıştır.

2.4. Katılımcılar

Araştırma hedef yanıtlayıcı kitlesi olarak, Çanakkale ilindeki inşaat projelerinde görevli çalışanlar belirlenmiştir. Ankete 130 çalışan katılmış ancak 5 çalışan anketi tamamlamak istememiştir. Toplamda 125 çalışan ile yapılan anketler değerlendirmeye alınmıştır. Araştırmaya katılan seçili çalışanların demografik özellikleri katılımcıların demografik özellikleri ve anket sorularına ilişkin bulgular başlığı altında detaylandırılmıştır.

2.5. Veri Analizi

Bu çalışmada, elde edilen dataların geçerlilik ve güvenilirlik analizi SPSS 22.0 ile yapılmıştır. İstatistiksel analizler için anlamlılık sınır değeri $p < 0,05$ kabul edilmiştir (Özdamar vd., 1999). Ankete katılan çalışanların

demografik özellikleri ve anket sorularına ilişkin bulgular frekans ve yüzde ölçüleri kullanılarak tablolar halinde sunulmuştur.

Bağımlı değişken olan demografik özellikler ile bağımsız değişken olan ramak kala anket soruları ortalaması arasında anlamlı farklılıkların olup olmadığını kıyaslamak için parametrik testlerden olan bağımsız örneklem t-testi ve tek yönlü varyans analizi uygulanmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Katılımcıların Demografik Özellikleri ve Anket Sorularına İlişkin Bulgular

Araştırmaya Çanakkale ilinde inşaat sektöründe görevli 130 çalışan katılmış olup, 5 çalışan anketi tamamlamak istememiştir. 125 çalışanın anketi geçerli kabul edilmiştir. Katılımcılara ait demografik özelliklerin frekans (f) ve yüzdeleri (%) Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1

Demografik özelliklerin frekans ve yüzdeleri

Demografik Özellikler	f	%	
Cinsiyet	Kadın	7	5.6
	Erkek	118	94.4
Medeni Durumu	Evli	38	30.4
	Bekâr	87	69.6
Yaş	18-30 yaş aralığı	38	30.4
	31-50 yaş aralığı	79	63.2
	50 yaş ve üzeri	8	6.4
Öğretim Düzeyi	İlkokul / Ortaokul	27	21.6
	Lise	52	41.6
Mesleki Tecrübe	Üniversite	46	36.8
	3 yıldan az	50	40
	3-5 yıl aralığı	58	46.4
	5 yıldan fazla	17	13.6

Ankette ramak kala olay hakkında çalışanların bilgi düzeylerini ve farkındalıklarını ölçmek üzere 7 adet soru yer almaktadır. Anketin sadece 1. sorusunda 2’li Likert ölçeği (Evet, Hayır) kullanılmış olup diğer sorular da 3’lü Likert ölçeği (Evet, Hayır ve Bilgim yok) kullanılmıştır. Anket sorularının frekans ve yüzdeleri Tablo 2’de gösterilmiştir. (Ek 1). Anket sonuçlarına göre en yüksek ortalaması olan soru, 1. soru (2.30) ve en düşük ortalaması olan soru, 6. soru (1.82) olarak tespit edilmiştir.

Tablo 2

Anket sorularının frekans ve yüzdeleri

Soru No	Evet		Hayır		Bilgim yok		Ort. \bar{X}
	f	%	f	%	f	%	
1. Soru	17	13.6	54	43.2	54	43.2	2.30
2. Soru	39	31.2	18	14.4	68	54.4	2.23
3. Soru	41	32.	17	13.6	67	53.6	2.21
4. Soru	40	32.0	22	17.6	63	50.4	2.18
5. Soru	16	12.8	93	74.4	16	12.8	2.00
6. Soru	23	18.4	102	81.6			1.82
7. Soru	30	24.0	55	44.0	40	32.0	2.08

3.2. Bağımsız t-Testi ve Tek Yönlü Varyans Analizine İlişkin Bulgular

7 maddelik anket ölçeğinin Cronbach Alpha güvenirlik katsayısı $\alpha=0.717$ gibi güvenilir sayılan bir değer çıkmıştır. Tablo 3’de çalışanların cinsiyet ve medeni durum değişkenlerine göre bağımsız t-testi sonuçları gösterilmiştir.

Tablo 3

Anketin cinsiyet ve medeni durum değişkenlerine göre Bağımsız t-Testi sonuçları

Gruplar	N	\bar{X}	Sd	t	p
Kadın	7	1.78	.49	-2.08	.04*
Erkek	118	2.14	.44		
Evli	38	2.08	.52	-.67	.50*
Bekâr	87	2.13	.43		

$p < .05^*$, $p = .05$

Tablo 3’den görüldüğü üzere anketten elde edilen sonuçlar cinsiyet açısından incelendiğinde, erkeklerin ortalaması ($\bar{X}=2.14$), kadınların ortalaması ($\bar{X}=1.78$)’dir. Yapılan t testine göre kadın ile erkek çalışanların test ortalamaları arasında istatistiksel olarak erkek çalışanlar lehine anlamlı fark belirlenmiştir [$t_{(123)} = -2.08$; $p < .05$]. Çalışanların anket sonuçları medeni durumlarına göre kıyaslandığında ise, bekâr olanların ortalaması ($\bar{X}=2.13$) ve evli olanların ortalaması ($\bar{X}=2.08$) arasında bekâr olanların lehine anlamlı fark gözlenmiştir [$(t_{(123)} = -.67$; $p = .05)$].

Tablo 4

Anketin yaş, eğitim düzeyi ve mesleki tecrübe değişkenlerine göre ortalama ve standart sapma sonuçları

		N	\bar{X}	SS
Yaş	18-30 yaş arası	38	1.93	.48
	31-50 yaş arası	79	2.17	.42

	50 yaş üzeri	8	2.43	.26
Eğitim Düzeyi	İlkokul/Ortaokul	27	2.24	.41
	Lise	52	2.18	.43
	Üniversite	46	1.98	.47
	3 yıldan az	50	2.00	.43
Mesleki Tecrübe	3-5 yıl arası	58	2.19	.46
	5 yıldan fazla	17	2.20	.43

Tablo 4'den görüldüğü üzere anket sonuçları çalışanların; yaş değişkeni açısından incelendiğinde ortalamalar $\bar{X}=1.93-2.43$, eğitim düzeyi açısından incelendiğinde ortalamalar $\bar{X}=1.98-2.24$ ve mesleki tecrübe açısından incelendiğinde ortalamalar $\bar{X}=2.00-2.20$ olarak tespit edilmiştir.

Tablo 5

Anketin yaş, eğitim düzeyi ve mesleki tecrübe değişkenlerine göre Tek Yönlü Varyans analizi sonuçları

	Varyansın kaynağı	Kareler toplamı	Sd	Kareler ortalaması	F	p	Anlamlı fark
Yaş	Gruplar arası	2.34	2	1.16	6.13	.003*	18-30 ile 31-50 yaş arası 18-30 ile 50 yaş üzeri
	Gruplar içi	23.6	122	.19			
Eğitim Düzeyi	Gruplar arası	1.54	2	.77	3.91	.020*	İlkokul/Ortaokul ile Üniversite
	Gruplar içi	23.95	122	.20			
Mesleki Tecrübe	Gruplar arası	1.13	2	.57	2.84	.062	
	Gruplar içi	24.35	122	.20			

p<.05*

Tablo 5'den anlaşıldığı üzere ez az iki yaş seviyesi arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark belirlenmiştir [$F_{(2, 122)} = 6.13, p = .003$]. Anlamlı farkın hangi yaşlar arasında olduğunu anlamak için LSD çoklu karşılaştırma testi yapılmıştır. Anlamlı farkın 18-30 - 31-50 yaş arasında ($p = .003$) 31-50 yaş lehine ve 18-30 - 50 yaş üzeri arasında ($p = .003$) 50 yaş üzeri lehine olduğu görülmüştür. Hesaplanan etki büyüklüğü Eta-kare ($\eta^2 = .05$) sonucuna göre bu farklılığın orta düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir.

4. Sonuçlar

Çanakkale ili inşaat sektöründe görevli 125 çalışana uygulanan anket sonucunda elde edilen veriler SPSS 22.0 ile analiz edilmiştir. Soruların güvenilirlik analizi $\alpha = 0.717$ olarak bulunmuştur. Çalışanların yarı sayısının fazlasında, ramak kala olay olgusu konusunda farkındalığa sahip olmadıkları ve bilgi yetersizliği olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni, katılımcılara ramak kala olay hakkında eğitim verilmemesinden

kaynaklanabilir. Çalışma koşulları bakımında güvenli iş yeri oluşturulsa bile çalışanlarda güvenlik kültürü oluşmadığı sürece iş kazalarını tamamen önlemek mümkün olmamaktadır. Güvenlik kültürü bilincinin oluşturulmasında, iş sağlığı ve güvenliği eğitimleri elzemdir. İşverenler, çalışanlarına özellikle ramak kala olay olgusu hakkında rutin aralıklarla eğitim aldirmaları önerilmektedir. Uzman kişilerin ramak kala olay konusunda vereceği eğitimlerin yanı sıra işverenler görsel uyarı levhaları, poster çalışmaları ile çalışanlarda ramak kala olay bilinç düzeyi artırılması önerilmektedir. Ayrıca işbaşı konuşmalarında (toolbox), ramak kala olayla ilgili bilinç düzeyini artırıcı bilgilendirmelerin yapılması önerilmektedir.

Katılımcıların demografik özellikleriyle ramak kala olay bilgisini ölçen anket sorularının cevaplandırılmasında anlamlı ilişkinin varlığı için yapılan inceleme sonucunda cinsiyet, medeni durum ve yaş değişkeninin ramak kala olay bilgisi ölçen anket sorularının cevaplandırılmasında anlamlı etkisi olduğu belirlenmiştir. Katılımcıların %93.60'nun 50 yaş altında olması ve %78.40'ünün lise ve üzeri eğitim düzeyine sahiptir. Buna göre her eğitim düzeyinden itibaren her yaştaki kişilere iş sağlığı ve güvenliği eğitimleri verilmesi ve ayrıca ramak kala olayla ilgili farkındalık oluşturulması önerilmektedir. Çalışma sonucu elde edilen bulgular örneklemle sınırlıdır. Örnekleme, genişletilerek ulusal ölçekte katılımcıyı kapsamaması sektör düzeyinde anlamlı sonuçlara ulaşılacağı düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Proje Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje No: FYL-2020-3180.

Yazar Katkıları

Orkun DALYAN: Veri toplamış ve makaleyi yazmıştır.

Mehmet PİŞKİN: Analizi planlamış, tasarlamış ve gerçekleştirmiştir.

Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

Kaynaklar

- Alli, B. O. (2008). *Fundamental principles of occupational health and safety*. (2. bs.). Geneva: ILO Yayınları. https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---dgreports/---dcomm/---publ/document/publication/wcms_093550.pdf
- Anonim. (2011). *Theory of accident causes*. Erişim adresi: <https://iloencyclopaedia.org/part-viii-12633/accident-prevention/item/894-theory-of-accident-causes>
- Durduran, Y., Demir, L. S., Uyar, M., Demirtaş, A., Erdoğan, A., ve Arbağ, H. (2019). *Sağlık çalışanlarında iş kazası ve ramak kala olaylara retrospektif bakış*. Kocatepe Tıp Dergisi, 20 (3), 131-136. Erişim adresi: <https://doi.org/10.18229/kocatepetip.595071>
- Güven, S. (2018). *Ramak kala raporlama*. Erişim adresi: <https://www.hurriyet.com.tr/ik-yeni-ekonomi/ramak-kala-raporlama-40737127>
- İnci, N. (2016). *Risk yönetimi ve değerlendirilmesi*. Erişim adresi: <https://docplayer.biz.tr/36721215-Degerlendirilmesi-amac.html>
- Koçak, D., Eravcı, D. B., Ayan, B., Çelik, E., ve Akaner, Ö. (2018). *İş sağlığı ve güvenliği ILO standartları sağlıklı ve güvenli bir çalışma ortamının geliştirilmesi*. Ankara: Çalışma ve Sosyal Güvenlik Eğitim ve Araştırma Merkezi Yayınları. <http://www.casgem.gov.tr/dosyalar/yayinlar/582/dosya-582-4752.pdf>
- Moy, E. B., Akkor, A., Aydın, Ö., Çelik, N., Cankuş, B., Can Mamur, S., ve Karagülle, M. (2018). *Önemsenmiyor mu? Bilgi eksikliği mi? Ramak kala olaylar*. Online Türk Sağlık Bilimleri Dergisi, 3:70-86. Erişim adresi: <https://doi.org/10.26453/otjhs.379758>
- Odabaş, F. (2019). *İnşaat projelerinde ramak kala olaylarının tespiti ve yüksekte düşmelerin önlenmesine yönelik öneri geliştirilmesi* (Yüksek lisans tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Özdamar, K., Odabaşı, Y., Hoşcan, Y., Bir, A. A., Kırcaali-İftar, G., Özmen, A., ve Uzuner, Y., (1999).

- Sosyal bilimlerde araştırma yöntemleri* Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Yayınları. https://www.researchgate.net/profile/Gonul_Kircaali_Iftar/publication/315608799_Bilim_ve_arastirma_a/links/58d52d844585153378585f01/Bilim-ve-arastirma.pdf
- Özkılıç, Ö. (2005). *İş sağlığı ve güvenliği yönetim sistemleri ve risk değerlendirme metodolojileri* Ankara: Türkiye İşveren Sendikaları Konfederasyonu Yayınları. https://1012af86-1cd9-467a-9363-265bf75a7743.filesusr.com/ugd/6eefe5_dcaeb8efafd0445a8d2350773b3d5ba2.pdf
- Özpinar, S. (2018). *Bir üniversite hastanesinin dahili birimlerinde çalışan hemşire ve hekimlerin iş kazaları ve ramak kala olaylara maruz kalma sıklığı, bildirim durumları ve etkileyen etmenlerin incelenmesi* (Yüksek lisans tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Perttula, P. (2016). *Near misses*. Erişim adresi: https://oshwiki.eu/wiki/Near_misses#Definiti%EF%BE%ADon_of_near_misses
- Resmî Gazete. (2006). *5510 sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunu* Erişim adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2006/06/20060616-1.htm>
- Resmî Gazete. (2012). *6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu* Erişim adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2012/06/20120630-1.htm>
- Resmî Gazete. (2012). *İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği* Erişim adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2012/12/20121229-13.htm>
- Selek Öz, C. ve Nam, D. (2018). *Demografik değişkenler ve işle ilgili geçmişin güvenli davranışa etkisi: Gemi inşa sanayiinde bir alan araştırması*. Bilgi Sosyal Bilimler Dergisi, (1), 124-146. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/491551>
- Tan, F. C. ve Çalışkan, S. (2018). *Yöneticilerin iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarına yönelik algılarının analizi üzerine bir araştırma*. Karaelmas İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi, 2 (1), 31-44. Erişim adresi: <https://doi.org/10.33720/kisgd.384136>
- Taşyürek, M. (2018). *İş kazalarının çoğunluğu kaza geçiren insanların hatasından mı olur?*. Erişim adresi: <http://www.guvenlicalisma.org/19617-is-kazalarinin-cogunlugu-kaza-geciren-insanlarin-hatasindan-mi-olur>
- Türk Standartları Enstitüsü. (2008). *YTS 18001 İş sağlığı ve güvenliği yönetim sistemleri*. Erişim adresi: <https://www.turcert.com/standard/ohsas-18001.pdf>
- WHO. (2017). Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization). Erişim adresi: <https://www.who.int/>
- Yenisarı, B., Mestav, B. ve Öztürk Ö. (2019). *Üniversite çalışanlarının iş sağlığı ve güvenliği eğitimi konusundaki bilinç düzeylerinin araştırılması*. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 5 (2), 339-355. Erişim adresi: <https://doi.org/10.28979/comufbed.515572>
- Yılmaz, A. İ. (2013). *İş sağlığı ve güvenliğinde kaza zinciri teorisinin önemi ile açık işletmelerdeki tehlikeli hareketler ve tehlikeli durumlar*. MT Bilimsel Yer Altı Kaynakları Dergisi, 3:27-39. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/366555>

EK 1: Anket Soruları

İşyerlerinde Ramak Kala Bildirimlerinin İş Kazalarına Etkisi ve İnşaat Sektöründe Uygulama

RAMAK KALA OLAY BİLGİSİ VE BİLDİRİM SİSTEMİNE İLİŞKİN ANKET FORMU

Bu anket formu, “Çalışanların Ramak Kala Olay Bilgisi ve Bildirim Sistemine İlişkin” bilgilerinin değerlendirilmesi amacıyla hazırlanmıştır. Ankete vereceğiniz doğru bilgi ve görüşleriniz, iş kazalarının nedenlerinin daha iyi anlaşılmasında ve iş kazalarının çözümüne önemli katkı sağlayacaktır. Bu formda bireyleri tanımlayıcı türde (demografik özellikler) 5 soru, “Çalışanların Ramak Kala Olay Bilgisi ve Bildirim Sistemine İlişkin” Likert ölçeğinde de 7 soru bulunmaktadır. Cevaplama yaklaşık 15 dakika sürmektedir. Ankete katılımınız gönüllü olmalıdır. Verdiğiniz cevaplar gizli tutulacak, yalnızca araştırma için kullanılacak, bireysel bilgileriniz kimse ile paylaşılmayacaktır. Bu nedenle ankete adınızı, soyadınızı ve adresinizi yazmayınız. Uygun görmemeniz halinde ankete katılmayabilir ya da anketi cevaplandırmayı sonlandırabilirsiniz.

Zaman ayırdığınız, içten cevaplarınızla araştırmaya ve olası sorunların çözümüne katkı verdiğiniz için teşekkür ederiz.

DEMOGRAFİK ÖZELLİKLER

Cinsiyet	Kadın	<input type="checkbox"/>	Erkek	<input type="checkbox"/>		
Medeni Durumu	Evli	<input type="checkbox"/>	Bekar	<input type="checkbox"/>		
Yaşınız	18-30	<input type="checkbox"/>	31-50	<input type="checkbox"/>	50 üzeri	<input type="checkbox"/>
Eğitim Düzeyi	Üniversite	<input type="checkbox"/>	Lise	<input type="checkbox"/>	İlkokul/Ortaokul	<input type="checkbox"/>
Mesleki Tecrübe	3 yıldan az	<input type="checkbox"/>	3-5 yıl arası	<input type="checkbox"/>	5 yıldan fazla	<input type="checkbox"/>

ANKET SORULARI

1. Ramak kala olay hakkında bilginiz var mı ?	Evet	<input type="checkbox"/>	Hayır	<input type="checkbox"/>	Bilgim Yok	<input type="checkbox"/>
2. Ramak kala bildirim sisteminiz var mı ?	Evet	<input type="checkbox"/>	Hayır	<input type="checkbox"/>	Bilgim Yok	<input type="checkbox"/>
3. Ramak kala bildirimini gerekli midir ?	Evet	<input type="checkbox"/>	Hayır	<input type="checkbox"/>	Bilgim Yok	<input type="checkbox"/>
4. Ramak kala bildirimleri ile iş kazaları arasında sizce bir bağlantı var mıdır ?	Evet	<input type="checkbox"/>	Hayır	<input type="checkbox"/>	Bilgim Yok	<input type="checkbox"/>
5. Daha önce ramak kala bildirimini yaptınız mı ?	Evet	<input type="checkbox"/>	Hayır	<input type="checkbox"/>	Bilgim Yok	<input type="checkbox"/>
6. Daha önce iş kazası yaşadınız mı ?	Evet	<input type="checkbox"/>	Hayır	<input type="checkbox"/>		
7. Ramak kala bildirimleri için düzeltici önleyici faaliyet yapılmalı mı ?	Evet	<input type="checkbox"/>	Hayır	<input type="checkbox"/>	Bilgim Yok	<input type="checkbox"/>

Sürdürülebilir Afet Lojistiğine Yönelik İdeal Afet Depo Yeri Seçimi: Giresun İli Örneği

Mustafa Ergün^{1*}, Selçuk Korucuk¹, Salih Memiş¹

¹Giresun Üniversitesi Bulancak KK UBYO, Uluslararası Lojistik ve Taşımacılık Böl, Bulancak, 28300, Giresun

Makale Tarihiçesi

Gönderim: 07.02.2020

Kabul: 20.04.2020

Yayın: 22.05.2020

Araştırma Makalesi

Öz – Meydana gelen felaketler çoğunlukla öngörülemez ama her an oluşabileceği varsayılarak önlem almak gerekmektedir. Afet durumunda ihtiyaç duyulan malzemelerin temin edilmesi ve gerekli müdahalelerin yapılması, afete maruz kalan kimselerin hayatta kalmasına doğrudan etki eden çok önemli uygulamalardır. Özellikle gerekli olan malzemenin doğru ve süratli bir biçimde yerine ulaştırılması, ideal afet depo yeri seçimi bileşenlerinin dikkatli bir biçimde incelenmesi ve analiz edilmesine bağlıdır. Depo yerlerinin yanlış belirlenmesi demek, afet bölgesine yardım gönderilememesi veya gönderilen yardımların doğru yere ulaşmaması anlamına gelmektedir. Bu durum yapılan bütün uğraşların boşa gitmesi ve afetzedelerin gerekli yardımları alamamalarıyla sonuçlanabilir. Bu çalışmada, sürdürülebilir afet lojistiğine yönelik Giresun’da ideal afet depo yeri seçimi ölçütleri değerlendirilmiş ve ideal afet depo yeri seçimi yapılmıştır. Bu amaçla sürdürülebilir ideal afet depo yeri seçimi alternatiflerinin belirleyicisi olan ölçütlerin ağırlıklandırılması, AHS (Analitik Hiyerarşi Süreci) yöntemi ile yapılmıştır. Daha sonra, AHS temelli MAUT (Multi Attribute Utility Theory-Çok Nitelikli Karar Verme) ve SAW (Simple Additive Weighting-Basit Toplamlı Ağırlıklandırma) yöntemleriyle ideal afet depo yeri seçimi gerçekleştirilmiştir. Yapılan değerlendirme sonucunda ideal afet depo yeri seçimi ölçütlerinin en önemlisi “Altyapı” olmuştur. En önemli alt ölçütün ise “Afet-sellik Yapısı” olduğu görülmüştür. Öte yandan hem MAUT hem de SAW yöntemleri ile elde edilen sonuçlara göre sürdürülebilir ideal afet deponun “A₂” olduğu saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler – Depo yeri seçimi, Afet lojistiği, AHS, MAUT, SAW.

Optimum Disaster Warehouse Location Selection for Sustainable Disaster Logistics: Case of Giresun Province

¹Giresun University Bulancak KK School of Applied Sciences, Department of International Logistics and Transportation, Bulancak, 28300, Giresun

Article History

Received: 07.02.2020

Accepted: 20.04.2020

Published: 22.05.2020

Research Article

Abstract – The disasters that occur are mostly unpredictable, but it is necessary to take precautions, assuming that they may occur at any time. When the disaster occurs, interventions and supply of necessary materials are very important applications which directly affect the survival of the victims. Accurate, dynamic and fast delivery of the necessary material depends on careful examination and analysis of the criteria for optimum disaster warehouse site selection. Incorrect determination of the storage locations means that the aid cannot be sent to the disaster area or the aid sent to the incorrect location. This situation may result in wasted efforts and disaster victims not getting any help. In this study, sustainable disaster logistics criteria were evaluated in the selection of disaster warehouse locations in Giresun and optimum disaster warehouse locations were selected. For this purpose, weighting of the criteria which are the determinants of alternative disaster warehouse site alternatives has been determined by AHP (Analytic Hierarchy Process) method. Then, AHP based MAUT (Multi Attribute Utility Theory) and SAW (Simple Additive Weighting) methods were used to select the optimum disaster warehouse location. As a result of the evaluation, “infrastructure” was the most important criteria for the selection of the optimum disaster warehouse location. The most important sub-criterion was “Disaster Structure”. On the other hand, it was determined that the sustainable optimum disaster warehouse location selection was “A₂”, which was obtained by both MAUT and SAW methods.

Keywords – Warehouse location selection, Disaster logistics, AHP, MAUT, SAW.

¹ <http://orcid.org/0000-0003-1675-0802> mustafa.ergun@giresun.edu.tr

² <http://orcid.org/0000-0003-2471-1950> selcuk.korucuk@giresun.edu.tr

³ <http://orcid.org/0000-0003-1345-3618> salih.memis@giresun.edu.tr

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

"Bu çalışma 7-9 Aralık 2018 tarihinde Erzurum IV. Uluslararası Mesleki ve Teknik Bilimler Kongresinde sunulan bildirinin gözden geçirilmiş, yeniden düzenlenmiş ve genişletilmiş halidir."

1. Giriş

Günümüzde doğal afetler geçmişe nazaran daha fazla insanın ölümüne ve yaralanmasına yol açmakta ve meydana gelen bu durum, felakete maruz kalan ülkelere daha fazla maliyet yüklemektedir (O'Brien vd., 2006). Hızlı bir şekilde artan tüketimle birlikte azalan doğal kaynaklar, ekonomik olarak sürdürülebilirlik çalışmalarının yaygınlaşmasına sebep olmuştur. Sürdürülebilirlik kavramının temelinde; çevre dengesinin bozulmaması, doğal çeşitliliğin korunması ve ekosistemin doğru şekilde çalışması yatmaktadır. Ürünlerin, tedarikçiden nihai tüketiciye kadar uzanan zincir içerisindeki hareketi, lojistik yönetim sisteminin sürdürülebilirlik kavramı için önemini ortaya koymaktadır (Christopher, 2011). Bu açıdan bakıldığında lojistik faaliyetleri de birçok ekonomik faaliyet gibi sürdürülebilirlik kavramının kapsamına girmektedir.

Sürdürülebilirlik, çağımızda toplumların artan bir oranda talep ettiği kurumsal bir tutumdur. Bu bağlamda, lojistik işletmelerine de önemli görevler düşmektedir. Bununla birlikte, sürdürülebilir lojistik sistemlerin tasarımı, planlaması ve işletmesi, şirketler için zor bir süreçtir. Bu tür zorluklara cevap verebilmek için şirketler ekonomik, çevresel ve sosyal hedefleri göz önüne alarak lojistik yapılarını etkin bir şekilde yönetmelidirler (Ramos vd., 2014). Yaşanan bu tür olumsuzluklar sebebiyle lojistik yönetiminde ve daha özellikle olarak afet lojistiğinde sürdürülebilirlik kavramının önemi ortaya çıkmaktadır.

Lojistikte sürdürülebilirlik olgusu doğaya daha az zarar vermektir. Bu durum, depo yeri seçimi yaparken de oldukça önemlidir. Çünkü seçilen yerlerin aynı zamanda doğaya zarar vermeyecek şekilde belirlenmiş olması gerekmektedir. Lojistikte sürdürülebilirlik kavramı, doğayla barışık lojistik uygulamalarını işaret etmektedir. Bu uygulamalar, lojistik operasyonlarda kullanılan fosil yakıtlarına alternatifler olabileceği gibi lojistik depoların yer seçimi yapılırken doğayla uyumlu olmasını da kapsayabilir. Dolayısıyla sürdürülebilir afet lojistiğini, olağanüstü hallerden etkilenen, yardıma gereksinimi olan insanlara yardım edebilmek için, insanların, kaynakların, teknik olanakların ve bilginin toplanmasını içeren ve bunları yaparken de doğaya zarar vermeyecek sistemler ve süreçler geliştiren bir kavram olarak tanımlamak mümkündür (Van Wassenhove, 2006).

Kısa ve uzun vadede, herhangi bir yerde felaketten etkilenen bölgeler ve bu bölgelerde yaşayanlar için ekonomik ve sosyal yıkımlar olabilir. Bazı tehlikeli doğa olayları nispeten küçük ölçekli olsa bile, olay sonrası iyi yönetilmediği takdirde büyük bir felakete sonuçlanabilir. Bu durum da kısa ve uzun vadede, felaketten etkilenen bölgeler ve sakinleri için yıkıcı sonuçlar doğurabilir (Flanagan vd., 2011). Bununla birlikte felaket yaşanan bölgelere gerekli yardımların ulaştırılması ve bu yardımların depolanması büyük önem arz etmektedir.

Doğal afetler (depremler, su baskınları ve fırtınalar gibi) her yıl farklı ülkelerde büyük can kayıplarına neden olmaktadır. Dünyada meydana gelen afetlerin sayısı her yıl arttıkça, kriz yönetiminin önemi daha fazla ortaya çıkmaktadır. Afet esnasında ortaya çıkan kriz sürecinin doğru yönetilememesi ve planlanamaması daha fazla zararın meydana gelmesine yol açmaktadır. Yardım lojistiği de, kriz yönetiminin dört aşamasından ilk ikisi olan hazırlık ve müdahale faaliyetlerinin yaklaşık yüzde 80'ini içermektedir (Seraji vd., 2019).

Acil durumlarda makro düzeydeki lojistik planlamaya; tıbbi yardım malzemeleri ve personeli, özel ekipmanlar, kurtarma faaliyetlerini yürütme ve düzeni sağlamak için gerekli birlikler ve son olarak kurtarma faaliyetlerinde kullanılan gıda ve diğer emtialar gibi malların taşınması dahil edilebilir. Koordinasyon merkezi; taşıyacak yardım malzemelerinin miktarlarına, türlerine, varış yerlerine ve bu malları taşımak için dağıtılacak araçlara karar verir. Planlama sırasında, farklı tipteki araçlar (kara, hava, demiryolu vb.) ve kapasiteleri, tedarik merkezlerinde, talep merkezlerinde veya diğer yerlerde hazır olmalıdır (Özdamar vd., 2004).

Karar vericiler; depremler, kasırgalar, su baskınları ve volkanik patlamalar gibi doğal afetlerin kriz yönetimi sürecinde, lojistik sorunlara hızlı ve etkin bir şekilde yanıt vermelidir (Barbarosoğlu vd., 2002). Afetlerden hemen sonra etkilenen bölgelerde acil yardım ihtiyacına hızlı bir şekilde müdahale edilmesi, acil durum lojistiği için kritik bir sorundur. Bu durum, son zamanlarda doğal birçok felaketin olması nedeniyle artan endişelere neden olmuş ve çeşitli bilimsel araştırmalara konu olmuştur. Acil durum lojistiği, dağıtım açısından ortaya çıkan kurtarma lojistiği problemlerini çözmek için dört farklı açıdan incelenebilir. İlk olarak, taleple ilgili bilgilerdir, örneğin zayıfın ciddiyeti, ilk arama ve kurtarma döneminde oldukça sınırlıdır ve geçmiş verileri kullanarak tahmin edilememektedir. İkincisi, acil durum lojistik kaynakları, arz tarafındaki karar vericiler için tam olarak kontrol edilemeyebilir, bu da hızlı yanıt veren acil durum lojistik dağıtım sistemine

daha zorlayıcı konular ekler. Üçüncüsü, felaketlerden etkilenen hasarlı altyapı, yardım araçlarına bir risk oluşturabilir ve son olarak uluslararası yardım ve lojistik kaynak yönetimi sorunları acil lojistik dağıtım sürecinde dengesizlik problemleri yaratarak tüm acil lojistik sistemini daha karmaşık hale getirebilir. Bununla birlikte acil lojistik dağıtım işlemlerinin performansının iyileştirilmesi için büyük bir potansiyel söz konusudur. Örnek olarak, daha ayrıntılı acil lojistik kaynak tahsis yöntemleri ve araç gönderme stratejilerini entegre etmek gösterilebilir. Ayrıca, trafik kazalarında hayatta kalanların ve afet kaynaklı hasar koşullarının gerçek zamanlı ve doğru bilgi etkileşimlerinin sağlanması, zamana bağlı kurtarma taleplerinin güncellenmesi ve hızlı yanıt veren acil lojistik faaliyetlerinde kurtarma ve dağıtım önceliğinin ayarlanması gereklidir (Sheu, 2007).

Afet lojistiği veya insani yardım lojistiği; uygun malzemeleri uygun durumda, gerekli miktarlarda ve ihtiyaç duyulan yer ve zamanda teslim etmeye yardımcı olan sistemlerdir. Çoğunlukla mal ve teçhizatın hareketi ile ilgili olmakla birlikte, yardım lojistiği aynı zamanda felaketten etkilenen insanların yer değiştirmesini, zayıfların transferini ve yardım işçilerinin taşınmasını da kapsamaktadır. Afet mağdurlarına yardım sağlanmasının yanı sıra diğer afet yönetim operasyonlarının yerine getirilmesinde de önemli bir lojistik süreçtir (Salam, 2006; Van Wassenhove, 2006; Kovács ve Spens, 2007). Afet lojistiği aynı zamanda lojistik sistemlerin tasarımını ve operasyonunu yürüten çeşitli aktörlerin ihtiyaç duyduğu koordinasyonu da inceler (Salam, 2006). Doğal bir felaketten sonra mağdurlara yiyecek, ilaç, battaniye, çadır, hijyen ürünleri ve diğer yardım malzemeleri sağlanmalıdır. Ancak, felaket nedeniyle, etkilenen bölgedeki altyapı büyük ölçüde tahrip olabilir. Bu nedenle, yardım malzemelerini tedarikçilerinden alıp afet mağdurlarına taşıyabilmek için ara depoları da içeren yeni bir taşıma sistemi kurulmalıdır (Rath ve Gutjahr, 2014).

Afet yardımı lojistik planlaması; sağlık, yemek, barınak ve su gibi yardım dağıtım programlarında etkinliğin ve müdahalenin hızının sağlanması için çok önemlidir. Afete müdahale lojistiğinde iki ana faaliyet; yardım malzemelerinin dağıtılması ve yaralıların tahliyesidir. Yaralıların tahliyesi, öncelikle ilk müdahale aşamasında gerçekleşirken, yardım malzemelerinin dağıtımı daha uzun bir süre devam edebilir (Özdamar ve Demir, 2012). Bu durumda afet sonrası gerek insani yardım açısından gerekse yaralıların tedavi sürecinde afet lojistiğine yönelik depo yeri seçimi çok önemli hale gelmektedir. Bu kapsamda çalışmanın amacı, Giresun'da sürdürülebilir afet lojistiğine yönelik depo yeri seçimi ölçütlerinin belirlenmesi ve belirlenen ölçütler doğrultusunda ideal depo yerinin belirlenmesidir. Öyle ki, çalışmanın gerekliliği açısından Giresun'a afet depo yeri kurulmasının nedeni; şehrin yer şekilleri bakımından engebeli olması dolayısıyla sel ve heyelan felaketlerinin sık sık yaşanması olarak gösterilebilir. Ek olarak Giresun'un iç kesimlerindeki ilçelerinin fay hatlarına yakın olması da afet depo yeri kurulmasına yönelik başka bir unsur olarak değerlendirilebilir.

Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde sırasıyla; afet lojistiği ve afet lojistiği depo yeri seçimi ile ilgili literatür araştırmasına yer verilmiş, çalışmanın yöntemlerini oluşturan AHS ile MAUT ve SAW yöntemlerinin teorik açıklamaları ortaya konmuş, yöntemin Giresun için uygulaması gerçekleştirilerek bulgular sunulmuş ve sonuç ve gelecek çalışmalara ilişkin önerilerde bulunularak çalışma sonlandırılmıştır.

2. Literatür Araştırması

Çalışmanın amacı ile ilişkili olarak literatür araştırması, üç alt bölümde sunulmuştur. Bu kapsamda ilk olarak *sürdürülebilir lojistik* ile ilgili çalışmalar incelenmiştir. Bu çalışmalardan ilkinde Neto vd., (2007), lojistik ağlarda sürdürülebilirliği etkileyen ana faktörleri incelemişler, çevre ve maliyet açısından çok amaçlı programlamaya dayanan verimli lojistik ağların tasarımını iyileştirmek için genel bir çerçeve sunmuşlardır. Böylelikle çok amaçlı programlama ve veri zarflama analizi tarafından paylaşılan özelliklere dayanarak lojistik ağlarda verimliliği değerlendirmek için yeni bir yöntem oluşturmuşlardır. Bunlara ek olarak bir verimlilik göstergesi geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri bu gösterge ile karar vericilere lojistik ağları daha iyi koordine etmenin gerekliliği ve çevre mevzuatını daha iyi ayarlamının önemini yansıtan verileri sunmayı amaçlamışlardır.

Lee vd. (2010), sürdürülebilir lojistik ağ tasarımını belirsizlik altında araştırmışlardır. Çözüm olarak ters akımların ileri lojistik operasyonları üzerindeki etkisini göz önünde bulundurularak deterministik programlama modeli önermişlerdir. Çalışmada, sürdürülebilir lojistik ağının belirsiz özelliklerini hesaba katmak için, iki aşamalı stokastik programlama modeli, ürünlere olan talebin ve müşterilere iade edilen ürün arzının, bilinen dağıtım ile stokastik parametreler olduğu varsayılmıştır.

Xifeng vd. (2013), sürdürülebilir kalkınma bağlamında çevresel amaçlara sahip, çok amaçlı, sınırlandırılmamış bir tesis yerleşim modeli geliştirmişlerdir. Model, bir lojistik ağ içerisindeki tesisleri stratejik olarak konumlandırarak maliyetleri ve karbondioksit emisyonlarını en aza indirmek ve hizmet güvenilirliğini en üst seviyeye çıkarmak için geliştirilmiştir. Çalışma sonunda en uygun çözüm ve üç bileşen hedefinin makul bir karşılığı olduğu, karbondioksit emisyonlarını azaltmak ve hizmet seviyesini iyileştirmek için daha fazla lojistik tesisin açılması gerektiği belirlenmiştir.

Abbasi ve Nilsson (2016), çevresel açıdan sürdürülebilir lojistik faaliyetlerin geliştirilmesindeki temaları ve zorlukları incelemişlerdir. İskandinav ülkelerinde faaliyet gösteren lojistik hizmet sağlayıcılarından on tanesi ile yapılan vaka çalışması ile çevresel açıdan sürdürülebilir lojistik faaliyetlerin geliştirilmesi sürecinde mevcut ve gelecekteki faaliyetleri analiz etmişler ve dört zorluk kategorisi belirlemişlerdir. Bunlar: müşteri öncelikleri, yönetsel karmaşıklık, ağ dengesizliği ile teknolojik ve yasal belirsizliklerdir.

İkinci olarak *afet lojistiği* ile ilgili çalışmalar incelenmiştir. Barbarosoğlu vd. (2002)'nin 1992 Erzincan depremi üzerinden afet durumunda çok ölçütlü karar verme yöntemiyle helikopter lojistik planlaması için matematiksel modelleme konusunda çalıştığı görülmektedir. Kovács ve Spens (2007), afet yardım operasyonlarında insani lojistiğin özelliklerini tanımlayarak, karmaşık afet yardımları alanında lojistik operasyonların planlanması ve yürütülmesi anlayışını daha da geliştirmeyi amaçlamış ve bu kapsamda afet yardımlarının aktörlerini, safhalarını ve lojistik süreçlerini birbirinden ayıran bir çerçeve oluşturmuşlardır. Chanta ve Sangsawang (2012), sel felaketi sırasında sığınak yeri seçimi için en uygun modeli önermişlerdir. Bu modelin hedefi, korunabilecek sel mağdurlarının sayısını en üst düzeye çıkarmak veya sabit bir mesafede sığınaklara ulaşabilmek ve tüm sel mağdurlarının en yakın sığınağa olan toplam mesafesini en aza indirmektir. Problem iki-amaçlı karma-tamsayı programlama olarak formüle edildiğinden, çözmek için epsilon-kısıtı seçilmiştir. Önerilen model, gerçek bir vaka çalışması kullanılarak test edilmiştir.

Özdamar ve Demir (2012), afet yardımı tedarik zincirlerindeki teslimatı ve toplama faaliyetlerinin lojistiğini koordine etmek amacıyla verimli bir matematiksel model ve bu modeli kullanan bir hiyerarşik kümeleme ve rota prosedürü önermişlerdir.

Kusumastuti vd. (2013), yaptıkları çalışmada Endonezya'daki yardım lojistiği ağı ile ilgili bilgiler ve raporların yanı sıra Endonezya'daki afet yönetiminde yer alan kuruluşlardan (Sosyal Refah Bakanlığı, Sağlık Bakanlığı, Ulusal Afet Yönetimi Ajansı, Endonezya Kızıl Haçı ve Çeşitli STK'lar) ve yayınlanmış makalelerden derlenen tartışmaları araştırmışlardır. Bu verilerden yola çıkarak bir model önerisinde bulunmuşlardır.

Hadiguna vd. (2014), afet lojistiğinde web tabanlı karar destek modeli uygulaması geliştirmişlerdir. Endonezya için yapılan bu çalışmada elde edilen verileri eş zamanlı olarak Çok Ölçütlü Karar Verme (ÇÖKV) ile uyumlu hale getiren bir yazılım da oluşturulmuştur.

Dubey ve Gunasekaran (2016), sürdürülebilir insani yardım lojistiğini tanımlamış ve bu konuda bir model önerisi yapmışlardır. Sürdürülebilir kalkınma ve ekolojiyi afet yardım zincirleri, insani lojistik ve tedarik zinciri ile ilişkilendirmişlerdir. Ekolojik dengesizliklerin doğal afetlerle olan doğrudan ilgisi nedeniyle çevreye önem veren bir tedarik zinciri yapısı olan sürdürülebilir insani yardım tedarik zincirini önermişlerdir.

Şahin (2017), geçici barınma alanları yer seçimi için alternatif konum değerlendirme ve seçme problemini ele alarak sayısal ve sayısal olmayan karar ölçütlerini birlikte değerlendiren yöntemler üzerine çalışmıştır. Bunun için ÇÖKV tekniklerinden Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR yöntemlerini kullanmıştır.

Iqbal vd. (2018), Monte Carlo simülasyonu kullanarak afet lojistiği kapsamında dağıtım yerini belirleyecek istatistiksel bir model geliştirmişlerdir. Oluşturulan modelde afet durumunda kullanılacak yollar, araçlar ve zaman kısıtları belirlenebilmektedir.

Üçüncü grupta ise *afet lojistiğinde depolama ve depo yeri seçimi* için yapılan çalışmalar incelenmiştir. Hale ve Moberg (2005), kritik acil durum ekipmanı ve sarf malzemeleri için depolama alanlarının uygun sayı ve konumlarını belirlemek için lojistik yöneticileri ve tedarik zinciri süreklilik ekipleri tarafından kullanılacak acil durum kaynakları için bir saha seçim modeli oluşturmuşlardır.

Balcik ve Beamon, (2008), çalışmalarında insani yardım zincirleri için tesis yerleşim problemini karakterize ederek, yardım çalışanlarının etkin ve verimli olmasını sağlayacak analitik bir yaklaşım sunmuşlardır. Gelen yardımlar için oluşturulan dağıtım merkezlerinin sayısını ve yerlerini ve her dağıtım merkezinde stoklanacak

yardım temin miktarını belirleyen maksimum örtme tipi bir model geliştirmişlerdir. Model sonuçları, yardım sistemindeki karar vericiler için önemli sonuçlara vurgu yapmaktadır.

[Mete ve Zabinsky \(2009\)](#), acil durumlarda kullanılacak tıbbi malzemelerin depolanmasını ve dağıtımını planlamak için olasılıksal bir programlama yaklaşımı geliştirmişlerdir.

[Liu vd. \(2013\)](#), acil durum malzeme depolarının yerini belirlemek için iki-amaçlı karışık tamsayı programlama modeli kullanarak bir sezgisel algoritma tasarlamışlardır.

[Davis vd. \(2013\)](#), ABD'nin orta kesiminde meydana gelen hortum felaketleri için envanter yönetimi kararlarını koordinasyon kapsamında ele alarak dış tedariklerle iş birliği içerisinde bir dağıtım ağı çerçevesi oluşturmuşlar ve güvenli depo yerlerini belirlemişlerdir.

[Rath ve Roh \(2013\)](#), ÇÖKV yöntemleri kullanarak afet lojistiği kapsamında depo yerleri belirlemişlerdir. Ayrıca çalışmalarında ticari lojistikle insani lojistiğin karşılaştırmasını da yapmışlardır. [Gutjahr \(2014\)](#), üç amaçlı depo yeri belirleme sorunu için afet yardımı konusunda bir matematik-sezgisel model geliştirmişlerdir. [Handayani vd. \(2015\)](#), bir afet lojistik deposunun yerini belirleme ölçütlerini ve alternatif lojistik depo yerini belirlemişlerdir. Çalışmada depo lojistiğinin yerini belirleme ölçütlerini seçmek ve en uygun yeri belirlemek için AHS ve Bulanık-TOPSIS'i kullanmışlardır.

[Florez vd. \(2015\)](#), yaptıkları çalışmada Peru'daki bir insani tedarik zincirinin tasarımına dayanan skolastik çoklu senaryolar programı ile tesis yeri seçimi için gerçek hayattaki bir vakaya dayanan bir uygulama geliştirmişlerdir.

[Roh vd. \(2015\)](#), insani yardım kuruluşları için yapılan depoları hem makro (hangi ülke, hangi bölge) hem de mikro (yer) bakış açısından incelemişler ve bu kararların yönetsel sonuçlarını değerlendirmişlerdir. Çalışmada AHS kullanılarak bireysel ölçütlerin göreceli önemi belirlenmiştir.

[Ashinaka vd. \(2016\)](#), Tayland'ın merkezindeki deneysel bir alanı yardım malzemelerinin miktarı, önceki depoların sayısı ve acil durum için hazırlık yaparken katılması gereken pozisyonlar gibi gerçekçi veriler kullanarak tanımlamışlar ve bilgisayar programı yardımı ile benzetim uygulaması yaparak modellemişlerdir.

[Boltürk vd. \(2016\)](#), Türkiye'de insani yardım çerçevesi içinde insani lojistik faaliyetlerini yürütebilmek için depo yer seçimi ölçütlerini belirlemeye çalışmışlardır. Bunun için ÇÖKV tekniklerinden Bulanık AHS yöntemini kullanmışlardır. Yapılan analiz sonucunda coğrafi konum, maliyet, ulaşım bağlantıları, işgücüne erişilebilirlik ve istikrarlı hükümet ölçütlerinden önem sırasına göre maliyet en önemli ana ölçüt olarak belirlenmiştir. [Demirdöğen vd. \(2017\)](#), TR A1 bölgesinde (Erzurum, Erzincan, Bayburt) afet lojistiği bünyesinde dağıtım merkez yeri seçimi problemini Stokastik Kritik Kabul Edilebilirlik Analizi-2 (SMAA-2) yöntemi ile ele almışlardır.

[Oflluoglu vd. \(2017\)](#), yaptıkları araştırma içeriğinde Trabzon ili için afet lojistiği depo kuruluş yer seçimi sorununu ÇÖKV problemi olarak ele almışlar ve çok ölçütlü bir model tasarlamışlardır. Geliştirdikleri bu modelde öncelikle Entropi Ağırlık yöntemini kullanarak ölçüt ağırlıklarını hesaplamışlar, devamında alternatif depo yerlerini, ÇÖKV teknikleri olan SAW, TOPSIS ve VIKOR kullanarak sıralamışlardır. Elde edilen sonuçları, Borda Sayım yöntemi kullanıp birleştirerek bütünlük bir sıralama elde etmişlerdir.

[Aydın vd. \(2017\)](#), çalışmalarında, acil durum malzemelerini ihtiyaç noktalarına mümkün olan en az zamanda ulaştırmak amacıyla inşa edilecek afet lojistik depoları için yer seçimi sorununu Maltepe ilçesi örneğinde araştırmışlardır. İncelenen sorun için entegre iki evreli bir model belirlenmiştir. İlk evrede, belli bir kapsama alanı için asgari felaket lojistik depo sayısını gösteren bir küme kapsama modeli önermişler, ikinci evrede, talep ağırlıklı mesafenin en aza indirilmesi için bir p-medyan modeli geliştirmişlerdir.

[Rodríguez-Espíndola vd. \(2017\)](#), farklı kuruluşlardan edinilen kaynakların yönetimini göz önünde bulundurarak acil durum hazırlığı için bir sistem geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri bu sistemde, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), acil durum tesislerinin yerini belirlemek için en uygun stok ön hazırlık politikası, ilk yardım dağıtımı ile malzeme ve insan kaynakları tahsisini kullanmışlardır.

Boonmee vd. (2017), yaptıkları çalışmada acil durum ve insani lojistiğin veri modelleme ve problem türlerine bağlı olarak tesis kuruluş yeri problemlerini gözden geçirmişlerdir. Ayrıca felaket öncesi ve sonrası durumlarını incelemek için en uygun modelleme yöntemlerini araştırmışlardır. Çalışmada, duyarlılık, risk ve maliyet etkinliği üzerine odaklanılmıştır.

Maharjan ve Hanaoka (2017), ani başlangıçlı felaketslere cevap verecek bir insani yardım zinciri için Nepal'in farklı bölgelerine yerleştirilecek olan depoların uygun sayısını ve yerlerini belirlemeye çalışmışlardır. Çalışma ek kısıtlamalar getirdiği için, örtü yerleşim yeri probleminin değiştirilmiş bir versiyonu kullanılmıştır. Problem, tam sayıya uygulanan dal ve sınır ile simpleks algoritması kullanılarak çözülmüştür.

Loree ve Aros-Vera (2018), sosyal maliyetlerin en aza indirilmesi ve dağıtım noktalarının ve stratejisinin en uygun şekilde yerleştirilmesi için yoksunluk maliyet fonksiyonlarını kuruluş yeri kararlarına entegre eden bir model oluşturmuşlardır. Temiz (2018), Maltepe ilçesi örneğinde afet yönetiminde lojistik depo yeri seçimi konusunu çalışmıştır. Çalışmada medyan modeli ile depo yerleri belirlenmiştir.

Wang vd. (2018), Afet yardım malzemesi lojistik ağlarının güvenilirliğini artırmak için acil durum depolarının potansiyel hasar durumunu göz önünde bulunduran Stokastik bir karışık tam sayı programlama modeli geliştirmişlerdir.

Yapılan literatür taramasında sürdürülebilir afet lojistiği depo yeri seçimi faktörlerinin belirlenmesi ve ideal depo yeri seçimi sıralamasına yönelik sınırlı sayıda çalışma belirlenmiştir. Bu çalışmalardan biri olan Peker vd. (2016) çalışmasında Erzincan ili düzeyinde deprem olgusuna karşı dağıtım merkezi yer seçimini AHS-VIKOR bütünlük yaklaşımı ile ele almıştır. Başka bir çalışmada Ofloğlu vd. (2017) Doğu Karadeniz Bölgesi'ndeki beş il (Trabzon, Rize, Artvin, Gümüşhane, Bayburt) için alan olarak tespit edilen Trabzon'da afet lojistiği bünyesinde depo kuruluş yer seçimi problemini ÇÖKV yöntemleri ile incelemişlerdir.

Bu çalışmada ise Giresun'daki diğer doğal afetler (sel, heyelan gibi) için sürdürülebilir ideal afet depo yeri seçimi konusu üzerinde durulmuştur. Öte yandan çalışma, yukarıda sayılan ilgili çalışmalardan hem yöntem olarak hem de afet lojistiği anlamında odaklanılan unsurlar yönünden ayrılmaktadır. Ek olarak çalışmanın Giresun'da gerçekleştirildiği düşünüldüğünde diğer çalışmalardan coğrafi olarak da farklılık arz ettiği söylenebilir. Ayrıca sürdürülebilir afet lojistiği depo yeri seçimi konusunda AHS-MAUT ve SAW bütünlük yaklaşımının kullanıldığı başka bir çalışmaya da rastlanmamıştır. Bu nedenle bu çalışmanın literatüre katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

3. Araştırmanın Yöntemi

Bu çalışmada sürdürülebilir afet lojistiği depo yeri seçimi faktörlerinin belirlenmesi ve ideal depo yeri seçiminin tespitine yönelik iki aşamalı bütünlük bir ÇÖKV yaklaşımından yararlanılmıştır. İlk aşamada AHS ile belirlenen ölçüt ağırlıkları doğrultusunda ikinci aşamada, MAUT ve SAW yöntemleri ile alternatifler sıralanmıştır. Bu bölümde sürdürülebilir afet lojistiği depo yeri seçimi faktörlerinin belirlenmesi ve ideal depo yeri seçimi alternatiflerinin sıralanmasında kullanılan AHS, MAUT ve SAW yöntemlerinin teorik açıklamalarına yer verilmiştir.

3.1. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) Yöntemi

Saaty tarafından 1977 yılında ortaya çıkarılan yöntem karar verme ve ölçmede kullanılan matematiksel bir yaklaşımdır (Saaty ve Niemira, 2006). Yöntemin uygulama adımları aşağıdaki şekildedir:

1. Aşama: Hiyerarşik Yapının Oluşturulması: Bu aşamada alternatifler, amaç ve ölçütler belirlenerek hiyerarşik yapı oluşturulmaktadır (Saaty, 2008).

2. Aşama: Önceliklerin Belirlenmesi: Saaty tarafından 1994 yılında geliştirilen önceliklendirme ölçeği ("1 - 9"), $n \times n$ boyutlu bir kare matrisi olup ölçütler arası karşılaştırma matrisi olarak ifade edilir.

Tablo 1
AHS ölçeği tablosu

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit Önem	İki faaliyet eşit derece etkili
3	Orta Derece Önem	Kanaatler bir faaliyeti diğerine oranla biraz tercih ediyor.
5	Kuvvetli Derece Önem	Kanaatler bir faaliyeti diğerine oranla güçlü tercih ediyor.
7	Çok Kuvvetli Derece Önem	Bir faaliyet diğerine oranla güçlü tercih ediliyor. Farklılık uygulamada rahatlıkla görülebiliyor.
9	Aşırı Derece Önem	Bir faaliyet diğerine oranla daha güçlü tercih ediliyor, delillerin güvenilirliği yüksek.
2,4,6,8	Ortalama Değerler	İki ardışık düzey arasında kararsız kalınırsa ortalama değer olarak kullanılıyor.

Kaynak: (Eleren, 2006).

3. Aşama: Özvektörün (Görelî Önem Vektörünün) Belirlenmesi: Önem dağılımlarına yönelik olarak belirlenen kriterlerin yüzde dağılımları için Denklem (3.1)'den faydalanılır (Saaty, 2008).

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (3,1)$$

n sayıdaki B sütun vektörü ise, matris formatı olarak toplanır ve aşağıda verilen C matrisi meydana gelir.

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nn} \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n c_{ij}}{n} \quad (3.3)$$

4. Aşama: Tutarlılık Oranının Hesaplanması: AHS yönteminde (CR) tutarlılık oranıdır. Özellikle kriterler arası yapılan karşılaştırmaların tutarlılığının ölçülmesine imkan verir (Saaty, 2008).

$$D = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \begin{matrix} x \\ x \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ x \end{matrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ w_n \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

$$E_i = \frac{d_i}{w_i} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3.5)$$

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n} \quad (3.6)$$

λ hesap edildikten sonra Denklem (3.5)'den faydalanılarak Tutarlılık Göstergesi (CI), hesap edilir.

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (3.7)$$

Son olarak da Denklem (3.6)'dan faydalanılarak CR değeri bulunur.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3.8)$$

Analizler sonucu elde edilen CR değeri 0,10'dan küçük ise, yapılan analizin geçerli olduğunun göstergesidir.

3.2. MAUT Yöntemi

MAUT yöntemi, [Fisburn \(1967\)](#) ve [Keeney \(1974\)](#) tarafından niceliksel ve niteliksel ölçütler göz önünde bulundurularak en yararlı alternatifi bulmak için geliştirilen yöntemlerden biridir. ([Løken ve Botterud, 2007](#)). Özellikle günümüzde gelişen ve karmaşıklaşan dünyadaki gerçek bir karar probleminin analizine ilişkin olarak MAUT yönteminden faydalanılır ([Konuskan ve Uygun, 2014](#)). Çünkü bu yöntem niceliksel ve niteliksel kriterler baz alınarak en yararlı alternatifi bulmaya yönelik uygulamalardır. Öyle ki MAUT yönteminde nesnel veriler, hesaplanabilir hale getirilerek en çok fayda sağlayan alternatifin bulunması amaçlanır ([Løken ve Botterud, 2007](#)). Öte yandan yöntem, çalışmakta olan hedefler arasındaki seçimin yapılması için çözülebilir ve mantıklı bir bileşen sağlaması sebebi ile diğer ÇÖKV yöntemlerinden ayrılır. Karara varmak ve ortak bir temele oturtmak için düzenli bir biçimde çalışmaya da olanak veren bir yapısı vardır ([Kim ve Song, 2009](#)). Temelde her karar verici bilinçli ya da dolaylı yoldan tüm bakış açılarını bir araya getirerek iyileştirmeye çalışır. Karar vericinin tercihleri, temsil edilen fayda fonksiyonu anlamına gelmektedir. Karar vericinin bu fonksiyonu karar verme sürecinin başında bilmesine gerek yoktur bu yüzden öncelikle fonksiyonu inşa etmek zorundadır. Fayda fonksiyonu, tercih edilebilirlik veya alternatifleri ölçmenin bir yoludur ([Tunca vd., 2016](#)). Dolayısıyla son yıllarda gelişen dünyada gerçek bir analiz yapmak için MAUT yöntemini kullanmak olağan hale gelmiştir ([Konuskan ve Uygun, 2014](#)).

Ayrıca karmaşık ve kompleks yapısı itibari ile gerçek hayatta karşılaşılan sorunların belirlenmesinde karar verenler görüşlerini doğru olarak yansıtamayabilirler veya düşüncelerini doğru bir biçimde gösteremeyebilirler. Bir diğer ifade ile ölçüt değerlerinin kesin ifadelerle ortaya koyulamadığı durumlarla karşılaşılabılır. Bu durumlar için bulanık mantığın kullanılması daha yerinde olmuştur. ([Zadeh, 1965](#)).

MAUT yönteminin adımları aşağıda verilmiştir ([Ishizaka ve Nemery, 2012](#); [Konuskan ve Uygun, 2014](#)):

1. Adım: Ölçütlerin ve Alternatiflerin Belirlenmesi: Karar problemine ilişkin ölçütler (a_n) ve alternatifler (x_m) belirlenmelidir.

2. Adım: Ağırlık Değerlerinin Belirlenmesi: Doğru bir biçimde alternatiflerin değerlendirilmesine imkân veren ve önceliklerin tespit edildiği ağırlık değerlerine (w_j) ataması yapılır. Bütün (w_j) değerlerinin toplamı 1'e eşit olması gerekmektedir.

$$\sum_i^m w_j = 1 \quad (3.9)$$

3. Adım: Karar Matrisinin Belirlenmesi: Ölçütlerin değer ölçülerinin ataması yapılmasında nitel ölçütler ölçütler için ikili karşılaştırmalar göz önünde bulundurulur, nicel ölçütler için ise nicel değerlere göre atama yapılır. Tüm bu göstergelerin ışığında, 5'lik, 100'lük vb. sistemde değer atamaları yapılır (x_m).

4. Adım: Normalize Edilmiş Fayda Değerlerinin Hesaplanması: Normalizasyon sürecinde temelde her niteliğe yönelik en kötü ve en iyi değerler tespit edilerek en kötü değere 0 ve en iyi değere 1 ataması yapılır ve öteki değerlerin hesaplanmasında Denklem (8)'de verilen formülden faydalanılır.

$$f_j(a_i) = \frac{f_i(a_i) - \min(f_i)}{\max(f_i) - \min(f_i)} \quad (3.10)$$

5. Adım: Toplam Fayda Değerlerinin Hesaplanması: Yapılan normalizasyon sürecinden sonra fayda değerlerinin tespit edilmesine geçilir. Denklem (9)'da fayda fonksiyonuna yönelik formül verilmiştir.

$$U(a_i) = \sum_{j=1}^q f_j(a_i) \cdot w_j \quad (3.11)$$

3.3. SAW Yöntemi

Churchman ve Ackoff (1954) geliştirdikleri bu yöntemde aşağıda verilen eşitlikler kullanılarak önce matris normalleştirme daha sonra ise alternatiflerin sıralanması işlemleri gerçekleştirilir. Büyükten küçüğe doğru alternatiflerin aldıkları değerler sıralanır ve en yukarıdaki alternatifin, performansı en iyi alternatif olduğu kabul edilmektedir. (Savitha ve Chandrasekar, 2011).

SAW yönteminin adımları aşağıda verilmiştir (Janic ve Reggiani, 2003; Yeh, 2003):

Adım 1: Karar Matrisinin Normalize Edilmesi: SAW Yönteminde ilk aşamada m sayıda alternatif ve n sayıda değerlendirme ölçütünden oluşan karar matrisi yukarıdaki Denklem (10)'dan faydalanılarak normalize edilir.

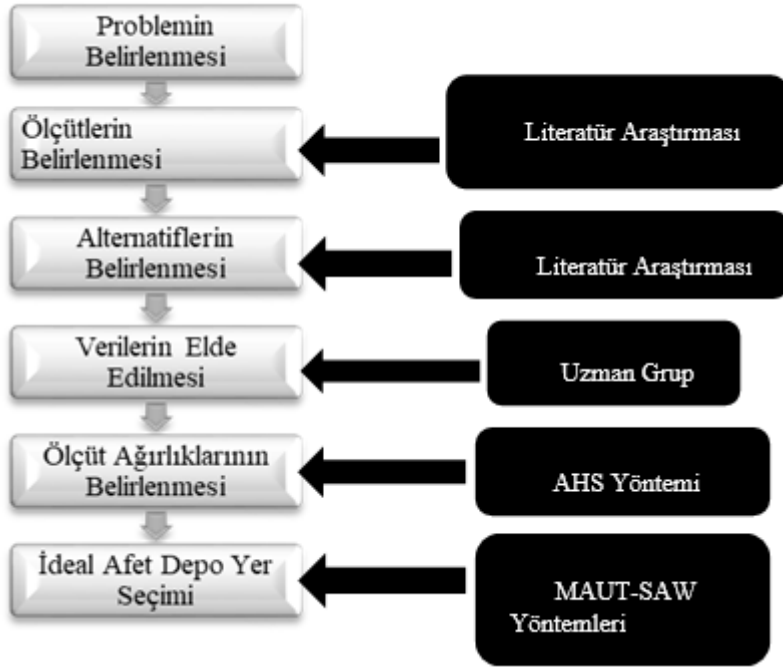
$$r_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij}}{\max x_{ij}} & i = 1, \dots, m; \quad j = 1, \dots, n \\ \frac{\min x_{ij}}{x_{ij}} & i = 1, \dots, m; \quad j = 1, \dots, n \end{cases} \quad (3.12)$$

Adım 2: Alternatiflerin Tercih Değerlerinin Hesaplanması: Her bir ölçüt ağırlığı ile daha önce hesaplanmış olan değerlerinin çarpılması sonucunda her bir alternatifin toplam tercih değerleri hesaplanmış olur.

$$S_j = \sum_{j=1}^m W_j r_{ij} \quad , i=1, \dots, m, \quad (3.13)$$

4. Uygulama

Çalışmada sürdürülebilir afet lojistiğine yönelik ideal afet depo yeri seçimi için ölçütlerin belirlenmesi ve ideal afet depo yeri seçimine ilişkin alternatiflerin değerlendirilmesi amacıyla iki aşamalı çok ölçütlü karar modeli oluşturulmuştur.



Şekil 1. Çalışma uygulama adımları

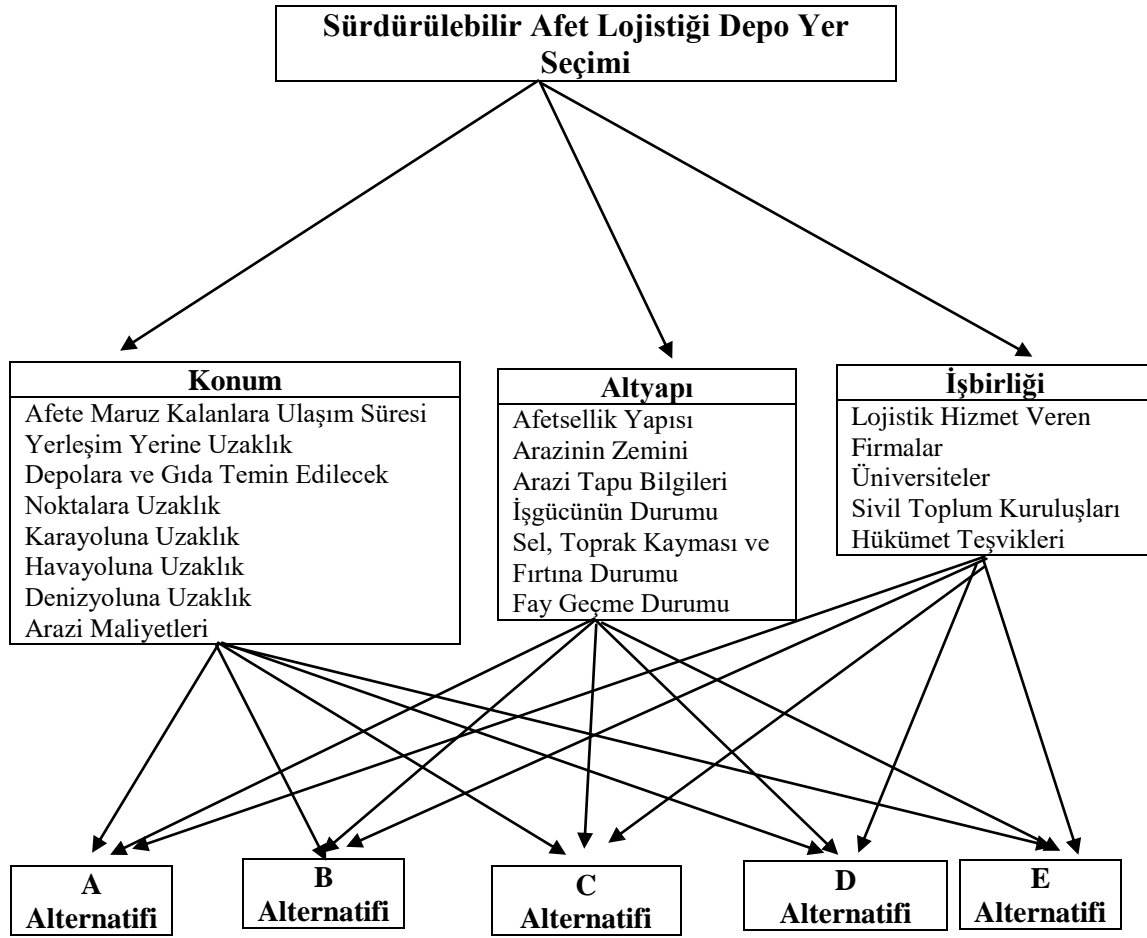
Şekil 1’de yer alan uygulama adımlarındaki sıraya göre işlemler yapılmıştır. Buna göre ilk olarak karar modeline göre literatür taraması ve uzman görüşleri yararlanılarak sürdürülebilir afet lojistiğine yönelik ideal afet depo yeri seçimine ilişkin ölçütler belirlenmiştir. Belirlenen ölçütler aynı önem düzeyine sahip olmadığından, ölçütlerin önceliklendirilmesine gerek duyulmaktadır. Bu kapsamda, AHS yöntemi ile sürdürülebilir afet lojistiği afet depo yeri seçimi ölçütleri ağırlıklandırılmıştır. Ağırlıklandırılmış ölçütler kullanılarak da hem MAUT hem de SAW yöntemleri ile afet lojistiğine yönelik ideal afet depo yeri seçimi yapılmıştır.

Ölçütler belirlenirken Kızılay’dan (3), Afet ve Acil Durum Müdürlüğü’nden (5), Yerel Yönetimler’den (3), Sivil Toplum Kuruluşları’ndan (3), Akademisyenler’den (3), lojistik hizmet alan firmalardan (5) ve lojistik hizmet veren firmalardan (5) olmak üzere toplam 27 uzmandan görüş alınmıştır. Ayrıca ilgili literatürün taranmasından da faydalanılarak aşağıdaki tablo (Tablo 2) oluşturulmuştur. Öte yandan Samsun Afet ve Acil Durum Arama ve Kurtarma Birlik Müdürlüğü ile koordineli bir biçimde hareket eden ve bağlı illerde (Samsun, Amasya, Sinop, Tokat, Trabzon, Ordu, Kastamonu ve Giresun) arama ve kurtarma faaliyeti yapan sivil toplum kuruluşları da çalışmaya dâhil edilmiştir. Ölçütler belirlenirken literatür taramasının yanında uzman gruptan gelen (depolara ve gıda temin noktalara uzaklık, arazinin zemini gibi) unsurlar da eklenmiş ve karar ölçütleri oluşturulmuştur.

Tablo 2
Karar ölçütleri

Ana Ölçütler	Alt Ölçütler	Kaynak
Konum (K ₁)	Afete Maruz Kalanlara Ulaşım Süresi (K ₁₁)	Peker vd. (2016), Uzman Görüşleri
	Yerleşim Yerine Uzaklık (K ₁₂)	Roh vd. (2013).
	Depolara ve Gıda Temin Edilecek Noktalara Uzaklık (K ₁₃)	Uzman Görüşleri.
	Kara Yoluna Uzaklık (K ₁₄)	Awasti vd (2011), Peker vd. (2016).
	Hava Yoluna Uzaklık (K ₁₅)	Kuo (2011).
	Deniz Yoluna Uzaklık (K ₁₆)	Roh vd. (2013).
	Arazi Maliyetleri (K ₁₇)	Yang vd. (2011).
Altyapı (K ₂)	Afetsellik Yapısı (K ₂₁)	Peker vd. (2016).
	Arazinin Zemini (K ₂₂)	Uzman Görüşleri.
	Arazi Tapu Bilgileri (K ₂₃)	Chan vd. (2007).
	İş Gücünün Durumu (K ₂₄)	Kobu (2008), Peker vd. (2016).
	Sel, Toprak Kayması ve Fırtına Riski (K ₂₅)	Uzman Görüşleri.
	Fay Geçme Durumu (K ₂₆)	Uzman Görüşleri.
İş Birliği (K ₃)	Lojistik Hizmet Veren Firmalar (K ₃₁)	Roh vd. (2013), Peker vd. (2016), Uzman Görüşleri.
	Üniversite (K ₃₂)	Roh vd. (2013), Peker vd. (2016), Uzman Görüşleri.
	Sivil Toplum Kuruluşları (K ₃₃)	Roh vd., (2013), Peker vd. (2016), Uzman Görüşleri.
	Hükümet Teşvikleri (K ₃₄)	Roh vd., (2013), Peker vd. (2016), Uzman Görüşleri.

Gerek uzman grubun görüşleri gerekse yapılan literatür taramasında sürdürülebilirlik temasına yönelik herhangi bir ölçüt seti saptanamamıştır. Alt ölçütlerin oluşturulduğu ana ölçütlerin isimlendirilmesi; Chan vd. (2007), Kuo (2011), Roh vd. (2013) ve Peker vd. (2016) tarafından yapılan çalışmalar ile uzman grubun görüşlerinden yararlanılarak oluşturulmuştur.



Şekil 2. Hiyerarşik yapı

4.1. Ölçütlerin Ağırlıklandırılması

AHS yönteminden faydalanılan bu adımda ölçütlerin değerlendirilmesine yönelik ikili karşılaştırma anketi oluşturularak, paydaşlar olan Kızılay'ı (3), Afet ve Acil Durum Müdürlüğü'nü (5), Yerel Yönetimler'i (3), Sivil Toplum Kuruluşları'nı (3), akademisyenleri (3) ve lojistik hizmet veren firmalar (5) ile lojistik hizmet alan firmaları (5) temsilen toplam 27 uzmana anket sunulmuştur. Görüşlere ilişkin tablolar; Ek:1, Ek:2, Ek:3 ve Ek:4'te verilmiştir. AHS önem ölçeğine göre oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi ile belirlenen ölçütlerin ağırlıkları bulunmuş ve Tablo 3'te verilmiştir. Bu kapsamda tutarlık analizi yapılmış ve CR değeri 0,095 olarak belirlenmiştir. $CR 0,095 < 0,10$ olduğundan sonuçlar tutarlı olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 3
Ölçütlere ilişkin ağırlık değerleri

Ana Ölçüt	Alt Ölçüt	Ağırlıklar
K ₁ = 0,067	K ₁₁	0,022
	K ₁₂	0,011
	K ₁₃	0,019
	K ₁₄	0,007
	K ₁₅	0,004
	K ₁₆	0,002
	K ₁₇	0,002
K ₂ = 0,640	K ₂₁	0,232
	K ₂₂	0,151
	K ₂₃	0,026
	K ₂₄	0,110
	K ₂₅	0,063
	K ₂₆	0,058
K ₃ = 0,293	K ₃₁	0,013
	K ₃₂	0,162
	K ₃₃	0,080
	K ₃₄	0,038

Tablo 3'e göre afet lojistiğine yönelik afet depo yeri seçimi için en önemli ana ölçütün "Altyapı" olduğu belirlenmiştir. Öte yandan afet depo yeri seçimine ait "Konum" ölçütü ise en az önemli ölçüt olmuştur.

Çalışmadaki tüm alt ölçütler incelendiğinde, modeli en çok etkileyen alt ölçütün "Afetsellik Yapısı" olduğu belirlenmiştir. Modeldeki tüm alt ölçütler açısından ikinci sırada yer alan ve modeli en çok etkileyen diğer alt ölçütün ise "Üniversite" olduğu belirlenmiştir. Tüm alt ölçütlere yönelik en düşük öneme sahip ve modeli en az etkileyen alt ölçütler ise, "Deniz Yoluna Uzaklık" ile "Arazi Maliyetleri"dir.

4.2. Alternatiflerin Sıralanması

Çalışmaya ilişkin alternatiflerin belirlenmesi aşamasında uzman grubun görüşleri dikkate alınmış ve kendilerine hangi noktaların afet depo yeri olacağı sorulmuştur. Bu alternatifler; organize sanayi bölgesi, hava yoluna yakın alanlar, deniz yoluna yakın alanlar, kara yolu geçiş güzergâhları, Trabzon'a yakın olması sebebi ile Görele ilçesindeki karayolu ve deniz yolu geçiş noktaları, şehrin merkezine yakın bir nokta ile şehrin iç kesimlerinde herhangi bir afet durumunda müdahale edilebilmesi için Tirebolu ile Doğankent arasında bir yer olarak başlangıçta 7 nokta olarak belirlenmiştir.

Belirlenen alternatifler için 1-5 arası puan ölçeğini içeren anket uzman grubun tümüne (27) uygulanmış ve en çok oyu alan beş muhtemel afet depo yeri için karar matrisleri oluşturularak uzman gruba yeniden sorulmuştur.

Bu kapsamda beş alternatifin sıralanması için hem MAUT hem de SAW yöntemlerinden faydalanılmıştır. AHS ile saptanan ölçütlerin ağırlıklarından yararlanılarak MAUT ve SAW yöntemleri ile sürdürülebilir afet

lojistiğine yönelik ideal afet depo yeri seçimi yapılmıştır. Bu doğrultuda her iki yöntem için ayrı ayrı karar matrisleri oluşturulmuş ve sonrasında karar matrisleri normalleştirilmiştir. Görüşlere ilişkin tablolar; Ek:5, Ek:6, Ek:7, Ek:8, Ek:9 ve Ek:10'da sunulmuştur. Bu kapsamda MAUT yöntemi ile tespit edilen sıralama değerleri aşağıdaki Tabloda gösterilmiştir.

Tablo 4

MAUT yöntemi sıralama sonuçları

Alternatifler	K ₁	K ₂	K ₃	Toplam Fayda Değeri	Sıralama
A ₁	0	0	0,293	0,293	4
A ₂	0,045	0,640	0,293	0,978	1
A ₃	0,067	0	0	0,067	5
A ₄	0,022	0,320	0	0,342	3
A ₅	0,067	0,320	0,147	0,534	2

MAUT yöntemi sonucunda elde edilen Tablo 4'e göre, sürdürülebilir afet lojistiğine yönelik ideal afet depo yeri seçimi sıralamasında Giresun'da A₂ seçeneği ideal afet depo yeri olarak belirlenmiştir. Öte yandan ideal afet depo yeri seçeneklerin genel sıralaması ise A₂>A₅>A₄>A₁>A₃ şeklinde gerçekleşmiştir.

Diğer taraftan bir diğer yöntem olan SAW ile tespit edilen sıralama sonuçları Tablo 5'te sunulmuştur.

Tablo 5

SAW yöntemi sıralama sonuçları

Alternatifler	K ₁	K ₂	K ₃	Toplam Tercih Değeri	Sıralama
A ₁	0,045	0,512	0,147	0,196	3
A ₂	0,045	0,640	0,293	0,274	1
A ₃	0,045	0,256	0,146	0,126	5
A ₄	0,034	0,512	0,293	0,236	2
A ₅	0,067	0,384	0,147	0,168	4

SAW yöntemi sonuçlarını ortaya koyan Tablo 5'e göre, sürdürülebilir afet lojistiğine yönelik ideal afet depo yeri seçimi sıralamasında A₂ seçeneği ideal afet depo yeri olmuştur. İdeal afet depo yeri seçeneklerinin genel sıralaması ise A₂>A₄>A₁>A₅>A₃ şeklinde gerçekleşmiştir.

Her iki yöntemin sonuçları birlikte değerlendirildiğinde Giresun ili için sürdürülebilir afet lojistiği açısından ideal afet depo yerinin A₂ olduğu belirlenmiştir. En az öneme sahip ideal afet depo yeri ise her iki yöntem

için de A_3 alternatifidir. Ayrı yöntemler için benzer sonuçların elde edilmesi, çalışmanın tutarlılığını ve doğruluğunu gösteren bir bulgu olarak değerlendirilmektedir.

5. Sonuç

Afet durumunda ihtiyaç duyulan malzemelerin temin edilmesi ve gerekli müdahalelerin yapılması, afete maruz kalan kimselerin hayatta kalmasına doğrudan etki eden çok önemli uygulamalardır. Özellikle gerekli olan malzemenin doğru, dinamik ve süratli bir biçimde yerine ulaştırılması, etkin afet depo yeri seçimi bileşenlerinin dikkatli bir biçimde incelenmesi ve analiz edilmesine bağlıdır.

Depo yer seçimi afet lojistiğinin etkinliği ve sürdürülebilirliği açısından hayati derecede öneme sahiptir. Çünkü afet lojistiğinde depolama fonksiyonu en az operasyon kadar önemlidir. Afetin şiddetine ve türüne göre birey, aile, bina, tesis, bölge bazında farklılık göstermekte ve müdahale gerektirmektedir. Hiyerarşik baz da olan afet lojistiği ve yönetiminin sürdürülebilir kılınması afet öncesi, afet sırası ve afet sonrası çalışmalarının belirlenmiş hedefler doğrultusunda mevcut kaynakların en etkin ve verimli bir şekilde kullanılarak yönetimine bağlıdır. Ayrıca sürdürülebilir afet lojistiği için ekolojiden kaynaklı dengesiz durumların doğal afetlerle olan doğrudan ilgisi sebebi ile oluşturulacak afet lojistiği yapısının sürdürülebilir insani yardım tedarik zinciri ile entegre olması gereklidir.

Bu çerçevede sürdürülebilir afet lojistiği için ideal afet depo yeri seçimi karmaşık bir karar verme problemi olmakla birlikte alternatifler arasında en uygun olanının belirlenmesi ÇÖKV yöntemlerinden yararlanmayı gerektirmektedir.

Bu çalışmanın temel amacı, sürdürülebilir afet lojistiğine yönelik depo yeri seçimi ölçütlerinin belirlenmesi ve belirlenen ölçütler doğrultusunda ideal afet depo yerinin belirlenmesidir. Bu kapsamda ÇÖKV yöntemlerinden AHS, MAUT ve SAW yöntemleri göz önüne alınarak, sürdürülebilir afet lojistiğine yönelik ideal afet depo yeri seçimi için belirlenen ölçütler ağırlıklandırılmış ve bu ağırlıklar kullanılarak ideal afet depo yeri seçimi yapılmıştır.

Yapılan çalışma sonucuna göre, sürdürülebilir afet lojistiğine yönelik ideal afet depo yeri seçiminde en önemli ana ölçüt *altyapı* (K_2) olarak saptanmıştır. Bu durum [Roh vd. \(2013\)](#) tarafından yapılan çalışmanın bulgularıyla benzeşmektedir. Ayrıca, *konum* (K_1), en az önemli ana ölçüt olarak belirlenmiştir. Bu durum ise [Peker vd. \(2016\)](#)'nın yaptığı çalışmanın sonuçları ile örtüşmemektedir.

En önemli alt ölçütün ise, "*afetsellik yapısı*" olduğu belirlenmiştir. Bu durum [Peker vd., \(2016\)](#) tarafından yapılan çalışmanın bulgularıyla benzeşmektedir. Ayrıca "*deniz yoluna uzaklık*" ve "*arazi maliyetleri*" en az öneme sahip alt ölçütler olmuştur. Bu iki alt ölçütün en az öneme sahip olmaları, [Peker vd. \(2016\)](#) ile [Ofluoğlu vd. \(2017\)](#)'nin elde ettiği bulgular ile örtüşmektedir.

MAUT ve SAW yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilen ideal afet depo yeri seçimi sonuçları ise her iki yöntem için de A_2 'nin en ideal afet depo yeri alternatifi olduğunu göstermiştir. Çalışmada her iki yöntemin (MAUT-SAW) sonuçları kıyaslandığında büyük oranda aynı sonuçlara ulaşılması, çalışmanın doğruluğunu ve tutarlılığını artıran bir unsur olarak değerlendirilebilir.

Ulaşılan sonuçlara göre; A_2 alternatifini ön plana çıkaran temel unsurun *altyapı* ve alt faktörün ise *afetsellik yapısı* olduğu söylenebilir. Ancak A_2 alternatifinin kara, hava ve deniz yoluna yakınlık sebebi ile uzman grup tarafından tercih edildiği değerlendirilebilir. Ayrıca A_2 alternatifinin; doğal afetlerden etkilenme durumu, arazinin topografyası ve jeolojik yapısı, iş gücü çeşitliliği, lojistik alanında akademik ve sektörel uzman/işgücü çeşitliliğinin varlığı, karayolu, denizyolu ve havayolu geçiş güzergahlarına yakınlık ve depo kuruluşu için optimal maliyet gibi öğeler açısından taşıdığı avantajların da bu seçimde etkili olduğu söylenebilir. Bununla birlikte ilgili yerin şehrin Doğu kısmına nispeten uzak olması, olası bir afet durumunda o yöredeki insanlara ulaşmada zaman ve maliyet noktasında olumsuz yansımaları da ortaya çıkarabilecektir.

Elde edilen bulgular konunun paydaşları olan Kızılay, Afet ve Acil Durum Müdürlüğü, Yerel Yönetimler, Sivil Toplum Kuruluşları, akademisyenler, lojistik hizmet alan ve lojistik hizmet veren firma temsilcilerinden oluşan uzman grup ile paylaşılmıştır. Ölçütlerin ağırlıklandırılması sonucu ortaya çıkan bulguların tüm uzman grubun görüşleri ve beklentileri ile doğru orantılı olduğu belirlenmiştir. Ayrıca Kızılay, Afet ve Acil Durum Müdürlüğü, Yerel Yönetimler, Sivil Toplum Kuruluşları ve akademisyenler, sürdürülebilir afet depo yeri seçimi için en iyi alternatifi A_2 olduğunu destekleyici görüşler öne sürmüşlerdir. Diğer paydaşlar olan

lojistik hizmet alan ve lojistik hizmet veren grup ise A_4 alternatifinin üstünlüklerini ifade etmiş ve bu alternatifin idealliğine vurgu yapmıştır. Aradaki bu farklılığın, lojistik hizmet veren ve lojistik hizmet alan grup için maliyet unsurunun öneminden kaynaklandığı söylenebilir.

İlgili literatür tarandığında böyle bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu bakımdan çalışma afet lojistiği kapsamında çeşitli açılardan karşılaştırılmaya örnek nitelikte düşünülebilir. Bununla birlikte araştırmada uzman grup ile görüşülmüş ancak zamandan kaynaklı kısıtlar sebebi ile uzman sayısı artırılmamıştır. Çalışmaya ilişkin başka bir kısıt ise gerek uzman grubun görüşleri gerekse yapılan literatür taramasında sürdürülebilirlik temasına yönelik herhangi bir ölçüt setine rastlanılmamış olmasıdır.

Diğer taraftan, çalışma kapsamında elde edilen sonuçların uzman grup ile yapılan görüşmelerde karar vericilerin beklentilerini desteklediği belirlenmiştir. Ancak insan kararları, beklentileri ve yargıları tam kesin olarak sayısal bir biçimde ifade edilemediğinden ve belirsiz olmasından dolayı gerçek durumu modellemek hem çok zor hem de çok karmaşıktır. Bu olgudan yola çıkarak gelecek çalışmalar için, bulanık ÇÖKV yöntemlerinden faydalanılarak sonuçlar mukayese edilebilir.

Teşekkür

Bu makalenin yazım aşamasında herhangi bir kurum veya kuruluştan maddi destek alınmamıştır.

Yazar Katkıları

Mustafa ERGÜN: Çalışmanın literatür kısmını yazmış ve analizlere katkı yapmıştır.

Selçuk KORUCUK: Verileri toplamış ve analizini yapmıştır.

Salih MEMİŞ: Çalışmanın istatistiksel analizlerine katkı yapmıştır

Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

Kaynaklar

- Abbasi, M. ve Nilsson, F. (2016). *Developing environmentally sustainable logistics: Exploring themes and challenges from a logistics service providers' perspective*. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 46, 273-283.
- Ashinaka, T., Kubo, M. ve Namatame, A. (2016). *A decision-support tool for humanitarian logistics*. Gen, M., Katai, O., McKay, B., Namatame, A., Sarker, R.A., Zhang, B.-T. (Editörler) In Intelligent and Evolutionary Systems (s.293-304). Springer, Cham, 293-304.
- Awasti, A., Chauhan, S.S. ve Goyal, S.K. (2011). *A multi-criteria decision making approach for location planning for urban distribution centers under uncertainty*. Mathematical and Computer Modelling, 53, 98-109.
- Aydın, H., Ayvaz, B. ve Küçükbaşçı, E. Ş. (2017). *Afet yönetiminde lojistik depo seçimi problemi: Maltepe ilçesi örneği*. Journal of Yaşar University, 12, 1-13.
- Balcık, B. ve Beamon, B. M. (2008). *Facility location in humanitarian relief*. International Journal of Logistics, 11(2), 101-121.
- Barbarosoğlu, G., Özdamar, L. ve Cevik, A. (2002). *An interactive approach for hierarchical analysis of helicopter logistics in disaster relief operations*. European Journal of Operational Research, 140(1), 118-133.
- Boltürk, E., Onar Çevik, S., Öztayşi, B. ve Kahraman, C. (2016). *Multi-attribute warehouse location selection in humanitarian logistics using hesitant fuzzy AHP*, International Journal of the Analytic Hierarchy Process, 8(2), 271-298.
- Boonmee, C., Arimura, M. ve Asada, T. (2017). *Facility location optimization model for emergency humanitarian logistics*. International Journal of Disaster Risk Reduction, 24, 485-498.

- Chan F.T.S., Kumar, N. ve Choy, K. L. (2007). *Decision making approach for the distribution centre location problem in an supply chain network using the fuzzy-based hierarchical concept*. Journal of Engineering Manufacture, 221 (B), 725-739.
- Chanta, S. ve Sangsawang, O. (2012). *Shelter-site selection during flood disaster*. Lecture Notes in Management Science, 4, 282-288.
- Christopher, M. (2011). *Logistics, the supply chain and competitive strategy*. In *Logistics and Supply Chain Management (4. Baskı.)*. Prentice Hall. London, Pearson Education.
- Davis, L. B., Samanlıoğlu, F., Qu, X. ve Root, S. (2013). *Inventory planning and coordination in disaster relief efforts*. International Journal of Production Economics, 141(2), 561-573.
- Demirdöğen, O., Erdal, H., Yazıcılar, F. ve Aykol, S. (2017). *Disaster logistics facility location problem: An application for TR A1 region*. The International New Issues in Social Sciences, 5(5), 323-342.
- Dubey, R. ve Gunasekaran, A. (2016). *The sustainable humanitarian supply chain design: Agility, adaptability and alignment*. International Journal of Logistics Research and Applications, 19(1), 62-82.
- Dwyer, A., Zoppou, C., Nielsen, O., Day, S. ve Roberts, S. (2004). *Quantifying social vulnerability: A methodology for identifying those at risk to natural hazards*. Canberra: Geoscience Australia.
- Eleren, A. (2006). *Kuruluş yeri seçiminin analitik hiyerarşi süreci yöntemi ile belirlenmesi; Deri sektörü örneği*. Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 20 (2), 405-416.
- Flanagan, B. E., Gregory, E. W., Hallisey, E. J., Heitgerd, J. L. ve Lewis, B. (2011). *A social vulnerability index for disaster management*. Journal of Homeland Security and Emergency Management, 8(1), 1-22.
- Florez, J. V., Lauras, M., Okongwu, U. ve Dupont, L. (2015). *A decision support system for robust humanitarian facility location*. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 46, 326-335.
- Hadiguna, R. A., Kamil, I., Delati, A. ve Reed, R. (2014). *Implementing a web-based decision support system for disaster logistics: A case study of an evacuation location assessment for Indonesia*. International Journal of Disaster Risk Reduction, 9, 38-47.
- Hale, T. ve Moberg, C. R. (2005). *Improving supply chain disaster preparedness: A decision process for secure site location*. International Journal of Physical Distribution ve Logistics Management, 35(3), 195-207.
- Handayani, N. U., Rinawati, D. I. ve Wiguna, Y. K. (2015). *Model of pre-positioning warehouse logistics for disaster eruption of Mount Merapi in Sleman Yogyakarta*. In Proceedings of the Joint International Conference on Electric Vehicular Technology and Industrial, Mechanical, Electrical and Chemical Engineering (ICEVT & IMECE) (pp. 401-405). IEEE.
- Iqbal, S., Sardar, M. U., Lodhi, F. K. ve Hasan, O. (2018). *Statistical model checking of relief supply location and distribution in natural disaster management*. International Journal of Disaster Risk Reduction, 31, 1043-1053.
- Ishizaka, A. ve Nemery, P. (2013). *Multi-criteria decision analysis: methods and software*, John Wiley & Sons Ltd. Published, Chichester/UK.
- Janic, M. ve Reggiani, A. (2002). *An application of the multiple criteria decision making (mcdm) analysis to the selection of a new hub airport*. European Journal of Transport and Infrastructure Research, 2(2), 113-141.
- Kim, S. K. ve Song, O. (2009). *A maut approach for selecting a dismantling scenario for the thermal column in krr-1*. Annals of Nuclear Energy, 36(2), 145-150.
- Kobu, B. (2008). *Üretim yönetimi, genişletilmiş güncellenmiş 14.baskı*, Beta Basım Yayım, İstanbul.
- Konuşkan, Ö. ve Uygun, Ö. (2014). *Çok nitelikli karar verme (maut) yöntemi ve bir uygulaması*, ISITES 2014, 1403-1412.

- Kovács, G. ve Spens, K. M. (2007). *Humanitarian logistics in disaster relief operations*. International Journal of Physical Distribution ve Logistics Management, 37(2), 99-114.
- Kuo, M. S. ve Liang, G. S. (2011). *Combining vikor with gra techniques to evaluate service quality of airports under fuzzy environment*. Expert Systems with Applications, 38(3), 1304-1312.
- Kusumastuti, R. D., Wibowo, S. S. ve Insanita, R. (2013). *Modeling facility locations for relief logistics in Indonesia*. In *Humanitarian and Relief Logistics* (pp. 183-205). Springer, New York, NY.
- Lee, D. H., Dong, M. ve Bian, W. (2010). *The design of sustainable logistics network under uncertainty*. International Journal of Production Economics, 128(1), 159-166.
- Liu, C., Chen, Z. H. ve Gong, Y. Y. (2013). *Site selection of emergency material warehouse under fuzzy environment*. Journal of Central South University, 20(6), 1610-1615.
- Loken E. ve Botterud A. (2007). *Planning of mixed local energy distribution systems: A comparison of two multi-criteria decision methods*, 28th Annual IAEE International Conference, Taipei, Taiwan, 1586-1587.
- Loree, N. ve Aros-Vera, F. (2018). *Points of distribution location and inventory management model for post-disaster humanitarian logistics*. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 116, 1-24.
- Maharjan, R. ve Hanaoka, S. (2017). *Warehouse location determination for humanitarian relief distribution in Nepal*. Transportation Research Procedia, 25, 1151-1163.
- Mete, H. O. ve Zabinsky, Z. B. (2010). *Stochastic optimization of medical supply location and distribution in disaster management*. International Journal of Production Economics, 126(1), 76-84.
- Neto, J. Q. F., Bloemhof-Ruwaard, J. M., Van Nunen, J. A. ve Van Heck, E. (2008). *Designing and evaluating sustainable logistics networks*. International Journal of Production Economics, 111(2), 195-208.
- O'brien, G., O'keefe, P., Rose, J. ve Wisner, B. (2006). *Climate change and disaster management*. Disasters, 30(1), 64-80.
- Ofluoglu, A., Baki, B. ve Ar, İ. M. (2017). *Multi-criteria decision analysis model for warehouse location in disaster logistics*. Journal of Management Marketing and Logistics, 4(2), 89-106.
- Özdamar, L. ve Demir, O. (2012). *A hierarchical clustering and routing procedure for large scale disaster relief logistics planning*. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 48(3), 591-602.
- Özdamar, L., Ekinci, E. ve Küçükyazıcı, B. (2004). *Emergency logistics planning in natural disasters*. Annals of Operations Research, 129(1-4), 217-245.
- Peker, İ., Korucuk, S., Ulutaş, Ş., Okatan Sayın, B. ve Yaşar, F., (2016). *Afet lojistiği kapsamında en uygun dağıtım merkez yerinin ahs-vikor bütünleşik yöntemi ile belirlenmesi: Erzincan ili örneği*. Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi, 14(1), 82-103.
- Ramos, T. R. P., Gomes, M. I. ve Barbosa-Póvoa, A. P. (2014). *Planning a sustainable reverse logistics system: Balancing costs with environmental and social concerns*. Omega, 48, 60-74.
- Rath, S. ve Gutjahr, W. J. (2014). *A math-heuristic for the warehouse location-routing problem in disaster relief*. Computers & Operations Research, 42, 25-39.
- Rodríguez-Espíndola, O., Albores, P. ve Brewster, C. (2018). *Disaster preparedness in humanitarian logistics: A collaborative approach for resource management in floods*. European Journal of Operational Research, 264(3), 978-993.
- Roh, S. Y., Jang, H. M. ve Han, C. H. (2013). *Warehouse location decision factors in humanitarian relief logistics*. The Asian Journal of Shipping and Logistics, 29(1), 103-120.
- Roh, S., Pettit, S., Harris, I. ve Beresford, A. (2015). *The pre-positioning of warehouses at regional and local levels for a humanitarian relief organisation*. International Journal of Production Economics, 170, 616-628.

- Saaty, T. L. (2008). *Decision making with the analytic hierarchy process*. International Journal of Services Sciences, 1 (1), 83-98.
- Saaty, T. L., ve Niemira, M. P. (2006). *A framework for making a better decision*. Research Review, 13(1), 1-4.
- Salam, M. A. (2006). *Disaster logistics management*, <https://www.poms-meetings.org/confpapers/005/005-0009.doc>, (12.01.2019).
- Savitha, K. ve Chandrasekar, C. (2011). *Trusted network selection using saw and topsis algorithms for heterogeneous wireless networks*, International Journal of Computer Applications, 26(8), 22-29.
- Schulz, S. F. ve Blecken, A. (2010). *Horizontal cooperation in disaster relief logistics: benefits and impediments*. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 40(8/9), 636-656.
- Seraji, H., Tavakkoli-Moghaddam, R. ve Soltani, R. (2019). *A two-stage mathematical model for evacuation planning and relief logistics in a response phase*. Journal of Industrial and Systems Engineering, 12(1), 129-146.
- Sheu, J. B. (2007). *An emergency logistics distribution approach for quick response to urgent relief demand in disasters*. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 43(6), 687-709.
- Şahin, S. (2017). *Çok kriterli karar verme yöntemleri ile bulanık ortamda afet yönetimi sisteminde geçici barınma alanları yer seçimi* (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Ticaret Üniversitesi).
- Temiz, H. (2018). *Afet yönetiminde lojistik depo seçimi ve bir uygulaması* (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Ticaret Üniversitesi).
- Tunca, Z. Ömürbek N. Cömert G. ve Aksoy E. (2016). *Opec ülkelerinin performanslarının çok kriterli karar verme yöntemlerinden entropi ve maut ile değerlendirilmesi*. Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi, 7(14), 1-12.
- Van Wassenhove, L. N. (2006). *Humanitarian aid logistics: supply chain management in high gear*. Journal of the Operational Research Society, 57(5), 475-489.
- Wang, B. C., Li, M., Hu, Y., Huang, L. ve Lin, S. M. (2018). *Optimizing locations and scales of emergency warehouses based on damage scenarios*. Journal of the Operations Research Society of China, 1-20.
- Xifeng, T., Ji, Z. ve Peng, X. (2013). *A multi-objective optimization model for sustainable logistics facility location*. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 22, 45-48.
- Yang, H., Yang, L. ve Yang, S. (2011). *Hybrid zigbee rfid sensor network for humanitarian logistics centre management*, Journal of Network and Computer Applications, (34), 938-948.
- Yeh, C. H. (2003). *The selection of multi-attribute decision making methods for scholarship student selection*, International Journal of Selection and Assessment, 11(4), 289-296.
- Zadeh, L.A. (1965). *Fuzzy sets*. Information and Control, 8, 338-353.

EK: 1. Ölçütler açısından karar matrisi, ağırlıklar ile tutarlılık

Ölçütler	Karar Matrisi			Ağırlıklar (W)	Tutarlılık Oranı (CR)
	K ₁	K ₂	K ₃		
K ₁	1	7	6	0,067	0,095<0,010
K ₂	1/7	1	3	0,640	
K ₃	1/6	1/3	1	0,293	

EK: 2. Konum ana ölçütüne ait alt ölçütler açısından karar matrisi, ağırlıklar ve tutarlılık

Alt Ölçüt	Karar Matrisi							Ağırlıklar (W)	Tutarlılık Oranı (CR)
	K ₁₁	K ₁₂	K ₁₃	K ₁₄	K ₁₅	K ₁₆	K ₁₇		
K ₁₁	1	4	3	3	5	6	7	0,330	0,092<0,010
K ₁₂	¼	1	1/7	3	3	4	4	0,161	
K ₁₃	1/3	7	1	4	4	4	5	0,276	
K ₁₄	1/3	1/3	¼	1	3	3	3	0,096	
K ₁₅	1/5	1/3	1/4	1/3	1	2	2	0,054	
K ₁₆	1/6	1/4	1/4	1/3	½	1	2	0,043	
K ₁₇	1/7	1/4	1/5	1/3	½	½	1	0,040	

EK: 3. Altyapı ana ölçütüne ait alt ölçütler açısından karar matrisi, ağırlıklar ve tutarlılık

Alt Ölçüt	Karar Matrisi						Ağırlıklar (W)	Tutarlılık Oranı (CR)
	K ₂₁	K ₂₂	K ₂₃	K ₂₄	K ₂₅	K ₂₆		
K ₂₁	1	3	6	3	3	3	0,362	0,098<0,010
K ₂₂	1/3	1	3	3	3	3	0,236	
K ₂₃	1/6	1/3	1	1/5	1/3	1/5	0,040	
K ₂₄	1/3	1/3	5	1	3	3	0,173	
K ₂₅	1/3	1/3	3	1/3	1	2	0,099	
K ₂₆	1/3	1/3	5	1/3	½	1	0,090	

EK: 4. İş Birliği ana ölçütüne ait alt ölçütler açısından karar matrisi, ağırlıklar ve tutarlılık

Alt Ölçüt	Karar Matrisi				Ağırlıklar (W)	Tutarlılık Oranı (CR)
	K ₃₁	K ₃₂	K ₃₃	K ₃₄		
K ₃₁	1	1/7	1/7	1/5	0,044	0,090<0,010
K ₃₂	7	1	5	3	0,553	
K ₃₃	7	1/3	1	3	0,273	
K ₃₄	5	1/5	1/3	1	0,130	

EK: 5. MAUT yöntemi için karar matrisi ve en iyi ve en kötü değerler

Alternatifler	K ₁	K ₂	K ₃
A ₁	2	3	4
A ₂	4	5	4
A ₃	5	3	2
A ₄	3	4	2
A ₅	5	4	2
En İyi Değer	5	5	4
En Kötü Değer	2	3	2

EK: 6. MAUT yöntemi için normalize edilmiş karar matrisi

Alternatifler	K ₁	K ₂	K ₃
A ₁	0	0	1
A ₂	0,667	1	1
A ₃	1	0	0
A ₄	0,333	0,500	0
A ₅	1	0,500	0

EK: 7. MAUT yöntemi için ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi

Alternatifler	K ₁	K ₂	K ₃
A ₁	0	0	0,293
A ₂	0,045	0,640	0,293
A ₃	0,067	0	0
A ₄	0,022	0,320	0
A ₅	0,067	0,320	0

EK: 8. SAW yöntemi için karar matrisi ve makmin r-r_j değerleri

	Ölçüt Türleri	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	Makmin r-R _j
K₁	Min.	3	3	3	4	2	2
K₂	Mak.	4	5	2	4	3	5
K₃	Mak.	1	2	1	2	1	2

EK:9. SAW yöntemi için normalize edilmiş karar matrisi

	Ölçüt Türleri	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
K₁	Min.	0,667	0,067	0,067	0,500	1
K₂	Mak.	0,800	1	0,400	0,800	0,600
K₃	Mak.	0,500	1	0,500	1	0,500

EK: 10. SAW yöntemi için ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi

	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
K₁	0,045	0,045	0,045	0,034	0,067
K₂	0,512	0,640	0,256	0,512	0,384
K₃	0,147	0,293	0,147	0,293	0,147

Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Kabuk Hızı Değişimlerinin Yoğun Sismik Dizilim ile İncelenmesi

Ahu Kömeç Mutlu¹, Musavver Didem Cambaz²

¹İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Gebze Teknik Üniversitesi, Çayirova, Kocaeli, Türkiye
²Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Boğaziçi Üniversitesi, Çengelköy, Üsküdar, İstanbul, Türkiye

Makale Tarihiçesi

Gönderim: 20.02.2020
Kabul: 18.05.2020
Yayın: 22.05.2020

Araştırma Makalesi

Öz – Aktif fay zonları boyunca asimetrik olarak dağılmış olan mikro çatlaklar bu zonlardaki depremlerin tekrarlı oluşumları nedeniyle meydana gelmektedir. Aynı bölgede sürekli tekrarlanan depremler, elastik olarak farklı olan malzemeleri ayırarak iki-malzemeli arayüzeyler meydana getirir ve deprem davranışını etkileyen önemli sonuçlar doğurur. Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde kurulan DANA (Dense Array of Northern Anatolia) sismik ağı Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Sakarya ve Sapanca segmentleri üzerinde iki malzemeli arayüzeyin incelenmesi için elverişli veri sağlamaktadır. Bu çalışmanın amacı, yoğun sismik dizilim bulunan Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun (KAFZ) batı ucunda Sakarya ve Sapanca segmentleri arasında, deprem dalgası çapraz ilişki analizleri kullanarak, iki malzemeli arayüzey geçişindeki hız değişimlerini belirlemektir. Araştırma kapsamında 2012-2013 yıllarında, çalışma alanında faaliyet gösteren DANA geçici sismik ağına ait 73 adet sismik istasyondan, 109 adet uzak deprem kaydı kullanılarak 50.000'den fazla dalga formu derlenmiştir. Uzak deprem dalgalarının, sismik kayıtlara varışları arasındaki zaman farkları, fayın karşılıklı bölümlerinde kabuktaki hız kontrastını tespit etmek ve fark değerini ölçmek için kullanılmıştır. Elde edilen bulgular KAFZ kuzey kolunun kuzeybatısında düşük, kollar arası Armutlu-Ovacık bloğu altında yüksek hızlara işaret etmektedir. Referans kayıtlarının analizinde, hız oranlarında lokal değişimler hesaplanmış olsa da, bölge geneline bakıldığında KAFZ kuzey kolunun kuzeyi ile, yine KAFZ kuzey kolunun doğusu ve güney doğusu arasında görece büyük hız farkları elde edilmiştir. Sonuçlar, KAFZ kuzey ve güney kollarındaki hız değişimlerini ve genel tektonik ortamla ilişkilendirilen özellikleri ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler – İki malzemeli arayüzey, hız farkı, Kuzey Anadolu Fay Zonu, Sakarya-Sapanca Segmenti, Türkiye

An Investigation on the Crustal Velocity Variations of the North Anatolian Fault Zone by a Dense Seismic Array

¹Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Gebze Technical University, Gebze, Turkey
²Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute, Boğaziçi University, İstanbul, Turkey

Article History

Gönderim: 20.02.2020
Kabul: 18.05.2020
Yayın: 22.05.2020

Research Article

Abstract – Asymmetrical distribution of microfractures across the fault is the result of repeated occurrence of earthquakes on active fault zones. Earthquake sequences generate bimaterial interfaces which separate elastically different materials from each other and provide important implications for earthquake behavior. Dense Array of Northern Anatolia (DANA) network provides valuable data in order to investigate bimaterial interface across the north and south branches of North Anatolian Fault Zone (NAFZ) beneath Sakarya-Sapanca segments. The aim of this study is to determine velocity contrast along the north and south branches of NAFZ by using the dense temporary seismic DANA network along the western edge of NAFZ between Sakarya and Sapanca segments. From May 2012 to September 2013, more than 50.000 waveforms are compiled from 109 teleseismic earthquakes and 73 stations of DANA temporary network operated in the study area. We used differences between arrival times to detect and quantify velocity contrast in crust across the fault. Although local changes in velocity ratios were found in reference station analyzes, overall velocity differences were observed beneath north of the NAFZ northern branch and relatively east and southeast of the NAFZ northern branch. It is possible to mention the presence of a two-material interface between the two branches of the fault. The results indicate the existence of biomaterial interface along the NAFZ branches which provides important implications for understanding the earthquake dynamics and mechanism.

Keywords – Bi-material Interface, velocity contrast, North Anatolian Fault Zone, Sakarya-Sapanca Segment, Turkey

¹  <https://orcid.org/0000-0003-2243-7302> ahumutlu@gtu.edu.tr*

²  <https://orcid.org/0000-0001-5395-2388> didem.samut@boun.edu.tr

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1. Giriş

Büyük fay zonları, bulunduğu ortamdaki farklı litolojik birimleri ayıran iki malzemeli (bi material) arayüzlere sahiptir. Bu arayüzler büyük fay bloklarının uzun süreli tekrarlanan hareketi ile meydana gelmiştir. Fay zonlarında farklı kayaç türlerinin varlığı, yerel sismik ve jeodezik alanların özelliklerini değiştirmektedir (Najdahmadi vd., 2016). Bu değişimler ise fay zonundaki Moho derinliği, deprem odak mekanizmaları, yer hareketi büyütmesi ve uzak deprem dalgalarının gecikmesi ile ilgili belirleyici özellikler yansıtır. Bunun yanında sadece depremin dinamik özelliklerini değil, yayılma yönünü, yerel yapısal özelliklerini ve fay boyunca görülecek sismisiteyi de önemli ölçüde etkiler. Büyük fay zonlarında kayma zonu sıklıkla iki malzemeli arayüzlerden (Şengör vd., 2005; Dor vd., 2008; Mitchell, Ben-Zion ve Shimamoto, 2011; Özakın vd., 2012) geçmektedir. İki malzemeli arayüzler, deprem ve fay zonu sismolojisinde büyük rol oynayabilir. Deprem kaynak bölgelerinde görülen litolojik farklılıklar belirsizliklere neden olmaktadır. Son yıllarda yapılan arazi çalışmalarında gerilme ile oluşan mikro kırıkların, depremi oluşturan fayın ve fay kollarının etrafını sardığını göstermektedir (Yamashita, 2009). Böyle bir arayüzde meydana gelecek deprem yırtılması, mikro çatlaklar etkisinde ve tercihli yayılma yönüne sahiptir. Öte yandan, fay zonunun zıt taraflarında, hız farklılığı göz ardı edilirse, deprem bölgelerinde, fay düzlemi çözümlerinde ve kaynak mekanizması analizinde sapmalar ve hatalar oluşturabilir (Ben-Zion ve Malin, 1991; Ben Zion ve Andrews, 1998; Zaliapın ve Ben-Zion, 2011; Ben-Zion, 1989). Sismolojik analizler ve litolojik çalışmalara olan etkisi nedeniyle, günümüzde farklı dalga formları ve yöntemler ışığında yapılan iki malzemeli arayüz çalışmalarının sayısı gün geçtikçe artmaktadır.

Anadolu ve Avrasya levhalarını sınırlayan ve tekrarlı olarak ($M > 7$) depremler üreten Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) en büyük yanal atımlı fay zonlarından birisidir. KAFZ boyunca oluşan büyük depremlerin 1939 Erzincan depreminden başlayarak doğudan batıya doğru göç etmesi İstanbul ve civarında başka büyük depremlerin oluşma potansiyelini arttırmaktadır (Barka ve Kadinsky, 1988; Barka, 1996). İzmit’de, 17 Ağustos 1999 depreminden sonra çeşitli sismik ağlar (DANA, 2012; Beck ve Zandt, 2005) kurularak KAFZ üzerindeki yırtılma bölgesinde çok sayıda çalışma yapılmıştır (Gülen vd., 2002; Barka vd., 2002; Nakamura vd., 2002). DANA (Dense Array for North Anatolia) projesi kapsamında toplanan veriler farklı çalışmalara kaliteli ve yoğun bir veri tabanı sağlamıştır (Altuncu vd., 2015; Frederiksen vd., 2015; Kahraman vd., 2015; Taylor vd., 2018). Bu veri seti kullanılarak KAFZ’nin ilgili bölgesinde çeşitli sismolojik çalışmalar yapılmış, bölgenin mikro-sismisitesi (Altuncu vd., 2015), alıcı fonksiyon analizi (receiver function) detaylı olarak araştırılmış (Frederiksen vd., 2015). KAFZ’nin her iki kolunda da 10 km’den sığ üst, orta ve alt kabukta, litolojik ve yapısal farklılıklar gözlenmiştir. H-k yığıma yöntemi kullanılarak (Kahraman vd., 2015), P dalgası uzak deprem kayıtlarından kabuk kalınlığı, tortul kalınlık ve P/S hız oranı hesaplanmıştır. Buna göre, güneyden kuzeye doğru 30 km’den 45 km’ye kadar artan kabuk kalınlıkları ve KAFZ’nin güney kolunun güneyinde dramatik olarak artan P/S hızı gözlemlenmiştir. Aynı veri seti kullanılarak, (Taylor vd., 2018) İzmit-Adapazarı bölgesi altında çevresel gürültü değerleri kayıt edilmiş ve kesme dalgası hızı ilk 10 km’lik derinlik için görüntülenmiştir. Sedimanter havzalarla ilişkili olarak, Adapazarı havzasının altında düşük S dalga hızları gözlenirken, KAFZ’nin iki kolu arasında nispeten yüksek hızlar tespit edilmiştir. Bu tür yoğun sismik ağ dizilimleri kullanılarak çalışma alanının sismik hızlarının yüksek çözünürlükle belirlenmesi sismolojinin yaygın çalışma konularındandır (Taylor vd., 2018; Delph vd., 2015; Karabulut vd., 2015; Papaleo, Cornwell ve Rawlinson, 2017; Özer ve Polat, 2017).

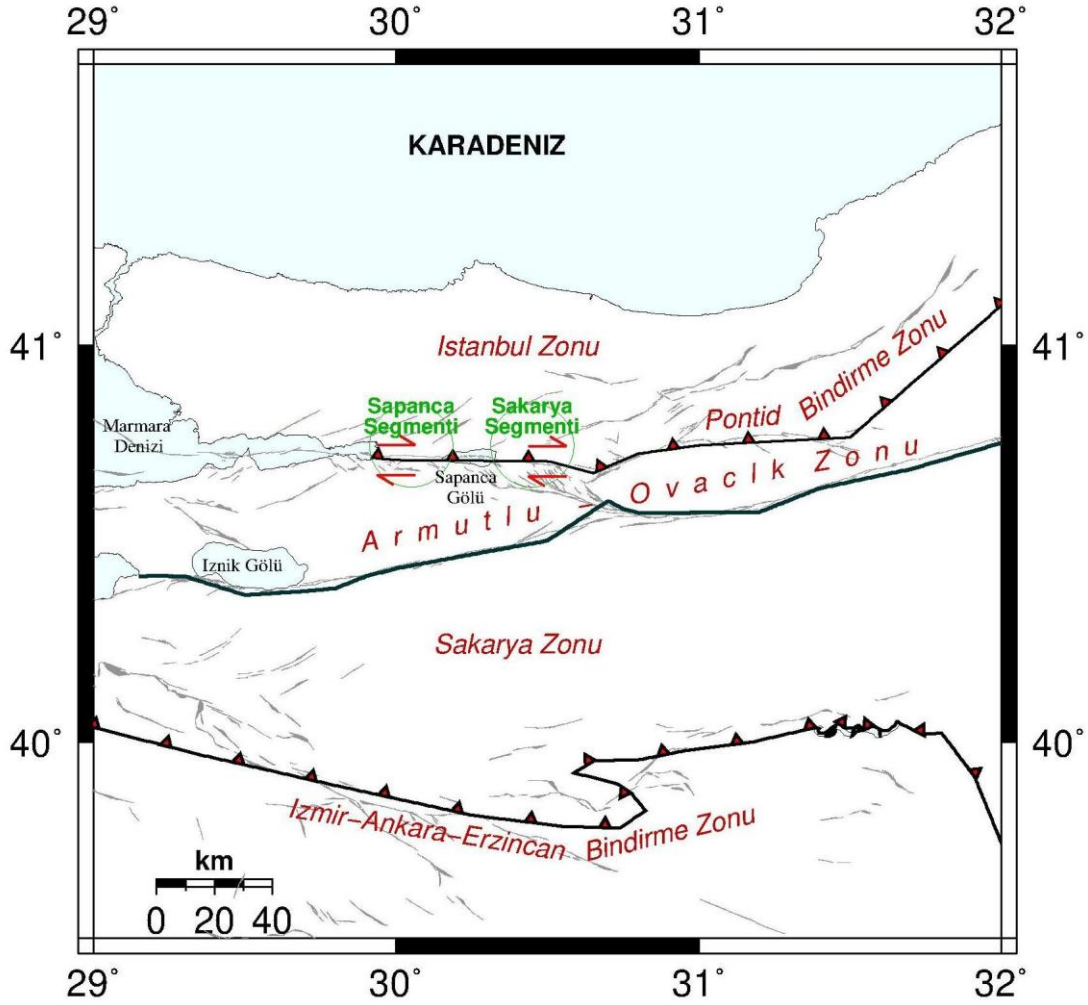
Bu çalışmada, yoğun sismik veri seti kullanılarak KAFZ kuzey ve güney kolları arasındaki hız farklılıkları incelenmiştir. Bölgeye yerleştirilmiş çok yoğun geniş bantlı deprem kayıt cihazı dizilimi, fayın kuzey ve güney kolları altında sismojenik derinlikteki iki-malzemeli arayüzü ve hız farklılıklarını incelemek için önemli avantaj sağlamıştır. Çalışmanın amacı, KAFZ’nin bu iki kolu arasındaki hız farkları değişimini araştırmaktır. Çalışma sonucunda elde edilen hız kontrastı bilgisi, fay üzerinde deprem kırılmalarındaki yönlülüğe (ve böylece yanal yönler boyunca sarsıntı zararlarının tahmin edilmesine) ayrıca çalışma alanının sismotektoniğinin daha iyi anlaşılmasına ve deprem sismik risk haritalarının geliştirilmesine önemli katkı sağlayacaktır.

2. Jeoloji ve Tektonik

Afrika, Arap ve Avrasya levhalarının yakınsaması ve Anadolu'nun batıya hareketi Doğu Akdeniz'de levha sınırlarının gelişmesine neden olur (Özbakır, Govers ve Wortel, 2017). Türkiye, Alp Himalaya kuşağı üzerinde bulunan, birçok sismik zonu içerisinde bulunduran, sismolojik olarak aktif bir bölgede yer almaktadır. Türkiye'nin anakarası Tetis okyanusu havzalarının kapanmasının sonucu bir araya gelen çeşitli kıta ve okyanus parçaları ile şekillenmiş, dünyadaki en dinamik, karmaşık ve sismik olarak aktif neotektonik bölgelerden biridir. Bu bölgeyi şekillendiren yüzeyler karmaşık bindirme zonları ile birbirinden ayrılır ve baskın jeolojik geçmişleriyle karakterize edilir.

Türkiye'nin ankarasının kuzeyindeki Pontidler ve güneyindeki Tauridler İzmir-Ankara-Erzincan bindirme zonu ile birbirinden ayrılmaktadır. Kuzeybatı Anadolu, kuzeyden güneye ayrılan üç ana tektonik birim ile tanımlanmaktadır: (1) İstanbul Zonu, (2) Armutlu-Ovacık Zonu ve (3) Sakarya Zonu (Okay, 1989). (Şekil 1). Bu üç zona ait kayaçlar günümüzde KAFZ'nun yer aldığı ve Erken Eosen-Oligosen'de Intra-Pontid okyanusunun kapanması sonucu oluşan kenet boyunca bir araya gelmiştir (Şengör ve Yılmaz, 1981) İstanbul zonu Ordovisiyen-Alt Tersiyer yaşlı tortul kayalardan oluşur, Sakarya zonu ise metamorfik temel ile Jura-Kretase yaşlı tortul örtüden oluşur (Yılmaz vd., 1999; Erturaç K., 2018a) Adapazarı-Pamukova benzeri genç tektonik ovalar ve civarında ise Pliyosen-Kuvaterner yaşlı birimler gözlenir (Erturaç K., 2018a). Armutlu-Ovacık zonu, İstanbul ve Sakarya zonlarının tektonik bir karışımını temsil eder ve tektonik olarak sınırlandırılmış gibi görünür. Bu zon, yığılım kompleksi olarak oluşan yüksek topografyaya sahiptir. Armutlu-Ovacık Bölgesinin doğu-batı eğilimi yaklaşık 20 km ile 50 km genişliğindedir (Elmas ve Yiğitbaş, 2001). Yaklaşık 2 km tortul kalınlığına sahip olan Adapazarı havzası bu bölgede yer almaktadır. Güneyde Sakarya Bölgesi, İzmir-Ankara-Erzincan bindirme zonunun melanj ve ofiyolitleri ile sınırlanan doğu-batı eğilimli bir kıta parçasıdır (Şekil 1). Çok farklı özellikteki jeolojik birimleri bir arada barındıran çalışma alanında, yer süreçlerine ilişkin çeşitli jeomorfolojik özellikler de çok yakın alanda iç içe bulunmaktadır ve yer şekillerinin oluşumları bu bölgede hala devam etmektedir (Erturaç K., 2018b).

Doğuda Karlıova ilçesinden, batıda Saros Körfezi'ne kadar uzanan Kuzey Anadolu Fay Zonu, yaklaşık 1200 km uzunluğundadır. KAFZ, Karlıova'dan 1999 İzmit deprem yırılmasının doğusuna kadar oldukça sürekli. Yaklaşık 80 km sağ yanal atım ve 2,4 cm/yıl hareket oranı ve mevcut kayma oranı yaklaşık 20-30 mm/yıldır (Şengör vd., 1985; Reilinger vd., 1997; Armijo vd., 1999a, 1999b; McClusky vd., 2000). Bolu'nun doğu ucundan itibaren fay iki ana kola ayrılır. Güney kolu, kuzey kolundan (~25 mm/yıl) daha düşük kayma oranına (~5-10 mm/yıl) sahiptir (Meade vd., 2002). Kuzeybatı Anadolu'daki üç ana tektonik birim, Kuzey Anadolu Fay Zonu bölgesinin bu iki kolu tarafından sınırlanmaktadır. Kuzey kolu, Düzce-Karadere segmentini Adapazarı havzası boyunca takip ederek Marmara Denizi'ne girer. Güney kolu, Pamukova boyunca ilerleyerek İznik Gölü'nden Gemlik Körfezi'nde kadar uzanmaktadır (Barka ve Kadinsky, 1988; Barka, 1996). Bu çalışma, kuzeyden güneye sırasıyla; İstanbul Zonu, Armutlu-Ovacık Zonu ve Sakarya Zonu'nu, kapsayan, kuzeybatı Anadolu'da yer almaktadır.

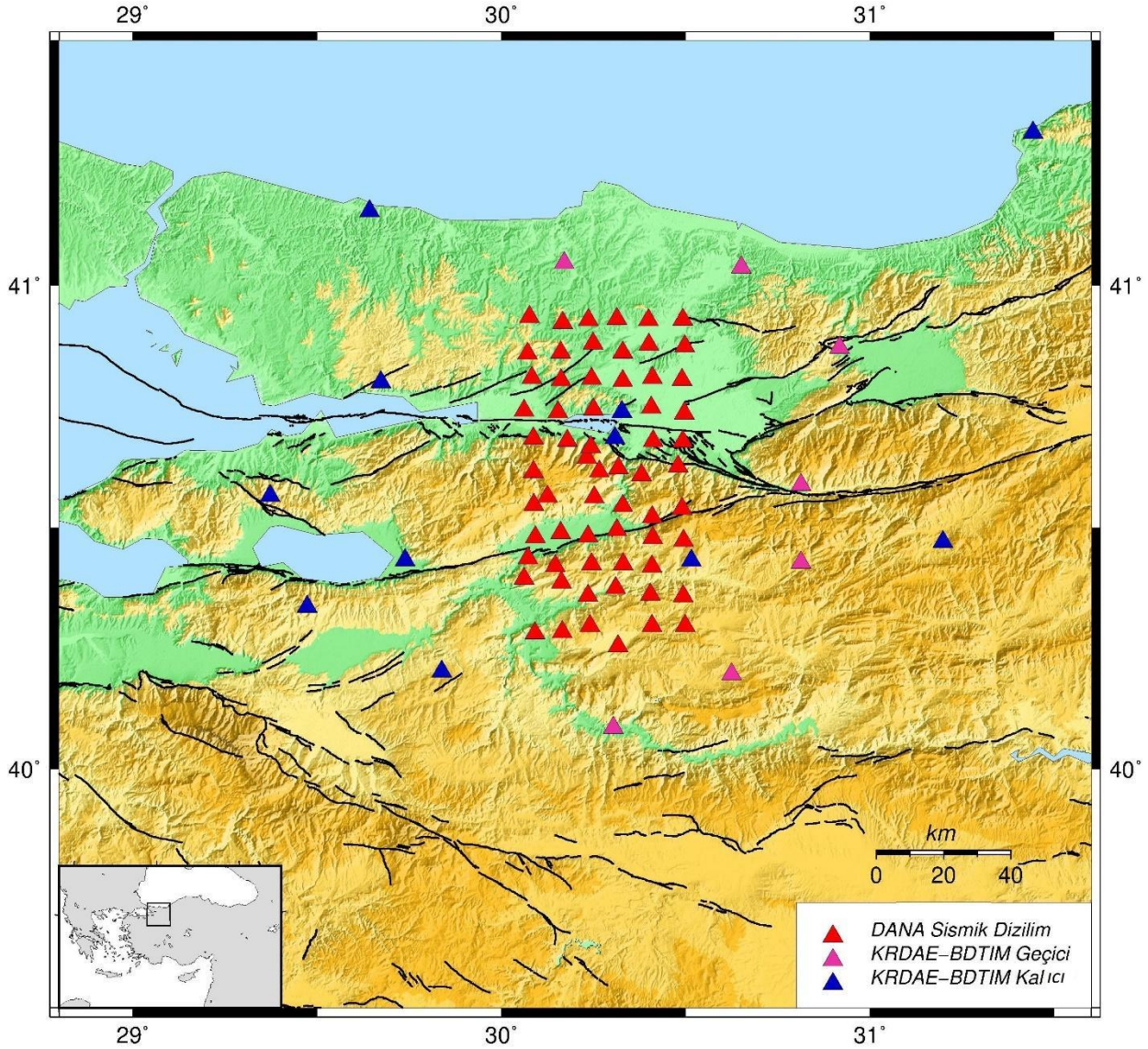


Şekil 1: Çalışma alanında hâkim olan tektonik yapı gösterilmiştir. Siyah çizgiler İstanbul Zonu, Armutlu-Ovacık Zonu ve güneyde Sakarya Zonu tektonik sınırlarını göstermektedir. Bindirme zonları kırmızı üçgenli siyah çizgi ile gösterilmiştir. KAFZ üzerinde yer alan Sakarya ve Sapanca segmentleri şekilde belirtilmiştir. Güncel fay haritası bilgisi [Emre vd., 2013](#) makalesinden alınmıştır ([Emre vd., 2013](#); [Cambaz ve Karabulut, 2010](#)).

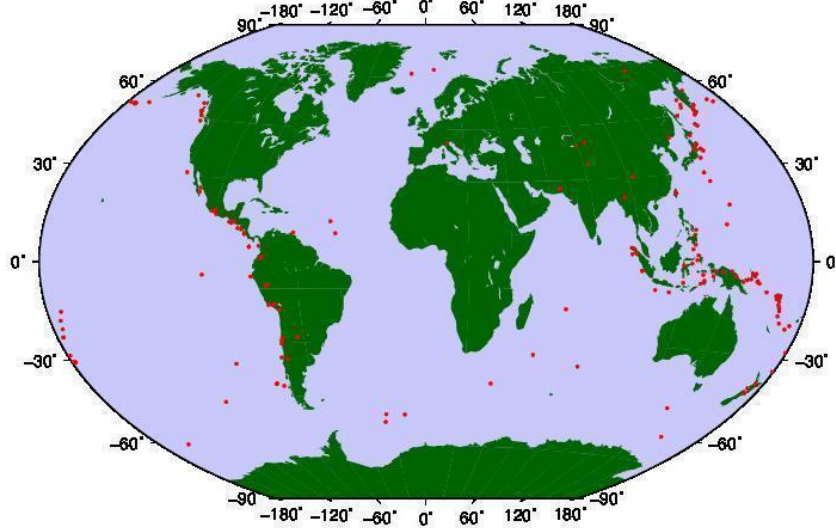
3. Veri ve Yöntem

DANA sismik ağı Mayıs 2012 ile Eylül 2013 tarihleri arasında, Sakarya-Adapazarı bölgesinde, 16 aylık bir süre boyunca işletilmiştir. Sismometreler, KAFZ'nun her iki kolunu dikey yönde kesecek ve sırasıyla kuzeyden güneye, üç ana tektonik birimi de içine alacak şekilde konumlandırılmıştır. Bu sismik ağ dizilimi ve istasyonların dağılımı KAFZ'nun her iki kolundaki hız değişimlerini bir arada incelemeye olanak sağlamıştır. Sismik ağ, birbirine paralel 7 km mesafeli ve her birinde 11 sismik istasyon içeren altı kuzey-güney hat çizgisinden oluşmuştur ve yaklaşık 70x35km² dikdörtgen alanı kaplamıştır. Bu dizi, aynı zamanda doğuda bir yay oluşturacak şekilde yerleştirilen 7 istasyonla desteklenmiştir (Şekil 2). Diziye ait veri setine ek olarak, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Bölgesel Deprem ve Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi ([Boğaziçi University, Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute, 2001](#)) tarafından işletilen 13 adet kayıtçı cihazından toplanan veriler de bu çalışmada kullanılmıştır. Analizlerde 73 adet (54 CMG6T, 6 CMG3TD, 2 CMGESPD, 1 CMG40TD) genişbant istasyonundan toplanan yüksek kaliteli dalga formu verileri kullanılmıştır. Bu istasyon dağılımı, sadece KAFZ ve Adapazarı havzasının her iki ana kolundan da geçmekle kalmayıp çalışma alanındaki farklı jeomorfolojik yapıları da içine almaktadır.

Çalışma alanındaki akma (creep) etkisinden dolayı bölgedeki sismik aktivitenin yoğun olmadığı daha önceki çalışmalarda değinilmiştir (Aslan vd., 2019; Martinez-Garzon vd., 2019). Çalışma alanının asismik özelliğinden dolayı, bu çalışmada, analizlerin yapılmasına yetecek kadar lokal deprem meydana gelmemiş ve çalışmada uzak deprem dalga formu varışları kullanılmıştır. Uzak deprem kayıtları, merkez üssü mesafesi 30 dereceden büyük ve 100 dereceden küçük, deprem büyüklüğü ise 5.5'den büyük olacak şekilde filtrelenmiş ve toplam 109 adet uzak deprem dalga formu varışı analizlerde kullanılmıştır. Deprem kataloğu, USGS (The United States Geological Survey) kataloğundan üretilmiştir (<https://earthquake.usgs.gov/-earthquakes/>) (Şekil 3).



Şekil 2: Sismik istasyon dağılım haritası. Üçgenler geniş bantlı istasyonların yerlerini göstermektedir. Çalışma alanının konumu sol alt şekilde dikkörtgen çerçeve içerisinde gösterilmiştir.



Şekil 3: USGS kataloğu (<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/>) kullanılarak hazırlanan telesismik deprem dağılım haritası. Daireler 2011-2013 yılları arasında dünyada meydana gelmiş, merkez üssü uzaklığı 30° ile 100° arasında olan, M>5,5 depremlerin yerlerini işaret etmektedir.

Bu çalışmada, Sakarya ve çevresine yerleştirilen sismik istasyonlarda kayıt edilen 2011-2013 yılları arasında meydana gelmiş (M>5.5) depremlerin, gözlemlenen uzak deprem dalgası seyahat süreleri ile beklenen uzak deprem dalgası seyahat süreleri arasındaki farklar hesaplanmıştır. Deprem kaynağında yayılan sismik dalgaların geliş açısı, istasyon konumuna bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. Ancak istasyona neredeyse dikey yönde ulaşan uzak deprem dalgaları için, dalga formunun istasyon çiftlerine aynı geliş açısı ile geldiği varsayılmıştır ($\cos\Theta=1$). Ölçümlerde farklılıklar gösteren seyahat süreleri kabuk kalınlığı farklılıkları, istasyon dağılımı geometrisi, istasyonlar arasındaki yükseklik farkından kaynaklanıyor olabileceği gibi doğrudan kabuk hızı farklılıklarından da kaynaklanıyor olabilir. Bu nedenle çalışmada diğer etkiler minimize edilerek kabuk hızından kaynaklanan farklılıkların görüntülenmesine özen gösterilmiştir.

Kabuk kalınlığı Türkiye'nin batısında ve doğusunda belirgin değişiklikler göstermektedir (Cambaz ve Karabulut, 2010). Sakarya ve civarındaki bölgenin kabuk kalınlığı çeşitli çalışmalar sonucunda 30-45 km aralığında bulunmuştur (Karabulut vd., 2019; Tezel vd., 2013; Vanacore vd., 2013; Mutlu ve Karabulut, 2011). Çalışma alanı, Adapazarı havzasının kuzeyinde ve güneyinde, tortul tabakaların ve tepelerin olduğu bir bölgedir. Bu nedenle, sismik kayıtçı cihazlar arası yükseklik farkları, topoğrafyanın etkisi nedeniyle %50 oranına ulaşabilmektedir. Bu yükseklik farkından doğabilecek hataları engellemek için her bir istasyon için, o istasyon altındaki Moho kalınlığı (Frederiksen vd., 2015; Salah vd., 2007) kullanılarak hız modeli yeniden hesaplanmıştır. Ayrıca her istasyon için (piercing point) atım noktası hesaplanarak kot farkından kaynaklı ışın yolu düzeltilmesi yapılmıştır ($r.\sin\Theta$ değeri seyahat zamanına eklenmiştir). Böylece kot farkından oluşabilecek sistematik hataların da önlenmesi hedeflenmiştir. İki istasyon arasındaki gözlemlenen ve tahmini varış zamanları (Δt_{1-2}), mevcut tüm dalga formları için dalga şekli çapraz korelasyonu kullanılarak hesaplanmıştır (Özakın vd., 2012). Standart sapması 0,15sn'den büyük ve 5'den az ölçümü olan istasyon çiftleri hesaplamalara katılmamıştır. Toplam 73 istasyonda 5329 adet varış zamanı farkı hesaplanmıştır. Elde edilen zaman farklarını hız oranlarına dönüştürmek için aşağıdaki formülasyon kullanılmıştır.

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{h_1}{h_2 + \Delta t_{1-2} V_m \cos(\Theta)} \quad (3.1)$$

Δt_{1-2} : istasyon çifti için varış zamanı farkı, h_1 ve h_2 : 1. ve 2. kayıtçıların kabuk kalınlığı, V_1 ve V_2 : sırasıyla 1. ve 2. kayıtçılarıdaki P dalga hızları (V_m değeri çalışma alanı altında Pn hızı 7.32 sabit alınmıştır (Teoman vd., 2014), Θ : varış açısı (uzak deprem kayıtları neredeyse dik geldiği için her kayıtçı altında eşit kabul edilmiştir ve $\cos\Theta = 1$ olarak alınmıştır) (Teoman vd., 2014).

Çalışmada yapılacak hesaplamalarda hız kontrastının yalnızca kabukta meydana geldiği varsayılmıştır. Bunun yanı sıra Moho tabakasının düz olmadığı, çalışma alanında değişkenlik gösterdiği de yapılan varsayımlar arasındadır. Bölgenin altındaki kabuk kalınlığının güneyden kuzeye doğru yaklaşık 7 km kadar artmakta olduğu bilinmektedir (Frederiksen vd., 2015). Bölgenin altındaki tortul kalınlığının 1,5 ile 5,5 km arasında değiştiği gözlenmiştir. Yapılacak hesaplarda ortalama bir tortul kalınlığı, Moho derinliği veya ortalama P dalga hızı kullanılması, farklılıkların sadece ortam hızlarından olup olmadığını anlamada karmaşıklığa yola açacaktır. Çalışma alanı için istenilen detayda tortul tabakası kalınlığı bulunmadığından ve varış zamanı hesaplamalarında tortul tabakası etkisini en aza indirgenmesi istendiğinden varış zamanı hesaplamalarında tortul tabaka etkisinin en aza indirilmesi için DANA ağını kullanarak hesaplanan (Teoman vd., 2014) beş katmanlı kabuk modeli kullanılmıştır (Tablo 1).

Tablo 1

Teoman vd., 2014 çalışmasından elde edilen kabuk modeli verilmiştir. Kabuk dışından kaynaklı fazlar için AK135 hız modeli kullanılmıştır.

Derinlik (km)	P dalga hızı (km/s)
0	4.38
2	5.67
12	6.57
24	6.96
30	7.32

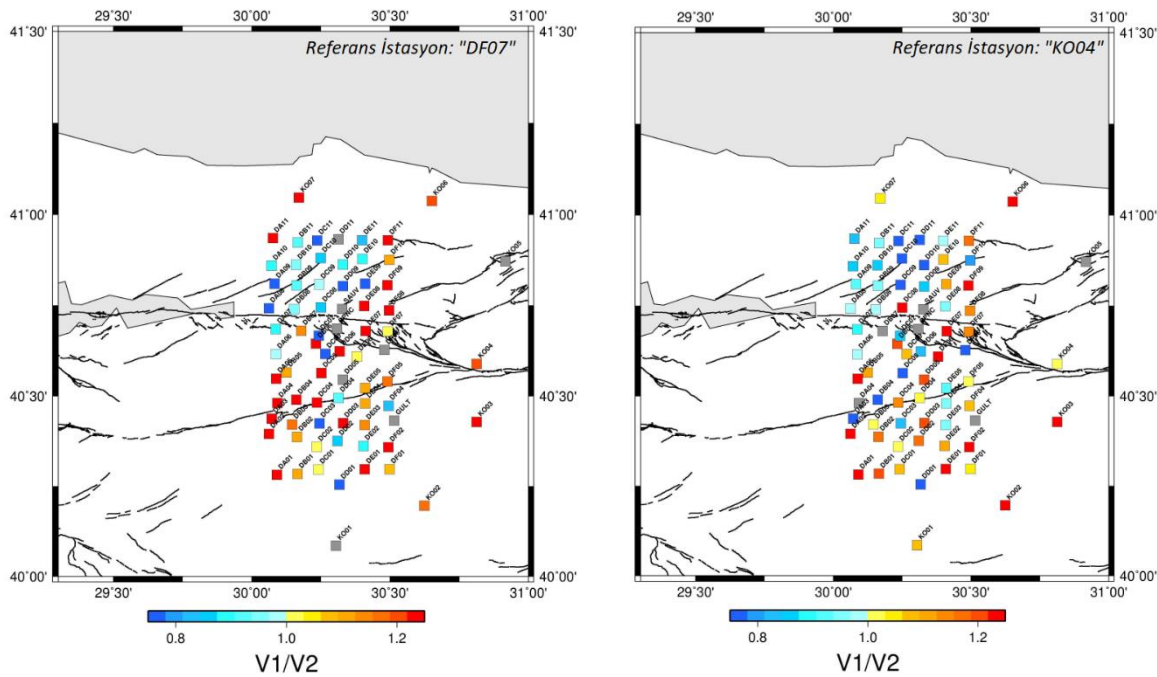
4. Sonuçlar ve Değerlendirme

Uzun yıllar boyunca yırtılma geçmişi olan fay zonları genellikle farklı elastik parametrelere sahip ara yüzeyler oluştururlar. İki malzemeli ara yüzey üzerine bugüne kadar yapılan çalışmalar, büyük fay zonlarındaki deprem yırtılmalarının hız yapısı ile ilişkili bir öncelikli yayılma doğrultusu olduğunu işaret eder. Bu çalışmalar, jeomorfolojik asimetriyi ortaya koymada önemli bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada ele alınan çalışma alanı jeomorfolojik olarak çok çeşitli özellikleri bir arada içeren çok kompleks yapıda bir alan olmasından dolayı yöntemin başarısının test edilmesi için de oldukça elverişli bir zemin oluşturmaktadır. Çalışma alanında dağlar (Samanlı dağları, Almacık dağı) ve ovalar (Adapazarı ovası, Pamukova) çok dar bir alanda iç içe geçmiş olduğundan, topoğrafya belirgin ölçüde farklılık göstermektedir bu nedenle bölgedeki topografik özellikler dikkate alınarak kayıtçı istasyonlar altında topoğrafya düzeltilmesi yapılmıştır. Kıtasal kabuk kalınlıklarındaki farklılıklardan kaynaklanabilecek sistematik hataları önlemek amacıyla Frederiksen vd., (2015) tarafından gözlemlenen kabuk kalınlıkları kullanılarak, her kayıtçı için kabuk hızı düzeltilmesi yapılmıştır.

Yoğun sismik dizilim içerisinde seçilen istasyon çiftleri için hız oranları grafiklerinden karşılaştırma yapılarak sonuçlar yorumlanmaya çalışılmıştır. Her seferinde farklı bir kayıtçı referans alınarak, hız oranı değişimleri hesaplanmıştır. Bazı kayıtçılarda gürültü problemleri ve veri kayıplarından dolayı istasyon çiftlerinde hız değişim oranları hesaplanamamıştır. Bu kayıtçı çiftleri şekillerde gri renk ile kodlanmıştır (Şekil 4-6). Dizilim KAFZ'nin her iki kolunu KG yönlü kestiği için diziliminin kuzey ve güney uçlarında seçilen kayıtçılar, dizilim dışından seçilen kayıtçılarla desteklenerek yorumlamaya gidilmiştir. Dizilimin KAFZ'nin kuzey ve güney kolları üzerine konumlanmış olan kayıtçılardan elde edilen hesaplamalar, dizilimin doğusunda yer alan KOERI sabit kayıtçı verisi ile desteklenerek yorumlanmıştır.

Şekil 4'de KO04 ve DF07 istasyonlarından hesaplanan hız oranları gösterilmektedir. Bu istasyonların her ikisi de bölgede Armutlu-Ovacık zonu olarak tanımlanan alana denk gelmektedir. Bu alan doğu ve batı yakasında yüzeylenen ofiyolitik birimler predotit, gabro, amfibolit, şist, gnays ve metaperidotitlerden oluşur ve ofiyolitik kayaçların egemen olduğu tektonik bir karmaşıktır (Erturaç K., 2018). KO04 Almacık dağı,

DF07 ise erken kretase geç eosen dönemi fişeri olarak tanımlanan yere denk gelmektedir. Kayıtcı dizilimin doğusunda bulunan KO04 kodlu KOERI sabit kayıtcısı referans alınarak yapılan analizde KAFZ kuzey kolunun kuzeyinde düşük hız oranları gözlenmiştir (Şekil 4). Kuzey kolun kuzeyinde, doğu-batı yönlü hız oranının değişimleri göze çarpmaktadır. Bu değişim, Papaleo vd., (2017) bulunan ve 1999 İzmit depremi kırığı ile ilişkilendirilen yanal hız farklılıklarıyla da bölgenin detaylı jeolojik haritalarında görülen farklı zamanlara ait sedimanter birimlerdeki değişikliklerle de uyumludur. Kuzey ve güney kollar arasında bakıldığında, buradaki jeolojik birimler İznik metamorfik birimleri ile ve erken eosen-geç kretase dönemi fişer ile temsil edilmektedir (Yılmaz vd., 1997). Hem DF07 hem de KO04 istasyonlarında hesaplanan hız oranlarına bakıldığında hız oranlarının arttığı gözlenmektedir. Armutlu-Ovacık zonunun fayın iki kolu arasında kalan kesimi, etrafına göre nispetendaha dirençli jeolojik yapıya sahiptir (Papaleo vd., 2017). Bu özellik görece yüksek hız oranlarının varlığını destekler niteliktedir. Benzer şekilde dizilimin içindeki DF07 kayıtcısının referans alındığı hesaplamalarda da KAFZ kuzey kolunun kuzeyinde düşük hızlar, güneyinde yüksek hızlar elde edilmiştir (Şekil 4). Bu farklılıkların da detaylı jeoloji haritasındaki jeolojik birimlerde gösterilen değişimlerle uyum içerisinde olduğu görülmüştür. Burada kuzey kol boyunca iki malzemeli arayüzden bahsetmek mümkündür. Hesaplamalarda kullanılan Moho derinlikleri, KO04 ve DF07 kayıtcıları için sırasıyla, 38 km ve 40.5 km'dir (Frederiksen vd., 2015).

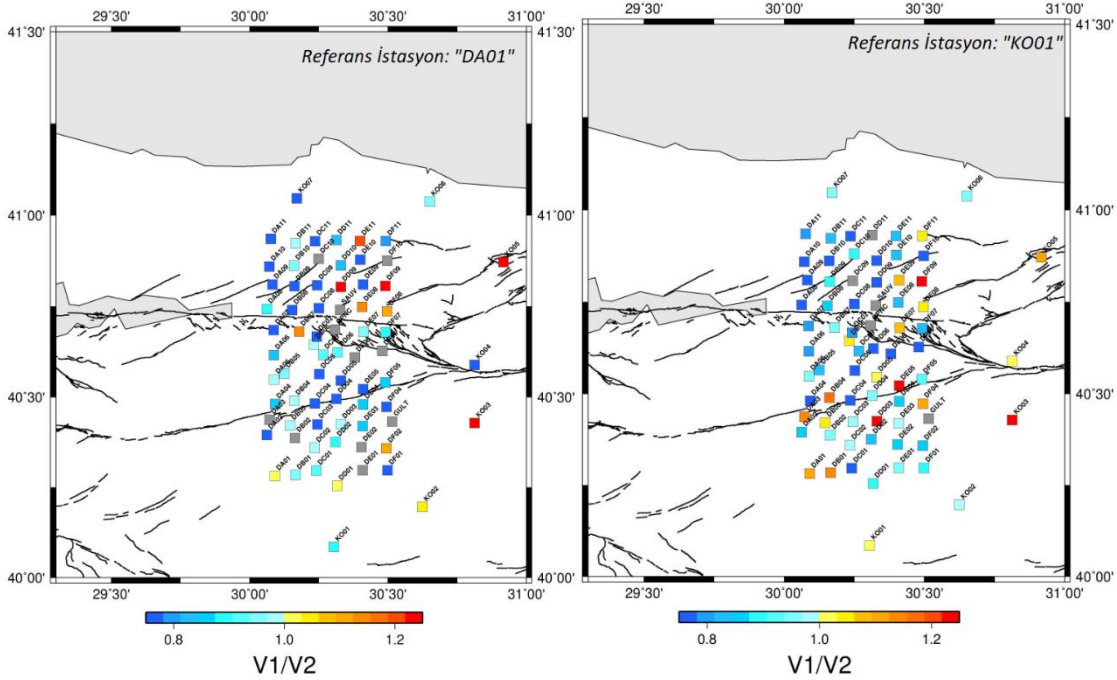


Şekil 4: DF07 KO04 kayıtcıları için hesaplanan hız oranları ($V1/V2$) değişimleri gösterilmiştir. Kayıtcı konumları renkli kutucuklarla temsil edilmektedir. Kayıtcı isimleri şekil üzerinde belirtilmiştir. Hız oranı 0,75 ile 1,25 değerleri arasında renklendirilmiştir. Gri renk ile gösterilen kayıtcılar veri yetersizliğinden dolayı hız değişimi hesaplanamayan kayıtcıları göstermektedir.

DANA diziliminin güneyinde konumlanan kayıtcılarda yapılan hesaplamalarda, DA01 ve KO01 kayıtcıları referans alınarak elde edilen hız oranları Şekil 5'te sırasıyla gösterilmiştir. DA01 kayıtcısı referans alındığında, hız değişimleri lokal farklılıklar göstermektedir. KAFZ kuzey kolunun kuzeyine bakıldığında, doğu-batı yönünde, batıda görece yavaş olmak üzere, hız farklılıkları görülmektedir. Fayın kuzey ve güney kolları arasındaki hız farkı geçişleri görece azdır. Dizilimin güneyinde kalan KO01 kayıtcısının referans tutulduğu analiz sonucunda, güney kol çizgisi boyunca gözlenen hız değişimi görece belirgindir. Güney kol boyunca hızların arttığı gözlenmektedir. KO01 ve DA01 kayıtcılarında Moho derinlikleri sırasıyla, 35.0km ve 34.5km'dir (Frederiksen vd., 2015).

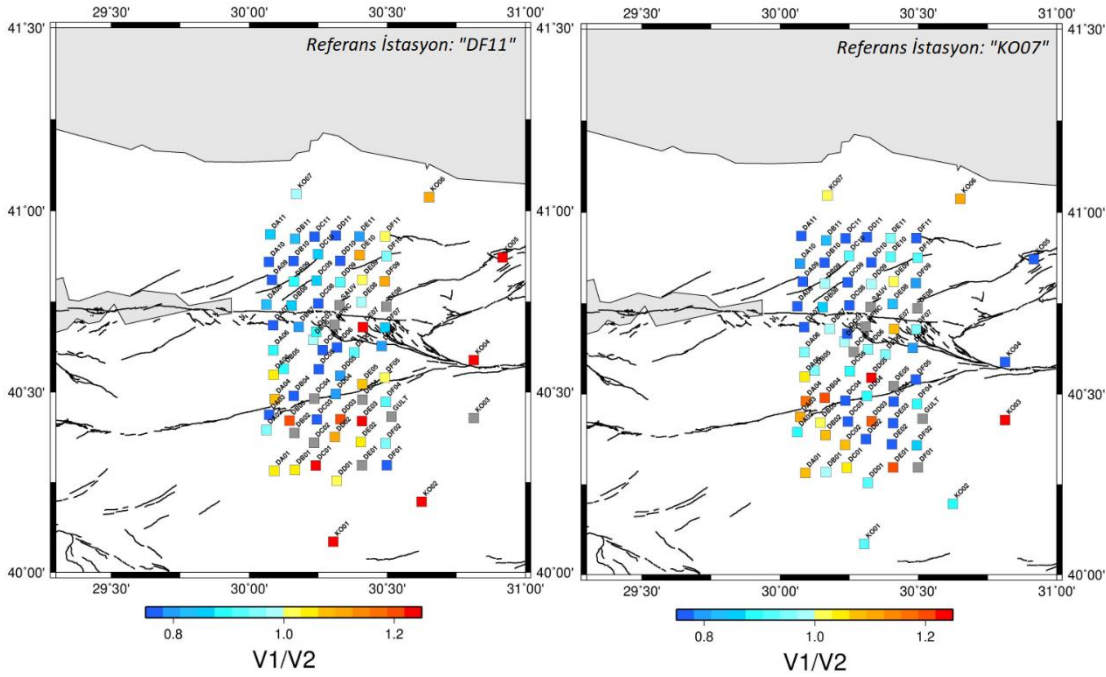
Pontidler ile Anatolid-Torid kuşakları arasında, Sakarya Zonu'nun temelinde yer alan Permo-Triyas yaşlı, yer yer metamorfik ve/veya şiddetli deformasyon geçirmiş, içinde değişik yaş ve boyutta kireçtaşı blokları

bulunduran kumtaşı, şeyl, bazik volkanit ve kireçtaşı ardalanmalı kayaç toplulukları Karakaya Grubu olarak tanımlanmaktadır. Sakarya ilinin en güneyinde Göynük Çayı Vadisi ve Pamukova arasındaki yükselmin zirvelerinde bu grubun üyeleri yüzeylenmektedir. Bunlardan ilki sedimanter ve bazik volkanik kayaç ardalanmasının yeşilşist fasiyesinde metamorfizması sonucu klorit-serisit şist, fillat, metabazik lav, kalkışt ve mermer litolojisine başkalaşmasıyla oluşan Gökçekaya Metamorfitleridir (Erturaç K.,2018).



Şekil 5: DA01 ve KO01 kayıtçıları için hesaplanan hız oranları ($V1/V2$) gösterilmiştir. Kayıtçı konumları renkli kutucuklarla temsil edilmektedir. Kayıtçı isimleri şekil üzerinde belirtilmiştir. Hız oranı 0,75 ile 1,25 değerleri arasında renklendirilmiştir. Gri renk ile gösterilen kayıtçılar veri yetersizliğinden dolayı hız değişimi hesaplanamayan kayıtçıları göstermektedir.

Dizilimin kuzeyinde KO07 ve DF11 kayıtçıları seçilerek, hız oranları haritalanmıştır (Şekil 6). Her iki kayıtçı için yapılan hesaplamalarda kullanılan Moho derinlikleri 35.5 km'dir. KO07 kayıtçısı referans alındığında, KAFZ'nin kuzey kolunun kuzeybatısında hızlar görece düşüktür. KAFZ'nin kolları arasında ve güney kolun güneyinde sismik hızlar artmaktadır. DF11 kayıtçısının referans alındığı durumda da benzer değişiklikler gözlenmiştir. Papaleo vd., (2017) ve Frederiksen vd., (2015) çalışmalarına benzer şekilde, Güney kolun güneyinde görece düşük hızlar gözlenmesi, mafik malzemenin yoğun olarak görünmesi ile ilişkilendirilebilir. Salah vd., 2007 tomografi çalışmasında da bölgede belirgin P/S hız oranının değişimi gözlenmiştir.



Şekil 6: DF11 ve KO07 kayıtçıları için hesaplanan hız oranları ($V1/V2$) gösterilmiştir. Kayıtçı konumları renkli kutucuklarla temsil edilmektedir. Kayıtçı isimleri şekil üzerinde belirtilmiştir. Hız oranı 0,75 ile 1,25 değerleri arasında renklendirilmiştir. Gri renk ile gösterilen kayıtçılar veri yetersizliğinden dolayı hız değişimi hesaplanamayan kayıtçıları göstermektedir.

Her 6 referans kayıtçı analizlerine bakıldığında lokalde hız oranlarındaki değişiklikler saptanmış olsa da bütüne ve genele bakıldığında belirgin hız farklarının elde edildiği konum KAFZ kuzey kolunun kuzey batısı ile görece doğu ve güneydoğusudur. Fayın her iki kolu arasında iki malzemeli arayüzey varlığından bahsetmek mümkündür.

Elde edilen sonuçlar, genel olarak KAFZ kuzey kolunun kuzeybatısında kalan kayıtçılarda düşük hızların gözlemlendiği yönündedir. KAFZ'nin kuzey kolunda güney kola oranla görece daha belirgin hız değişimleri saptanmıştır. Gözlenen hız farkları, kuzey kolun kuzeyindeki sığ sismisite ile uyum göstermektedir. Tank vd., (2005) tarafından gözlemlenen rezistivite farkları, Papaleo vd., (2017)'nin telesismik tomografi çalışmasından elde edilen hız farkları, bölgenin altında, KAFZ'nin kuzey kolu boyunca, gözlemlendiğimiz hız değişimleri ile benzerlik göstermektedir.

Adapazarı havzası altında, hız farkları göreceli olarak yumuşak (smooth) geçişlidir. Bu geçiş, havza altında tortul tabakanın varlığıyla uyumlu olup, metamorfik bloğu ve kalın sedimanter dizilim ile açıklanabilir (Elmas ve Yiğit, 2001). KAFZ'nin iki kolunun altındaki yapı, iki kol arasındaki farklı kayma oranlarının neden olduğu zorlanma nedeniyle oldukça karmaşıktır. Bu bölgenin altındaki hız farkları, güney kol şeridinin güneyinden daha büyüktür (Şekil 5, Şekil 6). Bunun nedeni, KAFZ kolları arasındaki alanın altındaki gerilmeye karşı kıtasal blok direnci olabilir. Papaleo vd., (2017)'de, Sakarya baseni altında nispeten düşük P hızları gözlemlenmiştir. Bu gözlem, kuzeyden güneye artan hız oranı ile tutarlıdır (Frederiksen vd., 2015).

Bu çalışma kapsamında, KAFZ boyunca Sakarya-Sapanca segmentinin altında iki malzemeli arayüzü gözlemlenmiştir. Sonuçlar, KAFZ'nin özellikleriyle ve ayrıca çalışma bölgesinin yakınında yapılan önceki çalışmalarla uyumlu ve tutarlıdır. Elde edilen sonuçlar deprem kırılma mekanizması ve dinamiğini anlamada önemli bilgiler içerir. Bununla beraber, deprem lokasyonu, fay düzlemi çözümleri ve kaynak analizi çalışmalarında sistematik hataların önüne geçilerek bu hataların minimize olmasına imkân sağlayacaktır.

Teşekkür

Natural Environment Research Council (NERC), İngiltere Doğal Çevre Araştırma Konseyi'ne (NERC), Leeds Üniversitesi'ne, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü'ne (KOERI) ve DANA dizisini desteklediği için Sakarya Üniversitesi'ne teşekkür ediyoruz. Çalışmada kullanılan Dense Array for North Anatolia (DANA) ve Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü veri setleri referanslardaki web adreslerinden elde edilebilir. Şekillerin bazıları GMT yazılımı tarafından üretildi (Wessel ve Smith, 1995). Hesaplamalar için Python açık kaynak kodu kullanılmıştır. Çalışmaya verdiği katkılardan dolayı Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Anıl Dindar ve Dr. Yaman Özakın'a teşekkür ederiz.

Yazar Katkıları

Ahu KÖMEÇ MUTLU: Analizi planlamış ve tasarlamış, veri toplamış, analizini yapmış ve makaleyi yazmaya katkı sağlamıştır.

Musavver Didem CAMBAZ: Analizi planlamış ve tasarlamış, veri toplamış, analizini yapmış ve makaleyi yazmaya katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

Kaynaklar

- Altuncu Poyraz S., Teoman M. U., Türkelli N., Kahraman M., Cambaz D., Mutlu A., Rost S., Houseman G. A., Thompson D. A., Cornwell D., Utkucu M., and Gülen L., New constraints on micro-seismicity and stress state in the western part of the North Anatolian Fault Zone: Observations from a dense seismic array. *Tectonophysics*, 656, 2015.
- Armijo R., Meyer B., Barka A., De Chabaler D. and Hubert-Ferrari A., The 1999 Izmit earthquake rupture and the tectonic evolution of the Sea of Marmara. *EOS, Transactions American Geophysical Union*, 80, F664, 1999 a.
- Armijo R., Meyer B., Hubert A. and Barka, A., Westward propagation of the North Anatolian fault into the northern Aegean: timing and kinematics. *Geology*, 27, 267-270, 1999b.
- Aslan, G., Lasserre, C., Cakir, Z., Ergintav, S., Özarparci, S., Dogan, U., et al., Shallow creep along the 1999 Izmit earthquake rupture (Turkey) from GPS and high temporal resolution interferometric synthetic aperture radar data (2011–2017). *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 124, 2218–2236. <https://doi.org/10.1029/2018JB017022>, 2019.
- Barka A., Slip distribution along the North Anatolian fault associated with large earthquakes of the period of the period 1939–1967. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 59, 521–589, 1996.
- Barka A. and Kadinsky C., Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity. *Tectonophysics*, 7, 663–684, 1988.
- Barka A., Akyuz H.S., Altunel E., Sunal G., Cakir Z., Dikbas A., Yerli B., Armijo R., Meyer B., de Chabaler J.B., Rockwell T., Dolan J.R., Hartleb R., Dawson T., Christofferson S., Tucker A., Fumal T., Langridge R., Stenner H., Lettis W., Bachhuber J. and Page W., The surface rupture and slip distribution of the 17 August 1999 Izmit earthquake (M7.4), North Anatolian fault. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 92, 43-60, 2002.
- Beck S and Zandt G, Continental lithospheric deformation along a major strike-slip fault zone: the central North Anatolian Fault Zone, Turkey. *International Federation of Digital Seismograph Networks. Dataset/Seismic Network*. 10.7914/SN/YL_2005, 2005.
- Ben-Zion, Y, The response of two joined quarter spaces to SH line sources located at the material discontinuity interface, *Geophys. J. Int.*, 98, 213–222, 1989.
- Ben-Zion Y. and Andrews D. J., Properties and implications of dynamic rupture along a material interface, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 88, 1085-1094, 1998.
- Ben-Zion, Y., Malin, P., San Andreas fault zone head waves near Parkfield, California, *Science*, 251, 1592-1594, 1991.

- Bogazici University Kandilli Observatory And Earthquake Research Institute (2001): Bogazici University Kandilli Observatory And Earthquake Research Institute. International Federation of Digital Seismograph Networks. Dataset/Seismic Network. 10.7914/SN/KO https://doi.org/10.7914/SN/KO_2001.
- Cambaz M.D. and Karabulut H., Love-wave group velocity maps of Turkey and surrounding regions. *Geophysical Journal International*, 181, 502-520, 2010.
- DANA Dense Array for North Anatolia. International Federation of Digital Seismograph Networks (FDSN). Dataset/Seismic Network. https://doi.org/10.7914/SN/YH_2012_2012.
- Delph, J.R., Biryol, C.B., Beck, S.L., Zandt, G., & Ward, K.M., 2015. Shear wave velocity structure of the Anatolian Plate: anomalously slow crust in southwestern Turkey. *Geophys J Int*, 202, 261 – 276, 2015.
- Dor O., Yildirim C., Rockwell T. K., Ben-Zion Y., Emre O., Sisk M. and Duman T.Y. (2008). Geologic and geomorphologic asymmetry across the rupture zones of the 1943 and 1944 earthquakes on the North Anatolian Fault: Possible signals for preferred earthquake propagation direction. *Geophysical Journal International*, 173, 483–504.
- Elmas A. and Yiğitbaş E., Ophiolite emplacement by strike-slip tectonics between the Pontide Zone and the Sakarya Zone in northwestern Anatolia, Turkey, *International Journal of Earth Sciences*, 90, 257-269, 2001.
- Emre Ö., Duman T. Y., Özalp S., Elmacı H., Olgun Ş., Şaroğlu F., Active fault map of Turkey with an explanatory text 1:125,000. General Directorate of Mineral Research and Exploration, Special Publication Series, 30, 2013.
- Erturaç M.K., 2018a. Sakarya'nın Jeolojik Özellikleri. (Ed.Cercis İkiel) Sakarya'nın Fiziki, Beşeri ve İktisadi Coğrafya Özellikleri.Sakarya Üniversitesi.ISBN.978-605-2238-05-9.
- Erturaç M.K., 2018b. Sakarya'nın Jeomorfolojik Özellikleri. (Ed.Cercis İkiel) Sakarya'nın Fiziki, Beşeri ve İktisadi Coğrafya Özellikleri.Sakarya Üniversitesi.ISBN.978-605-2238-05-9.
- Frederiksen A.W., Thomson D.A., Rost S., Cornwell D.G., Gülen L., Houseman G.A., Kahraman M., Poyraz S.A., Teoman U.M., Türkelli N. and Utkucu M., Crustal thickness variations and isostatic disequilibrium across the North Anatolian Fault, western Turkey. *Geophysical Research Letters*, 42, 751-757, 2015.
- Gülen L., Pınar A., Kalafat D., Özel N., Horasan G., Yılmaz M. and Işıkara A.M., Surface fault breaks, aftershocks distribution, and rupture process of the 17 August 1999 Izmit, Turkey, earthquake. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 92, 230-244, 2002.
- Kahraman M., Cornwell D.G., Thompson D.A., Rost S., Houseman G.A., Türkelli, N., Teoman U., Altuncu Poyraz S., Utkucu M. and Gülen L., Crustal-scale shear zones and heterogeneous structure beneath the North Anatolian Fault Zone, Turkey, revealed by a high-density seismometer array, *Earth and Planetary Science Letters*, 430, 2015.
- Karabulut, H., Paul, A., Cambaz, D., Kömeç Mutlu, A., Aksari, D. & Afacan Ergün, T., The images of Anatolia. In EGU General Assembly Conference Abstracts (Vol. 17), 2015.
- Karabulut H., Paul A., Özbakır A.D., Ergün T., Şentürk S., (2019) A new crustal model of the Anatolia-Aegean domain: evidence for the dominant role of isostasy in the support of the Anatolian plateau, *Geophys. J. Int.* (2019) 218, 57–73.
- McClusky S., Balassanian S., Barka A., Demir C., Ergintav S., Georgiev I., Gurkan O., Hamburger M., Hurst K. and Kahle H., Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus, *Journal of Geophysical Research*, 105(B3), 5695-5719, 2000.
- Meade B. J., Hager B.H., McClusky S.C., Reilinger R.E., Ergintav S., Lenk O., Barka A. and Ozener H., Estimates of seismic potential in the Marmara Sea region from block models of secular deformation constrained by Global Positioning System measurements, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 92, 208-215, 2002.
- Martinez-Garzon, P., Ben-Zion Y., Zaliapinc I., Bohnhoff M., Seismic clustering in the Sea of Marmara: Implications for monitoring earthquake processes, *Tectonophysics Volume 768*, 5 October 2019, 228176, 2019.
- Mitchell T. M., Ben-Zion Y. and Shimamoto T. (2011). Pulverized fault rocks and damage asymmetry along the Arima-Takatsuki Tectonic Line, Japan. *Earth and Planetary Science Letters*, 308, 284-297.
- Mutlu A.K, Karabulut H., 2011, Anisotropic Pn tomography of Turkey and adjacent regions, *Geophys.*

- J.Int.187.1743-1757, 2011.
- Najdahmadi B., Bohnhoff M., Ben-Zion Y., Bimaterial interfaces at the Karadere segment of the North Anatolian Fault, northwestern Turkey. *JGR Solid Earth.*, <https://doi.org/10.1002/2015JB012601>.
- Nakamura A., Hasegawa A., Ito A., Üçer B., Baris S., Honkura Y., Kono T., Hori S., Pektaş, R., Komut T., Çelik C. and Isikara A.M., P-wave velocity structure of the crust and its relationship to the occurrence of the 1999 Izmit, Turkey, earthquake and aftershocks. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 92 (1), 330-338, 2002.
- Okay A.I., Tectonic Units and Sutures in the Pontides, Northern Turkey. In: Şengör A.M.C. (eds) *Tectonic Evolution of the Tethyan Region*. NATO ASI Series (Series C: Mathematical and Physical Sciences), vol 259. Springer, Dordrecht, 1989.
- Özakin Y., Ben-Zion Y., Aktar M., Karabulut H. and Peng, Z. (2012). Velocity contrast across the 1944 rupture of the North Anatolian fault east of Ismetpasa from analysis of teleseismic arrivals. *Geophysical Research Letters*, 39.
- Özbakır A., Govers R., Wortel R., Active faults in the Anatolian-Aegean plate boundary region with Nubia, *Turkish J Earth Sci.* 26: 30-56 TUBİTAK doi:10.3906/yer-1603-4, 2017.
- Özer, Ç., Polat, O., İzmir ve Çevresinin 3-B Kabuk Hız Yapısı. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, v. 32, n. 3, sep. 2017. ISSN 1304-4915. <http://www.mmfdergi.gazi.edu.tr/article/view/5000183677>>doi:<http://dx.doi.org/10.17341/gummfd.06062>, 2019.
- Papaleo E., Cornwell D.G. and Rawlinson N., Seismic tomography of the North Anatolian Fault: New insights into structural heterogeneity along a continental strike-slip fault. *Geophysical Research Letters*, 44, 2017.
- Reilinger R.E., McClusky S.C., Oral M.B., King R.W. and Toksoz M.N., 1997. Global Positioning System measurements of the present day crustal movements in the Arabia–Africa–Eurasia plate collision zone. *Journal of Geophysical Research*, 102, 9983-9999, 1997.
- Salah, M.K., Sahin, S., Kaplan, M., Seismic Velocity Structure along the Western Segment of the North Anatolian Fault Zone Imaged by Seismic Tomography. *Bull. Earthq. Res. Inst. Univ. Tokyo* 82, 209–223, 2007.
- Şengör A.M.C., Gorur N. and Saroglu F., Strike-slip faulting and related basin formation, in zones of tectonic escape: Turkey as a case study, in *Strike-Slip Faulting and Basin Formation: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists*, Vol. 37, pp. 221–264, eds, Biddle, K.T. and Cristie Blick, N., Special Publication, 1985.
- Şengör, A. M. C. ve Yılmaz, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75, 181–241.
- Şengör A.M.C., Tuysuz O., Imren C., Sakıncı M., Eyidogan H., Gorur N., Le Pichon X. and Rangin C. (2005). The North Anatolian Fault: A new look. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 33, 37-112.
- Tank S.B., Honkura Y., Ogawa Y., Matsushima M., Oshiman N., Tunçer M.K., Çelik C., Tolak E. and İşikara A.M., 2005. Magnetotelluric imaging of the fault rupture area of the 1999 İzmit (Turkey) earthquake. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 150, 213-225, 2005.
- Taylor G., Rost S., Houseman G. and Hillers G., Near surface structure of the North Anatolian Fault Zone from Rayleigh and Love wave tomography using ambient seismic noise. *Solid Earth Discussion*, 100, 2018.
- Teoman U., Altuncu-Poyraz S., Kahraman M., Komec-Mutlu A., Cambaz M.D., Turkelli N., Thompson D.A., Rost S., Houseman G.A. and Utkucu M., New Insights on Seismicity and the Velocity Structure beneath the Western Segment of the North Anatolian Fault Zone. *AGU Fall Meeting*, 15-19 December 2014, San Francisco, Abstracts, S21E-05, 2014.
- Tezel, T., T. Shibusani, and B. Kaypak, Crustal thickness of Turkey determined by receiver function, *J. Asian Earth Sci.*, 75, 36–45, doi:10.1016/j.jseaes.2013.06.016, 2013.
- Vanacore, E. A., T. Taymaz, and E. Saygin, Moho structure of the Anatolian Plate from receiver function analysis, *Geophys. J. Int.*, 193, 329–337, doi:10.1093/gji/ggs107, 2013.
- Wessel P. and Smith W.H.F., New version of the generic mapping tools (GMT). *EOS Transactions American Geophysical Union*, 76, 329, 1995.

- Yamashita T. (2009). Rupture Dynamics on Bimaterial Faults and Nonlinear Off-Fault Damage, ed: Fukuyama, E., 94, Elsevier, USA, 187-215, 2009.
- Yılmaz Y, Tüysüz, O., Yiğitbaş, E., Genç, Ş. C., Şengör, A. M. C., 1997. Geology and tectonic evolution of the Pontides. In: Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region (ed. AG Robinson), Am. Assoc.Pet. Geol. Mem., 68, 183–266.
- Zaliapin I. and Ben-Zion Y., Asymmetric distribution of aftershocks on large faults in California. Geophysical Journal International, 185, (3), 1288-1304, 2011.

Interactions of Native and Denatured Whey Proteins with Caseins and Polysaccharides

Alev Emine İnce Coşkun^{1*}, Semih Ötleş¹

¹Department of Food Engineering, Ege University, Bornova, İzmir

Article History

Received: 19.09.2019

Accepted: 16.12.2019

Published: 22.05.2020

Review Article

Abstract – In this review, interactions of native or denatured whey proteins with other proteins and polysaccharides were addressed. Chemical structures of whey proteins and caseins as representatives of proteins and of gum Arabic and dextran as representatives of polysaccharides were explained. Whey protein, as a mixture of different proteins, such as beta-lactoglobulin, alpha-lactalbumin, or bovine serum albumin, has a highly complex nature, and therefore, the main interaction occurs within these proteins upon processing. Structure of whey protein includes hydrogen bonds, disulfide bridges and free thiol group, all of which allows whey proteins highly reactive with other polymers. With these properties, whey proteins can be denatured via heating or acidification in a controlled way; and therefore, several functional particles with different sizes and shapes could be obtained. Here we explained the interactions of native and denatured whey proteins with caseins, gum Arabic and dextran in terms of their behaviour in solutions or dispersions, their functional and rheological properties. Denaturation process includes mainly hydrophobic interactions and is most of the time irreversible, whereas the complex formation of proteins with polysaccharides includes electrostatic and/or steric interactions and complex formation could be reversible or irreversible depending on the type of application. Such interactions are important for the stability of food materials especially during processing and storage, therefore, a deep insight on this subject is important.

Keywords – Aggregation, dextran, gum Arabic, protein particles, whey proteins

1. Introduction

Food systems, containing proteins, polysaccharides, fats and minerals are highly complex. These components have molecular or mesoscopic interactions with each other; and therefore, these interactions could result in new structural forms in food materials (Gulao, Souza, Andrade, & Garcia-Rojas, 2016). In complex food systems, such interactions of components may raise stability problems during processing or storage. Particularly, in the case of heating of liquid food products, many proteins, such as whey proteins or soy proteins denature above a certain temperature and forms aggregates or gels depending on the concentration of protein (Wang, Zhong, & Hu, 2013). In this review, we mainly considered the interactions of whey proteins with other proteins and polysaccharides. Aggregates, being formed due to the interactions between components, affect the functionality of food product; and therefore, it is important to know the driving mechanism for the destabilization. In this respect, we first address the chemical structures of native whey proteins as the main ingredient of the system; sodium caseinate, gum Arabic and dextran as representatives of interacting protein and polysaccharides.

¹  <https://orcid.org/0000-0002-8952-4913> alevince@gmail.com

²  <https://orcid.org/0000-0003-4571-8764> semih.otles@gmail.com

*Corresponding Author

Whey proteins are the collection of different proteins, including beta-lactoglobulin (BLG), alpha-lactalbumin (ALAC), and bovine serum albumin, which can be naturally obtained from the liquid part of by-product in cheese production. BLG constitutes almost 65% of the globular whey proteins and nearly 0.3% (w/v) of skim milk. Its molecular weight is 18.4 kDa and iso-electric point (IEP) is at pH 5.1 (van den Akker, Schleegeer, Bonn, & Koenderink, 2014; Elzoghby, Elgohary, & Kamel, 2015).

In milk proteins, other than whey, caseins are present and form 80% of the total milk proteins. Caseins form micelles in milk, which make milk a colloidal suspension. In bovine milk, caseins are found in the form of α S1-, α S2-, β -, and κ -; and the main function of all is thought to be nutritional (Thorn et al., 2005). The structure of caseins is complex with the presence of many different amino acids with no regular sequence, however, it is known that caseins have a small amount of secondary or tertiary structure (Horne, 2006). They show amphiphilic characteristics and they can play a role in electrostatic and hydrophobic interactions. The IEP of caseins is around pH 4.6 (Ruis, van Grujthuijsen, Venema, & van der Linden, 2007). Caseins have hairy structures, called κ -caseins at the outer phase of a micelle, which could also play a role in steric interactions. In milk, particularly when heated or acidified, caseins, whey proteins, and their interaction with each other change the physicochemical properties.

Other than proteins, in many food products, proteins and polysaccharides are found together. We have chosen gum Arabic and dextran as representatives of polysaccharides. The reason for choosing these two polysaccharides is the difference in electrostatic interactions between proteins and polysaccharides. Whey proteins are negatively charged at neutral pH and electrostatic interactions could occur between whey proteins and polysaccharides once the polysaccharide is also charged. Gum Arabic is slightly negatively charged and a highly branched polysaccharide containing an almost 2% of the protein in its structure (Weinbreck, Tromp, & de Kruif, 2004a; Yadav, Igartuburu, Yan, & Nothnagel, 2007). Gum Arabic can be charged via carboxyl groups on the polysaccharide side chains and amino groups on the protein side chains (Ghosh & Bandyopadhyay, 2012). Therefore, pH of the medium can affect the charge of gum Arabic, and thereby the interaction with the other components in the medium through electrostatic forces (Klein, Aserin, Ishai, & Garti, 2010).

Dextran is a linear polysaccharide, made up of purely hydrophilic polysaccharide and has no charge in solutions (Lu, Pérez-Gil, & Tausch, 2009); therefore, with these characteristics, dextran is different from gum Arabic. As being a hydrophilic molecule, dextran is not expected to involve in any hydrophobic interactions with proteins, instead dextran can form hydrogen bonds via hydroxyl groups. In addition, as being a neutral molecule, dextran is not expected to involve any electrostatic interactions with proteins, either. In aqueous solutions, dextran generally does not form a gel; however, it is known that above a concentration of 5% (w/w) dextran has the ability of increasing viscosity of the solution (Carrasco, Chornet, Overend, & Costa, 1989). Therefore, dextran can also be used in texturizing food materials. In addition, under interacting conditions, depending on the molecular weight of dextran, the gelation properties of whey proteins could differ from each other. The interaction of whey proteins and dextran, as a purely hydrophilic polysaccharide, upon heating could result in different rheological and mechanical properties via Maillard reaction (Spotti et al., 2014).

Interactions of native forms of whey proteins and polysaccharides, particularly gum Arabic, could be through hydrophobic and electrostatic interactions. Depending on the strength of these interactions, aggregation of proteins may occur. Other than the native forms, when these polymers are heated together in the same medium, additional interactions such as hydrogen bonding or disulfide bridges could stabilize the new form of the aggregates (Doublier, Garnier, Renard, & Sanchez, 2000). On the other hand, as dextran is neutral, no electrostatic interaction between proteins and dextran is expected.

2. Chemical Properties of Whey Proteins and Formation of Whey Protein Particles

Whey proteins mainly include beta-lactoglobulin (BLG) and show the main chemical properties of BLG. Particle formation with whey proteins is often done through the aggregation of proteins, mainly BLG. Charge dependent aggregation of BLG happens mostly at and around the IEP, whereas these aggregates could dissolve at pH values away from the IEP. In its native form, it is globular and has mostly beta-sheet structures including patterns of hydrogen bonding, and also BLG has 2 disulfide bridges and a free thiol

group, which has the ability to bind to other molecules under certain conditions (Elzoghby et al., 2015). Depending on the pH of the medium, structure of BLG can change from dimers to monomers; for instance, at low pH values (such as at pH 2-3) as there is strong repulsion between the subunits, BLG is in the form of monomers (Elzoghby et al., 2015). In addition, due to its amphiphilic nature, BLG has good emulsifying properties (Sneharani, Karakkat, Singh, & Rao, 2010).

When BLG is heated, it denatures and is able to form several structural units, such as fibrils or globules depending on the pH of the aqueous medium (van den Akker et al., 2014). Monomeric structures of BLG can also be obtained by heating as the heat denaturation of BLG starts with unfolding (Hoffmann & Mill, 1999). Around neutral pH, denaturation of BLG can be described by 3-step process; initiation, propagation and termination steps (Roefs & de Kruif, 1994). Initiation includes reversible reactions of dimers dividing into monomers and irreversible first-order reaction of thiol group becoming reactive. In the propagation step, reactive thiol groups undergo an exchange reaction with disulfide bonds and consecutive reactions result in the formation of aggregates. When all reactive thiol groups interact with each other, denaturation process of BLG stops (Hoffmann & Mill, 1999). During heating above denaturation temperature, which is at 65°C for BLG, the pH of the medium determines the shape of aggregates, which is either fibril-like or globular form. When pH value is low and BLG is mostly in the form of monomers, upon heating fibrils are formed (Serfert et al., 2014); whereas when pH value is high, globular aggregates are formed (Lazidis et al., 2016; Mahmoudi, Axelos, & Riaublanc, 2011).

In whey protein, another important component is ALAC, which has similar physical and chemical properties with BLG. ALAC constitutes almost 25% of whey proteins, has a molecular weight of 14.2 kDa and an IEP of 4.2. It is also globular due to the presence of 4 disulfide bridges in the structure (Kelly, Woonton, & Smithers, 2009; de Kruif, 2012). Bovine serum albumin, another component of whey proteins (8%), has a molecular weight of 66.5 kDa and its IEP is at pH 4.7 (Ge, Kojo, Takahara, & Kajiyama, 1998). With these basic data and considering the complexity of whey proteins, the molecular weight of whey proteins can be calculated as nearly 21 kDa and the IEP is around pH 5.

Particle formation with whey proteins in the presence of different biopolymers can also be done via many different ways. The presence of different biopolymers mainly affects the microstructure of particles.

Particles could be formed through heat-set, cold-set gelation, enzymatic crosslinking or combination of these methods (Lee & Lucey, 2010; Mehalebi, Nicolai, & Durand, 2008; Nivala, Mäkinen, Kruus, Nordlund, & Ercili-Cura, 2017; Zhang & Zhong, 2009). Many globular proteins can be denatured using heat (Mehalebi et al., 2008). As whey proteins contain a high amount of BLG, which is a globular protein, are temperature sensitive and above their denaturation temperature, they form gelled particles. For instance, a well-known fat replacer, Simplesse, is produced through heat set gelation of whey proteins (Singhal, Gupta, & Kulkarni, 1991).

Another gelation and thus particle formation method is cold-set gelation, which mainly includes the change of electrostatic forces between proteins. As proteins have a net charge away from their IEP, they repel each other and could homogeneously disperse in the aqueous phase. Once the repulsive forces between the proteins diminish, they form aggregates, which can be regarded as particles. The change of electrostatic forces can be done through pH change (Lee & Lucey, 2010) or salt addition (Phan-Xuan, Durand, & Nicolai, 2013).

Enzymatic cross-linking of proteins can also be an example of cold-set gelation (Nivala et al., 2017). Transglutaminase is commonly used as a cross-linking enzyme, which transfers the acyl groups between glutamine and lysine residues (Clare & Daubert, 2010; Nivala et al., 2017).

These methods can be combined for a better control over the production of protein particles. Especially, heating is highly common in whey protein studies. In many studies, a preheating step is done for the preparation of soluble aggregate formation (Ako, Nicolai, Durand, & Brotons, 2009; Nicolai, Britten, & Schmitt, 2011) and then the actual gelation can be performed using cold-set gelation or enzymatic cross-linking. Alternatively, when heating is used as the main gelation mechanism, varying electrostatic forces between proteins yield in different shapes of particles. For instance, at low pH values, such as pH 2; whey proteins form fibril-like structures (Serfert et al., 2014) and once they gelled through heating at this pH, hard fibrils could be obtained. Such fibrils had an average diameter from a few nm to a few microns (Rogers, Venema, Sagis, van der Linden, & Donald, 2005; Serfert et al., 2014). The fibrils of whey proteins prepared at pH 2 were used to stabilize and destabilize the colloidal latex dispersions depending on the fibril concentration (Peng,

Kroes-Nijboer, Venema, & van der Linden, 2016). On the other hand, at the IEP of whey proteins, which is around at pH 5, hard and dense whey protein particles could be obtained via different techniques (Lam & Ikeda, 2017; Sağlam, Venema, de Vries, Sagis, & van der Linden, 2011). They generally form spherical aggregates due to the reduced repulsive forces. Increasing the pH above and away from the IEP before gelation of whey proteins may result in softer particle formation due to increased repulsion (Sağlam, Venema, de Vries, van Aelst, & van der Linden, 2012).

As electrostatic interactions are highly important for the structural formation of whey protein aggregates, polymers in the same medium interacting with proteins through electrostatic forces have also an important effect on the structure formation. For instance, in the presence of casein micelles, denaturation kinetics of whey proteins was found to change compared to the absence of caseins (Corredig & Dalglish, 1996). In addition, in the same study, it was reported that pH and heat treatment duration were found to be important for the aggregation kinetics. Another study showed that the size of casein micelles in the presence of whey proteins changed depending on the pH and heating temperature (Anema & Li, 2003).

In the presence of polysaccharides, proteins and polysaccharide could aggregate together via electrostatic or hydrophobic effects. For instance, when gum Arabic and whey proteins were heated together, it was found that they aggregated together irreversibly and showed precipitation (Loveday, Ye, Anema, & Singh, 2013). Authors reported that the heat stability and dimensions of formed colloidal particles could have varied depending on the pH and heat treatment. Similar gelation of whey proteins together with dextran, in complex or conjugate formation was also reported by others (Spotti et al., 2013). Such complex formation was generally a result of the electrostatic attraction between amine and carboxyl groups (Benichou, Aserin, & Garti, 2002).

When only electrostatic forces were present, particles were often sensitive to pH changes in the medium (Ince Coskun, Sağlam, Venema, van der Linden, & Scholten, 2015). Depending on the pH of the medium, repulsive forces between the proteins could increase, and this situation could lead to falling apart of particles. Therefore, in the cold-set gelation method, where the electrostatic forces are dominant, particles are often stable at and around the IEP of the proteins. On the other hand, when heat-set or enzymatic cross-linking is used, disulfide or hydrogen bonds become dominant, which stabilize the particles over a wider pH-range.

3. Interactions Between Whey Protein Particles and Milk Proteins (Caseins and Native Whey Proteins)

Whey proteins and caseins are found together in many food systems, including milk as the most common one. Therefore, their interactions under different pH and heat treatment conditions were widely studied (Corredig & Dalglish, 1996). Heating mostly denatured BLG as it has free thiol groups in the structure; however, ALAC and caseins were expected to be more heat stable compared to BLG. As ALAC has 4 disulfide bridges in the structure, it denatures reversibly upon heating around 65°C. In the study of Corredig and Dalglish (1996), both whey proteins showed similar reactions with caseins upon heating above denaturation temperature.

Heat denaturation of whey proteins includes the aggregate formation via the interaction within whey proteins themselves. Heating of whey proteins alters the solubility characteristics. Below the denaturation temperature, increasing temperatures could increase the solubility of whey proteins, whereas above denaturation temperature, proteins start to aggregate and thereby decreasing the solubility (Pelegri & Gasparetto, 2005). Whey proteins are stabilized by mainly non-covalent interactions, such as hydrogen bonding, hydrophobic and electrostatic interactions; all of which stabilize the secondary and tertiary structure. Upon heating, secondary and tertiary structures of proteins are lost, which means the structures are unfolded. Sulfhydryl groups become available to interact with each other to form disulfide bridges, which increases hydrophobic characteristics of the protein. As a result of the formation of disulfide bridges, hydrophilic groups are reduced, and thereby reducing the water binding and thus aggregation, coagulation and precipitation of proteins happen, consecutively. As disulfide bonds are involved, the aggregation process is accepted as irreversible (Langerdorff et al., 1999). Thus, the formation of aggregates includes the main interaction between whey proteins.

The complex formation between whey proteins and caseins mainly occurs between BLG and κ -casein. When no or mild heating was applied, the interaction between BLG and κ -casein was found to include mainly hydrophobic interactions, whereas when the temperature was increased at and above the denaturation temperature, disulfide bridges were formed (Corredig & Dalglish, 1996).

In another study, even a small change of pH in the medium was found to be important for the degree of interaction of whey proteins with casein micelles during heating (Anema & Li, 2003). At pH 6.5, whey proteins interaction with casein micelles upon heating was found to be higher than at pH 6.7. They reported that even such a small change of pH during the course of heating affected the size of casein micelles, which altered the association level with whey proteins.

In a different study, the effect of sodium caseinate on the swelling properties of whey protein isolate particles was investigated (Sağlam, Venema, de Vries, Shi, & van der Linden, 2013). In this study, sodium caseinate was added to the medium after the formation of whey protein particles, therefore the interaction of proteins occurred in different states, that is whey proteins were already denatured, whereas sodium caseinate was in its native form. Whey protein particle dispersions at a volume fraction of 0.35 were heated together with sodium caseinate at a concentration of 4% (w/w). Whey protein particles, which were originally in micron-sized in colloidal dispersion, showed an increase in size upon heating above 70°C in the presence of sodium caseinate. In addition, viscosity measurements of the dispersions by using a rheometer showed an increase after heating together with a shear-thickening behavior. These findings indicated lower heat stability of colloidal whey protein particles in interacting conditions with sodium caseinate (Sağlam et al., 2013). The reason of this low stability has still been unclear due to the complex nature of whey proteins and caseins. In addition, denaturation of whey proteins using heat via emulsification method increased the complexity of the system due to the fact that incomplete denaturation might have occurred. In the same study of Sağlam and co-workers (2013), as another protein in the continuous phase of the dispersions, native whey protein isolate was also used. They also found similar results with the case of sodium caseinate upon heating. Particle dispersions showed low heat stability as the size of particles and viscosity of dispersions increased in the presence of native whey protein isolate in the continuous phase. However, as it is known that above denaturation temperature of whey proteins, they form aggregates; it is possible that aggregation could have contributed to the particle size and viscosity increase (Sağlam et al., 2013). The proposed mechanism for the low heat stability of whey protein particles and dispersions was the swelling of particles particularly in the presence of native proteins in the continuous phase. Mechanism of swelling was thought to be either the aggregation of native proteins in the continuous phase upon heating or the reconfiguration of already denatured whey protein particles upon further heating. However, the exact mechanism of swelling has still been unclear. It was also reported that the macro-gels of whey proteins prepared in the same way with micro-particles swelled when there was protein in the continuous phase during heating.

The concentration of sodium caseinate in the continuous phase was also found to affect the swelling ratio of whey protein particles upon heating (Sağlam et al., 2013). When there was a low concentration of sodium caseinate (1% w/w) in the continuous phase, swelling of particles and shear thickening behavior of dispersions were more pronounced compared to when there was high concentration of sodium caseinate (4% w/w). They attributed the reason of this difference to increased osmotic pressure when there was a high concentration of polymer. When considering the osmotic pressure difference, the penetration of biopolymer from the continuous phase into the protein particles should have been taken into account, which requires a further study.

4. Interactions Between Whey Protein Particles and Gum Arabic

Interaction of proteins and polysaccharides may include hydrogen bonding, hydrophobic interactions, solvent interactions and electrostatic forces (Doublier et al., 2000). As a result of these interactions, complex formation could happen. These complexes are generally irreversible and may dissolve or form clusters depending on the pH and molecules present in the medium (Loveday et al., 2013). To stabilize these complexes or aggregates, several gelation methods were used, as already explained in Section 2. It is also known that one of the main factors controlling the aggregate formation is the surface charge density of the formed particles, which is also affected by pH and ionic strength of the medium (Gulao et al., 2016).

Interaction of whey proteins and gum Arabic has extensively studied before (Klein et al., 2010). Gum Arabic could be found in different molecular weights and is composed of mainly arabinogalactan, which has a molecular weight of ~250 kDa, and a small portion of glycoprotein, which has a molecular weight of ~200 kDa. Chemical potentials of interacting whey protein and gum Arabic samples with different molecular weights showed similar values, which was different from the chemical potential of native pure whey protein. This finding indicated the interactions between whey proteins and gum Arabic was dominated by the electrostatic

forces. Furthermore, electrostatic interactions are known to be affected by the pH and ionic strength of the medium, which is important for the complex formation between proteins and gum Arabic. In the same study, it was reported that at pH values, where whey proteins were not completely negatively or positively charged, which means whey proteins had both positive and negative patches in the structure, the interaction with gum Arabic was mainly electrostatic (Klein et al., 2010). As gum Arabic has a pKa value of around pH 2 (Gulao et al., 2016), it is mainly negatively charged in whey protein solutions. Therefore, once whey proteins have positively charged patches, gum Arabic could bind via electrostatic attractions to those patches. In the study of Klein and co-workers (2010), it was reported that zeta-potential values of mixtures of whey protein and gum Arabic were in between the zeta-potential values of components separately. The electrostatic complexes of whey proteins and gum Arabic were used for encapsulation of oils, such as lemon and orange oils (Weinbreck, Minor, & de Kruif, 2004b). Encapsulation of different flavours using whey protein and gum Arabic coacervates was used in controlled release systems in cheese and it was reported that large capsules showed a high flavour release particularly at pH 4. The encapsulation occurred at the oil/water interface and it was found to be highly dependent on pH of the medium. At pH 4, where the zeta-potential of the coacervate system was almost zero, the stability of coacervates was found to be low and thereby yielding a high release of flavour.

Whey protein particles prepared using the emulsification method showed higher heat stability in the presence of gum Arabic compared to the presence of proteins (Sağlam et al., 2013). Particle size and the viscosity of dispersions after heating at 90°C for 30 min did not change when there is gum Arabic in the continuous phase. The reason was attributed to the remaining oil layer around whey protein particles during the preparation steps in the presence of gum Arabic (Sağlam et al., 2013). As the swelling mechanism of whey protein micro-particles could not have been exactly explained, for the interactions of whey proteins with gum Arabic has only indicated the possible heat stability mechanism. Interaction of protein particles with gum Arabic could be from the protein part of the polysaccharide and the other branches of gum Arabic might have given steric stability to the protein particle, thereby reducing the aggregation between particles. Another possible reason could be that the presence of gum Arabic in the continuous phase increased the macromolecular crowding and suppressed the swelling of protein particles. Previously, macromolecular crowding was found to have an important effect on the heat stability of proteins (Stagg, Zhang, Cheung, & Wittung-Stafshede, 2007; Zhu, He, & Li, 2008a). For instance, increasing concentrations of dextran were reported to increase the protein thermal stability (Zhu et al., 2008a). A similar effect could have happened in the case of denatured whey proteins in the form of micro-particles and gum Arabic.

When electrostatic interactions are considered, Sağlam et al. (2013) reported that the zeta potential of particles in the presence of gum Arabic only slightly changed after heating. Therefore, the effect of heating on the charge density was minimal. However, the effect of different polymers (i.e. proteins and polysaccharide) in the continuous phase on the charge density of particles was reported as different from each other. When there was protein in the continuous phase before heating the dispersion, zeta potential value of particles was more negative than the presence of gum Arabic (Sağlam et al., 2013). This finding suggested that there could be an interaction between protein particles and gum Arabic even before heating. In this case, electrostatic or steric interactions were more likely to occur. Electrostatic interactions between proteins and gum Arabic seem not to be affected by heating application, whereas steric interactions could change with heating, as there might be a structural change.

5. Interactions Between Whey Protein Particles and Dextran

Interaction of whey protein and polysaccharides may yield aggregates with good emulsifying properties and texturizing characteristics. In many studies, this interaction was obtained via a cross-linking reaction known as Maillard reaction with different molecular weight of dextran (Spotti et al., 2013; 2014; Turan, Gibis, Gunes, Baier, & Weiss, 2018; Zhu, Damodaran, & Lucey, 2008b). A Maillard reaction basically happens between an amino acid and a reducing sugar upon heating. As a result of this reaction, when there is whey protein as a reactant, it might gain new physicochemical properties, which supply new functionalities to food systems (Spotti et al., 2014). Therefore, the products of the reaction may suggest new scopes to food industry.

In a study, whey protein isolate and dextran conjugates were produced via Maillard reaction at a temperature of 60°C, which is below the denaturation temperature of whey proteins; and it was reported that dextran gave

an additional stability against denaturation and aggregation of proteins (Zhu et al., 2008b). In addition, they confirmed the mechanism of interaction as a covalent attachment of dextran to whey protein isolate using SDS-PAGE method by both staining protein and dextran separately. As expected, the conjugation reaction rate increased with increasing temperatures, which were all below the denaturation temperature of proteins, and with increasing concentrations of reactants (Spotti et al., 2013).

Conjugates of whey proteins and dextran were found to have high heat stability upon heating at 80°C for 30 min (Zhu, Damodaran, & Lucey, 2010). These conjugates were found to be stable over a wide pH range; pH 1 to pH 8 (Dai et al., 2015; Zhu et al., 2010). Additionally, authors compared the emulsifying properties of whey protein-dextran and whey protein-gum Arabic conjugates, and they reported that the whey protein-dextran conjugates showed better emulsifying properties (Zhu et al., 2010). They explained the reason as whey protein-dextran conjugates formed a thicker steric barrier at the interface to stabilize the emulsion. In this case, non-covalent interactions and sulfhydryl interchange were found to play a role. The interface layer constituted by whey protein-dextran conjugates were reported to be 6 times thicker than that constituted by only whey proteins (Zhu et al., 2010).

In another study, rheological properties of whey protein-dextran conjugates that were produced through Maillard reaction were investigated in detail (Spotti et al., 2014). Gel strength of whey protein-dextran conjugates was determined and it was found that due to a change in the aggregation kinetics, the gelling mechanism was also changed. They reported a lower G' value, which indicates a softer structure, for the conjugate system compared to the native whey proteins, as the secondary structure of proteins changed as a result of dextran attachment. The reason was explained as the decreased strength of hydrophobic interactions due to the presence of purely hydrophilic dextran. In addition, they also explained that conjugate gel strength could alter according to the molecular weight of dextran (Sun et al., 2011; Spotti et al., 2014). Dextran molecules with different molecular weights were conjugated with whey proteins and rod-like conjugates were obtained through Maillard reaction using an electrospinning device (Turan et al., 2018). They reported that a new type of glycoprotein was produced with different functionalities, such as emulsifying properties.

6. Conclusion

Structure of whey proteins, caseins, gum Arabic and dextran and their interactions in the aqueous medium were explained. Interactions within whey proteins are important for optimizing the processing conditions particularly in milk beverages. To optimize the properties and processing conditions, heat-set and cold-set gelation methods can be used to form protein particles. These methods had different advantages over the other and can be combined to have a better control over the particle properties. Interaction of whey proteins with other proteins could be through hydrophobic, electrostatic and steric interactions in the aqueous medium. Such interactions have the potential to add new functionalities to the proteins. Whey protein particles in the presence of gum Arabic were shown to have good stability against swelling upon heating and thereby having good heat stability in the aqueous medium. However, when a protein was present in the continuous phase instead of gum Arabic, swelling of whey proteins was pronounced, implying lower heat stability. When dextran interacted with whey proteins, formed conjugates, mainly through Maillard reactions, were found to have an increased emulsifying capacity and increased heat stability. The stability of such conjugates was also found reasonable over a wide pH range, which is convenient to use in milk beverages. Interactions between different biopolymers gave functional properties and could be used to control the stability behaviour of systems. Such systems can be used in controlled delivery systems for food and pharmaceutical industries or in designing stable emulsions and foams in Pickering systems.

Author Contributions

Alev Emine İNCE COŞKUN: Collected data and wrote the paper.

Semih ÖTLEŞ: Conceived the topic and edited the paper.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

References

- van den Akker, C. C., Schleegeer, M., Bonn, M., & Koenderink, G. H. (2014). Structural basis for the polymorphism of β -lactoglobulin amyloid-like fibrils (Chapter 31). *Bio-nanoimaging, Protein Misfolding and Aggregation*, 333-343.
- Ako, K., Nicolai, T., Durand, D., & Brotons, G. (2009). Micro-phase separation explains the abrupt structural change of denatured globular protein gels on varying the ionic strength or the pH. *Soft Matter*, 5, 4033-4041.
- Anema, S. G., & Li, Y. (2003). Effect of pH on the association of denatured whey proteins with casein micelles in heated reconstituted skim milk. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 1640-1646.
- Benichou, A., Aserin, A., & Garti, N. (2002). Protein-polysaccharide interactions for stabilization of food emulsions. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 23, 93-123.
- Carrasco, F., Chornet, E., Overend, R. P., & Costa, J. (1989). A generalized correlation for the viscosity of dextrans in aqueous solutions as a function of temperature, concentration, and molecular weight at low shear rates. *Journal of Applied Polymer Science*, 37, 2087-2098.
- Clare, D. A., & Daubert, C. R. (2010). Transglutaminase catalysis of modified whey protein dispersions. *Journal of Food Science*, 75, 369-377.
- Corredig, M., & Dalgleish, D. G. (1996). Effect of temperature and pH on the interactions of whey proteins with casein micelles in skim milk. *Food Research International*, 29, 49-55.
- Dai, Q., Zhu, X., Abbas, S., Karangwa, E., Zhang, X., Xia, S., Feng, B., & Jia, C. (2015). Stable nanoparticles prepared by heating electrostatic complexes of whey protein isolate-dextran conjugate and chondroitin sulfate. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63, 4179-4189.
- Doublier, J. L., Garnier, C., Renard, D., & Sanchez, C., 2000. Protein-polysaccharide interactions. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 5, 202-214.
- Elzoghby, A. O., Elgohary, M. M., & Kamel, N. M. (2015). Implications of protein- and peptide-based nanoparticles as potential vehicles for anticancer drugs (Chapter 6). *Advances in Protein Chemistry and Structural Biology*, 98, 169-221.
- Ge, S., Kojio, K., Takahara, A., & Kajiyama, T. (1998). Bovine serum albumin adsorption onto immobilized organotrichlorosilane surface: influence of the phase separation on protein adsorption patterns. *Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition*, 9, 131-50.
- Ghosh, A. K., & Bandyopadhyay, P. (2012). Polysaccharide-protein interactions and their relevance in food colloids. In D. N. Karunaratne (Ed.), *The Complex World of Polysaccharides* (pp. 395-408).
- Gulao, E. S., Souza, C. J. F., Andrade, C. T., & Garcia-Rojas, E. E. (2016). Complex coacervates obtained from peptide leucine and gum Arabic: Formation and characterization. *Food Chemistry*, 194, 680-686.
- Hoffmann, M. A., & van Mill, P. J. J. M. (1999). Heat-induced aggregation of β -lactoglobulin as function of pH. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47, 1898-1905.
- Horne, D. S. (2006). Casein micelle structure: Models and muddles. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 11, 148-153.
- Ince Coskun, A. E., Saglam, D., Venema, P., van der Linden, E., & Scholten, E. (2015). Preparation, structure and stability of sodium caseinate and gelatin micro-particles. *Food Hydrocolloids*, 45, 291-300.
- Kelly, P., Woonton, B. W., & Smithers, G. W. (2009). Improving the sensory quality, shelf-life and functionality of milk (Chapter 8). *Functional and Speciality Beverage Technology, Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition*, 170-231.
- Klein, M., Aserin, A., Ishai, P. B., & Garti, N. (2010). Interactions between whey protein isolate and gum arabic. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 79, 377-383.
- de Kruif, C. G. (2012). Milk nanotubes: technology and potential applications (Chapter 14). *Nanotechnology in the Food, Beverage and Nutraceutical Industries, Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition*, 398-412.
- Lam, C. W. Y., & Ikeda, S. (2017). Physical properties of heat-induced whey protein aggregates formed at pH 5.5 and 7.0. *Food Science and Technology Research*, 23, 595-601.
- Langerdorff, V., Cuvelier, G., Launay, B., Michin, C., Parker, A., & Kruif, C. G. (1999). Casein micelle/iota

- carrageenan interactions in milk: Influence of temperature. *Food Hydrocolloids*, 13, 211-218.
- Lazidis, A., Hancocks, R. D., Spyropoulos, F., Kreuß, M., Berrocal, R., & Norton, I. T. (2016). Whey protein fluid gels for the stabilisation of foams. *Food Hydrocolloids*, 53, 209-217.
- Lee, W. J., & Lucey, J. A. (2010). Formation and physical properties of yogurt. *Asian-Australian Journal of Animal Science*, 23, 1127-1136.
- Loveday, S. M., Ye, A., Anema, S. G., & Singh, H. (2013). Heat-induced colloidal interactions of whey proteins, sodium caseinate and gum arabic in binary and ternary mixtures. *Food Research International*, 54, 111-117.
- Lu, K. W., Pérez-Gil, J., & Tausch, H. W. (2009). Kinematic viscosity of therapeutic pulmonary surfactants with added polymers. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1788, 632-637.
- Mahmoudi, N., Axelos, M. A. V., & Riaublanc, A. (2011). Interfacial properties of fractal and spherical whey protein aggregates. *Soft Matter*, 7, 7643-7654.
- Mehalebi, S., Nicolai, T., & Durand, D. (2008). Light scattering study of heat-denatured globular protein aggregates. *International Journal of Biological Macromolecules*, 43, 129-135.
- Nicolai, T., Britten, M., & Schmitt, C. (2011). β -lactoglobulin and WPI aggregates: Formation, structure and applications. *Food Hydrocolloids*, 25, 1945-1962.
- Nivala, O., Mäkinen, O. E., Kruus, K., Nordlund, E., & Ercili-Cura, D. (2017). Structuring colloidal oat and faba bean protein particles via enzymatic modification. *Food Chemistry*, 231, 87-95.
- Pelegri, D. H. G., & Gasparetto, C. A. (2005). Whey proteins solubility as a function of temperature. *LWT-Research note*, 38, 77-80.
- Peng, J., Kroes-Nijboer, A., Venema, P., & van der Linden, E. (2016). Stability of colloidal dispersions in the presence of protein fibrils. *Soft Matter*, 12, 3514-3526.
- Phan-Xuan, T., Durand, D., & Nicolai, T. (2013). Tuning the structure of protein particles and gels with calcium or sodium ions. *Biomacromolecules*, 14, 1980-1989.
- Roefs, S. P. F. M., & de Kruif, C. G. (1994). A model for the denaturation and aggregation of β -lactoglobulin. *European Journal of Biochemistry*, 226, 883-889.
- Rogers, S. S., Venema, P., Sagis, L. M. C., van der Linden, E., & Donald, A. M. (2005). Measuring length distribution of a fibril system: A flow birefringence technique applied to amyloid fibrils. *Macromolecules*, 38, 2948-2958.
- Ruis, H. G. M., van Gruijthuijsen, K., Venema, P., & van der Linden, E. (2007). Transitions in structure in o/w emulsions as studied by diffusing wave spectroscopy. *Langmuir*, 23, 1007-1013.
- Sağlam, D., Venema, P., de Vries, R., Sagis, L. M. C., & van der Linden, E. (2011). Preparation of high protein micro-particles using two-step emulsification. *Food Hydrocolloids*, 25, 1139-1148.
- Sağlam, D., Venema, P., de Vries, R., van Aelst, A., & van der Linden, E. (2012). Relation between gelation conditions and the physical properties of whey protein particles. *Langmuir*, 28, 6551-6560.
- Sağlam, D., Venema, P., de Vries, R., Shi, J., & van der Linden, E. (2013). Concentrated whey protein particle dispersions: Heat stability and rheological properties. *Food Hydrocolloids*, 30, 100-109.
- Serfert, Y., Lamprecht, C., Tan, C. P., Keppler, J. K., Appel, E., Rossier-Miranda, F. J., Schroen, K., Boom, R. M., Gorb, S., Selhuber-Unkel, C., Drusch, S., & Schwarz, K. (2014). Characterisation and use of β -lactoglobulin fibrils for microencapsulation of lipophilic ingredients and oxidative stability thereof. *Journal of Food Engineering*, 143, 53-61.
- Singhal, R. S., Gupta, A. K., & Kulkarni, P. R. (1991). Low-calorie fat substitute. *Trends in Food Science and Technology*, 2, 241-244.
- Sneharani, A. H., Karakkat, J. V., Singh, S. A., & Rao, A. G. A. (2010). Interaction of curcumin with β -lactoglobulin-Stability, spectroscopic analysis, and molecular modeling of the complex. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58, 11130-11139.
- Spotti, M. J., Perduca, M. J., Piagentini, A., Santiago, L. G., Rubiolo, A. C., & Carrara, C. R. (2013). Gel mechanical properties of milk whey protein-dextran conjugates obtained by Maillard reaction. *Food Hydrocolloids*, 31, 26-32.
- Spotti, M. J., Martinez, M. J., Pilosof, A. M. R., Candiotti, M., Rubiolo, A. C., & Carrara, C. R. (2014). Rheological properties of whey protein and dextran conjugates at different reaction times. *Food Hydrocolloids*, 38, 76-84.

- Stagg, L., Zhang, S. Q., Cheung, M. S., & Wittung-Stafshede, P. (2007). Molecular crowding enhances native structure and stability of α/β protein flavodoxin. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *104*, 18976-18981.
- Sun, W., Yu, S., Yang, X., Wang, J., Zhang, J., & Zhang, Y. (2011). Study on the rheological properties of heat-induced whey protein isolate-dextran conjugate gel. *Food Research International*, *44*, 3259-3263.
- Thorn, D. C., Meehan, S., Sunde, M., Rekas, A., Gras, S. L., MacPhee, C. E., Dobson, C. M., Wilson, M. R., Carver, J. A., & MacPhee, C. (2005). Amyloid fibril formation by bovine milk kappa-casein and its inhibition by the molecular chaperones alpha(s-) and beta-casein. *Biochemistry*, *44*, 17027-17036.
- Turan, D., Gibis, M., Gunes, G., Baier, S. K., & Weiss, J. (2018). The impact of the molecular weight of dextran on formation of whey protein isolate (WPI)-dextran conjugates in fibers produced by needleless electrospinning after annealing. *Food&Function*, *9*, 2193-2200.
- Wang, W., Zhong, Q., & Hu, Z. (2013). Nanoscale understanding of thermal aggregation of whey protein pretreated by transglutaminase. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *61*, 435-446.
- Weinbreck, F., Tromp, R. H., & de Kruif, C. G. (2004a). Composition and structure of whey protein/gum arabic coacervates. *Biomacromolecules*, *5*, 1437-1445.
- Weinbreck, F., Minor, M., & de Kruif, C. G. (2004b). Microencapsulation of oils using whey protein/gum Arabic coacervates. *Journal of Microencapsulation*, *21*, 667-679.
- Yadav, M. P., Igartuburu, J. M., Yan, Y., & Nothnagel, E. A. (2007). Chemical investigation of the structural basis of the emulsifying activity of gum arabic. *Food Hydrocolloids*, *21*, 297-308.
- Zhang, W., & Zhong, Q. (2009). Microemulsions as nanoreactors to produce whey protein nanoparticles with enhanced heat stability by sequential enzymatic cross-linking and thermal pretreatment. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *57*, 9181-9189.
- Zhu, J., He, H., & Li, S. (2008a). Macromolecular crowding enhances thermal stability of rabbit muscle creatine kinase. *Tsinghua Science and Technology*, *13*, 454-459.
- Zhu, D., Damodaran, S., & Lucey, J. A. (2008b). Formation of whey protein isolate (WPI)-dextran conjugates in aqueous solutions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *56*, 7113-7118.
- Zhu, D., Damodaran, S., & Lucey, J. A. (2010). Physicochemical and emulsifying properties of whey protein isolate (WPI)-dextran conjugates produced in aqueous solutions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *58*, 2988-2994.