

JSR B

JOURNAL OF
SCIENTIFIC REPORTS B



Kutahya Dumlupınar University Scientific Reports B
Evliya Celebi Campus Tavşanlı Road 10 KM. 43270 Kutahya
Phone : (0274) 443 19 42
E-mail : joursrb@gmail.com
gjsrb.com

Dumlupınar University Press

gate of
science



Sahibi

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi adına
Prof. Dr. Kazım UYSAL (Rektör)
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü adına
Doç. Dr. Arif KOLAY (Enstitü Müdürü)

Owner

On Behalf of Kütahya Dumlupınar University
Prof. Dr. Kazım UYSAL (Rector),
On Behalf of Institute of Graduate Studies
Assoc. Prof. Dr. Arif KOLAY (Director)

Yayın Kurulu / Editorial Board

| | |
|-------------------------------|--|
| Prof. Dr. Önder UYSAL | Kütahya Dumlupınar Üniversitesi / Maden Mühendisliği |
| Prof. Dr. Cengiz YENİKAYA | Kütahya Dumlupınar Üniversitesi / Kimya |
| Prof. Dr. Cengiz KARAGÜZEL | Kütahya Dumlupınar Üniversitesi / Maden Mühendisliği |
| Prof. Dr. Gürsel YANIK | Kütahya Dumlupınar Üniversitesi / Jeoloji Mühendisliği |
| Doç. Dr. Cemal PARLAK | Ege Üniversitesi / Fizik |
| Doç. Dr. Nevzat BEYAZIT | Ondokuz Mayıs Üniversitesi / Çevre Mühendisliği |
| Doç. Dr. Levent URTEKİN | Ahi Evran Üniversitesi / Makine Mühendisliği |
| Prof. Dr. Fatih ŞEN | Kütahya Dumlupınar Üniversitesi / Biyokimya |
| Dr. Öğr. Üyesi Ümran ERÇETİN | Kütahya Dumlupınar Üniversitesi / Makine Mühendisliği |
| Dr. Öğr. Üyesi Durmuş ÖZDEMİR | Kütahya Dumlupınar Üniversitesi / Bilgisayar Müh. |

Journal of Scientific Reports-B dergisi, yayın hayatına 2000 yılında başlayan Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisinden ayrılmış olup, Haziran ve Aralık aylarında olmak üzere yılda düzenli olarak 2 kez yayımlanan ulusal hakemli bir dergidir. Derginin yazım dili Türkçe ve İngilizce'dir. Dergiye gönderilen makaleler, editör kurulu tarafından seçilen ve konusunda uzman en az iki hakem tarafından değerlendirilmektedir. Dergiye sunulan bütün makaleler çift-körleme yöntemiyle değerlendirilmektedir. Değerlendirilmek üzere dergimize gönderilen makalelerin, daha önce yayınlanmamış, yayınlanmak üzere kabul edilmemiş ve yayınlanmak için başka bir dergide değerlendirilme sürecinde olmaması gerekmektedir. Dergide yayımlanan yazıların her türlü sorumluluğu yazar(lar)ına aittir.

Dergi, fen ve mühendislik bilimlerinde ulusal ve uluslararası düzeyde yapılan bilimsel çalışmalarını bilim insanları ve kamuoyu ile paylaşmayı amaçlar. Dergiye, fen ve mühendislik bilim dallarında yapılan, özgün araştırma makaleleri, derleme makaleleri ve kısa notlar kabul edilir. Özgün araştırma makalelerinin başka dergilerde yayınlanmamış olması, teorik ve deneysel sonuçlar içermesi beklenir. Derleme makalelerinde ise belirli bir konu üzerinde bilimsel, teknolojik ve güncel gelişmelerin geniş bir kaynakça kullanılarak yansıtılması ve bunların doyurucu bir değerlendirilmesinin yapılması aranır. Kısa notlar, özgün bir çalışmanın ilk bulgularının duyurulması amacıyla yönelik hazırlanan kısa yazılar olmalıdır.

İçerik Politikası

Dergimiz açık erişim dergisi olup, makale değerlendirme süresi 1-2 aydır

Yazışma Adresi: Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Evliya Çelebi Yerleşkesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü 43270 KÜTAHYA

Telefon: 0 274 443 19 42

Faks: 0 274 265 20 60

E-posta: joursrb@gmail.com

Web Sayfası: gsjsrb.com

Journal of Scientific Reports-B was separated from Journal of Science and Technology of Dumlupınar University which started its publication life in 2000 and is a national peer-reviewed journal published regularly twice a year in June and December. The language of the journal is Turkish and English. Articles submitted to the journal are evaluated by at least two referees who are experts in the subject and selected by the editorial board. All articles submitted to the journal are evaluated by the double-blind method. Articles submitted to our journal for review should not be previously published, accepted for publication and in the process of being evaluated for publication in another journal. All responsibility for the articles published in the journal belongs to the author(s).

The journal aims to share scientific studies carried out in the fields of science and engineering at national and international level with scientists and the public. Original research articles, review articles and short notes in science and engineering disciplines are accepted for the journal. Original research articles are expected to contain theoretical and experimental results and should not be published in other journals. In the review articles, it is expected that scientific, technological and current developments on a specific subject are reflected by using an extensive bibliography and made a satisfying evaluation of these. Short notes should be brief writings prepared to announce the first findings of an original study.

Editorial Policy

The journal is open access and the article evaluation period is between 1-2 months.

Correspondence Address: Kütahya Dumlupınar University Evliya Çelebi Campus Graduate School of Education 43270 KÜTAHYA

Phone: 0 274 443 19 29 - 30

Fax: 0 274 265 20 60

E-mail: joursrb@gmail.com

Webpage: gsjsrb.com

Bölüm Editörleri / Section Editors

| | |
|---|---------------------------------|
| İnşaat Mühendisliği / Civil Engineering Prof. Dr. M. Çağatay KARABÖRK | Kütahya Dumlupınar Üniversitesi |
| Makine Mühendisliği / Mechanical Engineering Prof. Dr. Ramazan KÖSE | Kütahya Dumlupınar Üniversitesi |
| Elektrik-Elektronik Mühendisliği / Electrical-Electronics Engineering Dr. Öğr. Üyesi Kadir VARDAR | Kütahya Dumlupınar Üniversitesi |
| Bilgisayar Mühendisliği / Computer Engineering Doç. Dr. Doğan AYDIN | Kütahya Dumlupınar Üniversitesi |
| Endüstri Mühendisliği / Industrial Engineering Dr. Öğr. Üyesi Kerem CİDDİ | Kütahya Dumlupınar Üniversitesi |
| Maden Mühendisliği / Mining Engineering Dr. Öğr. Üyesi Uğur DEMİR | Kütahya Dumlupınar Üniversitesi |
| Jeoloji Mühendisliği / Geology Engineering Dr. Öğr. Üyesi Muzaffer ÖZBURAN | Kütahya Dumlupınar Üniversitesi |
| Metalurji ve Malzeme Mühendisliği / Metallurgical and Materials Engineering Prof. Dr. İskender IŞIK | Kütahya Dumlupınar Üniversitesi |
| Gıda Mühendisliği / Food Engineering Prof. Dr. Muhammet DÖNMEZ | Kütahya Dumlupınar Üniversitesi |
| Çevre Mühendisliği / Environmental Engineering Doç. Dr. Nevzat BEYAZIT | Ondokuz Mayıs Üniversitesi |
| Matematik / Mathematics Dr. Öğr. Üyesi Cansu KESKİN | Kütahya Dumlupınar Üniversitesi |
| Fizik / Physics Doç. Dr. Huriye Sanem AYDOĞU | Kütahya Dumlupınar Üniversitesi |
| Kimya / Chemistry Doç. Dr. Bülent ZEYBEK | Kütahya Dumlupınar Üniversitesi |
| Biyoloji / Biology Dr. Öğr. Üyesi Nüket Akalın BİNGÖL | Kütahya Dumlupınar Üniversitesi |
| Biyokimya / Biochemistry Doç. Dr. Derya KOYUNCU ZEYBEK | Kütahya Dumlupınar Üniversitesi |
| İş Sağlığı ve Güvenliği / Occupational Health and Safety Prof. Dr. Cem ŞENSÖĞÜT | Kütahya Dumlupınar Üniversitesi |

Danışma Kurulu / Advisory Board

| | |
|----------------------------------|--|
| Prof. Dr. Sibel AKAR | Eskişehir Osmangazi Üniversitesi / Kimya |
| Prof. Dr. Abdurrahman AKTÜMSEK | Selçuk Üniversitesi / Biyoloji |
| Prof. Dr. Mustafa ALTUNOK | Gazi Üniversitesi / Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği |
| Prof. Dr. Uğur ARİFOĞLU | Sakarya Üniversitesi / Elektrik-Elekt. Mühendisliği |
| Prof. Dr. Oktay ARSLAN | Balıkesir Üniversitesi / Kimya |
| Prof. Dr. Şükrü ASLAN | Sivas Cumhuriyet Üniversitesi / Çevre Mühendisliği |
| Prof. Dr. Ülfet ATAV | Selçuk Üniversitesi / Fizik |
| Prof. Dr. Mustafa BAYRAKTAR | TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi / Matematik |
| Prof. Dr. Niyazi BİLİM | Konya Teknik Üniversitesi / Maden Mühendisliği |
| Prof. Dr. İsmail BOZTOSUN | Akdeniz Üniversitesi / Fizik |
| Prof. Dr. Erdal ÇELİK | Dokuz Eylül Üniversitesi / Metalurji Malzeme Müh. |
| Prof. Dr. Hayri DAYIOĞLU | Kütahya Dumlupınar Üniversitesi / Biyoloji |
| Prof. Dr. Muhammet DÖNMEZ | Kütahya Dumlupınar Üniversitesi / Gıda Mühendisliği |
| Prof. Dr. Mehmet Ali EBEOĞLU | Kütahya Dumlupınar Üniversitesi / Elektrik-Elekt. Müh. |
| Prof. Dr. İsmail Göktaş EDİZ | Kütahya Dumlupınar Üniversitesi / Maden Mühendisliği |
| Prof. Dr. İsmail EKİNCİOĞLU | Kütahya Dumlupınar Üniversitesi / Matematik |
| Prof. Dr. Kaan ERARSLAN | Kütahya Dumlupınar Üniversitesi / Maden Mühendisliği |
| Prof. Dr. Zeynal Abiddin ERGÜLER | Kütahya Dumlupınar Üniversitesi / Jeoloji Mühendisliği |
| Prof. Dr. Seyhan FIRAT | Gazi Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği |
| Prof. Dr. Remzi GÖREN | Sakarya Üniversitesi / Met. Malzeme Müh. |
| Prof. Dr. Rasim İPEK | Ege Üniversitesi / Makine Mühendisliği |
| Prof. Dr. Refail KASIMBEYLİ | Eskişehir Teknik Üniversitesi / Endüstri Mühendisliği |
| Prof. Dr. Hamdi Şükür KILIÇ | Selçuk Üniversitesi / Fizik |
| Prof. Dr. Yaşar KİBİCİ | Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi / Jeoloji Mühendisliği |
| Prof. Dr. İsmail KOCAÇALIŞKAN | Yıldız Teknik Üniversitesi / Moleküler Biy. ve Genetik |
| Prof. Dr. Mahmut KOÇAK | Eskişehir Osmangazi Üniversitesi / Mat.-Bilgisayar |
| Prof. Dr. Muhsin KONUK | Üsküdar Üniversitesi / Moleküler Biy. ve Genetik |
| Prof. Dr. Mustafa KURU | Başkent Üniversitesi / Moleküler Biy. ve Genetik |
| Prof. Dr. Ömer İrfan KÜFREVİOĞLU | Atatürk Üniversitesi / Biyokimya |
| Prof. Dr. Halim MUTLU | Ankara Üniversitesi / Jeoloji Mühendisliği |
| Prof. Dr. Ekrem SAVAŞ | İstanbul Ticaret Üniversitesi / Matematik |
| Prof. Dr. Murat TANIŞLI | Eskişehir Teknik Üniversitesi / Fizik |
| Prof. Dr. Ali Rehber TÜRKER | Gazi Üniversitesi / Kimya |
| Prof. Dr. Mustafa TÜRKMEN | Giresun Üniversitesi / Biyoloji |
| Prof. Dr. Abdülmecit TÜRÜT | İstanbul Medeniyet Üniversitesi / Fizik Mühendisliği |
| Prof. Dr. Eşref ÜNLÜOĞLU | Eskişehir Osmangazi Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği |
| Prof. Dr. Nurettin YAYLI | Karadeniz Teknik Üniversitesi / Eczacılık |
| Prof. Dr. Yusuf YAYLI | Ankara Üniversitesi / Matematik |
| Prof. Dr. Elçin YUSUFOĞLU | Uşak Üniversitesi / Matematik |
| Prof. Dr. Hüseyin Serdar YÜCESU | Gazi Üniversitesi / Otomotiv Mühendisliği |
| Prof. Dr. Mehmet Tevfik ZEYREK | Orta Doğu Teknik Üniversitesi / Fizik |

JOURNAL OF SCIENTIFIC REPORTS-B

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

ARAŞTIRMA MAKALELERİ / RESEARCH ARTICLES

- Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi (Csp) Teknolojileri ve Türkiye’de Csp’ye Yönelik Politikalar*** 1-13
Concentrated Solar Energy (Csp) Technologies and Policies for Csp in Turkey
Fatih Selim BAYRAKTAR*, Mesut YAZICI, Ramazan KÖSE
- Çelik Kolonlardan ve Beton Dolgulu Çelik Tüp Kolonlardan Oluşan Çerçevelerin Sayısal Karşılaştırılması*** 14-29
Numerical Comparison of Frames Consisting of Steel Columns and Concrete Filled Steel Tube Columns
Emre BAŞ, Mustafa Halûk SARAÇOĞLU*, Fethullah USLU
- Kutahya Dumlupınar University 3D Virtual Tour*** 30-45
Kütahya Dumlupınar Üniversitesi 3D Sanal Turu
Murat GÖKKUŞ*, Soydan SERTTAŞ
- The Effects of Plant Origin Exosome Extracts on A549 and Hct116 Cancer Cell Lines*** 46-58
Bitki Kökenli Eksozom Ekstraktlarının A549 ve Hct116 Kanser Hücre Hatları Üzerine Etkileri
Ayşegül DEMİRHAN*, Semra TURKOĞLU, Fazilet ERMAN
- Yapay Zeka Yöntemleriyle Erken Evre Diyabet Risk Tahmini*** 59-71
Early Stage Diabetes Risk Prediction with Artificial Intelligence Methods
Hüseyin YILMAZ, Abdulkadir BULDU, Yılmaz KAYA, Fatma KUNCAN*



ARAŞTIRMA MAKALESİ (Research Article)

**YOĞUNLAŞTIRILMIŞ GÜNEŞ ENERJİSİ (CSP) TEKNOLOJİLERİ VE TÜRKİYE'DE
CSP'YE YÖNELİK POLİTİKALAR**

Fatih Selim BAYRAKTAR^{1,*}, Mesut YAZICI², Ramazan KÖSE³

- 1 Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Simav Teknoloji Fakültesi, Kütahya, fatih.bayraktar@dpu.edu.tr
ORCID: 0000-0002-8672-3511
2 Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Simav Teknoloji Fakültesi, Kütahya, mesut.yazici@dpu.edu.tr
ORCID: 0000-0001-6379-8396
3 Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kütahya, ramazan.kose@dpu.edu.tr
ORCID: 0000-0001-6041-6591

Geliş Tarihi(Received Date):14.11.2022

Kabul Tarihi(Accepted Date):15.12.2022

ÖZ

1970'li yıllarda yaşanan petrol krizi sonrasında yenilenebilir enerjinin önemi anlaşılmaya başlanılmıştır. Yenilenebilir enerji sektörü günümüze kadar önemini daha da arttırsa da fosil enerji kaynakları hala hayatımızda önemli bir yer kaplamaktadır. Ukrayna-Rusya Savaşı sırasında dünyanın en büyük fosil kaynaklı enerji ihraç eden ülkelerinden Rusya'nın bu enerjiyi bir tehdit unsuru olarak kullanması yenilenebilir enerjinin önemini bir kez daha ortaya çıkarmıştır. Yenilenebilir enerjinin en önemli dallarından olan güneş enerjisi özellikle 1980'li yıllardan bu yana ciddi bir sektör oluşturmuştur. Güneş enerjisi teknolojilerinin alt dallarından olan Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi (Concentrated Solar Power - CSP) bir başka önemli güneş enerjisi teknolojisi olan Fotovoltaik (FV) Paneller kadar ilgi görmese de özellikle İspanya ve Amerika'da ciddi yatırım desteği görmüştür. Bu çalışma ile CSP sistemlerinin incelenmesi ve Türkiye'de durumunun aktarılması amaçlanmıştır. Ülkemizde CSP sistemlerinin tercih edilmesini teşvik edici yasal adımlar araştırılmıştır. 5346 sayılı Kanun ve YEKDEM gibi ciddi adımlara rağmen yatırımcılardan yeterince ilgi göremediği için Ülkemizde operasyonel durumda sadece bir tane CSP santrali vardır.

Anahtar kelimeler: *CSP Sistemlerinin Tarihçesi, CSP Teknolojileri, Türkiye'de CSP Sistemleri, Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Hedefleri, Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Destek Mekanizmaları*

**CONCENTRATED SOLAR ENERGY (CSP) TECHNOLOGIES AND POLICIES FOR CSP
IN TURKEY**

ABSTRACT

The oil crisis in the 1970s led to the emergence of the renewable energy sector. Although renewable energy has increased its importance until today, fossil energy sources still occupy an important place in our lives. The use of this energy as a threat by Russia, one of the world's largest fossil-based energy exporters, during the Ukraine-Russia War once again revealed the importance of renewable energy. Solar energy, one of the most important branches of renewable energy, has created a important sector

especially since the 1980s. Although Concentrated Solar Power (CSP), one of the sub-branches of solar energy technologies, does not attract as much attention as Photovoltaic Panels, another important solar energy technology, it has received serious investment support especially in Spain and America. In this study, CSP systems are examined and the steps taken for CSP systems in our country and the established facilities are explained.

Keywords: *History of CSP Systems, CSP Technologies, CSP Systems in Turkey, Turkey's Renewable Energy Aims, Renewable Energy Support Mechanisms in Turkey.*

1. GİRİŞ

Güneş, dünyanın en önemli enerji kaynağıdır ve diğer enerji kaynaklarının da oluşumunu tetikleyen temel unsurdur. Güneş enerjisi temiz ve tükenmez bir enerji kaynağıdır. Her yıl güneşten dünyaya 1.08×10^9 TWh enerji ulaşmaktadır ki bu değer dünyanın elektrik tüketiminin yaklaşık 60.000 katıdır. Ülkemiz coğrafik konumu itibarıyla güneş enerjisi konusunda yüksek potansiyelli ülkeler arasındadır. Türkiye'nin yıllık ortalama güneşlenme süresi yaklaşık 2.730 saattir ki bu değer günlük ortalama 7,5 saate tekabül etmektedir.

Güneş enerjisinden enerji üretimi iki temel yöntem ile gerçekleştirilmektedir: FV paneller ve CSP sistemleri. FV paneller güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine çeviren yarı iletken teknolojisine sahip sistemlerdir. CSP sistemlerinde ise güneş ışığı odaklanarak ısı enerjisi dönüşüm yöntemleri ile enerji üretilmektedir. Avrupa CSP Birliği (ESTELA) yaptığı bir çalışmada 2030'a kadar Güney Avrupa'da 60 TW'ın üstünde CSP kurulu gücüne ulaşılmasını öngörmektedir. 2030 yılında yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemlerine dayalı elektrik üreten sistemlerin enerji üretimlerinin AB içinde üretilmesi öngörülen enerjinin yaklaşık olarak % 5'ine karşılık gelen 176 TWh/yıl olacağı hesaplanmaktadır [1].

Bu çalışmada CSP sistemleri incelenmiş ve alt türleri aktarılmıştır. Dünyada ve Türkiye'de CSP teknolojilerinin güncel durumu anlatılmıştır. Ülkemizde yenilenebilir enerji hedefleri ve bu hedeflere ulaşmak için atılan politik adımlar kısaca izah edilmiştir. Atılan adımların etkileri CSP özelinde incelenmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

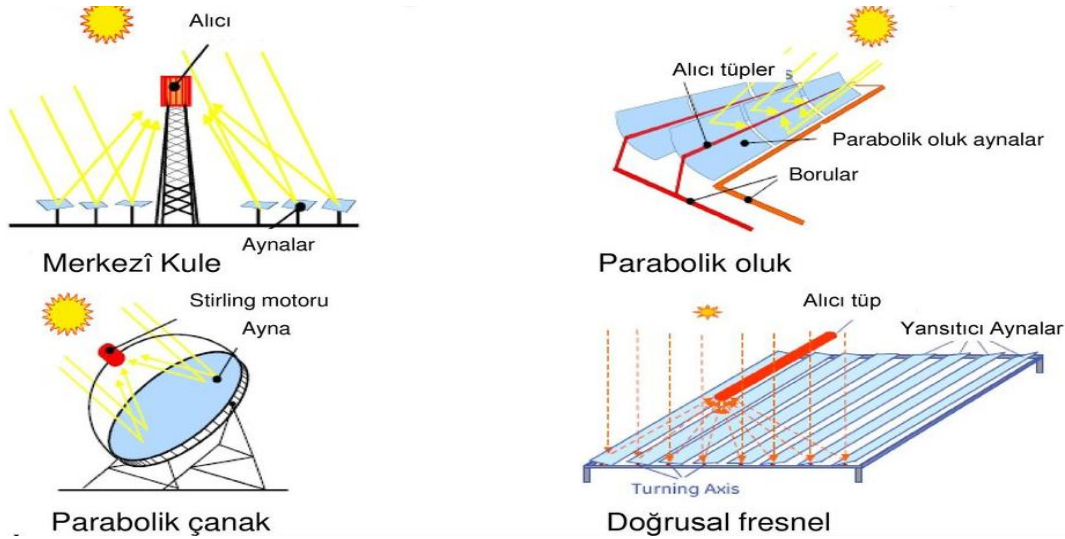
2. CSP NEDİR?

Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi (Concentrated Solar Power) anlamına gelen CSP sistemleri güneş ışığının akı yoğunluğunu artırma yolu ile yüksek sıcaklık ve yüksek enerji dönüşüm verimlerine ulaşmak ve bu vesileyle ısı enerjisi elde etmek için kullanılan bir enerji üretim yöntemidir. Akı yoğunluğu artırımı aynalar veya lensler kullanılarak büyük alanlara düşen güneş ışığının daha küçük alanlara odaklanması ile elde edilmektedir. Üretilen ısı enerjisi kızgın buhar sisteminde mekanik enerjiye dönüştürülerek ya da ısı enerjisi depolama (Thermal Energy Storage - TES) ünitelerinde depolanarak değerlendirilmektedir. CSP sistemleri; ısı değiştirici, solar yansıtıcı, TES, güneş takip sistemi ve ısı yük alt bölümlerinden meydana gelmektedir. CSP sistemlerinde Direkt normal radyasyon (DNI) değeri üzerinden çalışılmaktadır ve bu DNI değerinden güneş ve dünyanın solar geometrilerine göre dizayn edilen toplayıcı sistemler ile odaklanarak enerji üretilebilmektedir.

3. CSP SİSTEMLERİNİN TARİHÇESİ

1866'da Auguste Mouchout, buhar üretimi için parabolik oluk sistemini ilk kez kullanan kişidir. Güneş kolektörü için ilk patent 1886'da İtalya'nın Cenova kentindeki İtalyan Alessandro Battaglia tarafından alınmıştır. Sonraki yıllarda, John Ericsson ve Frank Shuman gibi mucitler sulama, soğutma ve tahrik için yoğunlaştırılmış güneş enerjisiyle çalışan cihazlar geliştirmiştir. 1913'te Shuman, sulama için Mısır'ın Maadi kentinde 55 HP'lik bir parabolik güneş ısı enerjisi santralini devreye almıştır. Parabolik çanak sistemini kullanan ilk güneş enerjisi sistemi, sıvı yakıtlı roketler üzerine yaptığı araştırmalarla tanınan Dr. R.H. Goddard tarafından tasarlanmıştır. Profesör Giovanni Francia 1968'de İtalya, Cenova yakınlarındaki Sant'Ilario'da faaliyete geçen ilk yoğunlaştırılmış güneş santralini tasarlamış ve inşa etmiştir. Bu tesis, solar tarlanın merkezinde bir toplayıcı bulunduran günümüzün yoğunlaştırılmış güneş enerjisi santrallerinin mimarisine sahiptir. 10 MW'lık Solar One güç kulesi 1981'de Güney Kaliforniya'da geliştirilmiş, ancak yakınındaki Güneş Enerjisi Üretim Sistemlerinin (Solar Energy Generating Systems - SEGS) 1984'te başlayan parabolik oluk teknolojisi daha uygulanabilir bir tasarım olduğu görülmüştür. 354 MW SEGS başka bir büyük güneş enerjisi santralidir ve özellikle 390 MW'lık Ivanpah güç kulesi projesi tam güce ulaşana kadar CSP tasarımlarının en büyüklerinden biri olarak elektrik üretmiştir [2].

1986-1990 yılları arasında ABD'nin Kaliforniya eyaletinde Mojave Çölünde dünyadaki ilk ticari CSP tesisleri (toplam 354 MW kurulu gücünde 9 adet santral) inşa edilmiştir. Akabinde CSP piyasasının gelişmesini ve büyümesini destekleyen hükümetler, fosil kaynaklı yakıtların fiyatlarının tekrar düşmesiyle uyguladıkları teşvik politikalarını sona erdirmişlerdir. Bu nedenle, 2006 yılına kadar yeni bir CSP tesisi inşa edilmemiştir. 2006 yılında ABD ve İspanya'da CSP yatırımlarının teşvik edilmesi hususu yeniden gündeme gelmiş, böylece yeni CSP sistem kurulumları yapılmıştır. 2009-2014 yılları arasında CSP kurulu gücü 354 MW'tan yaklaşık 12,4 kat artarak 4,4 GW'a yükselmiştir. Özellikle 2014 yılı ve öncesindeki iki yılda üst üste yıllık kapasite artışı rekoru kırılrsa da toplam kurulu güç büyüklüğü açısından diğer yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılaştırıldığında CSP teknolojisinin henüz emekleme aşamasında olduğunu söylemek doğru olacaktır. Kurulumların büyük bölümü İspanya'da (2,3 GW) ve ABD'de (1,6 GW) yer almaktadır. CSP piyasasına yüksek DNI değerlerine sahip diğer ülkeler (Şili, Çin, Hindistan, İsrail, Fas, Suudi Arabistan, Güney Afrika ve Birleşik Arap Emirlikleri) de ilgi göstermeye başlamışlardır [3].



Şekil 1. Temel CSP Teknolojileri [4].

4. CSP TEKNOLOJİLERİ

CSP teknolojileri doğrusal odaklı ve nokta odaklı olmak üzere iki ana sınıfta toplanmaktadır. Doğrusal odaklı sistemlerde güneş ışıkları bir hat üzerine odaklanırken nokta odaklı sistemlerde küçük bir bölgede odaklama yapılmaktadır. Bu iki ana sınıf dört alt optik kola ayrılmaktadır. Bu kollar parabolik oluk, doğrusal Fresnel, merkezi alıcılı ve solar çanak sistemleridir. Parabolik oluk ve doğrusal Fresnel sistemler doğrusal odaklı iken merkezi alıcılı ve solar çanak sistemleri ise nokta odaklı sistemlerdir.

Çizelge 1. Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisinin Özellikleri [5].

| | Parabolik Oluk | Merkezi Alıcılı | Doğrusal Fresnel | Parabolik Çanak |
|--|---|-------------------------------|--|-----------------------|
| Teknolojinin Gelişmişlik Düzeyi | Ticari olarak kanıtlanmıştır. | Ticari olarak kanıtlanmıştır. | Ticarileşmiş projelerin başlangıcındadır . | Deneme aşamasındadır. |
| Kapasite (MW) | 10-300 | 10-370 | 10-200 | 0,01-0,025 |
| İşletme Sıcaklığı (°C) | 350-550 | 250-565 | 390 | 550-750 |
| En Yüksek Verim (%) | 14-20 | 23-35 | 18 | 30 |
| Yıllık Güneş-Elektrik Verimi (%) | 11-16 | 7-20 | 13 | 12-24 |
| Yıllık Kapasite Faktörü (%) | 25-28 (Depolamasız) 29-48 (7 saat depolamalı) | 55 (10 saat depolamalı) | 22-24 | 25-28 |
| Alan Gereksinimi (m²/kW) | 18 | 21 | 18-20 | 15-17 |
| Arazinin Eğimi (%) | <1-2 | <2-4 | <4 | >10 |

| | | | | |
|--|--------|--------|---------------------------|---------------------------|
| Eriyik Tuz Kullanımı ile Isı Depolama | Mevcut | Mevcut | Henüz ispat edilmemiştir. | Henüz ispat edilmemiştir. |
|--|--------|--------|---------------------------|---------------------------|

4.1. Parabolik Oluk Toplayıcı (PTC) CSP Sistemleri

PTC (Parabolic Trough Collector) sistemlerinin en önemli aksamı doğrusal bir parabolik yansıtıcı ve alıcı borudur. Yansıtıcı, yüzeyinin yansıtma oranı yüksek olan ve güneş ışığını bir odakta toplayacak şekilde parabolik olarak şekil verilen bir malzemeden oluşturulmaktadır. Alıcı boru ise bu parabolik oluk formundaki malzemenin odak hattına konumlandırılmaktadır. PTC sistemlerinin çalışma prensibi, parabolik yansıtıcılar kullanılarak direkt güneş radyasyonunun odak hattında bulunan alıcı boruya yoğunlaştırılması ve bu boruda hareket eden çalışma akışkanına enerji aktarılmasına dayanmaktadır. Parabolik oluklar iki boyutta hareket etmektedir, genelde kuzey-güney ekseninde konumlandırılırlar ve güneş gök yüzünde hareket ettikçe dönmektedirler. Ayrıca, parabolik oluk sistemleri özellikle yaz aylarında, tipik olarak günde 10 ila 12 saat nominal güçte yalnızca güneş ışığını kullanarak tam güçte çalışabilmektedir. Bununla birlikte, mevcut tüm tesisler hibrittir ve düşük güneş radyasyonu dönemlerinde suyu ısıtmak için fosil yakıtlarla çalışan bir yedek kazana sahiptir.

Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi teknolojileri arasında PTC sistemleri tüm CSP kurulu gücün yaklaşık olarak %90'ını teşkil etmektedir [6]. Bu sistemler CSP teknolojileri arasında en çok araştırılan türdür ve bu sebeple yıllardır ticari olarak kullanılmaktadır.

4.2. Doğrusal Fresnel Yansıtıcı (LFR) CSP Sistemleri

LFR (Linear Fresnel Reflector), güneş ışığını yansıtıcıların ortak bir odak noktasında bulunan sabit bir alıcıya yönlendirmek amacıyla uzun, ince ayna segmentleri kullanmaktadır. Bu aynalar, güneş enerjisini normal yoğunluğunun yaklaşık 30 katına yoğunlaştırma yeteneğine sahiptir. Bu yoğunlaştırılmış enerji, alıcı vasıtasıyla bir ısı taşıyıcı akışkana aktarılır (bu genel olarak çok yüksek sıcaklıklarda sıvı halini muhafaza edebilen yağdır). Akışkan daha sonra bir buhar jeneratörüne güç sağlamak için bir ısı eşanjöründen geçer. İlk lineer Fresnel reflektörü 1961'de Cenova Üniversitesi'nden Giovanni Francia tarafından İtalya'da geliştirilmiştir.

Parabolik oluk toplayıcılara benzerliklerine rağmen, bu sistemi diğerinden ayıran teknik farklılıklar vardır. Doğrusal Fresnel yansıtıcılar, güneş ışınımını sıralar boyunca düzenlenmiş ancak daha yüksek bir alıcıya odaklamak için yerleştirilmiş birkaç paralel seri doğrusal Fresnel yansıtıcıdan oluşmaktadır. Bu sistemin ana avantajlarından biri, daha düşük yapım maliyeti ve güneş takip eden sistemleridir.

4.3. Merkezi Alıcılı (SPT) CSP Sistemleri

Güneş enerjisi kulesi (Solar Power Tower), güneş ışığını bir kulenin tepesindeki merkezi alıcıda yoğunlaştıran bir dizi çift eksenli güneş takibi sunan aynalardan (heliostat) oluşmaktadır. Güneş enerjisini toplamak ve odaklamak için üç boyutlu takibe izin verecek şekilde hareket eden yüzlerce hatta binlerce düz aynadan oluşmaktadır. 600-1000 arasındaki güneş yoğunlaştırma oranları ile çok yüksek sıcaklıklar elde edilebilmektedir. SPT sistemleri %20 civarında enerji dönüşüm verimine ve yaklaşık %35 pik verime ulaşabilmektedir [7]. Merkezi alıcıda elde edilen güneş akısı 200-1000 kW/m² aralığında bulunmakta ve bu da yüksek bir çalışma sıcaklığı temin edebilmek için bir imkân sağlamaktadır [8]. Alıcı, tuz içerebilen bir ısı taşıyıcı akışkan içermektedir. Alıcıdaki çalışma akışkanı yüksek sıcaklıklara ısıtılır ve daha sonra bir buhar türbinine girdikten sonra ısı kaynağı olarak kullanılır. Bir jeneratörü çalıştırır ve bir termodinamik çevrim (genellikle geleneksel Rankine çevrimi) gerçekleştirerek elektrik gücü üretir. Güneş kuleleri, ticari olarak yaygın şekilde mevcuttur.

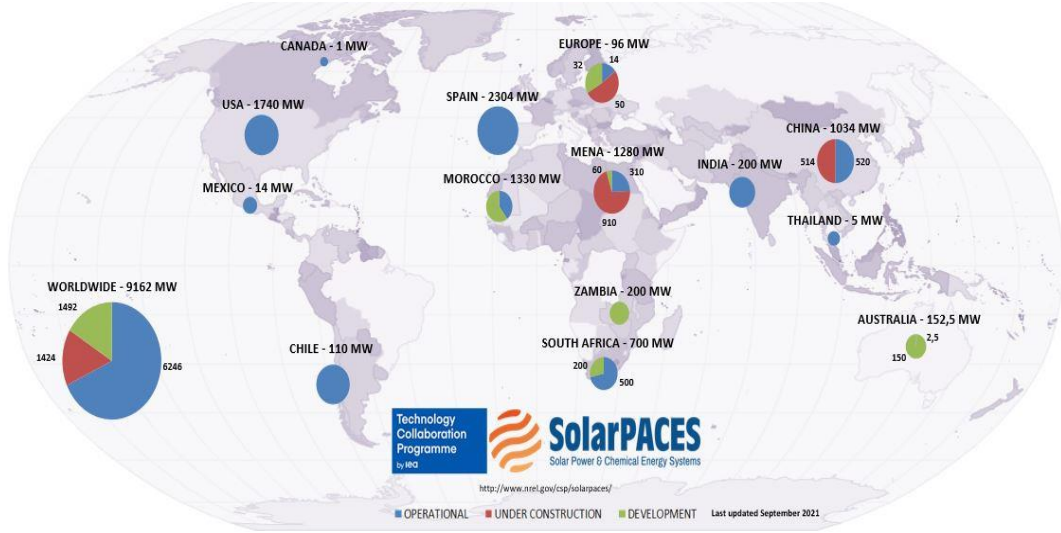
4.4. Solar Parabolik Çanak (SPD) CSP Sistemleri

SPD (Solar Parabolic Dish) teknolojilerinde çanak formunda bir yoğunlaştırıcı ile güneş ışığı bir noktaya yönlendirilerek odak noktasında bulunan alıcıda toplanmaktadır. Çanak yoğunlaştırıcı, güneş ışığının mümkün olan en yüksek yüzdesini termal alıcıya yansıtmak için gün boyunca sürekli olarak güneşi izleyen bir yapı üzerine monte edilmiştir.

Odak noktasında verimli güç dönüşümü için Stirling/Brayton motoru veya alıcıdaki yoğunlaştırılmış ısıyı kullanmak için bir elektrik jeneratörü yerleştirilmektedir [8]. SPD sisteminin Stirling motorlu verimi %25 ile %30 arasında değişmektedir [8-10]. Diğer CSP teknolojilerinin aksine, SPD'nin benzersiz avantajlarından biri, sistemin tamamen düz bir zemine ihtiyaç duymaması ve uzak ve küçük yalıtılmış şebekelerde kolayca uygulanabilir olmasıdır [11]. SPD sistemlerinin odak noktalarında 2000 civarında yoğunlaştırma oranına ulaşılmakta ve bunun sonucunda alıcıdaki ısı taşıyıcı akışkanın sıcaklığı 700–750 °C seviyelerine ve basıncı ise 200 bar düzeyine ulaşabilmektedir [12-14]. SPD'lerde kullanılan çanakların çapı genellikle 5-10 metre arasında değişmektedir ve buna bağlı olarak yüzey alanları 20-80 m² civarlarında olmaktadır. Çanakların yüzeyinde yüksek yansıtma seviyelerine ulaşmak amacıyla cam ve plastik tabakaların üstüne alüminyum ve gümüş kaplama yapılmaktadır. Tek çanaklı bir SPD sisteminden 0,01-0,5 MW aralığında güç çıkışı elde edilebilmektedir [15-16].

5. DÜNYA'DA CSP UYGULAMALARI

Küresel CSP pazarı 2021 yılında teknoloji maliyetlerindeki düşüslere rağmen 1980'lerde sektörün ticarileşmesinden bu yana ilk kez daralmıştır. 2015'ten önce, pazar sekiz yıl boyunca ortalama olarak yıllık %40'ın biraz altında büyümüştür. Şili'deki 110 MW'lık Cerro Dominador tesisinin devreye alınmasının, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki yaklaşık 300 MW'lık eski CSP tesislerinin hizmet dışı bırakılmasıyla yaklaşık olarak dengelendiğinden, CSP pazarı 23 ülkede 6.2 GW düzeyinden 6 GW'lık bir kümülatif kapasite seviyelerine düşmüştür. Geçtiğimiz on yılda CSP'nin düşüşü; PV ile rekabet, politika değişiklikleri ve kurulu güç bakımından zirvede olan ama sırasıyla sekiz ve altı yıl boyunca yeni kapasite eklemeyen İspanya ile Amerika Birleşik Devletleri'nin pazarlarındaki proje başarısızlıklarından kaynaklanmaktadır.



Şekil 2. CSP Projelerinin Güncel Durumu [7].

6. TÜRKİYE'DE YENİLENEBİLİR ENERJİ

Ülkemizde yenilenebilir enerji konusunda atılan yasal adımları aktarmadan önce yenilenebilir enerji hedeflerini aktarmak doğru olacaktır. Türkiye'nin 2023 yılı projeksiyonunda elektrik üretimimizin minimum %30'unu yenilenebilir enerji kaynaklarından temin edilmesi planlanmaktadır. Bu projeksiyonu gerçekleştirmek amacıyla 2023'e kadar hidroelektrikte 34 TW, rüzgâr enerjisinde 20 TW, güneş enerjisinde 5 TW, biyokütle ve jeotermal enerjilerinde ise 1 TW kurulu güce ulaşılması hedeflenirken [17] Ekim 2022 itibarıyla hidroelektrikte 31.6 TW, rüzgâr enerjisinde 11.3 TW, güneş enerjisinde 9.1 TW, biyokütlede 1.8 TW ve jeotermalde 1.7 TW değerlerine ulaşılmıştır. Güncel veriler incelendiğinde; güneş enerjisi, biyokütle ve jeotermalde hedeflerin geçildiği gözlenirken hidroelektrikte hedeflere yakın bir konumda bulunduğu anlaşılmıştır. Rüzgâr enerjisinde hedefin % 43.4 gerisinde kalınarak 2023 hedeflerine ulaşamayacağı aşikardır.

Yenilenebilir enerji ile ilgili ilk yasal düzenleme Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yapılan çalışmalar sonucunda 1985'te 18858 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan Türkiye Elektrik Üretim İletim Anonim Şirketi ve Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi Dışındaki Kuruluşlara Elektrik Enerjisi Üretim Tesisi Kurma ve İşletme İzni Verilmesi Esaslarını Belirleyen Yönetmelik'tir [18].

Yenilenebilir enerjiyi destekleyici en önemli adımlardan biri 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun'da bahsedilen ve 18.05.2005'te 25819 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Destekleme Mekanizması (YEKDEM) çalışmasıdır [19].

Çizelge 2. 6094 Sayılı Kanun'da Belirtilen YEKDEM Baz Fiyatları [20].

| I Sayılı Cetvel (YEKDEM Baz Fiyatlar) (29/12/2010 tarihli ve 6094 sayılı Kanunun hükmüdür.) | |
|---|--|
| YEK'e Dayalı Üretim Tesis Tipi | Uygulanacak Fiyatlar (ABD \$ cent/kWh) |
| a. Hidrolik üretim tesisi | 7,3 |
| b. Rüzgâr enerjisine dayalı üretim tesisi | 7,3 |
| c. Jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisi | 10,5 |
| d. Biyokütle dayalı üretim tesisi | 13,3 |
| e. Güneş enerjisine dayalı üretim tesisi | 13,3 |

Çizelge 3. 6094 Sayılı Kanun'da Belirtilen YEKDEM Yerli Aksam Katkı İlaveleri [20].

| II Sayılı Cetvel (Yerli Aksamlar) (29/12/2010 tarihli ve 6094 sayılı Kanunun hükmüdür.) | | |
|---|--|-------------------------------|
| Tesis Tipi | Yurt İçinde Gerçekleşen İmalat | Yerli Katkı (ABD \$ cent/kWh) |
| A-Hidroelektrik üretim tesisi | 1. Türbin | 1,3 |
| | 2. Jeneratör ve güç elektroniği | 1,0 |
| B-Rüzgâr enerjisine dayalı üretim tesisi | 1. Kanat | 0,8 |
| | 2. Jeneratör ve güç elektroniği | 1,0 |
| | 3. Türbin kulesi | 0,6 |
| | 4. Rotor ve nasel gruplarındaki mekanik aksamın tamamı (Kanat grubu ile jeneratör ve güç elektroniği için yapılan ödemeler hariç.) | 1,3 |
| C-Fotovoltaik güneş enerjisine dayalı üretim tesisi | 1. PV panel entegrasyonu ve güneş yapısal mekanik imalatı | 0,8 |
| | 2. PV modülleri | 1,3 |
| | 3. PV modülünü oluşturan hücreler | 3,5 |
| | 4. İnvörtör | 0,6 |
| | 5. PV modülü üzerine güneş ışını odaklayan malzeme | 0,5 |
| D-Yoğunlaştırılmış güneş enerjisine dayalı üretim tesisi | 1. Radyasyon toplama tüpü | 2,4 |
| | 2. Yansıtıcı yüzey levhası | 0,6 |
| | 3. Güneş takip sistemi | 0,6 |
| | 4. Isı enerjisi depolama sisteminin mekanik aksamı | 1,3 |
| | 5. Kulede buhar üretim sisteminin mekanik aksamı | 2,4 |
| | 6. Stirling motoru | 1,3 |
| | 7. Panel entegrasyonu ve güneş paneli yapısal mekanik imalatı | 0,6 |
| E-Biyokütle enerjisine dayalı üretim tesisi | 1. Akışkan yataklı buhar kazanı | 0,8 |
| | 2. Sıvı veya gaz yakıtlı buhar kazanı | 0,4 |
| | 3. Gazlaştırma ve gaz temizleme grubu | 0,6 |
| | 4. Buhar veya gaz türbini | 2,0 |
| | 5. İçten yanmalı motor veya stirling motoru | 0,9 |
| | 6. Jeneratör ve güç elektroniği | 0,5 |
| | 7. Kojenerasyon sistemi | 0,4 |
| F-Jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisi | 1. Buhar veya gaz türbini | 1,3 |
| | 2. Jeneratör ve güç elektroniği | 0,7 |
| | 3. Buhar enjektörü veya vakum kompresörü | 0,7 |

2 Mayıs 2007 tarihinde 26510 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu'nda güneş enerjisi için bir düzenleme yapılmış ve güneş enerjisine dayalı elektrik üretiminde alım fiyatlarının 5-5.5 Euro cent aralığında olması gerektiğine dair karar çıkmıştır [18].

29 Aralık 2010'da 6094 sayılı Kanun ile bu Kanunda değişiklik yapılmış ve yenilenebilir enerjiden elektrik üretecek tesisler için fiyat katkısı sağlanmaya başlamıştır. Tablo 2 ve Tablo 3'te fiyat katkıları belirtilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklı elektrik üretimini teşvik etmek amacıyla yapılan bu teknik ve yasal düzenlemelerin ardından ilk lisans başvurusu 10.06.2013 tarihinde EPDK tarafından alınmıştır

ve 2022 yılı itibarıyla 426'sı hidroelektrik, 224'ü rüzgâr, 57'si jeotermal, 293'ü biyokütle ve 36'sı güneş enerjisi kaynaklı santraller olmak üzere 1036 tesis desteklerden yararlanmaktadır [21].

Bu kanun gereğince 30 Ocak 2021 tarihli ve 31380 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan 3453 sayılı Cumhurbaşkanlığı kararı ile fiyatlar Tablo 4'te görüleceği üzere güncellenmiştir [22]. Bu düzenlemelere rağmen günümüze kadar CSP teknolojisi içeren bir sistem YEKDEM kapsamına girmemiştir.

9 Ekim 2016'da 29852 sayılı Resmî Gazete'de Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları Yönetmeliği yayımlanarak toplam elektrik üretimi içindeki yenilenebilir enerjinin payının ve kaynak çeşitliliğinin artırılması hedeflenmiştir [23].

Çizelge 4. 3453 sayılı Cumhurbaşkanlığı Kararı ile Belirlenen YEKDEM Tavan Fiyatları [22].

| I Sayılı Cetvel (YEKDEM Baz Fiyatlar) (29/12/2010 tarihli ve 6094 sayılı Kanunun hükmüdür.) | |
|---|--|
| Yenilenebilir Enerji Kaynağına Dayalı Üretim Tesis Tipi | Uygulanacak Tavan Fiyatlar (ABD doları cent/kWh) |
| a. Hidrolik üretim tesisi | 6,40 |
| b. Rüzgâr ve güneş enerjisine dayalı üretim tesisi | 5,10 |
| c. Jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisi | 8,60 |
| d. Biyokütleyle dayalı üretim tesisi (çöp gazı veya atık lastiklerin işlenmesi sonucu ortaya çıkan yan ürünlerden elde edilen kaynaklar için) | 5,10 |
| e. Biyokütleyle dayalı üretim tesisi (biyometanizasyon için) | 8,60 |
| f. Biyokütleyle dayalı üretim tesisi (termal bertaraf) | 8 |

7. TÜRKİYE'DE CSP UYGULAMALARI

Türkiye'de yürütülen Ar-Ge faaliyetleri GES teknolojilerinden PV'lerde yoğunlaşmış olsa da Mersin'de yer alan Türkiye'nin tek CSP tesisinin Ar-Ge çalışmaları 2005 yılında başlatılmıştır. Tamamı yerli sermaye olan Greenway firması tarafından yürütülen proje, Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı ve TÜBİTAK'ın desteğiyle 2013 yılında tamamlanmıştır. Şekil 3'te görülen 5 MW ısı gücü ve 1 MW türbin çıkış gücüne sahip olan ve 100 dönüm arazi üzerine kurulan CSP tesisi 50 metre yükseklikteki güneş kulesi teknolojisi kullanılarak 50 milyon dolara inşa edilmiştir. Bu tesiste güneş ışığını yansıtan 510 adet heliostat toplam tesis alanının 30 dönümlük bölümünü kaplamaktadır. Ayrıca, santral doğal gaz çevrim santraline entegre edilebilmektedir. Böylece, güneş ışığının olmadığı saatlerde doğal gaz santrali devreye girebilmektedir. Tesisin bir diğer önemli özelliği ise, yerli olarak yazılım ve donanımı tasarlanan Green Box kontrol kartıyla kablosuz iletişime sahip olmasıdır. Akıllı yazılım sayesinde astronomik bir algoritmayla belirli aralıklarla güneşin pozisyonu hesaplanmakta ve aynalar uygun yöne çevrilmektedir [5].



Şekil 3. Greenway CSP Santrali [24].

8. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

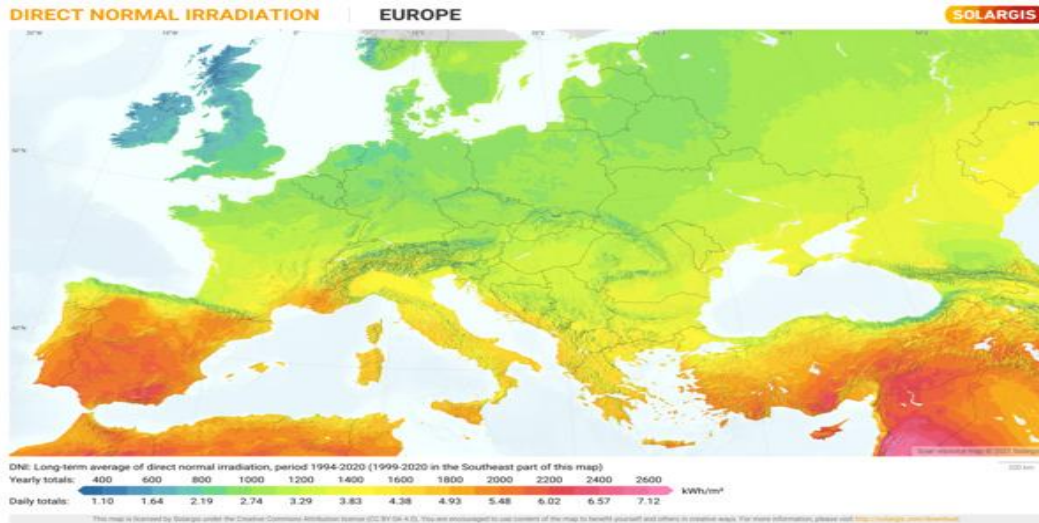
Enerji; gelişmişlik düzeyinin bir göstergesi olmasının yanında uluslararası arenada vazgeçilmez bir güç unsurudur. Bu sebeple ülkelerin politikalarını belirlemede enerji güvenliği ciddi bir rol oynamaktadır. Hammaddeye yakınlık, enerji iletim güvenliği, kaynak çeşitliliğinin sağlanması ve verimli üretim teknolojileri günümüzde en çok tartışılan konuların başında gelmektedir. Fosil yakıtlar kendisine sahip olan ülkelerin ekonomisini güçlendirirken ithalatçı ülkeler için önemli bir gider kalemidir. Yenilenebilir enerjinin hâkim olduğu bir piyasada enerji arzı ve güvenliği ile ilgili sorunların azalacağı öngörülmektedir. Ayrıca yenilenebilir enerjinin üretimdeki payının artması ile fosil enerji kaynakları zengin Ortadoğu gibi bölgelerde gerilimler, çekişmeler ve hatta savaşlar azalacaktır.

Türkiye her yıl yurtdışından çekebildiği yabancı yatırım kadar miktarı (yaklaşık 10 milyar dolar) doğal gaz ithalatına harcamaktadır. Türkiye’de enerjide dışa bağımlılığın azaltılması ve dış ticarete denge getirilmesi sürecinde; işletilmesi esnasında yakıt sarf etmeyen, işletme ve bakım maliyetleri düşük düzeylerde olan, ihtiyaca göre ölçeklendirilmesi nispeten kolay olan ve yerleşim bölgelerindeki nihai elektrik kullanıcılarına en yakın mesafede kurulabilen güneş enerjisi santrallerinin (GES) yaygınlaştırılması ciddi bir seçenek haline gelmiştir.

Yenilenebilir enerjisinden elektrik üretiminde kullanılan teknolojilerin çoğunluğu ithal edilmektedir. Uygulanan teşvik politikalarının ardından yenilenebilir enerji yatırımlarının ülkemizin ekonomisine yapacağı katkıyı artırmak amacıyla yeni stratejilerin geliştirilmesi önem arz etmektedir. Bu bağlamda, ülkemiz kaynakları geliştirilecek yeni ve ileri teknolojilerin kullanılarak yenilenebilir enerjiden elektrik üretimi sağlanmalıdır. Türkiye’de mevcut sermaye, iş gücü, bilgi ve sanayi gibi kaynakların bu amaç için yönlendirilmesi devlet politikalarında ve stratejik planlarda temel amaçlardan olmalıdır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı enerji üretim yatırımlarının uzun vadede Türkiye’nin ekonomisine sağlayacağı fayda ve maliyetlerin öngörülebilmesi bu kaynakların ülkemizin elektrik

üretim sistemindeki yerinin belirlenmesinde oldukça önemlidir. Yenilenebilir enerji yatırımlarının; istihdam üzerindeki olumlu etkisi ve sera gazının azaltılmasındaki faydası enerjide dışa bağımlılığın azaltılmasındaki etkisi de detaylı olarak ortaya konulmalıdır. Türkiye’de YEK’lerin milli ekonomiye azami düzeyde fayda sağlayabilmesi için destek politikalarının, yalnızca yenilenebilir enerji kurulu gücünü artırmak odaklı bir yaklaşımdan ziyade, yerli üretim endüstrisinin gelişmesini sağlayacak şekilde belirlenmesi önem arz etmektedir.



Şekil 4. Avrupa DNI haritası [25].

FV sistemler ilk yatırım maliyeti ve LCOE analizine göre CSP sistemlerinden daha ekonomiktir fakat bu aralık hızlı kapanmaktadır. Ayrıca CSP sistemleri FV sistemlerden daha verimli çalışmaktadır. Güneş takip sistemleri, ısıl depolama ve güneş enerjisinin odaklanması verimi artıran temel etmenlerdir. DNI değeri 2000 kWh/m²’den yüksek olan bölgelerde CSP kullanılması daha avantajlı olacaktır. Almanya ve Danimarka gibi ülkelerde DNI değeri düşük olduğu için CSP yerine FV sistemleri seçmeleri mantıklıdır. Ülkemiz ile benzer iklim ve sıcaklık değerlerine sahip İspanya (Şekil 4) ise CSP sistemlerinde uzmanlaşarak güneş enerjisinden daha verimli yararlanmaktadır. CSP sistemleri Ülkemiz için de daha faydalı enerji üretim yöntemi iken ekonomik tedirginlikler sebebiyle yatırımcılar FV sistemlere yönelmiştir. İspanya’nın CSP teşvik ve yatırım modelleri incelenerek Türkiye’ye uygulanırsa Ülkemizde CSP sistemlerinin kullanımı yaygınlaşacaktır. Üniversitelerde CSP araştırmalarının teşvik edilmesi ile bilgi, uzmanlık ve yetişmiş iş gücü de artacaktır. CSP konusunda bilgilendirici görsel ve işitsel tanıtım çalışmaları ile halkımızın bu temiz ve tükenmez enerjiyi tanınması sağlanmalıdır. Gelecek nesiller ve doğamızın korunması için çevre bilincinin artması gerekmektedir. Çevre bilincinin temelinde çevreye zarar vermeyen teknolojilerin tercih edilmesi vardır. Enerji üretiminde artık ekonomik analizin yapılması yeterli olmamaktadır, sosyal ve çevresel maliyetlerin de hesaplanması gerekmektedir. Çevresel ve sosyal maliyetlerin de eklendiği bir hesaplama yöntemi daha adil olacaktır. Ekonomik, çevresel ve sosyal maliyetlerin bir arada olduğu hesaplama yönteminde yenilenebilir enerji kaynakları daha cazip hale gelecektir.

TEŞEKKÜR

Yazarların teşekkür edeceği herhangi bir kişi veya kuruluş bulunmamaktadır.

KAYNAKÇA

- [1] Cengiz, M. S. ve Mamiş, M. S. (2016). Termal güneş enerjisi kullanımı ve CSP sistemlerin verimlilik analizi, BEÜ Fen Bilimleri Dergisi 5(1), 1-13.
- [2] Polomarkaki, S. (2019). Study of concentrating solar power (CSP) station and simulation using software, Unpublished Diploma Thesis, Technical University of Crete, School of Electrical and Computer Engineering (ECE), Chania, Greece.
- [3] REN21. (2022, 27 Ekim). Renewables 2022 global status report, Erişim Adresi: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2022_Full_Report.pdf
- [4] Livatyalı, H. (2022, 27 Ekim). Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi Teknolojileri. Erişim Adresi: http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/c21ec3eb17542d5_ek.pdf
- [5] Cebeci, S. (2017). Türkiye’de güneş enerjisinden elektrik üretim potansiyelinin değerlendirilmesi, Uzmanlık Tezi (Yayın No:2977), T. C. Kalkınma Bakanlığı, Ankara.
- [6] SolarPACES. (2022, 27 Ekim). CSP projects around the world. Erişim Adresi: <https://www.solarpaces.org/csp-technologies/csp-projects-around-the-world/>
- [7] SolarPACES. (2022, 27 Ekim). Solar thermal electricity global outlook 2016. Greenpeace International, ESTELA ve IEA SolarPACES 4th Joint Report. Erişim Adresi: http://www.solarpaces.org/wp-content/uploads/gp-estela-solarpaces_solar-thermal-electricity-global-outlook-2016_full-report.pdf
- [8] The U.S.A. Department of Energy (USDOE), (2022, 27 Ekim). Ivanpah Project. Erişim Adresi: <https://www.energy.gov/lpo/ivanpah>
- [9] Coventry, J. and Andraka, C. (2017). Dish systems for CSP. Solar Energy. 152, 140-170.
- [10] Islam, M. T., Huda, N., Abdullah, A. B. and Saidur, R. (2018). A comprehensive review of state-of-the-art concentrating solar power (CSP) technologies: Current status and research trends. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 91, 987-1018.
- [11] Affandi, R. B., Gan, C. K. and Ab Ghani, M. R. (2015). Performance comparison for parabolic dish concentrating solar power in high level DNI locations with George Town, Malaysia. Applied Mechanics and Materials, 699, 570-576.
- [12] Suman, S., Khan, M. K. And Pathak, M. (2015). Performance enhancement of solar collectors— A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 49, 192-210.

- [13] Kumar, L., Hasanuzzaman, M. and Rahim, N. A. (2019). Global advancement of solar thermal energy technologies for industrial process heat and its future prospects: A review. *Energy Conversion and Management*, 195, 885-908.
- [14] Kaygusuz, K. (2011). Prospect of concentrating solar power in Turkey: the sustainable future. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1), 808-814.
- [15] Umar, A. B., Gupta, M. and Buddhi, D. B. (2020). Concentrated solar thermal power technologies: a review. *Journal of Critical Reviews*, 7 (19), 8162-8184.
- [16] Pandey, A., Pandey, P. and Tumuluru, J. S. (2022). Solar energy production in India and commonly used technologies—an overview. *Energies*, 15(500), 1-26.
- [17] T. C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2014, Aralık). Türkiye Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı, Erişim Adresi: http://www.eie.gov.tr/duyurular_haberler/document/Turkiye_Ulusal_Yenilenebilir_Enerji_Eylem_Planı.PDF
- [18] T. C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2022, 27 Ekim). Güneş yatırımcıları için YEKA rehberi, Erişim Adresi: <http://www.kalienerji.com/uploads/dokuman/Gunes-yatirimcileri-icin-yeka-rehberi.pdf>
- [19] 5346 sayılı yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımına ilişkin kanun. (2005, 10 Mayıs). *Resmî Gazete* (Sayı: 25819). Erişim Adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2005/05/20050518-1.htm>
- [20] 6094 sayılı yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımına ilişkin kanunda değişiklik yapılmasına dair kanun. (2010, 29 Aralık). *Resmî Gazete* (Sayı: 27809). Erişim Adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2011/01/20110108-3.htm>
- [21] T. C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu. (2022, 27 Ekim). Yenilenebilir enerji kaynakları destekleme mekanizması (YEKDEM). Erişim Adresi: <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-0-122/yenilenebilir-enerji-kaynaklari-destekleme-mekanizmasi-yekdem>
- [22] 3453 Sayılı Cumhurbaşkanı Kararı. (2021, 29 Ocak). *Resmî Gazete* (Sayı: 31380). Erişim Adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2021/01/20210130-9.pdf>
- [23] Yenilenebilir enerji kaynak alanları yönetmeliği. (2016, 9 Ekim). *Resmî Gazete* (Sayı: 29852). Erişim Adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2016/10/20161009-1.htm>
- [24] Yılsan Holding. (2022, 27 Ekim). Greenway CSP solar tower, Erişim Adresi: <http://yilsanholding.com/tr-TR/greenway/313608>
- [25] SOLARGIS. (2022, 27 Ekim). Solar resource maps of Europe, Erişim Adresi: <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/europe>



ARAŞTIRMA MAKALESİ (Research Article)

**ÇELİK KOLONLARDAN VE BETON DOLGULU ÇELİK TÜP KOLONLARDAN OLUŞAN
CERÇEVELERİN SAYISAL KARŞILAŞTIRILMASI**

Emre BAŞ¹, Mustafa Halûk SARAÇOĞLU^{2*}, Fethullah USLU³

¹Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 43100, Kütahya, emrebas9292@gmail.com, ORCID: 0000-0003-3188-8965

^{2*}Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 43100, Kütahya, mhaluk.saracoglu@dpu.edu.tr, ORCID: 0000-0003-3842-5699

³Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 43100, Kütahya, fethullah.uslu@dpu.edu.tr, ORCID: 0000-0001-8057-5119

Geliş Tarihi(Received Date):17.01.2023

Kabul Tarihi(Accepted Date):07.03.2023

ÖZ

Bu çalışmada aynı kat planına sahip farklı yüksekliklerdeki çelik kolonlu ve içi beton doldurulmuş çelik tüp (BDÇT) kompozit kolonlu yapılar analiz edilerek yapı kat deplasmanları, taban kesme kuvvetleri ve yapı toplam ağırlıkları incelenmiştir. Çelik kolona eşdeğer kompozit kolonu tespit etmek için Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları 2018 (ÇYTHYE, 2018) yönetmeliğini esas alan bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Geliştirilen bilgisayar programı geliştirilmiş karşılıklı etki diyagramlarındaki kritik noktaların koordinatlarını da hesaplayabilmektedir. Çelik kolonlu yapılar AISC yönetmeliğine göre, ETABS 2019 programı kullanılarak analiz edilmiştir. Analizler sonucunda kolonlarda hesaplanan kritik kuvvetleri taşıyabilecek çelik profiller tespit edilmiş ve bu çelik kolon kesitlerine eşdeğer BDÇT kolonlar geliştirilen bilgisayar programı yardımıyla elde edilmiştir. Ayrıca yapı yüksekliği artırılarak 3, 6, 9 ve 15 katlı yapılar ele alınmış ve kat sayısının değişimi ile çelik ve kompozit kolonlu yapıların davranışları ortaya konulmuştur. Bu çalışmada incelenmiş olan 4 farklı yapı, çelik kolonlu ve kompozit kolonlu olarak ayrı ayrı analiz edilmiştir. Kompozit kolonlu yapıların, çelik kolonlu yapılara göre daha iyi performans gösterdiği belirlenmiştir. Sonuçlar tablo ve grafiklerle sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: *Beton Dolgulu Çelik Tüp Kolonlar, Kompozit, Kompozit Yapı Elemanları, Kompozit Yapıların Tasarımı*

**NUMERICAL COMPARISON OF FRAMES CONSISTING OF STEEL COLUMNS AND
CONCRETE FILLED STEEL TUBE COLUMNS**

ABSTRACT

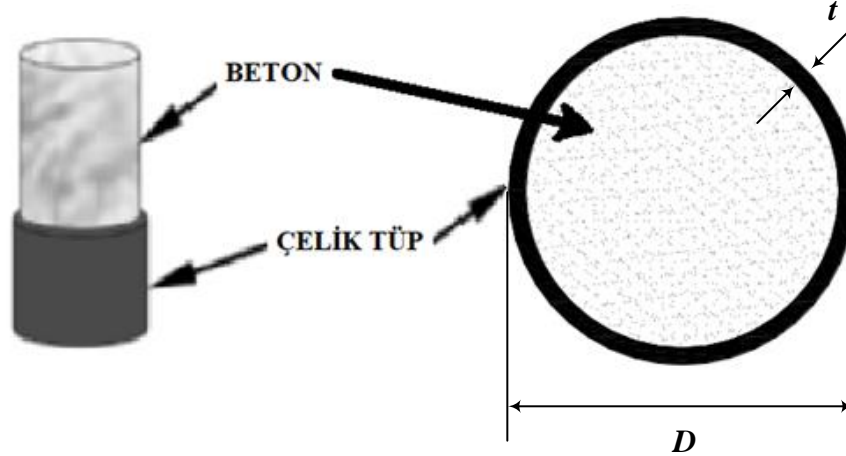
In this study, building floor displacements, base shear forces and total weights of the structure were investigated by analyzing the buildings with steel columns and concrete filled steel tube (CFST) composite columns with the same floor plan at different heights. In order to determine the composite column equivalent to the steel column, a computer program has been developed which is based on the

Regulation on the Design, Calculation and Construction Principles of Steel Structures (ÇYTHYE, 2018). The computer program can also calculate the coordinates of the critical points in the developed interaction diagrams. Steel column structures were analyzed according to AISC regulation using ETABS 2019 program. As a result of the analyses, steel profiles that can carry the calculated critical forces in the columns were determined and CFST columns equivalent to these steel column sections were obtained with the help of the developed computer program. Also by increasing the building height 3, 6, 9 and 15-storey buildings were considered and with the change of the number of floors behaviours of structures with steel and composite columns are presented. In this study, four different structures with steel columns and composite columns were analyzed separately. It has been determined that composite column structures perform better than steel column structures. The results were presented in tables and graphs.

Keywords: *Concrete Filled Steel Tube Columns, Composite, Composite Structural Elements, Design of Composite Structures*

1. GİRİŞ

Beton dolgulu çelik tüpler (BDÇT), inşaat ve işletme aşamaları sırasında geleneksel betonarme malzemesine göre birçok olumlu özellik göstermektedir. Geleneksel betonarme elemanların yerini alan bu yapı elemanları et kalınlığı t ve dış çapı D olan çelik tüplerin içerisine beton doldurularak imal edilirler (Şekil 1).



Şekil 1. Beton dolgulu çelik tüp elemanın perspektif ve kesit görüntüsü.

Bu tür yapılar; yüksek mukavemet, iyi süneklik ve dayanıklılık, yüksek yangın direnci, büyük enerji emme kapasitesi ve uygun inşa edilebilirlik özelliklerine sahiptirler. İnşaat aşamasında, BDÇT 'lerin çelik boruları, kalıp için harcanan zaman ve enerjinin büyük bir kısmını ortadan kaldırır ve betonun erken yaş aşamasında inşaat yüklerini destekler, bu da inşaat süresini, işçilik ve malzeme maliyetlerini önemli ölçüde azaltır ve inşaat verimliliğini artırır. Beton dolgulu çelik tüpler, elektrik şebekesi altyapıları, rüzgâr enerjisi kuleleri, köprü ayakları ve hafif öz ağırlık, yüksek eğilme rijitliği ve yüksek taşıma kapasitesi gerektiren diğer yapılarda kullanılırlar [1].

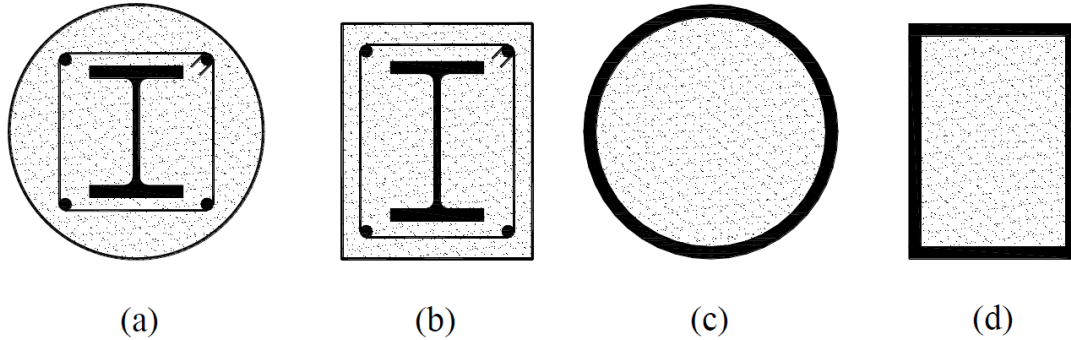
Üstünlüklerinden dolayı geniş ölçüde yararlanılan BDÇT'ler hakkında bugüne kadar pek çok çalışma yapılmıştır. Han vd. [1], yayınladıkları derleme çalışmalarında, özellikle Çin'deki çalışmaları dikkate alarak beton dolgulu çelik boru yapılar için en son gelişmeleri gözden geçirmişlerdir. Çeşitli ülkelerden tasarım yaklaşımlarını inceleyerek BDÇT'leri kullanan Çin'deki bazı pratik projeleri sunmuşlar ve bu elemanların gelişimine yönelik eğilimleri tartışmışlardır. Schneider [2], eksenel basınç altındaki BDÇT'lerin davranışını yaptığı deneysel ve analitik çalışmalarla ortaya koymuştur. Sakino vd. [3], uzun süreli araştırma projelerinde merkezi yüklü kısa kolonlar ile ilgili deneyler yapmışlardır. Yaptıkları deneyler sonucunda beton ile çelik tüpün yük altındaki davranışlarını incelemişler ve BDÇT kolonların yük-deformasyon ilişkisini ortaya koyacak yöntemleri üretmek istemişlerdir. Deneyler sonucunda elde ettikleri verileri kullanarak hem dairesel hem de kare kesitli BDÇT kolonlar için nihai eksenel basınç yük kapasitelerini tahmin eden tasarım formülleri önermişlerdir. Giakoumelis ve Lam [4], çeşitli beton dayanımlarına sahip BDÇT'lerin eksenel yük altındaki davranışını çalışmışlardır. Çelik boru kalınlığının, beton ile çelik boru arasındaki bağ kuvvetinin ve sargı donatısının etkilerini incelemişlerdir. Deney numunelerinden ölçülen kolon dayanımlarını Eurocode 4, Avustralya Standartları ve Amerikan Kodları gibi farklı yönetmelikler kullanarak hesapladıkları kolon dayanımları ile karşılaştırmışlardır. Hu vd. [5], eksenel kuvvet ve eğilme momentinin birlikte etkilediği beton dolgulu tüplerin sonlu eleman modellerini ortaya koyarak bu elemanların davranışını incelemişlerdir. Damar [6], yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında kompozit yapılarda taşıma gücünü araştırmıştır. Çalışmasında, kompozit kolonların ekonomik açıdan inşaat endüstrisinde yararlı olduğu sonucuna varmıştır. Patidar [7], BDÇT kolonların davranışını incelemek için çelik tüpün et kalınlığını ve betonun dayanımını değiştirerek sonlu elemanlar paket programı ile sayısal bir çalışma yapmıştır. Evirgen vd. [8], yaptıkları deneysel çalışmada eksenel yük altındaki BDÇT'lerin yapısal davranışını incelemişlerdir. Numunelerdeki genişlik/kalınlık oranı, betonun basınç dayanımı ve kesit parametrelerinin geometrik şeklinin nihai yükler, eksenel gerilme, süneklik ve burkulma davranışı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Essopjee ve Dundu [9], yaptıkları deneysel çalışmada BDÇT'lerin basınç altındaki performansını araştırmışlardır. Çelik boruların uzunluklarını, çaplarını ve dayanımlarını değiştirerek ve Güney Afrika standardındaki (SANS 10162-1) ve Eurocode 4'teki (EN 1994-1-1) ilkeleri kullanıp BDÇT'lerin dayanımlarını tahmin etmek için yeni formüller geliştirmişlerdir. İnce vd. [10], yaptıkları çalışmalarında, kompozit elemanlar ve kompozit yapı sistemlerinin üstünlüklerini ve sakıncalarını, geçmişte yapılmış olan çalışmaları da irdeleyerek ortaya koymuş ve bu konuda bazı öneriler getirmişlerdir. Amini [11], yüksek lisans tez çalışmasında kompozit yapıların dinamik davranışlarını geleneksel yapılar ile karşılaştırmıştır. Tez çalışmasında beş ve on beş katlı aynı mimari projeye sahip yapıyı betonarme ve kompozit yapı elemanlarıyla modellemiştir. Abdulmaged ve Göğüş [12], farklı tasarım kodlarına göre BDÇT'lerin performans değerlendirmesine yönelik parametrik bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada; çelik tüpün çapı, et kalınlığı, akma gerilmesi ve betonun basınç dayanımı değişen parametreler olarak dikkate alınmış, Amerikan (ANSI/AISC360-16) ve Avrupa (Eurocode4-2004) standartları kullanılmıştır. Han vd. [13], 2019 yılında BDÇT'lerin tasarımı hakkında bir kitap yayınlamışlardır. Bölükbaşı [14], farklı kompozit kolon türlerinin Eurocode 4'e göre tasarımlarının örneklerle açıklanması konulu yüksek lisans tezi yazmıştır. Tez çalışmasında iki farklı kompozit kolon tipinin Eurocode4'e göre tasarımı anlatılmıştır. Uslu vd. [15], yayınladıkları makalede eksenel yük ve moment etkisi altındaki çelik gömme kompozit kolonların dayanımları ve sünekliklerini incelemişlerdir. Çalışmalarında bir çelik yapı üzerinden kesit tesirlerini alarak eşdeğer bir kompozit kolon tasarlamışlar ve bu kolona ait analizler yaparak süneklik ve dayanım özelliklerini değerlendirmişlerdir. Taşkın ve Uslu [16], yayınladıkları araştırma makalesinde çelik gömmeli kompozit kolonların sonlu elemanlar analizi ile sayısal karşılaştırılmasını yapmışlardır. Çalışmalarında oluşturdukları modeller ile doğrusal olmayan analizler yapmışlardır. Yapılan

analizlerden elde edilen değerler ile yönetmeliklerden elde edilen değerleri kıyaslamışlar ve çelik gömmeli kesitlerde kullanılan çelik profilin taşıma kapasitesini araştırmışlardır. İpek ve Güneyisi [17], çalışmalarında BDÇT kolonlarının nihai eksenel dayanımını mevcut kare ve dairesel kesit tabanlı kod formüllerini kullanarak tahmin etmişlerdir. Manikandan ve Umarani [18], çalışmalarında deneysel ve teorik bir yaklaşımla, farklı tipteki beton dolgu çeşitleri ile BDÇT'lerin performansını incelemişlerdir. Lu vd. [19], yaptıkları çalışmada ön yük oranı, narinlik oranı, yük eksantrikliği ve profilli çeliğin kesit boyutu gibi farklı parametrelerin BDÇT kolonlarının nihai mukavemeti üzerindeki etkisini analiz etmişlerdir. Ayrıca çalışmalarında ön yüklü BDÇT elemanların basınç ve eğilme altındaki nihai mukavemetini hesaplamak için bir tasarım formülü önermişlerdir. Wang vd. [20], yayınladıkları çalışmalarında eksenel kuvvet altındaki BDÇT elemanların basınç dayanımını inceleyen çalışmaları derlemişlerdir. Baş [21], yazmış olduğu yüksek lisans tezinde çelik kolonlu ve içi beton doldurulmuş çelik tüp kompozit kolonlu yapıların karşılaştırmalı tasarımını yapmıştır. Çalışmasında aynı döşeme ve kirislere sahip yapılarda çelik kolon ve BDÇT kolon kullanarak sonuçları kıyaslamıştır.

Bu çalışmada aynı kat planına sahip farklı yüksekliklerdeki çelik kolonlu ve BDÇT kolonlu yapılar analiz edilerek yapı kat deplasmanları, taban kesme kuvvetleri ve yapı toplam ağırlığı incelenmiştir. Kıyaslama yapabilmek için kompozit kolonlu yapılarda çelik kolonlu yapılardan elde edilen kritik yükleri taşıyabilecek eşdeğer BDÇT kolonlar kullanılmıştır.

2. MATERYAL ve METOD

Yapısal çelik ve betonarmenin birlikte kullanılması ile oluşturulan kompozit yapı elemanlarının tasarımı ile ilgili kurallar ÇYTHYE, 2018'de verilmiştir [22]. Bu kompozit yapı elemanlarından çelik gömme kompozit elemanlar Şekil 2 a ve b 'de, beton dolgulu kompozit elemanlar ise Şekil 2 c ve d 'de gösterilmektedir.



Şekil 2. Tipik kompozit kolonlar [22].

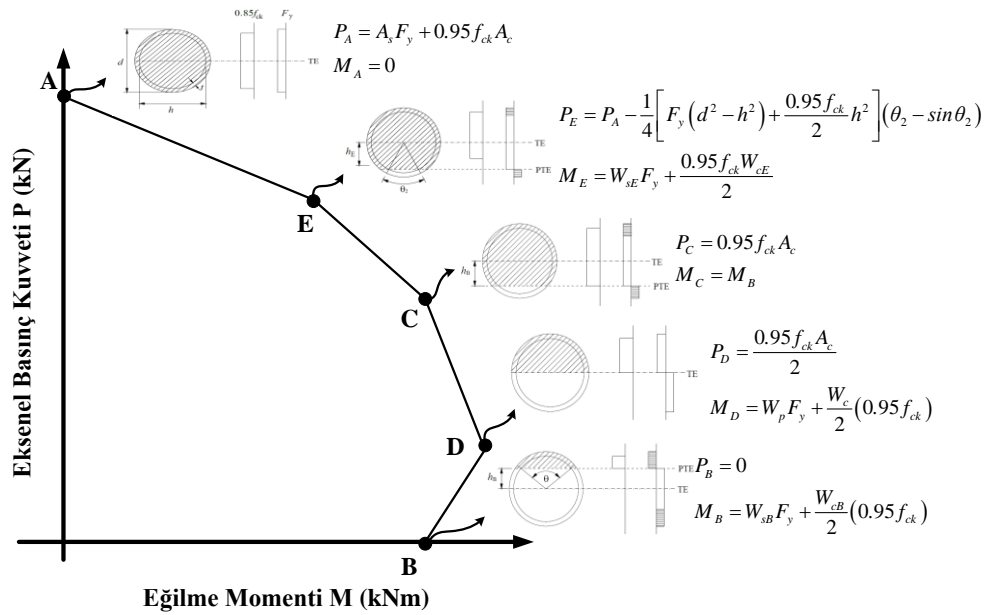
Bu çalışma kapsamında incelenen kompozit kolonlar Şekil 2 c'de gösterilen beton dolgulu dairesel çelik tüp kesitli kolonlardır. Delphi programlama dilinde kod yazılarak Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları (ÇYTHYE) 2018'i esas alan ve çelik kolona eşdeğer kompozit kolonu tespit eden bir bilgisayar programı geliştirilmiştir [22], [23].

Geliştirilen program; en çok zorlanan çelik kolonlardan elde edilmiş olan eksenel kuvvet ve moment değerlerini veri olarak alıp yönetmeliğin şartlarına uygun geometrideki (D , t) ve malzeme özelliklerindeki (f_{ck} , F_y) farklı BDÇT kesitlerini listelemektedir.

Aynı zamanda çalışmada incelenen örnekler için ÇYTHYE 2018 [22] yönetmeliğinde verilen karşılıklı etki diyagramındaki A, E, C, D ve B noktalarının koordinatları da hesaplanmaktadır.

ÇYTHYE 2018 Tablo 12.5'te verilen ifadeler kullanılarak hesaplanan A, E, C, D ve B noktalarının eğilme momenti ve eksenel basınç kuvveti değerleri kullanılarak Şekil 3'te gösterilen geliştirilmiş karşılıklı etki diyagramları oluşturulabilmektedir [22].

Şekil 3'te gösterilen geliştirilmiş karşılıklı etki diyagramında yer alan A, E, C, D ve B noktalarının W_c ve W_p ifadeleri sırasıyla beton ve çelik kesitlerine ait plastik mukavemet momentleridir. W_{cE} , W_{sE} , W_{cB} ve W_{sB} ise Şekil 3'te gösterildiği gibi E ve B noktalarındaki h_n bölgesi içindeki beton ve çelik kesitine ait plastik mukavemet momentlerini ifade etmektedir.



Şekil 3. BDÇT elemanlar için geliştirilmiş karşılıklı etki diyagramı [22].

Bileşik eğilme altında beton dolgululu boru enkesitli kompozit kolonun basınç tasarım dayanımları ÇYTHYE 2018 yönetmeliğinde Denklem 1-14'te verilen eşitlikler ile hesaplanmaktadır [15], [16], [21], [22].

$$P_{no} = F_y A_s + F_{ysr} A_{sr} + 0,85 f_{ck} A_c \quad (1)$$

$$P_e = \frac{\pi^2 (EI)_e}{(L_c)^2} \quad (2)$$

$$(a) \frac{P_{no}}{P_e} \leq 2,25 \quad \text{için} \quad P_n = P_{no} \left[0,658 \frac{P_{no}}{P_e} \right] \quad (3)$$

$$(b) \frac{P_{no}}{P_e} > 2,25 \quad \text{için} \quad P_n = 0,877 P_e \quad (4)$$

$$(EI)_e = E_s I_s + E_{sr} I_{sr} + C_1 E_c I_c \quad (5)$$

$$C_1 = 0,25 + 3 \left(\frac{A_s + A_{sr}}{A_g} \right) \leq 0,7 \quad (6)$$

Beton dolgulu kompozit elemanlar için tasarım basınç dayanımı;

(a) Kompakt enkesitler için

$$P_{no} = P_p \quad (7)$$

$$P_p = F_y A_s + C_2 f_{ck} \left(A_c + A_{sr} \frac{E_{sr}}{E_c} \right) \quad (8)$$

C_2 katsayısı boru enkesitler için 0,95 alınmaktadır.

(b) Kompakt olmayan enkesitler için

$$P_{no} = P_p - \frac{(\lambda - \lambda_p)^2}{(\lambda_r - \lambda_p)^2} (P_p - P_y) \quad (9)$$

$$P_y = F_y A_s + 0,7 f_{ck} \left(A_c + A_{sr} \frac{E_{sr}}{E_c} \right) \quad (10)$$

Denklem 9'da geçen P_p büyüklüğü Denklem 8 ile hesaplanacaktır.

(c) Narin enkesitler için

$$P_{no} = F_{cr} A_s + 0,7 f_{ck} \left(A_c + A_{sr} \frac{E_{sr}}{E_c} \right) \quad (11)$$

$$F_{cr} = \frac{0,72 F_y}{\left[\left(\frac{D}{t} \right) \frac{F_y}{E_s} \right]^{0,2}} \quad (12)$$

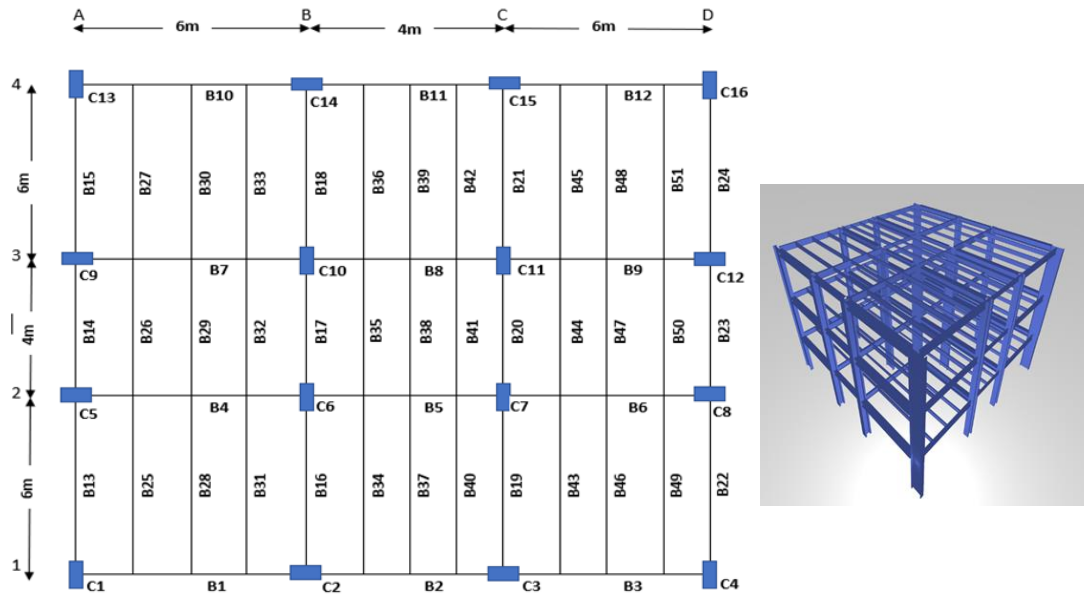
Boru ve kutu enkesitli tüm beton dolgulu kompozit elemanların etkin eğilme rijitliği Denklem 13-14'te verilen eşitlikler ile çözülmektedir.

$$(EI)_e = E_s I_s + E_{sr} I_{sr} + C_3 E_c I_c \quad (13)$$

$$C_3 = 0,45 + 3 \left(\frac{A_s + A_{sr}}{A_g} \right) \leq 0,9 \quad (14)$$

3. SAYISAL ÖRNEKLER

Örnek problemlerin tasarımı American Institute of Steel Construction (AISC) yönetmeliğine göre, ETABS 2019 programı kullanılarak yapılmıştır [24], [25]. Ele alınan örnek yapılar Kütahya ilinin merkezinde bir alanda yapılacağı varsayılan hastane yapılarıdır. Tüm yapılar Şekil 4'te gösterilen aynı kat planına sahiptirler. Tüm yapılarda kat yükseklikleri 4 m olup, yapıların ana taşıyıcı kirişleri çelik kiriş, döşemeleri ise kompozit döşeme şeklinde seçilmiştir. Kat sayısı 3, 6, 9 ve 15 katlı olan 4 farklı yapı çelik kolonlu ve kompozit kolonlu olarak ayrı ayrı analiz edilmiştir.



Şekil 4. Kat planı ve örnek perspektif görüntüsü.

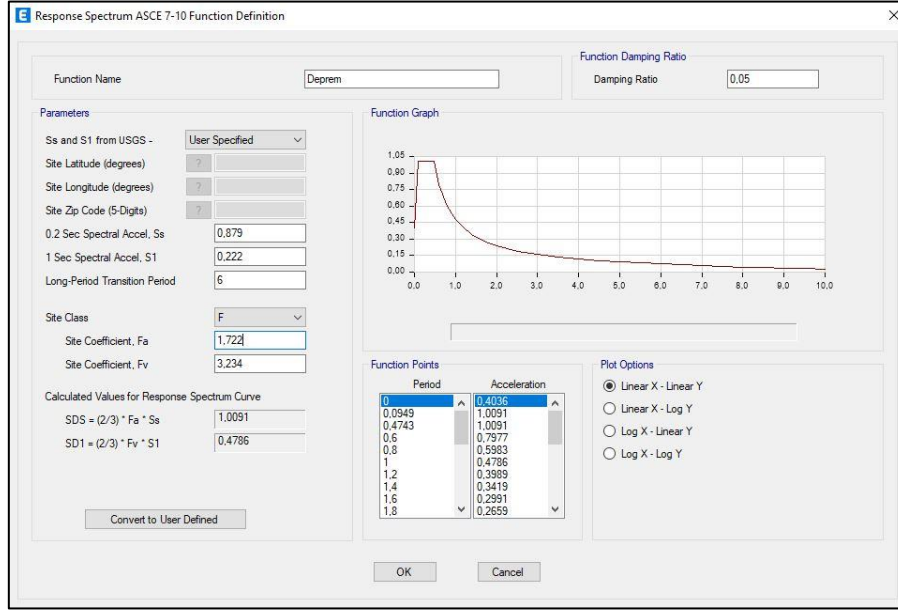
Analizlerde dikkate alınan zati, hareketli ve deprem yükleri ile bu yüklerden oluşturulan yük kombinasyonları ilgili yönetmeliklere uygun olarak hesaplanmıştır.

Hareketli yük hesabında, yapı hastane olarak düşünüldüğünden dolayı TS 498- Betonarme Elemanların Boyutlandırılmasında Alınacak Yükler Çizelge 7'de belirtildiği üzere yapı kat döşemelerinde hareketli yük 5 kN/m^2 , çatı katında ise hareketli yük $1,5 \text{ kN/m}^2$ olarak hesaba katılmıştır [26].

Zati yüklerin hesabında TS ISO 9194-Yapıların Projelendirilme Esasları-Taşıyıcı Olan ve Olmayan Elemanlar Depolanmış Malzemeler-Yoğunluk standardında bulunan taşıyıcı olan veya olmayan elemanların yoğunlukları adlı ekten gerekli bilgiler alınıp hesaplamalar yapılmıştır. Duvar yükü 25 cm gaz beton için iç-dış sıva ile beraber $9,625 \text{ kN/m}^2$ ve döşeme yükü 2 cm mermer, 5 cm tesviye, 2 cm sıva ile $2,04 \text{ kN/m}^2$ olarak hesaplanmıştır [27].

Deprem yükü ile ilgili olarak AFAD kurumunun Türkiye deprem tehlike haritalarından elde edilen raporu kullanılmıştır. Buna göre zemin sınıfı ve deprem yer hareketi düzeyi, seçilen bölgeyle ilgili

depremin periyoduna bağlı olarak ivme grafiği oluşturulmuş ve ETABS programına tanımlanmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Deprem hareketinin detayları.

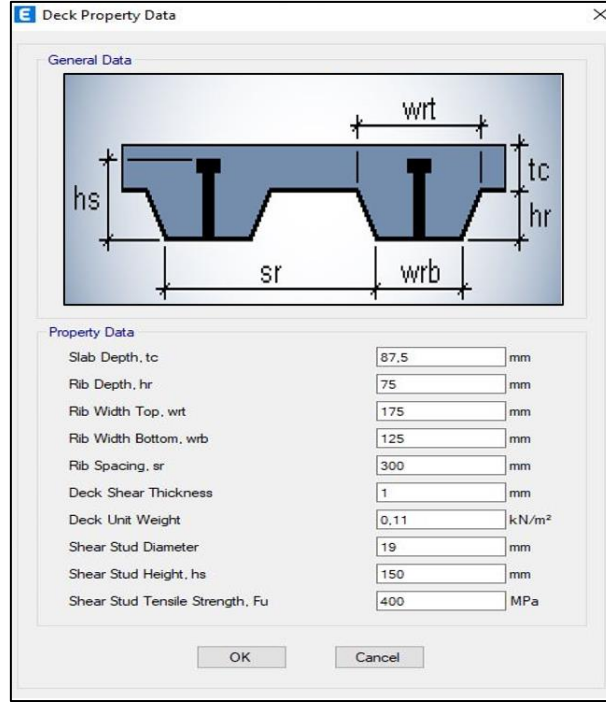
Gerekli yük kombinasyonları çelik yapıların tasarım, hesap ve yapım esaslarına dair yönetmelikten alınmıştır [22]. Ayrıca taşıyıcı sistem elemanlarının tasarımında esas alınmak üzere, deprem etkisini içeren yük birleşimleri Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) 2018 4.4.4. maddesi gereğince düzenlenmiştir [28].

Ana taşıyıcı kirişler ve tali kirişler için çelik I profilleri seçilmiştir. Kompozit döşeme altında kullanılan tali kirişler y yönüne paralel olarak 6 m açıklıkta 1,5 m aralıklarla, 4 m açıklıkta ise 1 m aralıklarla olacak şekilde tasarlanmıştır. Şekil 4'te gösterilmiş olan kat planındaki kiriş numaralarına göre kiriş kesitleri Çizelge 1'de yer almaktadır.

Çizelge 1. Ana taşıyıcı ve tali kirişler.

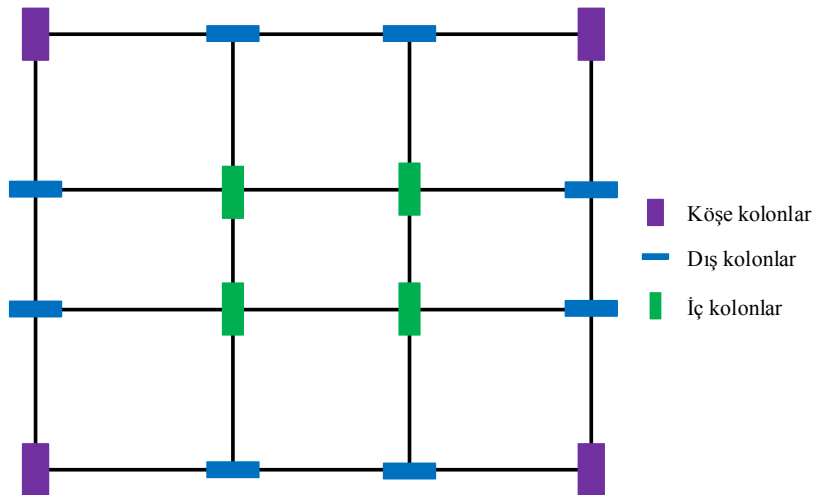
| Kiriş Kesitleri | Kiriş Tipi | Kiriş No |
|-----------------|--------------|--|
| W 10x68 | Ana Taşıyıcı | 17, 20 |
| W 12x22 | Ana Taşıyıcı | 2, 5, 8, 11 |
| W 12x96 | Ana Taşıyıcı | 14, 23 |
| W 18x35 | Ana Taşıyıcı | 1, 3, 4, 6, 7, 9, 10, 12 |
| W 14x370 | Ana Taşıyıcı | 13, 15, 16, 18, 19, 21, 22, 24 |
| W 6x8,5 | Tali | 35, 38, 41 |
| W 8x10 | Tali | 26, 29, 32, 44, 47, 50 |
| W 10x12 | Tali | 34, 36, 37, 39, 40, 42 |
| W 12x16 | Tali | 25, 27, 28, 30, 31, 33, 43, 45, 46, 48, 49, 51 |

Döşeme sacın en kesiti ve ETABS programındaki veri girişi Şekil 6’da gösterilmektedir [21], [24].



Şekil 6. Döşeme sacın en kesiti.

Örneklerde kolonlar her katta aynı kesite sahip olarak tasarlanmıştır. Ayrıca Şekil 7’de gösterildiği gibi köşe kolonlar, dış kolonlar ve iç kolonlar olmak üzere üç farklı grupta düzenlenmiştir.



Şekil 7. Kolon gruplarının kalıp planındaki konumları.

Şekil 4'te gösterilmiş olan kat planındaki kolon numaralarına göre kolon grupları Çizelge 2'de yer almaktadır.

Çizelge 2. Kolon grupları.

| Kolon Kesitleri | Kolon No |
|-----------------|---------------------------|
| Dış kolonlar | 2, 3, 5, 8, 9, 12, 14, 15 |
| İç kolonlar | 6, 7, 10, 11 |
| Köşe kolonlar | 1, 4, 13, 16 |

Çelik kolonlar I profil olarak tasarlanmıştır. Kat sayısı farklı olan 4 ayrı problem için ETABS programından elde edilen her gruptaki kolon kesitleri Çizelge 3'te verilmektedir.

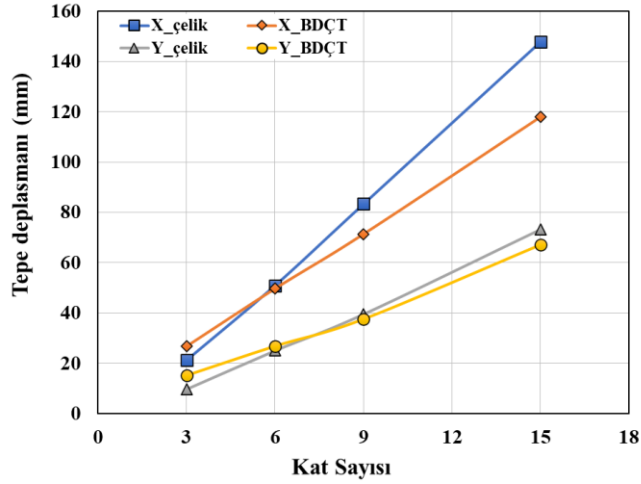
Analiz sonucunda kolonlarda hesaplanan kritik kuvvetleri taşıyabilecek çelik profiller tespit edilmiştir. Tespit edilen bu çelik kolon kesitlerine eşdeğer BDÇT kolonlar geliştirilen bilgisayar programı yardımıyla elde edilmiştir. Yapılarda kullanılan kompozit kolonların kesit özellikleri Çizelge 3'te verilmektedir.

Çizelge 3. Yapılarda kullanılan çelik ve kompozit kolonların kesit özellikleri.

| Kolon Kesitleri | Kat Sayısı | Çelik Kolon | Kompozit Kolon | | | |
|-----------------|------------|-------------|----------------|----------|-------------------------------|----------------------------|
| | | | D (mm) | t (mm) | f_{ck} (N/mm ²) | F_y (N/mm ²) |
| İç kolonlar | 3 | W 36x231 | 356 | 8 | 30 | 355 |
| | 6 | W36x247 | 457 | 10 | 30 | 355 |
| | 9 | W40x249 | 559 | 12 | 30 | 355 |
| | 15 | W1000x438 | 635 | 14 | 30 | 355 |
| Dış kolonlar | 3 | W 14x730 | 356 | 8 | 30 | 355 |
| | 6 | W14x730 | 432 | 10 | 30 | 355 |
| | 9 | W14x730 | 483 | 11 | 30 | 355 |
| | 15 | W360x1086 | 610 | 14 | 30 | 355 |
| Köşe kolonlar | 3 | W 40x183 | 356 | 8 | 30 | 355 |
| | 6 | W33x221 | 356 | 8 | 30 | 355 |
| | 9 | W40x235 | 406 | 9 | 30 | 355 |
| | 15 | W1000x371 | 457 | 10 | 30 | 355 |

Çizelge 3'te geçen t çelik boru profilin et kalınlığını, D çelik boru profilin çapını, f_{ck} beton basınç dayanımını ve F_y çelik akma dayanımını göstermektedir.

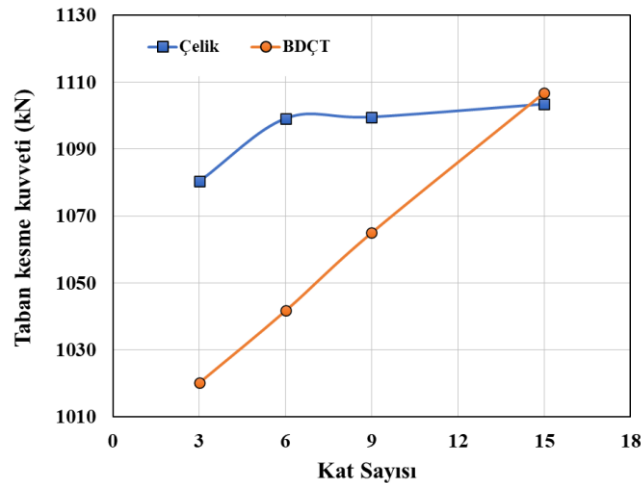
ETABS programı kullanılarak yapılan analizler sonucunda elde edilen yapı kat deplasmanları X yönünde ve Y yönünde farklıdır. Yapılarda oluşan tepe deplasmanları Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 8. Yapılarda oluşan tepe deplasmanları.

Şekil 8'deki gibi, BDÇT kolonlu ve çelik kolonlu yapılara ait tepe deplasmanları incelendiğinde bina kat sayısının artması ile birlikte tepe deplasmanlarının arttığı görülmektedir. Bunun nedeni, kompozit kolonun eğilme rijitliğinin çelik kolonun eğilme rijitliğine göre daha fazla olmasıdır. Yüksekliği 3 katlı olan yapılarda BDÇT kolonlu yapılardaki tepe deplasmanları çelik kolonlu yapılardaki tepe deplasmanlarından daha fazladır. Ancak yüksekliği 6 kattan fazla olan yapılarda BDÇT kolonlu yapıların tepe deplasmanları çelik kolonlu yapılarınkine göre daha düşük hesaplanmıştır.

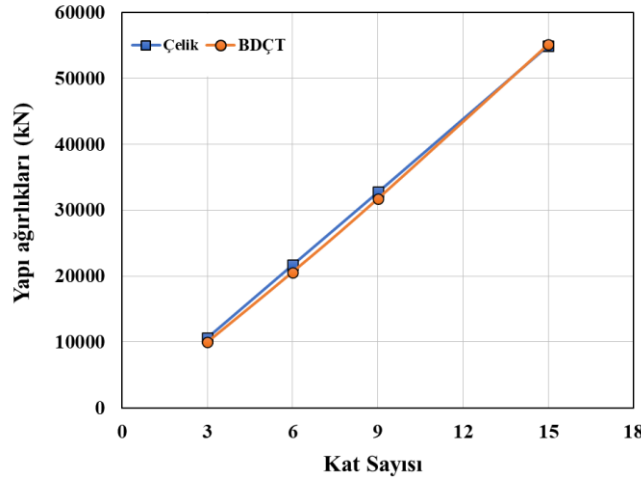
Tasarımı yapılan yapıların planda simetrik olmasından dolayı x ve y yönlerinde oluşan taban kesme kuvvetleri birbirine eşit hesaplanmıştır. Çelik kolonlu ve BDÇT kolonlu yapılara ait analizler sonucunda elde edilen kombinasyonlara göre x ve y yönlerine ait mutlak değerce en büyük taban kesme kuvvetleri Şekil 9'da gösterilmektedir.



Şekil 9. Yapılarda oluşan taban kesme kuvvetleri.

Şekil 9'dan görüleceği gibi BDÇT kolonlu yapılardaki taban kesme kuvvetleri çelik kolonlu yapılardakilerden daha az hesaplanmıştır. Aradaki fark yapı yüksekliği arttıkça azalmaktadır. Taban kesme kuvveti yapının ilgili doğrultudaki doğal titreşim periyoduna, ağırlığına, etkin yer ivme katsayısına, yapı önem katsayısına, spektrum katsayısına ve deprem yükü azaltma katsayısına bağlı olarak hesaplanmaktadır. Bu çalışmada incelenen çelik kolonlu ve BDÇT kolonlu yapıların kat planları aynı olmasına rağmen ağırlıkları farklıdır. Bu nedenle, BDÇT kolonlu 3 katlı yapının taban kesme kuvveti çelik yapının taban kesme kuvvetine göre %5.6 daha az iken bu yüzde kat sayısı arttıkça azalarak 6 katlı yapıda %5.2 ve 9 katlı yapıda %3.1 olarak hesaplanmıştır. BDÇT kolonlu 15 katlı yapının taban kesme kuvveti ise çelik yapının taban kesme kuvvetine göre %0.3 daha fazla olarak hesaplanmıştır.

TBDY 2018'e göre hareketli yük katılım katsayısı 0,3 kullanılarak hesaplanan yapıların toplam ağırlıkları (G+0,3Q) Şekil 10'da gösterilmektedir.



Şekil 10. Yapılara ait toplam ağırlıklar.

Şekil 10'da görüldüğü gibi, yapıların toplam ağırlıklarının değişiminde taban kesme kuvvetlerine benzer bir durum oluşmuştur. Kompozit kolonlar içi beton doldurulmuş çelik tüp kolonlar olduğu için ağırlık hesabında hem beton hem de çelik ağırlıkları etkili olmuştur. Ayrıca, çelik tüplerin çapları ve et kalınlıkları ağırlık hesabında etkili bir parametredir. Bu nedenle, BDÇT kolonlu 3 katlı yapı ağırlığı çelik yapı ağırlığına göre %6.8 daha az iken bu yüzde kat sayısı arttıkça azalarak 6 katlı yapıda %5.3 ve 9 katlı yapıda %3.2 olarak hesaplanmıştır. BDÇT kolonlu 15 katlı yapı ağırlığı ise çelik yapı ağırlığına göre %0.3 daha fazla olarak hesaplanmıştır.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada aynı kat planına sahip çelik kolonlu ve kompozit kolonlu yapılar analiz edilmiştir. Yapılarda döşemeler, ana kirişler ve tali kirişler aynı alınarak kolon türlerinin değişiminin yapılarda oluşan tepe deplasmanlarına, taban kesme kuvvetlerine ve yapılara ait toplam ağırlıklara etkisi incelenmiştir. Ayrıca yapı yüksekliği artırılarak 3, 6, 9 ve 15 katlı yapılar ele alınmış ve kat sayısının

değişimi ile çelik ve kompozit kolonlu yapıların davranışları ortaya konulmuştur. İncelenen kompozit kolonlar beton dolgululu çelik tüp kesitli kolonlardır.

Yapılarda oluşan tepe deplasmanları kat sayısı arttıkça artmaktadır. BDÇT kolonlu yapılarda çelik kolonlu yapılara göre daha düşük tepe deplasmanları hesaplanmıştır. Eğilme rijitliğinin bu davranışa etkisi vardır. İncelenen yapıların kat planları x ve y yönlerinde simetrik olarak seçilmiştir. Bu sebepten x ve y yönlerinde hesaplanan taban kesme kuvvetleri her iki yönde de birbirlerine eşittir. Çelik kolonlu ve kompozit kolonlu yapılarda oluşan taban kesme kuvvetlerinin mutlak değerce karşılaştırılmasında çelik kolonlu yapılarda daha fazla olduğu görülmüştür. Yapıların ağırlıkları ile ilgili yapılan kıyaslamada malzeme özelliklerinin yanında kesit boyutları da etkilidir. Çelik kolon için sadece çelik malzemesi dikkate alınırken, BDÇT kolon için beton malzemesi de hesaba katılmıştır. BDÇT kolonlarda çap ve et kalınlıkları ağırlık hesabında etkili olmuştur. Ağırlık ile ilgili karşılaştırma sonucunda da kompozit kolonların çelik kolonlu yapılara göre daha üstün olduğu görülmüştür. Yapı maliyeti seçilen kesitlerden oluşan yapının ağırlığı ile doğrudan ilişkilidir. Daha hafif olan yapının maliyeti de daha az olacaktır.

Bu çalışmada incelenmiş olan 3, 6, 9 ve 15 katlı yapıların kıyaslanmalarında da görüldüğü üzere özellikle daha yüksek yapılarda kompozit kolonlu yapıların deplasmanlar bakımından ve maliyet açısından çelik kolonlu yapılardan daha verimli olduğu tespit edilmiştir. Kat sayısı arttıkça maliyet farkının da artarak devam edeceği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKÇA

- [1] Han, L.H., Li, W. and Bjorhovde, R., (2014), Developments and Advanced Applications of Concrete-Filled Steel Tubular (CFST) Structures: Members, Journal of Constructional Steel Research, 100, 211–228.
- [2] Schneider, S.P., (1998), Axially Loaded Concrete-Filled Steel Tubes, Journal of Structural Engineering, 124(10), 1125–1138.
- [3] Sakino, K., Nakahara, H., Morino, S., and Nishiyama, I., (2004), Behavior of Centrally Loaded Concrete-Filled Steel-Tube Short Columns, Journal of Structural Engineering, 130(2), 180-188.
- [4] Giakoumelis, G., and Lam, D., (2004), Axial Capacity of Circular Concrete-Filled Tube Columns, Journal of Constructional Steel Research, 60(7), 1049-1068.
- [5] Hu, H.T., Huang, C.S., and Chen, Z.L., (2005), Finite Element Analysis of CFT Columns Subjected to an Axial Compressive Force and Bending Moment in Combination, Journal of Constructional Steel Research, 61(12), 1692–1712.
- [6] Damar, M. (2006). Kompozit Yapılarda Taşıma Gücü, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 75s.
- [7] Patidar, A.K., (2022), Behaviour of Concrete Filled Rectangular Steel Tube Column, IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering ,4(2), 46–52.

- [8] Evirgen, B., Tuncan, A., and Taskin, K., (2014), Structural Behavior of Concrete Filled Steel Tubular Sections (CFT/CFSt) Under Axial Compression, *Thin-Walled Structures*, 80, 46–56.
- [9] Essopjee, Y., and Dundu, M., (2015), Performance of Concrete-Filled Double-Skin Circular Tubes in Compression, *Composite Structures*, 133, 1276–1283.
- [10] İnce, G., İnce, H.H., ve Kaya, F., (2015), Kompozit Yapı Sistemlerinin İncelenmesi, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 6(1), 43–47.
- [11] Amini, H. (2018). Kompozit Yapıların Dinamik Davranışlarının Geleneksel Yapılar ile Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde, 75s.
- [12] Abdulmageed, M.T., and Göğüş, M.T., (2018), Parametric Study for Performance Evaluation of Concrete Filled Steel Composite Circular Members According to Design Codes, *European Journal of Science and Technology*, özel sayı, 62–64.
- [13] Han, L.H., Lam, D., and Nethercot, D.A. (2019). *Design Guide for Concrete-Filled Double Skin Steel Tubular Structures* (1st edition). Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis Group.
- [14] Bölükbaşı, E. (2020). Farklı Kompozit Kolon Türlerinin Eurocode 4'e göre Tasarımlarının Örneklerle Açıklanması, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Eskişehir, 116s.
- [15] Uslu, F., Taşkın, K., and Saraçoğlu, M.H., (2021), Strength and Ductility of Concrete Encased Composite Columns Under Axial Force and Moment, *Journal of the Institute of Science and Technology*, 11(1), 333–344.
- [16] Taşkın, K., and Uslu, F., (2021), Çelik Gömmeli Kompozit Kolonların Sonlu Elemanlar Analizi ile Sayısal Karşılaştırılması, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 9(3), 81–95.
- [17] İpek, S., and Güneyisi, E.M., (2021), Comparison of The Predictability of the Ultimate Axial Strength of Elliptical Cfst Columns Using Existing Square and Circular Section-Based Code Formulae, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 6(1), 12–27.
- [18] Manikandan, K.B., and Umarani, C., (2021), Understandings on the Performance of Concrete-Filled Steel Tube with Different Kinds of Concrete Infill, *Advances in Civil Engineering*.
- [19] Jia, Z.L., Shi, Y.L., Wang, W., and Ji, S.H., (2022), Compression-Bending Behaviour of Steel-Reinforced Concrete-Filled Circular Steel Tubular Columns with Preload, *Structures*, 36, 892–911.
- [20] Wang, X., Fan, F., and Lai, J., (2021), Strength Behavior of Circular Concrete-Filled Steel Tube Stub Columns Under Axial Compression: A review, *Construction and Building Materials*, 322.
- [21] Baş, E. (2022). Çelik Kolonlu ve İçi Beton Doldurulmuş Çelik Tüp Kompozit Kolonlu Yapıların Karşılaştırmalı Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Kütahya, 88s.

- [22] ÇYTHYE, (2018). Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları, Ankara: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.
- [23] Demirli, N., and İnan, M.Y., (2003), DELPHI 7., Ankara: Prestige Education Center.
- [24] ETABS, (2019). CSI Analysis reference manual for ETABS, Computers and Structures Inc., Berkeley, California.
- [25] AISC (2016). American Institute of Steel Construction, Specification for Structural Steel Buildings, ANSI / AISC 360-16, American Institute of Steel Construction.
- [26] TS498, (1998). Betonarme Elemanların Boyutlandırılmasında Alınacak Yükler, Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.
- [27] TS ISO 9194, (1997). Yapıların Projelendirilme Esasları-Taşıyıcı Olan ve Olmayan Elemanlar Depolanmış Malzemeler-Yoğunluk, Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.
- [28] TBDY, (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Ankara: İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı.

SEMBOLLER

| | |
|-------------|--|
| A_c | : Betonun enkesit alanı |
| A_g | : Kompozit elemanın toplam enkesit alanı |
| A_s | : Çeliğin enkesit alanı |
| A_{sr} | : Boyuna donatı alanı |
| D | : Çelik tüp elemanının dış çapı |
| E_c | : Betonun elastisite modülü |
| E_s | : Çeliğin elastisite modülü |
| E_{sr} | : Beton çeliği elastisite modülü |
| f_{ck} | : Betonun dayanımı |
| F_{cr} | : Kritik burkulma gerilmesi |
| F_y | : Çeliğin akma dayanımı |
| F_{ysr} | : Beton çeliği karakteristik akma gerilmesi |
| I_c | : Betonun atalet momenti |
| I_s | : Çelik kesitin atalet momenti |
| I_{sr} | : Kompozit enkesitin elastik tarafsız eksenine göre donatı çubuklarının atalet momenti |
| L_c | : Eleman burkulma boyu |
| P_e | : Elastik burkulma yükü |
| P_n | : Karakteristik eksenel basınç kuvveti dayanımı |
| P_{no} | : Eksenel yük etkisindeki çift simetri eksenli kompozit eleman enkesitinin basınç kuvveti dayanımı |
| P_p | : Karakteristik ezilme dayanımı |
| P_y | : Akma sınır durumunda eksenel kuvvet dayanımı |
| t | : Çelik tüp elemanının et kalınlığı |
| λ | : Kutu veya boru enkesitin genişlik (çap) / kalınlık oranı |
| λ_p | : Kompakt elemanlar için narinlik sınır değeri |

λ_r : Kompakt olmayan eleman için narinlik sınır değeri



ARAŞTIRMA MAKALESİ (Research Article)

**KÜTAHYA DUMLUPINAR UNIVERSITY
3D VIRTUAL TOUR**

Murat GÖKKUŞ^{1*}, Soydan SERTTAŞ²

^{1*} Kütahya Dumlupınar University, Institute of Graduate Education, Department of Computer Engineering, Kütahya, gokkush@hotmail.com, ORCID: 0000-0002-2332-461X

² Kütahya Dumlupınar University, Engineering Faculty, Department of Computer Engineering, Kütahya, soydan.serttas@dpu.edu.tr, ORCID: 0000-0001-8887-8675

*Geliş Tarihi(Received Date):*22.02.2023

*Kabul Tarihi(Accepted Date):*04.02.2023

ABSTRACT

Virtual tours are tours that are used in place of real-world tours, conducted via computer, telephone, or other technology. These tours allow participants to see, explore and learn about the areas they are visiting virtually. Virtual tours can be used as a substitute for real world tours or as a complement to real world tours. Virtual tours offer advantages such as no transportation costs, no time and place limitations. In this thesis study, Evliya Çelebi campus of Kütahya Dumlupınar University was modeled in three dimensions and a virtual tour was carried out in the style of a game. Kütahya Dumlupınar University Evliya Çelebi campus is an important educational institution located in the city of Kütahya in western Turkey. The history of the university, the Seljuk architecture in its buildings and its cultural significance attract the attention of many people, such as students and parents. Therefore, a gamified three-dimensional virtual tour will help students, staff and other people explore the university. The application was designed using SketchUp to create a 3D model of Kütahya Dumlupınar University Evliya Çelebi campus. With the transfer of the model to Unity, the necessary elements were added for the preparation of an interactive virtual tour, audio characters that inform the users about the structures of the university during the virtual tour and student characters walking around during the tour were added to make them feel in the university environment. One of the most important features of the application is that it allows users to explore the university completely freely. Users can navigate the campus by walking, running or even flying with flight mode for a bird's eye view. This project, which was prepared in the Windows environment, can be made available for the application, IOS, Android and Web environments thanks to Unity's multi-platform support.

Keywords: *Virtual Tour, Campus Simulation, Unity, Sketchup*

**KÜTAHYA DUMLUPINAR ÜNİVERSİTESİ
3D SANAL TURU**

ÖZ

Sanal turlar, gerçek dünya turların yerine kullanılan, bilgisayar, telefon veya diğer teknolojiler aracılığıyla gerçekleştirilen turlardır. Bu turlar, katılımcıların sanal olarak gezdikleri alanları görme,

keşfetme ve bilgi edinmelerine olanak tanır. Gerçek dünya turların yerine kullanılabilirdiği gibi, gerçek dünya turlarının tamamlayıcısı olarak da kullanılabilir. Sanal turlar, ulaşım maliyetlerinin olmaması, zaman ve mekân sınırlamasının olmaması gibi avantajlar sunar. Bu tez çalışmasında Kütahya Dumlupınar Üniversitesinin Evliya Çelebi yerleşkesi üç boyutlu modellenerek içerisinde oyun tarzında bir sanal gezinti gerçekleştirilmiştir. Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Evliya Çelebi Yerleşkesi, Türkiye'nin batısındaki Kütahya şehrinde yer alan önemli bir eğitim kurumudur. Üniversitenin tarihi, binalarındaki Selçuklu mimarisi ve kültürel önemi, öğrenci ve veliler gibi birçok kişinin ilgisini çekmektedir. Bu nedenle, bir oyunlaştırılmış üç boyutlu sanal tur, öğrencilerin, personelin ve diğer insanların üniversiteyi keşfetmelerine yardımcı olacaktır. Uygulama, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Evliya Çelebi Yerleşkesi'nin 3D modelini oluşturmak için SketchUp kullanılarak tasarlanmıştır. Modelin daha sonra Unity'e aktarılması ile, interaktif bir sanal tur hazırlanması için gerekli öğeler eklenmiş, sanal tur boyunca kullanıcılara, üniversitenin yapıları hakkında bilgi veren sesli karakterler ile üniversite ortamında hissedilmesi için gezinti sırasında etrafta dolaşan öğrenci karakterleri eklenmiştir. Uygulamanın en önemli özelliklerinden biri, kullanıcıların üniversiteyi tamamen özgürce keşfetmelerine olanak tanmasıdır. Kullanıcılar, yürüyerek veya koşarak hatta kuşbakışı görmek için uçuş modu ile uçarak yerleşke içinde gezinebilirler. Windows ortamında hazırlanan bu proje Unity'nin çoklu platform desteği sayesinde uygulama, IOS, Android ve Web ortamları için de kullanılabilir hale dönüştürülebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: *Sanal Tur, Kampüs Simülasyonu, Birlik, Taslak*

1. INTRODUCTION

Universities are educational institutions, also called higher education, after secondary education, which are the dreams of students. They are especially distinguished institutions where the future lives of students are shaped and they are brought to life thanks to the education and training they receive.

According to the statistical data kept in our country, 634,664 high school graduates as a result of YKS placements and 51,582 high school graduates as a result of YKS additional placements were placed in higher education institutions and became university students (Figure 1).

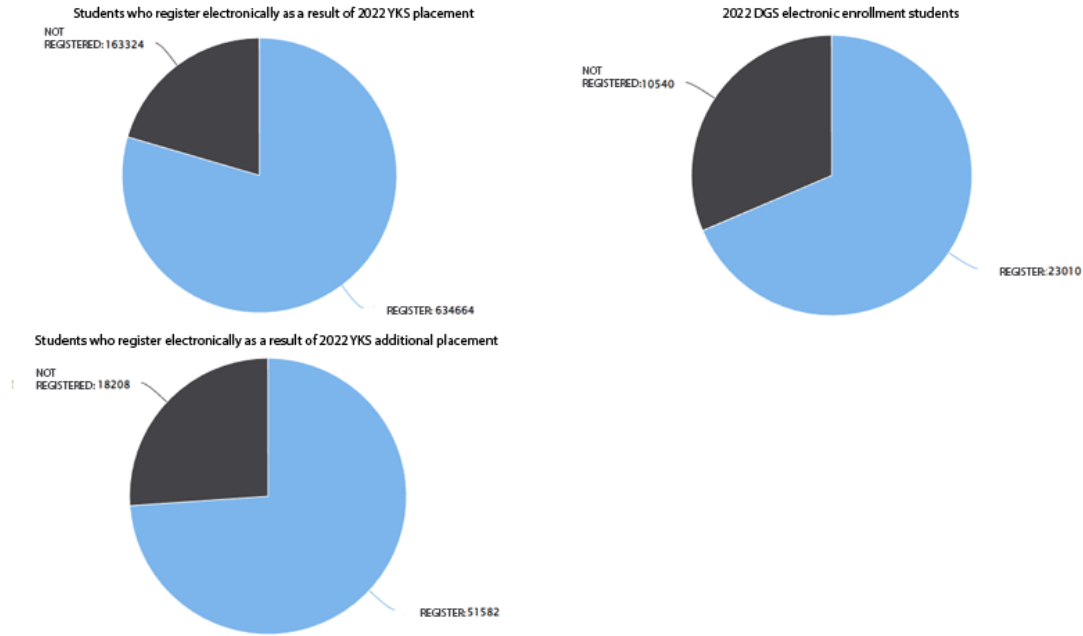


Figure 1. 2022 Higher education placement results[13].

Before settling in the university, students have great anxiety and excitement about which university they will choose. The size of the university campus, whether it has social activities or not, and even the differences in the faculty buildings play an important role in their preference.

While making these choices, students may have to go to a place they do not know and visit universities. This situation brings with it both a time and a financial burden. But; The fact that all universities have an interactive virtual tour application will eliminate the loss of time and money in their preferences, and it will be easier to get information about the university.

Evliya Çelebi campus of Kütahya Dumlupınar University is modeled in three dimensions, and users who want to see the university and get information about the university can create an interactive virtual tour. It is aimed to enable them to travel and see in the computer environment in the style of computer.

2. LITERATURE REVIEW

In order to shed light on the three-dimensional virtual tour application of Kütahya Dumlupınar University, studies in the fields of virtual tour and virtual campus have been researched. As a result of the literature review, similar studies to our application are as follows.

(Yılmaz, 2008)'s master's study titled "Creating a three-dimensional interactive virtual environment" examined the Sakarya University Esentepe campus, interaction experiments using the Multigen-Paradigm Creator program. For the interaction experiments, Vega LynX program was used, but it was emphasized that there were also software deficiencies[1].

In (Doker & Kirlançoğlu, 2018)'s research titled "Introducing cultural heritage through the Virtual Museum Platform, Hagia Sophia Study", the Hagia Sophia Museum is modeled and textured with three-dimensional modeling software and high-resolution photographs, and its surroundings are modeled by removing the triangulated irregular network. They emphasized that the Unity game engine was used for the tour. They also explained that users were able to navigate freely throughout the project and learn about the details. However, it is understood that the navigation is only provided by viewing the interior and exterior of the building without interaction and obtaining information. In addition, the researchers concluded that the three-dimensional virtual museum study can be an alternative to the traditional type in order to reach more people on a national and global scale[6].

(Akin & Uzun, 2022)'s work "Design and application of Virtual Reality for the automotive industry"; revealed the experiences of users in the VR environment, who examined the interior and exterior designs of the vehicles exhibited in a vehicle gallery. Researchers; They used the Blender program for three-dimensional modeling and the Unity game engine for interaction. Belender modeled a vehicle gallery and the vehicles in it, and after transferring this model to the unity game engine in fbx format, users were able to interact with the vehicle they chose with their vehicle selection and changing the colors of the vehicles. As a result of the implemented application, it has been revealed that the users have eye pain or tearing problems with long-term use of the VR glasses, and despite the negativities, virtual reality is a different experience and they have fun. In addition, in the surveys they made on the users, "Have you had a VR experience before?" To the question "How would you like the design to be in VR?" to the question "How would you like the design to be in VR?", 38% of the users answered yes and 62% said "How often do you plan to use VR applications?" " to the question; It was observed that 27% answered several times a week, 19% once a month, and 12% several times a year[10].

In (İçten, 2021)'s study titled "Interactive 3D Virtual Environment for the Education of Traffic Safety Rules and Signs", in the research, it was examined whether the virtual environment would be a solution for the real traffic rules education of pedestrians and driver candidates. The researcher explained that the virtual environment modeled with 3DSMax uses the Unity game engine for use, Leap Motion for hand tracking, and Oculus Rift for VR imaging device. He also explained that he uses independent software (SketchUp, Blender, Maya, etc.) for the modeling of solid objects (vehicle, roads, etc.). It has been revealed that 90% of the users of the virtual training simulation stated that the developed tool is useful, fun and educational. In addition, users; He also mentioned that hand fatigue caused by the use of Leap Motion device and eye pain caused by VR device. It is among the results of the research that distance education can be given to users safely in the world where global epidemics take place. It has been understood from the study that the Leap Motin device used in the application does not detect movements in low light environments, and the Oculus Rift device does not support the versions of the Windows operating system before the Windows 10 version[8].

In (Erbaş & Tuncel, 2022)'s research titled "Re-functioning of cultural assets in the virtual environment: The example of the Basilica cistern", it is explained that the most important benefit of re-functioning in the virtual environment is to prevent possible negative consequences without damaging the structure. In addition, it was emphasized that visitors who want to visit the work in the virtual environment can make their visits without regional and country borders. Researchers; After converting the point cloud data obtained by terrestrial laser scanning method of the Basilica cistern to PTS or E57 format, they were displayed by the 3D Max program through the Autodesk Recap program and modeled, interacting with the unity game engine and enabling it to be run in both VR and web environments. Although it was stated in the study that the terrestrial laser scanning method of

modeling produced point cloud data with coordinates and real scale; It is understood that the RIEGL VZ-400 laser scanning device used in the study costs 120,000\$ [14] and therefore causes a very high cost[11].

In (Ozgel & Oz, 2018)'s study titled "Traffic Training for Inexperienced Drivers with a Virtual Driving Simulator", they designed a virtual driver simulator for traffic safety. The researchers, who modeled the buildings, signaling system, roads, traffic signs and vehicles in the platform with the test platform using Sketchup 3D modeling program, declared that they created a simulation with the Unity Game Engine and the car they bought from the Unity asset store. Also the driver; They control the simulation using the hardware called Logitech G25 Racing Wheel, and they stated that they gained experience about driving skills and traffic rules thanks to this system. They declared that the training was carried out in a fun way without real life risks. It has been observed that interaction is gained by moving the vehicle to the study[5].

(Memduhoglu, Senol, & Akdag, 2020)'s research titled "3D Map Experience with Virtual/Augmented Reality Applications"; Researchers photographed Harran University Osmanbey Campus by means of an unmanned aerial vehicle, and after mapping, three-dimensional modeling was carried out with ESRI CityEngine software. Thanks to the application, which was made interactive using the Unity game engine, it was seen that young students in the high school equivalent age group were able to take a stroll on the tablet screen at the Şanlıurfa Science Festival. Although it is seen that the work provides navigation without any characters, it reduces user interaction; It was understood that it was used with great care and excitement by young students thanks to the tour made independently of place and time[7].

In (Avzal, Ozdemir, & Erarslan, 2022)'s research titled "Design of Promotional Application Examples for Touristic Purposes Using Augmented and Virtual Reality Technologies of the Ancient City of Aizanoi"; It is about the use of virtual and augmented reality technologies to virtually tour the temple of Zeus in the ancient city of Aizanoi in the Çavdarhisar district of Kütahya. As a result of photogrammetric photographing by drone on the temple in question, the researchers produced three-dimensional modeling of the photographs using Bentley ContextCapture software. Stating that the application was coded with the C # language by the Unity game engine, the researchers stated that the application would be helpful for individuals who cannot travel due to distance and economic situation. In the work created by combining the photographs, it is seen that the model of the Zeus temple is transferred to the real environment by using vuforia application and VR technology to interact with real areas. In addition, it is understood that a game called gold collection, designed with virtual reality, was designed in the study, so that the place was visited interactively[9].

Within the scope of (Tiryakioglu, and others, 2016)s' BAP project, in their study titled "3D Building Modeling and WEB Based Presentation: The Example of Ahmet Necdet Sezer Campus", for the promotion of Afyon Kocatepe University ANS campus, those who want to visit the university on the internet, take 3600 photos of the campus and combine them with the PhotoModeler program. They explained that a virtual tour was created and for those who want to see the university from Google Earth program, using AutoCad and 3DS Max programs, most of the campus buildings are modeled in 3D and uploaded to the Earth program. For the web-based navigation application, it is understood that a tour is made by combining the photos, but a virtual tour is created by seeing the three-dimensional photos by simply moving from one point to another[4].

(Luqi & Ligang, 2012)'s papers titled "Virtual Campus Design and Development", an application was created on a character produced by two-dimensional modeling of Zhejiang Gongshang University using Flash-based AS 3.0 programming language, by finding the shortest path from point A to point B. In addition, they stated that they carried out this study in order to facilitate the visitors to obtain effective information while browsing the virtual campus. In addition, the researchers who interacted with the character explained that most people wanted to see the tour in two dimensions, and that there was no sense of interaction and experience from the school's website. They suggested that it is important that visitors can see all the places in two dimensions and start wandering instead of wandering the roads in three-dimensional models. It is understood that some videos or images are played by clicking on some points on the application, giving information about the university. However, considering that there were three-dimensional models in 2012, it is understood that the campus, which was created with two-dimensional models in the study, did not attract much attention over the years[3].

3. MODELING OF KUTAHYA DUMLUNAR UNIVERSITY and REALIZING A VIRTUAL TOUR GAME

SketchUp and Unity are popular software that can be used to create virtual tours. SketchUp is 3D modeling software and Unity is a game engine used for the creation of games and virtual reality applications.

Sketchup is designed to quickly create 3D images. It is used to design models of buildings, furniture and other everyday objects, design patterns with interior and exterior details such as one-room houses, and special architectural elements such as pitched or complex roofs. It can add color and texture to the models made in a very simple way. It also helps to organize the surrounding of buildings[2].

Unity is an application that game designers often use. The reasons for this are; such as supporting high-level languages, working with Visual Studio IDE environment, adding Android SDK and JDKs by unity, providing development for multiple platforms, providing an environment free of charge for those developed up to a certain profit[12].

The 3D model of Kütahya Dumlupınar University Evliya Çelebi campus to be created in SketchUp can be imported into Unity and a virtual tour application can be created thanks to this application. In Unity, your virtual tour can be made more realistic by moving the camera, adding lighting and visual effects, and adding interactive objects. Implementation of the application consists of 5 stages (Figure 2).

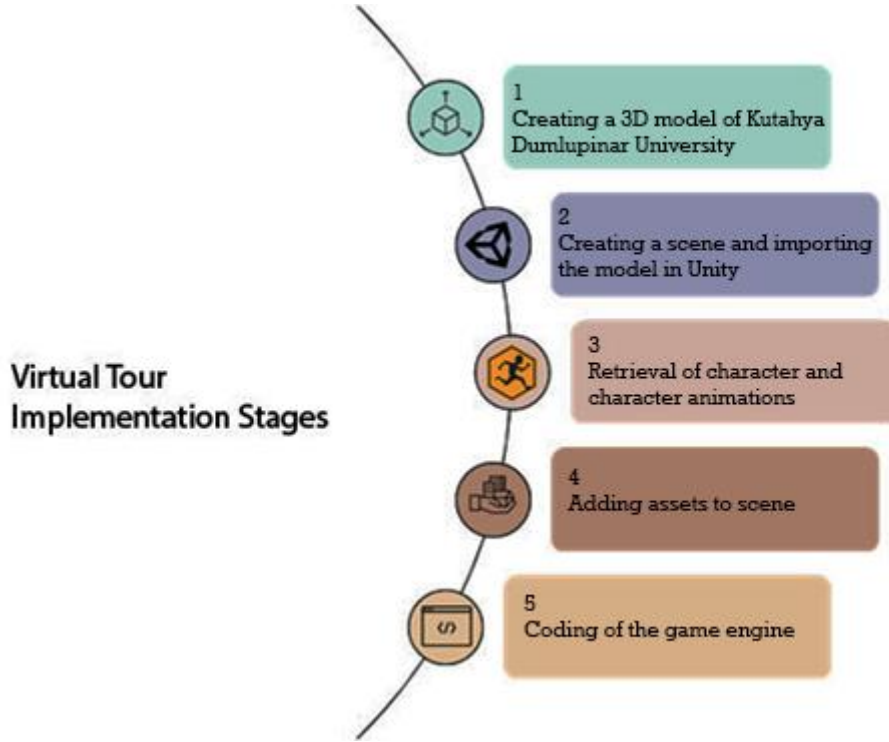


Figure 2. Application stages.

3.1. Modelling

For the Virtual Tour application, Kütahya Dumlupınar University Evliya Çelebi campus was selected and modeled. Before modeling, the ground was prepared by laying the campus sketch taken from the Google Earth application on the X-axis of the SketchUp program. It has been ensured that the buildings and structures that we will construct are located according to this sketch.

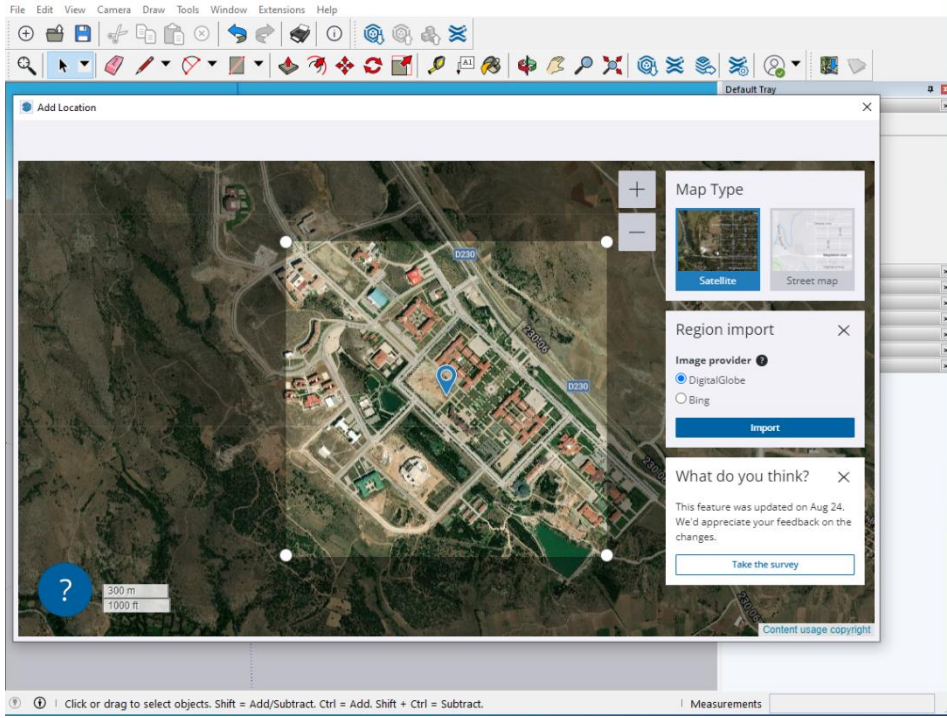


Figure 3. Adding Dumlupınar University location on map to sketchup.

In order to assist in the modeling of buildings and structures, after taking the sketch, the road, pool sections, parts of the buildings and structures where they will be located were created.

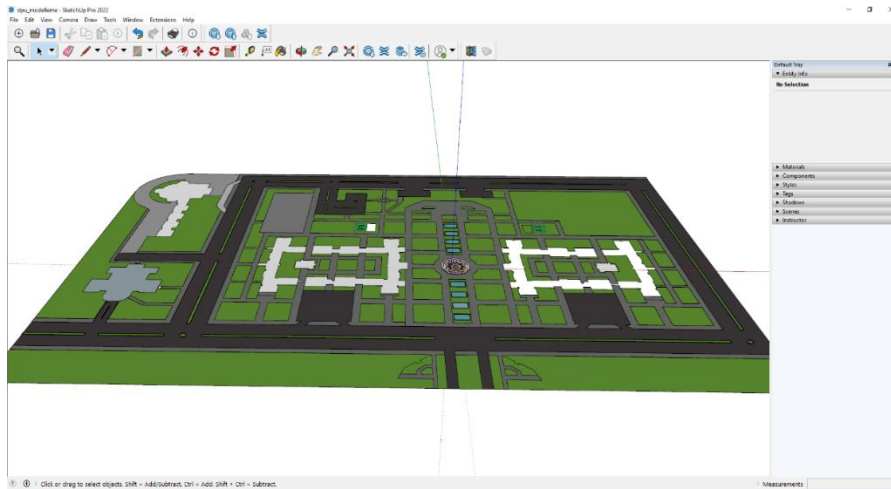


Figure 4. Adding Dumlupınar University location on map to sketchup.

After the ground was prepared, the building and building models were formed on the gaps left on the ground. The structures created are Crown Gate, Rectorate building, Bedesten building, Climbing wall, Martyr Petty Officer Ömer Halisdemir Library, Faculty of Literature and Sciences and Faculty of Engineering buildings.

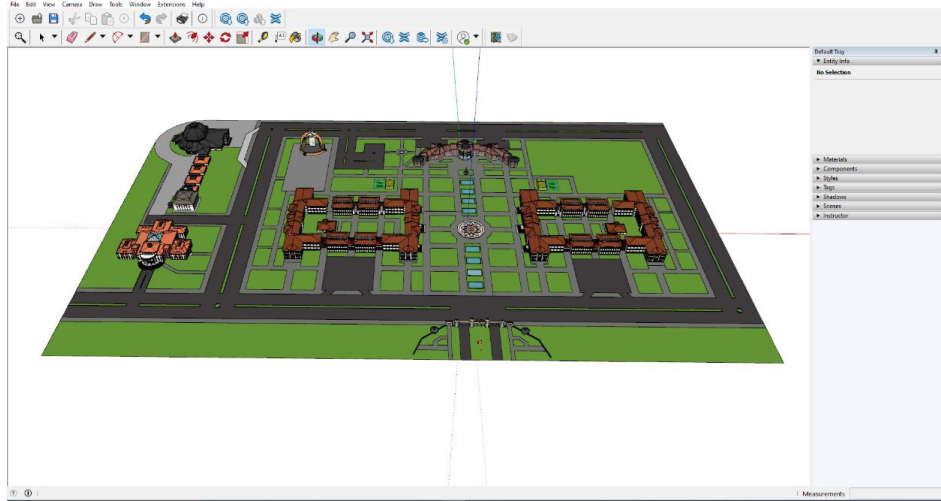


Figure 5. The completed version of the model.

3.2. Scene Creation

To create a scene in Unity, use the "File" > "New Scene" option in the Unity interface. This allows a new scene to be created and worked within the scene. To be able to import the 3D model into Unity, in SketchUp the model must be exported to FBX format with the "File" > "Export" option. Next, the FBX file is imported using the "Assets" > "Import New Asset" option in the Unity interface. The model is added to the "Assets" folder of the project and drag and drop method is used from the "Scene" panel to use it in the scene.

Since the playing field is in infinity, it is necessary to prevent the player from going out by raising the edges of the playing field. For this operation, a terrain is added under the floor. By selecting the terrain from the hierarchy window, elevation can be given from the properties in the inspector window.

3.3. Selection of Characters and Animations

Mixamo is a web-based application developed by Adobe. Mixamo allows you to easily create and edit animated 3D characters. You can become a member for free and the created characters and animations can be used as open source free of charge.

Mixamo supports many file formats to export the generated character, including .fbx, .dae, .3ds, .dxf, .obj, .blend, .glTF and .gltf. Among these formats, the most suitable one for Unity can be selected.

For unity, the character created from Mixamo is saved to the computer in .fbx format. Drag and drop from Unity's Project window into the assets folder. Thus, its copy is integrated into the project file. In

addition, animations such as idle, walking running, right strafe, left strafe, walking backwards, which will be applied to the character from mixamo, have been downloaded separately.

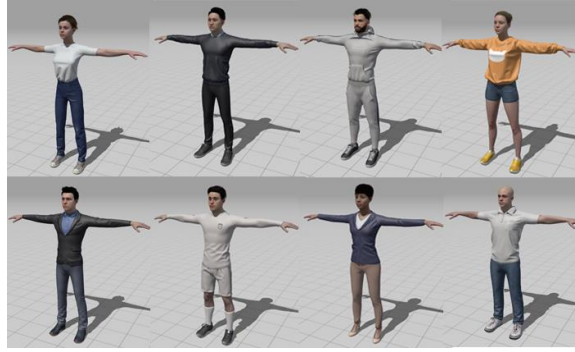


Figure 5. Student characters selected from Mixamo.

3.4. Adding Assets to the Scene

Unity Asset Store is the official plugin and resource store for Unity software. This store contains a variety of plug-ins, tools, model, audio, video, and other resources created and shared by Unity users. These resources can be used to develop Unity projects.

Products in the Asset Store are available for free or for a fee. Paid products often include pro-grade or more features. The searched resource can be accessed by searching the Asset Store or using category filters.

Various assets are needed in order to increase visuality and realism within the campus of Kütahya Dumlupınar University. For example, the tables and chairs to be found in the cafeteria, the vehicles to be found in the parking areas in front of the buildings, the characters to promote the buildings, the cash machines to be found in the University, the afforestation of the land.

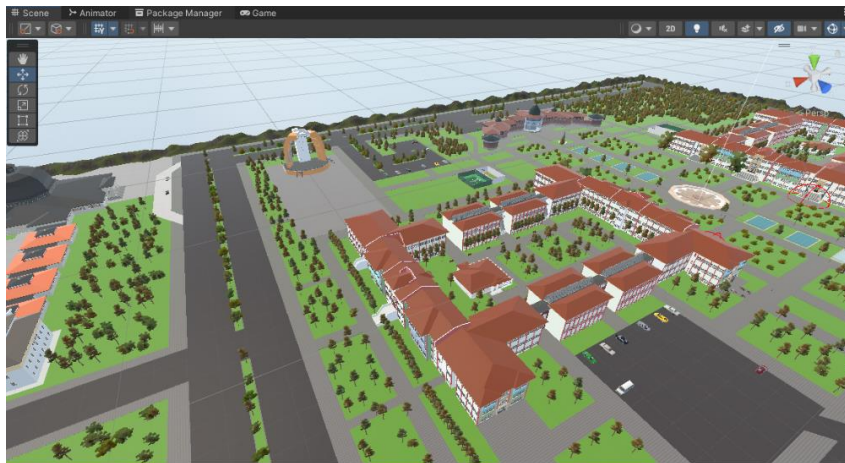


Figure 6. Added state of assets.

3.5. Coding of the Game Engine

Unity supports many programming languages such as C#, UnityScript (which is a JavaScript-like language), and Boo (which is a Python-like language). C# is considered an officially supported and recommended language by Unity. UnityScript and Boo are the less popular language options supported by Unity. Unity uses a kernel called IL2CPP to optimize the performance of code written by C#. This makes C# code interoperable across platforms.

IL2CPP is a kernel used by Unity to improve the performance of C# code. This kernel is an intermediary that compiles and runs C# code for the final platform (e.g. iOS or Android). The working logic of IL2CPP is as follows. C# code is primarily compiled as CIL by a Unity-executed JIT compiler. Next, the IL2CPP tool compiles this CIL code to platform specific and eventually converts it to C++ code. This C++ code can be run directly on the final platform[15].

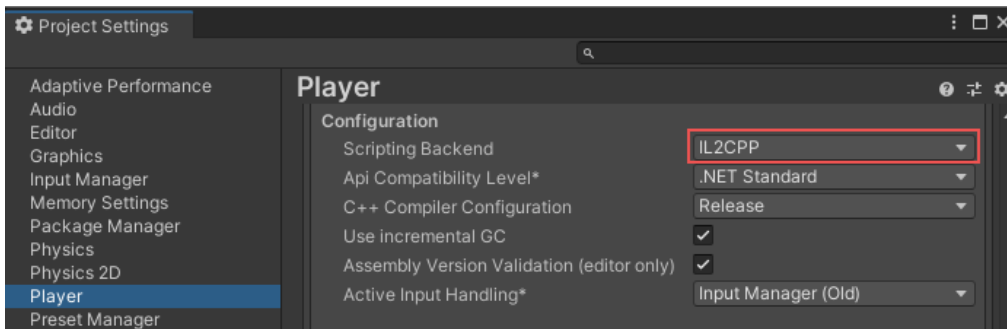


Figure 8. The Configuration section of the Player settings [15].

A life cycle has been created for the virtual tour application. After the user runs this application, he can continue to use this life cycle (Figure 9).

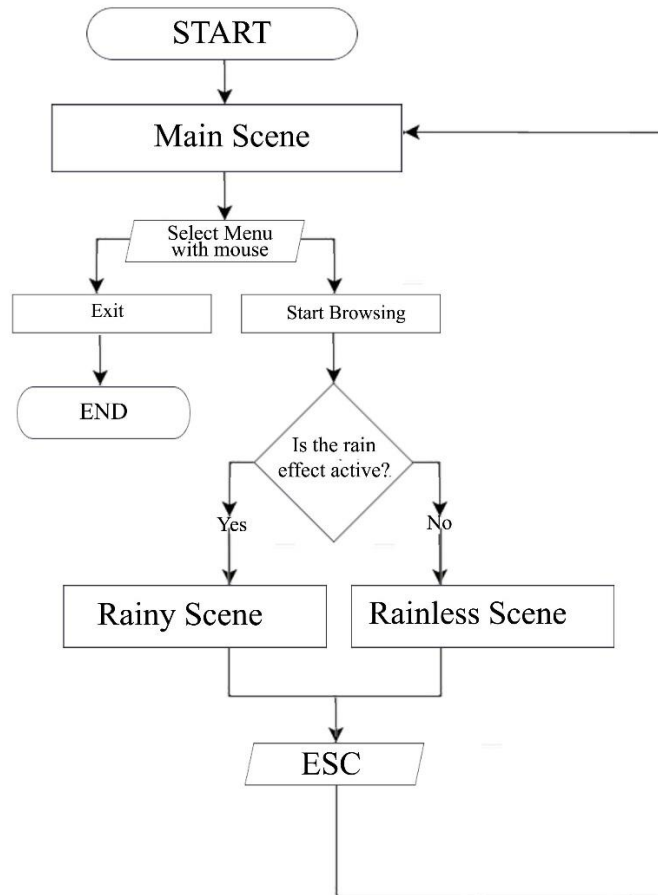


Figure 9- Application lifecycle.

C# scripts were used for the movement of the characters in the virtual tour application and for transitioning to animations. Visual studio program was used to create C# scripts. The script created for each object will be added to the object in question by clicking the add component button from the inspector window after selecting the object under the hierarchy window.

Five targets were determined for the student characters placed in the virtual tour. While the scene is loading, the characters are allowed to walk to random targets to be selected by software, and if they reach the target, a new target is selected and directed to that target.

For student characters to go to randomly selected targets; The Navigation feature of the scene needs to be activated. The Navigation window, which is the submenu of the AI menu in the Window menu, is opened, the floor for Navigation is selected from the hierarchy window, and the artificial intelligence functionality of Unity is activated by clicking the Bake button from the Bake menu in the Navigation window. The important point is; It is the Bake of the buildings and structures that cannot walk through the characters by leaving them out of selection.

For the characters positioned on the sides of the Faculty of Literature and Sciences and the Faculty of Engineering, when the main character enters the range of this character who will make the introduction, it is ensured that the main character turns to the direction he came from and his face always turns to the main character, no matter which direction he turns. In addition, when our main character approached the promoting character, the speaking animation of the promoting character was run and the introduction of the faculty in question was explained by speaking with a sound effect (Figure 10).

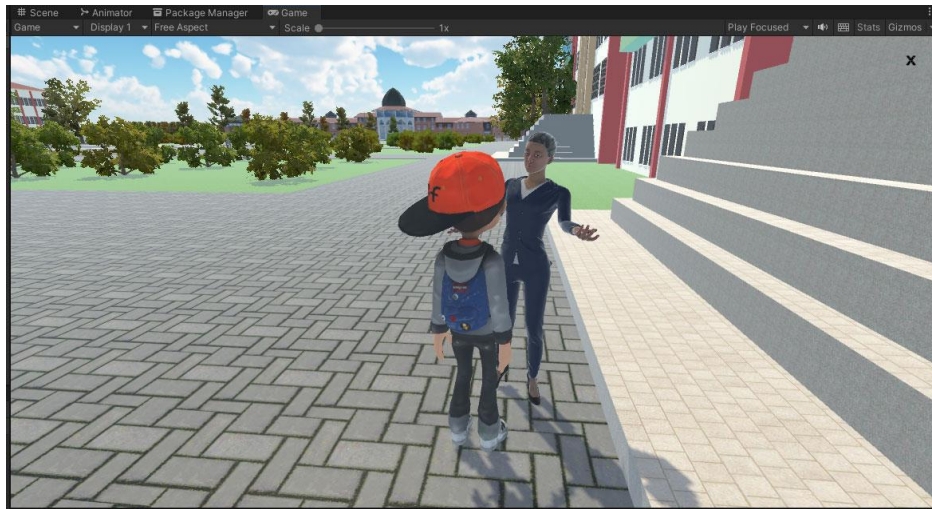


Figure 9. Speech animation of the introductory character.

4. RESULTS and CONCLUSION

The application was developed on the Dell Precision Tower 3620 desktop computer. It has Intel Xeon E3-1225 v5 as processor. Features of the processor; It has 4 cores, a base frequency of 3.30 GHz, 8 Mb Intel® smart cache and draws 80W of power. The computer has 16GB of ram. A Philips 75Hz 1ms monitor was used as a display. After the application developed with this computer, it was investigated whether the application with external graphics cards would cause problems graphically.

Table 1- Tested graphics cards.

| Graphics Card | Memory Type | Memory Size | Memory Speed | Memory Interface Width |
|--------------------|-------------|-------------|--------------|------------------------|
| Ati Radeon HD 4350 | DDR2 | 512 Mb | 600 MHz | 64 bit |
| Nvidia GT 220 | DDR3 | 1024 Mb | 1000 MHz | 128 bit |
| Nvidia Quadro K420 | DDR3 | 2048 Mb | 900 Mhz | 128 bit |
| Nvidia RTX 2060 | DDR6 | 6144 Mb | 14000 Mhz | 192 bit |

FPS values were measured by changing the graphics cards on the same computer system. FPS (frames per second) is referred to as the number of frames per second on the display screen. The higher the FPS value, the higher the fluency in the virtual tour. FPS measurement can be done with 3rd party software, or FPS values can be obtained with the Windows logo key + G key combination over the

Windows 10 operating system. Too many FPS values may not always be viewed positively. For example, graphics that will be displayed over 60 FPS with a 60 Hz monitor can sometimes cause breakage. This situation is called screen tearing. For this reason, the repetition rate of the monitor is important as well as the FPS value.

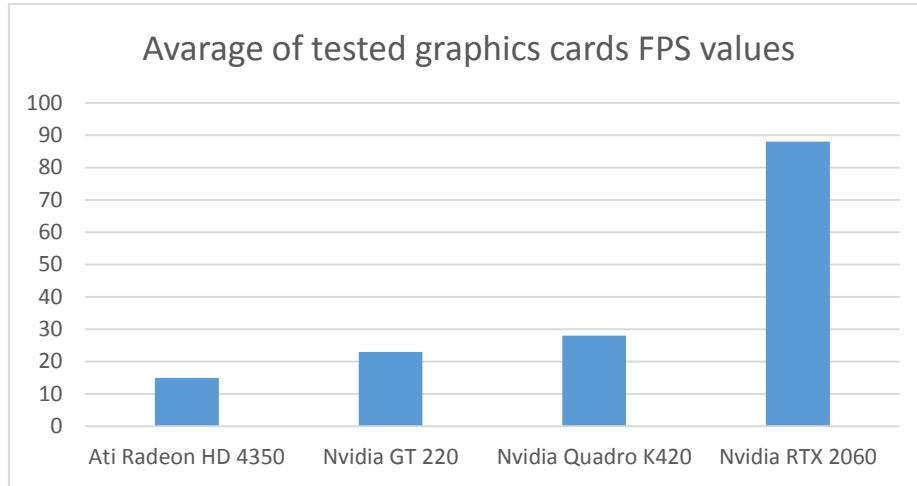


Figure 10- Average FPS values.

Although the graphics cards are old, it has been observed that there is not much difficulty in visiting the virtual tour. The application can run on both 32 and 64 bit operating systems thanks to the unity program. The virtual tour application was tested by approximately 40 people aged 17-35 in Kütahya. As a result of the test, users were asked to fill in the created questionnaire and it was seen that 25 people participated in the questionnaire [16].

“What is the ease of use of the virtual tour application?” 84% answered the question as easy and 16% as medium. In the question asked to the users about whether the presence of a character in the virtual tour application increases the effectiveness, all users "definitely increased the effectiveness of the application." They gave the answer. In order to increase the interaction in the implementation of the application, the characters with speech animations are placed next to the faculty buildings for the promotion of the faculties. When this character is approached, the character changes its direction to the main character and gives information about the faculties with speech animation. This situation was presented to the appreciation of the users, and they were asked whether the audio promotion was valuable or not, and 72% of the users stated their opinion as very valuable, 24% valuable, and 4% whether it is or not. Our application has been compiled on the windows platform and presented to the user experience. For this reason, users were asked on which platform the application should be, 48% of the users explained that it should be a web environment, 28% a desktop application, and 24% a phone-tablet application. The virtual tour application modeling was modeled in three dimensions in SketchUp program. In the research of [3], users were asked about this situation based on the opinion that it would be more interesting for users to see the whole model at the same time with two-dimensional modeling, and all users agreed that such applications should be designed in three dimensions.

According to all these studies, it has been observed that, unlike other literature, a fully interactive application satisfies the users. As the pandemic process shows, especially when the cost is considered, especially when there is a health and safety risk; The necessity of these applications, which provide information about buildings and structures with navigation without the concept of time and space, is obvious.

5. DISCUSSION

In this study, Kütahya Dumlupınar University Evliya Çelebi Campus was modeled in three dimensions and developed as a game-style virtual tour. The study was tested on different computers with different users, and some users found it interesting to fly with characters, and some users stated that such an application should be in all universities.

Virtual tour application implemented for the Windows environment, thanks to the transition feature of the Unity game engine to various platforms; Those who want to develop the application can use it by building it for WEB, IOS, and Android platforms. In addition, thanks to Unity's AI feature, developers will be able to solve the problem of where and how users go, by adding another character to the application and directing this character to the desired target.

6. ACKNOWLEDGEMENT

The author does not have any person or organization to thank.

REFERENCES

- [1] Yılmaz, Z. (2008). Creating a three-dimensional interactive virtual environment. Sakarya.
- [2] Grover, C. (2009). Google SketchUp. O'Reilly Media, Inc.
- [3] Luqi, X., and Ligang, D. (2012). Virtual Campus Design and Development. 9th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (s. 2949-2952). Chongqing, China: IEEE.
- [4] Tiryakioglu, I., Uysal, M., Erdogan, S., Yalcin, M., Polat, N., and Toprak, A. S. (2016). 3D Building Modeling and Web Based Presentation: Ahmet Necdet. Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering Sciences, 107-114.
- [5] Oztel, I., and Oz, C. (2018). Traffic Education for Inexperienced Drivers with Virtual Driving Simulator. Sakarya University Journal Of Computer and Information Sciences, 82-88.
- [6] Doker, M. F., and Kirlangiçoglu, C. (2018). Promotion of Cultural Heritages Through A Virtual Museum Platform: Case Study Hagia Sophia. Sakarya University Journal Of Science, 1337-1345.
- [7] Memduhoglu, A., Senol, H. I., and Akdag, S. (2020). 3D Map Experience with Virtual/Augmented Reality Applications. Harran University Journal of Engineering, 175-182.

- [8] İçten, T. (2021). Interactive 3D Virtual Environment for Education of Traffic Safety Rules and Signs. *Journal of Information Technologies*, 191-206.
- [9] Avzal, A., Ozdemir, D., and Erarslan, K. (2022). Design of Promotional Application Examples for Touristic Purposes Using Augmented and Virtual Reality Technologies of the Ancient City of Aizanoi. *ESTUDAM Journal of Informatics*, 66-73.
- [10] Akin, M., and Uzun, Y. (2022). Application Design and Implementation for the Automotive Industry with Virtual Reality. *Hittite Journal of Science and Engineering*, 133-143.
- [11] Erbas, H. E., and Tuncel, D. (2022). Re-functionalizing Cultural Heritage in Virtual Environment: The Example of Yerebatan Sarnici. *European Journal of Science and Technology*, 362-372.
- [12] Ulusoy, Ç. S. (2022). An Augmented Reality Application Using Unity And Vuforia. Edirne.
- [13] Higher Education Information Menegament System. (2022, 12 8). <https://istatistik.yok.gov.tr/>
- [14] Aniwaa. (2022, 12 22). <https://www.aniwaa.com/product/3d-scanners/riegl-vz-400i/>
- [15] Unity Documentation. (2023, 1 3). <https://docs.unity3d.com/Manual/IL2CPP.html>
- [16] Google Form. (2023, 1 28). <https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSebZgju8byxwspI5EsFQRRnLwh1UohpSluy-KFz6UivIB5d5A/closedform>



ARAŞTIRMA MAKALESİ (Research Article)

**THE EFFECTS OF PLANT ORIGIN EXOSOME EXTRACTS ON A549 AND HCT116
CANCER CELL LINES**

Ayşegül DEMİRHAN^{1*}, Semra TURKOGLU², Fazilet ERMAN³

^{1*}Institute of Science, Firat University, Elazığ, TÜRKİYE, ademirhan.1226@gmail.com, ORCID: 0000-00017688-9027

²Department of Nutrition and Dietetic, Faculty of Health Sciences, Firat University, smrturkoglu@hotmail.com,
ORCID: 0000-0001-7682-0513

^{2,3}Department of Nutrition and Dietetic, Faculty of Health Sciences, Firat University, ferman@firat.edu.tr, ORCID: 0000-0001-5181-4053

*Geliş Tarihi(Received Date):*31.10.2022

*Kabul Tarihi(Accepted Date):*23.01.2023

ABSTRACT

By applying the exosomes-like nanoparticles obtained from the leaves of the *Gundelia munzuriensis* plant on lung cancer (A549) and colon cancer (HCT116) cell lines, the effects of plant exosomes on cancer cells were investigated. WST1 (Water-soluble tetrazolium salt – 1 analysis) was performed and the cytotoxic effect of the exosome in these cell lines was examined. According to our findings, exosomes incubated with HCT 116 cell lines were found to affect the viability of cancerous cells by 40-50%. On the other hand, a rate of 50% decrease in A549 cell lines was observed in 24 hours with 250 µg/mL. As a result, our study demonstrates that plant-derived exosomes may be promising therapeutic agents for future cancer treatment, and the research provides an important source for future studies.

Keywords: *Nanoparticles, HCT116, A549, cancer, Gundelia munzuriensis.*

**BITKİ KÖKENLİ EKSOZOM EKSTRAKTLARININ A549 VE HCT116 KANSER HÜCRE
HATLARI ÜZERİNE ETKİLERİ**

ÖZ

Gundelia munzuriensis bitkisinin yapraklarından elde edilen eksozom benzeri nanopartiküller akciğer kanseri (A549) ve kolon kanseri (HCT116) hücre hatlarına uygulanarak bitki eksozomlarının kanser hücreleri üzerindeki etkileri araştırıldı. WST1 (Suda çözünür tetrazolyum tuzu – 1) analizi yapıldı bu hücre hatlarında eksozomun sitotoksik etkisine bakıldı. Bulgularımıza göre, HCT 116 hücre hatları ile inkübe edilen eksozomlar, kanserli hücrelerin canlılığını %40-50 oranında etkilediği tespit edildi. Öte yandan, 250 µg/mL ile 24 saatte A549 hücre hatlarında %50'lik bir azalma gözlemlendi. Sonuç olarak, çalışmamız bitki kaynaklı eksozomların gelecekteki kanser tedavisi için umut verici terapötik ajanlar olabileceğini göstermektedir ve araştırma gelecekteki çalışmalar için önemli bir kaynak sağlamaktadır.

Anahtar kelimeler: *Nanopartiküller, HCT116, A549, kanser, Gundelia munzuriensis.*

1. INTRODUCTION

The complex disease, which occurs when cells in an organism grow, divide and multiply uncontrollably, and develops under the influence of genetic and environmental conditions, is called cancer. Cancer is the second among the deadly and incurable health problems globally, following cardiovascular diseases. According to data by the World Health Organization (WHO), cancer is known to have caused the deaths of 10 million people in 2020. The most frequent types of cancer encountered in 2020 worldwide include breast cancer, lung cancer, and colon cancer. Furthermore, lung cancer is also the leading type of cancer resulting in death, and colorectal cancer ranks second [1].

Cancer treatment options were limited to traditional chemotherapy, radiotherapy, and surgery until recently. In recent years, different practices have been tried with immunotherapy applications, obtaining promising results [2]. However, while these methods are still inconclusive, they are costly and time-consuming. As the developing technology offers different solutions every day, scientists continue their search for the optimum alternatives.

The discovery of exosomes and understanding the importance of their biological function between cell-to-cell have paved the way for the use of these nanovesicles as therapeutic agents in many diseases. Cancer is one of the leading diseases among these, and exosomes are used in cancer research for early diagnosis, treatment, drug transport and many other purposes. Recent research confirms that engineered exosomes increase cancer-killing effectiveness and the ability of drugs to target cancer, thereby increasing the effectiveness of individual cancer treatments [3].

Exosomes are nano-sized particles that are secreted by various cells and absorbed by recipient cells. Exosomes are rich in ingredients such as proteins, lipids, mRNA and miRNA, and they can preserve these contents unimpaired [4]. Studies on exosomes in biomedical, biochemistry, oncology and cell biology fields are increasing, and there is promising research on the possibility that exosomes can play a role in the effective transport of bioactive compounds to target cells or tissues. The fact that they do not require any modifications and can be obtained from natural sources increases the interest in exosomes [5].

Newly discovered plant-derived exosomes compared to those obtained from mammalian cells have paved the way for different treatment pathways with their advantages and biochemical properties, and they have revived existing alternative medicine studies. It is known that many plants consumed as food today contain bioactive compounds with different functions. The data obtained so far demonstrate that exosomes can be investigated and applied in the fields of food and agriculture. Nevertheless, the number of studies in these areas regarding exosomes has been considered insufficient to date [5].

Plant-derived exosomes attract the attention of researchers because they can target the desired tissues, have high biocompatibility along with adequate biodistribution. They possess the nanocarrier potential to transmit chemical drugs, genes, and small molecules. Thus, they are able to introduce drugs targeting precise and specific tissues instead of generating systemic effects, which is thought to lead to improved therapeutic impacts and fewer side effects [6].

The primary purpose of this study is to isolate the exosomes from the leaves of the plant *Gundelia munzuriensis*, an endemic species, and to assess its potential therapeutic effects on Lung Cancer (A549) and Colon Cancer (HCT 116) cell lines in vitro. The fact that a study examining the effects of *G. munzuriensis* exosomes on cancer has not been done before makes this study significant. Hence, it is thought that by investigating their effects on cancer by isolating *G. munzuriensis* exosomes (GME) and giving them to mammalian cells, an alternative treatment for cancer, which is the most serious and increasingly common problem of our time, can be discovered.

2. MATERIALS and METHOD

Plant-derived exosomes attract the attention of researchers because they can target the desired tissues, have high biocompatibility along with adequate biodistribution. They possess the nanocarrier potential to transmit chemical drugs, genes, and small molecules. Thus, they are able to introduce drugs targeting precise and specific tissues instead of generating systemic effects, which is thought to lead to improved therapeutic impacts and fewer side effects [6].

The primary purpose of this study is to isolate the exosomes from the leaves of the plant *Gundelia munzuriensis*, an endemic species, and to assess its potential therapeutic effects on Lung Cancer (A549) and Colon Cancer (HCT 116) cell lines in vitro. The fact that a study examining the effects of *G. munzuriensis* exosomes on cancer has not been done before makes this study significant. Hence, it is thought that by investigating their effects on cancer by isolating *G. munzuriensis* exosomes (GME) and giving them to mammalian cells, an alternative treatment for cancer, which is the most serious and increasingly common problem of our time, can be discovered.

2.1. Experimental

In this study, effects of the exosomes isolated from the *G. munzuriensis* plant leaves on the in vitro models based on HCT 116 and A549 cell lines were investigated. The leaves of the *G. munzuriensis* plant used in the research were freshly collected in Ovacık – Tunceli (Koyungözü road, Ovacık, 3.2 km, 1285 m, 39°21'12" N / 39°10'48" E, 01.06.2021), they were transported in cool packs and stored in the deep freezer at -80° C until the isolation process. Before starting isolation, the leaves were washed and shredded in distilled water with the help of a shredder. In the experiment setup, the isolation of *G. munzuriensis* exosomes (GMEs) was made by centrifuging according to the manufacturer's protocol and the ATPS (aqueous two-phase system) isolation method. Nanoparticle tracking analysis (NTA) was conducted to determine the dimensions and concentrations of the exosomes, while BCA analysis was made to assess their protein concentrations. Afterwards, to evaluate the cytotoxic effect of GMEs on cancer cells, WST-1 cell viability assay was performed on the cancer cells that were incubated for 24, 48 and 72 hours in five different exosome concentrations varying between 25 to 250 µg/mL.

2.2. Exosome Isolation

G. munzuriensis leaves were crushed in distilled water using a shredder, and the mixture was filtered using filter paper. The extract was centrifuged for 10 minutes at 1000 x g, 10 minutes at 20000 x g, and 30 minutes at 20000 x g. After each centrifugation, the supernatant was removed from the pellet and collected. The collected supernatant was filtered through a 0.22 µm filter. The PEG-DEX solution used for the isolation in the ATPS method was added at a 1:1 ratio (22.5 ml buffer for 22.5 mL extract). For the washing process, a 1:1 ratio washing solution (150 mL H₂O for 150 mL solution) was prepared. The buffered samples with washing solutions were centrifuged at 1000 xg for 10 minutes,

and 80% of the upper phase of the samples were discarded. Then, the washing solution was added at the same amount as the discarded part (36 mL), and the samples were centrifuged at 1000 xg for 10 minutes. The rinsing process was repeated. Finally, the part above the phase line was discarded. The isolated GMEs were stored at -20 °C.

2.3. Nanoparticle Tracking Analysis (NTA)

The exosome quantification and their size distribution were estimated with a 488 nm laser using Nanoparticle Tracking Analysis (NTA). The isolated exosomes were analysed utilizing NanoSight NS300. The samples were placed into the vessel of the device, and the size dispersion (nm) was calculated using the NTA method. The video captured the nanoparticles at least five times with 60-second intervals, and the test was performed employing the NTA 3.3.301 software.

2.4. BCA Analysis

The GMEs were diluted at a 1:5 ratio (5 µm of exosomes, 20 µL of H₂O). The diluted exosomes (10 µL each) were placed into two wells, H₂O was placed into two other wells (10 µL), and standards were put into 14 wells (10 µL) of the 96-well plate. Next, B and A solutions were mixed at a 1:50 ratio (86.274 mL of solution B, 4313.726 mL of solution A), and each well was added 200 µL of this mixture. The plate was then incubated for 30 minutes. Measurements were made with the spectrophotometer (Thermo Scientific, USA) at 570 nm wavelength, and the results were recorded.

2.5. Cancer Cells and Passaging

Lung cancer and colon cancer cell lines were obtained from the American Type Culture Collection (ATCC). DMEM high glucose was used as the culture medium for the cell lines, and this medium was supplemented with 10% (v/v) FBS and 1% (v/v) PSA (10.000 units/mL penicillin, 10.000 µg/mL streptomycin, and 25 µg/mL amphotericin B). Cells were incubated in a humid 37 °C incubator with 5% CO₂. In the passage of adherent cells, the surfaces of the flasks were first washed with 1x DPBS without Ca²⁺ and Mg²⁺. Cell-surface interaction was dissociated with 0.025% (w/v) trypsin for 1-2 minutes at 37°C. The detached cells were collected in a cell culture medium and centrifuged at 1300 rpm for 5 minutes. Then, the pellet was dissolved in the cell culture medium. For the exosome treatment, high glucose DMEM was supplemented with 10% FBS (Exosome-Deficient). On the hemocytometer, 10 µL of cells with the medium were placed, and cell counting was performed with a microscope.

2.6. HCT 116 and A549 Cell Culture, Exosome Treatment and WST-1 Assay

PBS of 100 µL per well was added to the edge wells of two separate 96-well plates. To each well, 100 µL of cell suspension with medium (44 mL medium, 1230 mL cell suspension) was cultured, and the plate was placed into the incubator. After 24 hours of cell cultivation, the media in the wells was vacuumed, and clean media (150 µL per well) was given to the control groups. Experimental groups with concentrations ranging from 25 to 250 µg/mL were also given 150 µL from exosomes with media and left for incubation.

After 24 hours of the exosome treatment, the excess was discarded, leaving 90 µL in the wells. Each well was supplemented with 10 µL WST-1 dye. The culture was incubated for 30 minutes (CO₂ incubator). Measurements were made with the spectrophotometer (450 nm length). The same procedures were applied to cells that were kept under treatment for 48 and 72 hours.

2.7. Statistical analysis

Statistical analysis of the data was performed using two way ANOVA and IBM-SPSS 25 package program. $P < 0.05$ was considered statistically significant.

3. RESULTS

3.1. Nanoparticle Tracking Analysis (NTA) Results

NTA is a real-time visualization method that can rapidly determine the size, concentration, and biological protein biomarkers of exosomes in biological fluids [7]. The isolated GMEs were analysed using the NanoSight NS300 device. The nanoparticles were illuminated by a laser beam, and their movements were tracked under Brown. Then, the NTA was performed to assess the concentrations, sizes, and size densities of the nanoparticles. The size dispersion profiles obtained through the NTA are presented in Figures 1, 2 and 3. NTA analysis settings and results are given in Table 1. These dispersion profiles were then normalized to total nanoparticle concentrations and final cell counts. The particles were between 8 and 413 nm in diameter according to Figures 1 and 2. Since exosomes are generally considered to be 30-150 nm in diameter, the focus was on particles in this size range to measure their concentration. The NTA software identified and measured the particles expected in this range. According to the data we obtained, D10 was measured as 72.8 ± 2.3 , D50 was found to be 138.2 ± 7.5 , and D90 was 257.8 ± 13.3 nm. In addition, the mean size of the exosomes was determined as 148.8 ± 6.2 nm, and the mode was 97.3 ± 10.3 nm. The concentration of nanoparticles was assessed to be 6.73×10^{11} particles/mL.

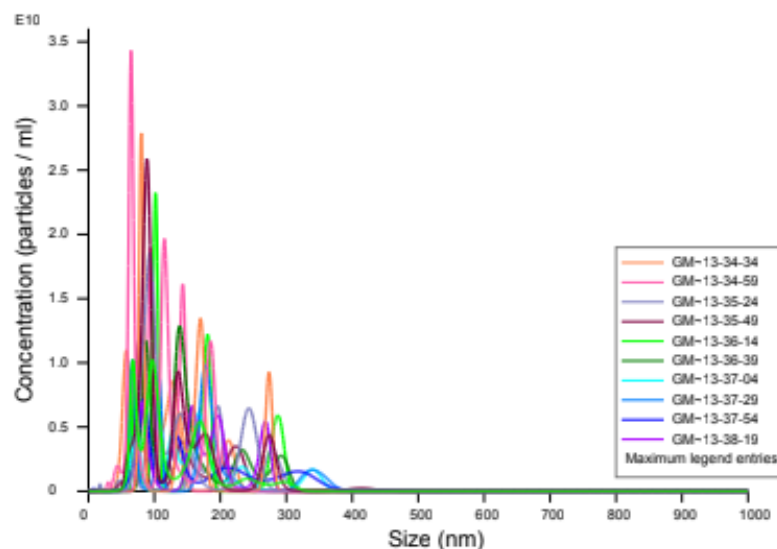


Figure 1. Average particle diameter and particle concentration of GMEs investigated with NanoSight.

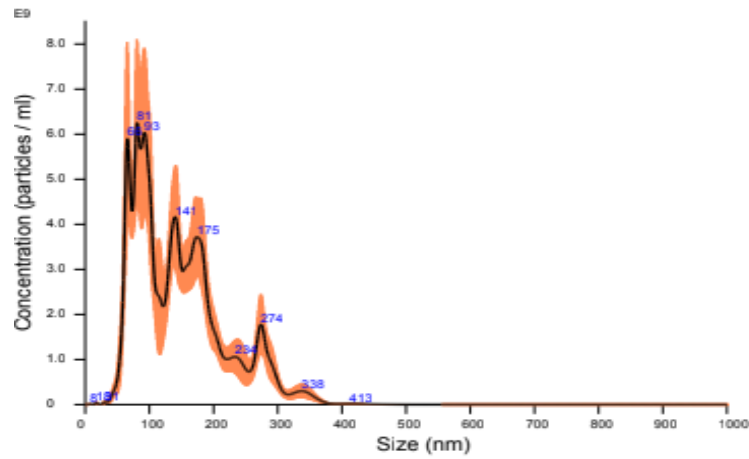


Figure 2. Average particle diameter and particle concentration of GMEs.

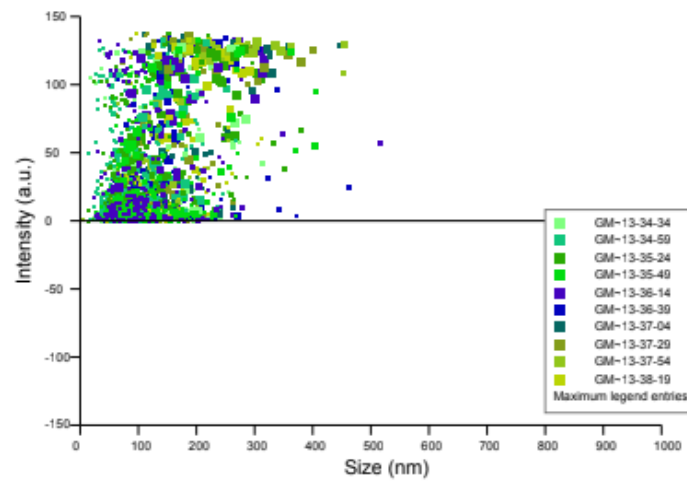


Figure 3. Density graph.

Table 1. NTA analysis settings and results.

| Capture Settings | | Results (Mean±Standard Error) | |
|-------------------|---------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| Camera Type: | sCMOS | Mean: | 148.8±6.2 nm |
| Laser Type: | Green | Mode: | 97.3±10.3 nm |
| Camera Level: | 15 | SD: | 66.5±3.6 nm |
| Slider Shutter: | 1206 | D10: | 72.8±2.3 nm |
| Slider Gain: | 366 | D50: | 138.2±7.5 nm |
| FPS | 25.0 | D90: | 257.8±13.3 nm |
| Number of Frames: | 499 | Concentration | 6.73e+11±4.39e+10 particles/ml |
| Temperature: | 21.8 - 22.0 °C | (Upgrade): | 11.4±0.6 particles/frame |
| Viscosity: | (Su) 0.953-0.956 cP | | 14.2±0.9 centres/frame |

Dilution factor: 1 x 10⁴

3.2. Results of Protein Analysis

The protein concentration of the GMEs was determined with the BCA protein analysis method. The absorbances (A1, A2) of the plate at 570 nm were reported. The BCA test is a widely used colorimetric method to estimate the protein concentration in samples (Morton and Evans, 1992). The standards are presented in Figure 4. The protein concentration of the GMEs was estimated utilising the standard curve obtained from the serial dilution of the BCA, the graph of which is presented in Figure 4. An increasing trend was observed with the increasing number of fractions. The protein particle concentration (particle/ml-1) of *G. munzuriensis* was found to be 0.0246 µg/mL. When the total protein amounts obtained through BCA and the exosome concentration measured by means of the NTA (Figure 2) are compared, it was concluded that there were enough exosomes secreted to conduct the study.

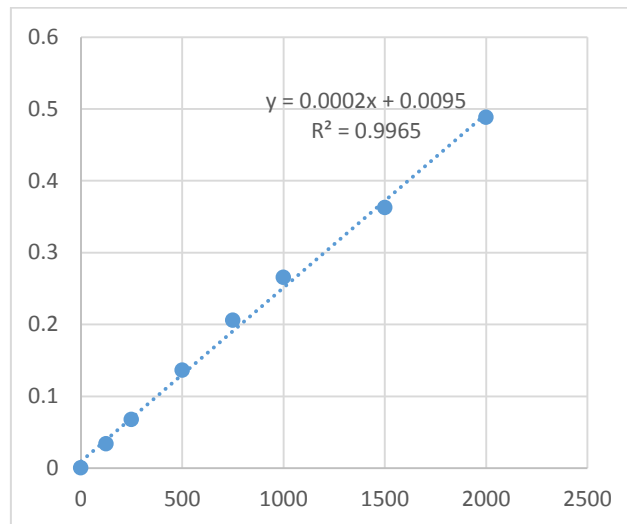


Figure 4. BCA Standard Curve Plot (Concentration/Absorbance).

3.3. Cell Viability (WST-1) Analysis Results

To determine the toxic dose of GME in cancer cells, a cell viability assay was performed using a WST-1 reagent-based assay. The operation principle of WST-1 depends on the division of tetrazolium salt by a cellular mitochondrial dehydrogenase to form a formazan (Yin et al., 2013). HCT 116 and A549 cells were added in 96-well plates. After the cells were added with 25 µg/mL, 50 µg/mL, 75 µg/mL, 100 µg/mL and 250 µg/mL GME, the absorbance of the living cells was measured after 24, 48 and 72 hours of incubation.

3.4. HCT 116 WST-1 Analysis Results

Cell viability of the colon cancer (HCT 116) cell line was presented in Figure 5 in response to increased doses of GMEs and treatment times. According to our findings, there was no linear decrease or increase in the 24-hour incubation compared to negative control due to dose, but each dose was found to affect the viability of the cells by an average of 40-50%. After the 48-hour incubation, GMEs are found to affect cell viability at rates of 30-40% in all doses compared to negative control. The

most significant decrease was observed in the 72-hour incubation, and the cytotoxic effects of GMEs against HCT 116 cells were clearly observed especially in 50 and 250 µg/mL groups. Cells waiting for 72 hours affected cell viability by 65-70%.

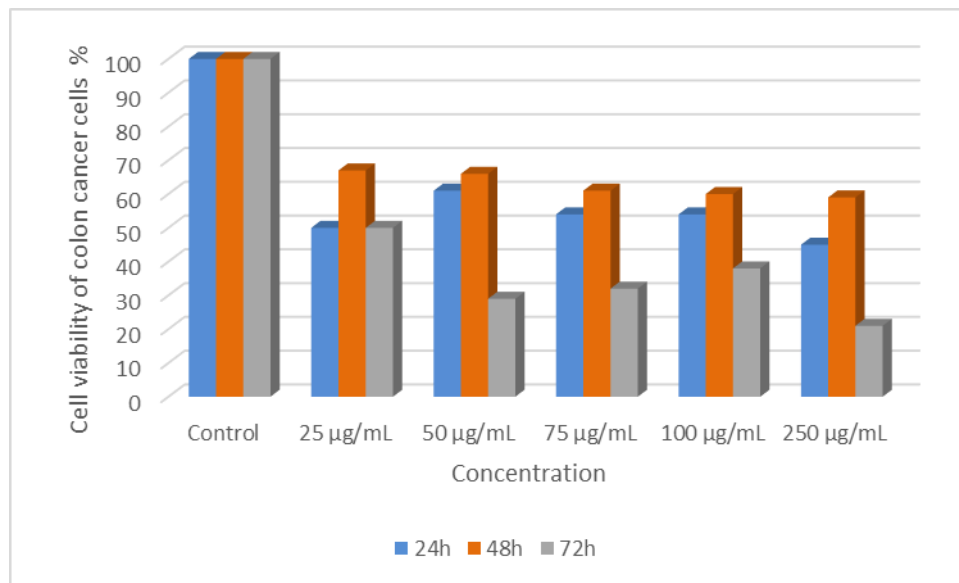


Figure 5. Cell viability of colon cancer cells.

3.5. A549 WST-1 Analysis Results

The cell viability response of the A549 cell line to different doses and administration times of GMEs is presented in Fig. 6. According to the findings, a significant decrease in cell viability was observed only at the 250 µg/mL concentration of the 24-hour incubation. However, 24 and 48 hours of incubation showed a steady decrease in cell viability due to increased concentrations compared to negative control. The effect of 24-hour incubation was 25-40% on cell viability. On the other hand, 48 hours of incubation with GMEs had an impact of 20-25% on cell viability. During the 72-hour incubation, increased concentrations of GMEs were found to increase the number of A549 cells compared to negative control.

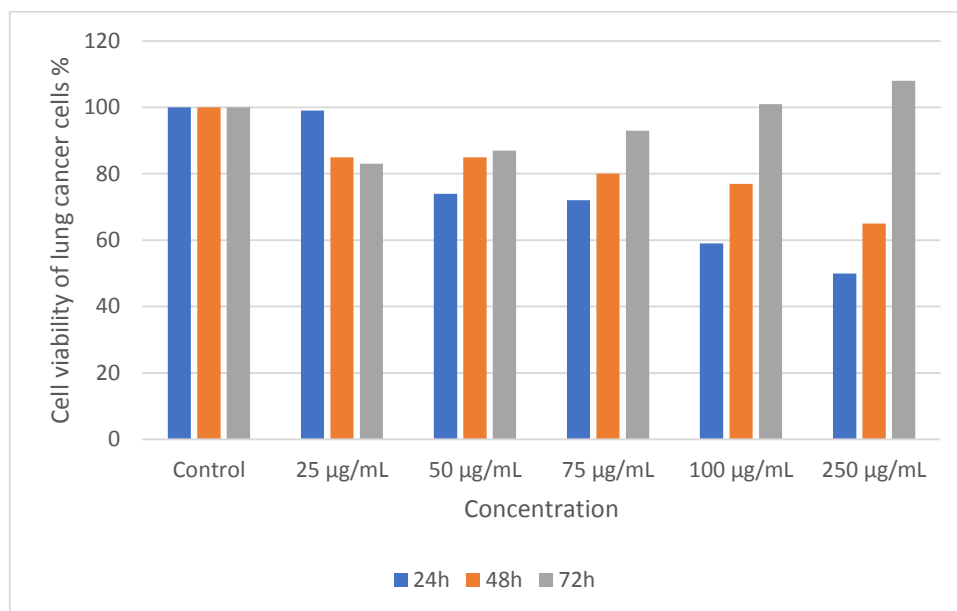


Figure 6. Cell viability of lung cancer cells (A549).

4. DISCUSSIONS

In recent years, the rapid development in the field of exosomes has attracted the attention of many scientists. As newly discovered agents of intercellular communication, exosomes have areas of application in the early diagnosis and treatment of tumours. Exosomes are 30-100 nm nanovesicles involved in maintaining cell-to-cell communication. New information about their content and functions has been revealed every day since their discovery in 1983. Various protein components of exosomes are surrounded by a double layer of lipids, and have a morphologically spherical structure [10].

It is known that plant exosomes are used in the diagnosis and treatment of various diseases besides mammalian exosomes. Studies demonstrating their therapeutic effects particularly on cancer are increasing [6, 3, 11]. Even though some therapeutic studies exist about several species of the genus *Gundelia*, the potential effects of the endemic species *G. munzuriensis* on cancer cells have not been investigated to date.

The aim of this study is to investigate effects of the exosomes isolated from the *G. munzuriensis* plant on A549 and HCT 116 cancer cell lines. The experimental procedure incorporates the isolation and characterisation of the exosomes of the *G. munzuriensis* plant which is dried through centrifuging and the two-phase gradient ATPS method with Polyethylene Glycol (PEG)-Dextran (DEX). According to the results, the isolation of relatively homogenous and stable exosome-like extracellular vesicles from the *G. munzuriensis* plant was successfully achieved. Evaluations of exosomes were carried out with nanoparticle tracking analysis (NTA) and BCA analysis for their size, morphology, and characterization of protein contents. Since their contents are variable, the choice was based on the distinctive size and morphology of the exosomes, which are known as some of the indicators of their carrier structures. Based on these findings obtained from the characterisation experiments, we arrived

at the conclusion that *Gundelia* exosomes were successfully isolated. According to the BCA results of GME, the protein particle concentration (particle/mL^{-1}) was determined as $0.0246 \mu\text{g/mL}$. Besides, the diameter of the particles was between 8 and 413 nm according to the NTA results (Figures 1, 2 and 3) (Tablo 1). According to the data we obtained, the mean size of exosomes was found to be 148.8 ± 6.2 nm and mod 97.3 ± 10.3 nm. The concentrations of nanoparticles were measured as 6.73×10^{10} . When the total protein amounts obtained with BCA (Figure 4) and the exosome concentration measured by NTA (Figure 2) were compared, it was determined that sufficient amounts of exosomes were obtained for our study.

After the necessary analyses, to evaluate the hypothetical cytotoxic effects of the *G. munzuriensis* exosomes on the A549 and HCT 116 cancer cell lines, WST-1 cell viability assay was performed on cells which were incubated with exosome samples of five different concentrations varying between $25 \mu\text{g/mL}$ and $250 \mu\text{g/mL}$ for 24, 48 and 72 hours. To determine the optimal treatment concentration, the cells were processed with exosomes at five different GME concentrations, including $50 \mu\text{g/mL}$, $75 \mu\text{g/mL}$, and $100 \mu\text{g/mL}$, for 24, 48 and 72 hours. The results are presented in Figures 5 and 6. As the findings of the HCT 116 WST-1 studies demonstrate in Figure 5, the application of the GMEs on the cell lines analysed in this research resulted in a substantial decrease (40-50%) in cell viability depending on the dose. On the other hand, as seen in Figure 6, the application of GMEs on A549 cell lines did not lead to a significant decrease in cell viability according to the findings of the WST-1 assays on these lines, and it was observed that it increased cell proliferation in the 72-hour incubation depending on the dose.

In a similar study with *G. tournefortii*, Saraç et al. (2019) observed that the plant seeds applied in vitro on fibroblast (L929), HUVEC, MCF-7, prostate cancer (PC3) and stomach cancer (MKN-45) cell lines had a significant cytotoxic activity only on prostate cancer cell lines [12].

Similarly, the anticancer effects of the exosomes obtained from the edible *Vaccinium myrtillus* (European blueberry) plant on A549 cell line have also been investigated. The cytotoxic activities of the isolated exosomes were assessed through the MTT test. As a result of the investigation, it was determined that the $50 \mu\text{m}$ exosome solution demonstrated a cytotoxic effect on the A549 cell line in the 72-hour period [13].

In another study related to the effects of *Gundelia* on cancer, MCF-7 and HUVEC cell lines were treated for 24 and 48 hours with 50, 100, 250, 500 and $1000 \mu\text{g/mL}$ concentrations of *G. tournefortii* extracts, and XTT test was performed. All plant extracts are found to have cytotoxic activity on MCF-7 and HUVEC cells in both 24-hour and 48-hour periods as well as in all application doses in general. In addition, the root and leaf extracts were also determined to have generally similar levels of cytotoxic activity [14].

Another study found a decrease in VEGF and an increase in caspase 3 expression compared to the control group as a result of the treatment with exosomes obtained from the garlic plant in colon cancer (HCT 116), breast cancer (MDA-MB 231) and small cell lung cancer (DMS 114) cell lines. However, the opposite was observed in the control cells with an increase in VEGF and a decrease in caspase 3 expression [3].

The effects of exosomes derived from lemon juice (*Citrus lemon L.*) on A549, human colorectal adenocarcinoma cell line (SW480) and chronic myeloid leukaemia (LAMA84) cell lines were examined in another study. These cell lines were treated in vitro with 5 or $20 \mu\text{g/mL}$ of nanovesicles

for periods of 24, 48 or 72 hours. The MTT viability test findings revealed that lemon nanovesicles inhibited tumour cell viability depending on dose and time compared to untreated cells [15].

5. CONCLUSIONS

Edible plants have been seen as an important alternative in the diagnosis and treatment of many diseases since prehistoric times. The plant type or species preferred in the use of these resources allow therapeutic applications in various diseases according to their content. Determining the phytochemical content of a plant enables the determination of the area of use for this plant. There are many phytochemical components derived from the leaves, roots, seeds, and flower buds of the Gundelia plant. Phytochemicals play essential roles in pathological pathways with their biological activities such as being anti-cancerogenic and antioxidants caused by antioxidant properties. Therefore, it is considered that Gundelia species will have significant roles in the diagnosis and treatment of cancer diseases. The fact that exosomes have a wide and advantageous place in cancer-related studies makes the exosomes obtained from these plants more important.

In our study, increasing concentrations of GMEs are found to demonstrate cytotoxic effects on HCT 116 cell lines in a three-day period. On the other hand, a 50% decrease was observed in the 24-hour 250 µg/ml application in the A549 cell lines. As a result, current studies with plant-derived exosomes suggest that these nanovesicles may be promising therapeutic agents for future cancer treatment as a single agent or in combination with other materials. When their toxic effects on cancer are considered, GMEs could be a new example of a series of plant-borne exosomes that can be used to treat cancer and other chronic diseases.

Funding

Finance of this research has been provided by Firat University Scientific Research Project Council of Turkey (Project number: SYO.20.02).

Disclosure statement: The authors report there are no competing interests to declare.

Data availability statement: There is no associated dataset.

ACKNOWLEDGMENT

We would like to thank Prof.Dr. Fikretin ŞAHİN for allowing us to use Yeditepe University Laboratories in this study.

REFERENCES

- [1] Baykara, O. (2016). Kanser tedavisinde güncel yaklaşımlar, Balıkesir Sağlık Bilimleri Dergisi, 5(3), 154-165.
- [2] Yang, Y. (2015). Cancer immunotherapy: harnessing the immune system to battle cancer. The Journal of clinical investigation, 125(9), 3335-3337.

- [3] Yıldırım, M. (2018). Anti Cancer Effect Of Garlic Exosomes On Different Cancer Types. Master Thesis, Yeditepe University, İstanbul.
- [4] Vlassov, A. V., Magdaleno, S., Setterquist, R., and Conrad, R. (2012). Exosomes: current knowledge of their composition, biological functions, and diagnostic and therapeutic potentials. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) General Subjects*, 1820(7), 940-948.
- [5] İnanır, C., and Ekici, L. (2020). Eksozomlar: Kompozisyonları, Biyolojik Fonksiyonları ve Biyoaktif Bileşiklerin Taşınmasındaki Potansiyelleri. *Academic Food*, 18(4), 421-432.
- [6] Kim, J., Li, S., Zhang, S., and Wang, J. (2021). Plant-derived Exosome-like Nanoparticles and their Therapeutic Activities. *Asian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 1-17.
- [7] Zhang, W., Peng, P., Kuang, Y., Yang, J., Cao, D., You, Y., and Shen, K. (2016). Characterization of exosomes derived from ovarian cancer cells and normal ovarian epithelial cells by nanoparticle tracking analysis. *Tumor Biology* 37(3), 4213-4221.
- [8] Morton, R. E., and Evans, T. A. (1992). Modification of the bicinchoninic acid protein assay to eliminate lipid interference in determining lipoprotein protein content, *Anal Biochem*, 204(2), 332-4.
- [9] Yin, L., Wei, Y., Wang, Y., Xu, Y., and Yang, Y. (2013). Long Term and Standard Incubations of WST-1 Reagent Reflect the Same Inhibitory Trend of Cell Viability in Rat Airway Smooth Muscle Cells, *Int J Med Sci.*, 10(1), 68-72.
- [10] Mathivanan, S., Ji, H., and Simpson, R. J. (2010). Exosomes: extracellular organelles important in intercellular communication. *Journal of proteomics*, 73(10), 1907-1920.
- [11] You, J. Y., Kang, S. J., and Rhee, W. J. (2021). Isolation of cabbage exosome-like nanovesicles and investigation of their biological activities in human cells. *Bioactive Materials*, 6(12), 4321-4332.
- [12] Saraç, H., Demirbaş, A., Daştan, S. D., Ataş, M., Çevik, Ö., and Eruygur, N. (2019). Evaluation of Nutrients and Biological Activities of Kenger (*Gundellia tournefortii* L.) Seeds Cultivated in Sivas Province. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 7(2), 52-58.
- [13] Lapa, M. R., Kırbaş, O. K., Bozkurt, B., Taşlı, P. N., Avcı, M. K., and Şahin, F. (2017). *Vaccinium myrtillus* (Yaban Mersini) kaynaklı Eksozomların İnsan Akciğer Karsinomu (A549 hücre hattı) Üzerine Sitotoksik Etkilerinin MTT testi ile Araştırılması. 14. İğen International Molecular Biology And Genetics Winter School.
- [14] Özaltun, B., and Daştan, T. (2019). Evaluation of Antimicrobial Activities and In Vitro Cytotoxic Activities of *Gundelia tournefortii* L. *SDÜ Tıp Fakültesi Dergisi*, 26(4), 436-442.
- [15] Raimondo, S., Naselli, F., Fontana, S., Monteleone, F., Dico, A.L., Saieva, L., Zito, G., Flugy, A., Manno, M., Di Bella, M. A., De Leo, G., Alessandro, R., and Oncotarget, R. (2015). Citrus

limon-derived nanovesicles inhibit cancer cell proliferation and suppress CML xenograft growth by inducing TRAIL-mediated cell death. *Oncotarget*, 6(23), 19514.



YAPAY ZEKA YÖNTEMLERİYLE ERKEN EVRE DİYABET RİSK TAHMİNİ

Hüseyin YILMAZ¹, Abdulkadir BULDU², Yılmaz KAYA³, Fatma KUNCAN^{4*}

¹ Siirt Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Siirt, ORCID: 0000-0002-7068-6429

² Siirt Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Siirt, ORCID: 0000-0002-9161-4862

³ Batman Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Batman, ORCID: 0000-000-5167-1101

^{4*} Siirt Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Siirt, ORCID: 0000-0003-0712-6426

Geliş Tarihi(Received Date):16.12.2022

Kabul Tarihi(Accepted Date):14.02.2023

ÖZ

Makine öğrenmesi ve yapay zekâ günümüzde birçok alanda ve çalışmada yer almaktadır. Bu alanlardan biri de sağlık alanıdır. Biyomedikal işaretlerin son zamanlarda hızlıca elde edilmesi ve elde edilen birçok kaynağın teknoloji sayesinde süreçte entegresindeki hız, sağlık alanında da birçok projenin başarı ile gelişmesine olanak sağlamıştır. Ülkemizde ve dünyamızda son zamanlarda oldukça fazla artış gösteren diyabet hastalığı, halk dilinde bilenen aksine yüksek miktarda şeker tüketiminden değil, vücutta bulunması gereken insülin hormonunun vücut tarafından üretilmemesi ya da insülin hormonunun emilmemesi sonucu olarak diyabet hastalıkları görülmektedir. Makine öğrenmesi ve sınıflandırma algoritmalarının çeşitli biyomedikal alanlarda hastalığın teşhisi ve erken evre tedavi yöntemlerinde başarılı sonuçlar elde etmesi, günümüzde hasta sayısının çok hızlı artış gösterdiği şeker hastalığının da teşhisinde, bizlere risk faktörleri artmadan öngörülen semptomlardan pozitif çıkarımlar elde ederek hastalığa karşı erken müdahale imkânı sunabilecektir. Yaptığımız çalışmada 2 farklı tipe sahip olan diyabet hastalığının teşhisi için 5 farklı makine öğrenmesini (KNN, Lojistik Regresyon, Karar Ağaçları, DVM, Random Forest), python programlama dili ile sınıflandırma sürecine dahil edilerek algoritmaların başarı oranlarının kıyaslanmasını yaptık. Kullandığımız algoritmalar, yapısal olarak sınıflandırma işlemlerinde oldukça başarılı sonuçlar vermektedir. KNN, Lojistik Regresyon, Karar Ağaçları, DVM, Random Forest algoritmaları Sınıflandırma süreçlerinde yüksek başarılar sağlamak ve bu başarılar hastalık tanı kitleri oluşturulmasına olanak sunmaktadır. Çalışmada en yüksek sonucu elde eden makine öğrenmesi algoritması olan Random Forest algoritmasının erken evre diyabet hastalığının teşhisinde %96 gibi yüksek bir oranda doğru sonuç elde edildi. Yapılan çalışmada Random Forest algoritmasının başarı oranının yanı sıra Kesinlik ve hassasiyet konusunda da %94'lük bir başarı yakaladı.

Anahtar Kelimeler: *Diyabet, Erken Evre, Sınıflandırma Algoritmaları, Makine Öğrenmesi*

EARLY STAGE DIABETES RISK PREDICTION WITH ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS

ABSTRACT

Machine learning and artificial intelligence are involved in many fields and studies today. One of these fields is the field of health. The rapid acquisition of biomedical signs in recent times and the

speed of integration of many sources into the process thanks to technology have enabled the successful development of many projects in the field of health. Diabetes disease, which has increased considerably recently in our country and in the world, is not due to the consumption of high amounts of sugar, contrary to what is known in the public language, but as a result of the body not producing the insulin hormone that should be present in the body or not absorbing the insulin hormone. In our study, we compared the success rates of algorithms by including 5 different machine learning processes for the diagnosis of diabetes, which has 2 different types. The successful results of machine learning and classification algorithms in the diagnosis of the disease in various biomedical fields and in early stage treatment methods will provide us with the opportunity of early intervention against the disease by obtaining positive inferences from the predicted symptoms without increasing the risk factors, in the diagnosis of diabetes, where the number of patients is increasing very rapidly today. In our study, we compared the success rates of algorithms by including 5 different machine learning methods in the classification process with the python programming language for the diagnosis of diabetes, which has 2 different types. The algorithms we use give very successful results in structural classification processes. KNN, Logistic Regression, Decision Trees, DVM, Random Forest algorithms provide high success in classification processes and these successes allow the creation of disease diagnostic kits. In the study, the Random Forest algorithm, which is the machine learning algorithm that achieved the highest result, achieved an accurate result of 96% in the diagnosis of early stage diabetes. In the study, besides the success rate of the Random Forest algorithm, it also achieved a 94% success in precision and precision.

Keywords: *Diabetes, Early Stage, Classification Algorithms, Machine Learning*

1. GİRİŞ

Diyabet, Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) 2018 yılındaki raporuna göre dünya çapında 422 milyon kişiyi etkilemiş ve en hızlı büyüyen, yaşamı tehdit eden kronik hastalıklardan biridir [1]. Bu hastalık genellikle Tip2 ve Tip1 olmak üzere 2 gruba ayrılır. Kronik bir rahatsızlık olan diyabet hastalığı vücutta varlığını uzun bir süre gizli olarak da sürdürebilir. Aniden ortaya çıkan ya da zaman içerisinde ileri seviyelere ulaşan diyabet durumu, zamanla vücutta bulunan belli başlı organlara büyük zararlar verebilecek hale gelmektedir. En çok etkilenenler, kalp ve göz gibi insan yaşamında yeri bir hayli fazla olan organlardır [18].

Tip1 diyabet hastalığı, pankreasta bulunan hücrelerin görevini yerine getirememesinden kaynaklı insülin eksikliği sonucunda genelde erken çocukluk ve gençlik dönemlerinde görülebilen bir diyabet tipidir [2]. Tip 2 diyabet, sıklıkla 30 yaş ve üstünde görülen, insülin hormonuna karşı vücudun direnç göstermesi ya da insülin emiliminin yeterince gerçekleşmemesi durumunda ortaya çıkan bir diyabet türüdür. Dünya da ve Türkiye de en sık görülen tiplerdendir [3]. Diyabetin erken dönemde tespit edilmesi günümüzde hızla artan diyabet hastası sayısını düşürmek için oldukça önemlidir.

Diyabetin erken tespitinde, yaş, vücut kitle endeksi, aşırı sıvı kaybı vb. veriler diyabetin erken tespit edilmesi için doktorlara kolaylıklar sağlamaktadır. Son zamanlarda teknolojinin sağlık alanında da kullanılmaya başlaması, hastalıkların erken teşhisinde aktif olarak kullanılmasını ve makine öğrenme algoritmalarının da bu noktada uzman kişilere yardımcı olabilecek birer seçenek olduğu ortaya çıkmıştır.

Tıp alanındaki birçok teşhis, elektronik ve bilişim alanındaki gelişmeler sonucunda insan vücudundan alınan biyo-elektriksel sinyaller veya kan değerleri ile rahatlıkla ölçülmekte ve farklı alanlara disiplinler arası bir çalışma yapılmasına olanak tanımaktadır [4]. Makine öğrenmesi ya da yapay zekâ tam bu noktada birbiri ile ilişkileri zayıf ya da üst düzey olan noktalar arasında gerekli bağlamı kurabilir ve veri kümelerinden yeni sonuçların elde edilmesi noktasında bizlere yardımcı olabilir [5]. Bu sayede direkt göz ile görülemeyen ve aralarındaki bağlantı tespit edilemeyen durumlar kolaylıkla tespit edilebilir, örüntüler kurulur ve süreç hızlanır. Tüm bu gelişmeler beraberinde sağlık alanında birçok hastalık ve teşhisin yapay zekâ ve makine öğrenmesi yöntemleri ile daha kısa sürede ve yüksek bir doğruluk oranı ile çözülebilmeye yardımcı olmaktadır.

Bu çalışmada, Makine öğrenmesi tekniklerinden sınıflandırma algoritmalarından olan 5 farklı tekniğin (KNN, Lojistik Regresyon, Karar Ağaçları, DVM, Random Forest), Erken evre diyabet risk tahminindeki performanslarının karşılaştırılması yapılmıştır. Elde edilen tutarlı, yüksek doğruluk ve F1 skoruna sahip algoritmaların, hastalığın erken teşhisindeki başarı oranları incelenmiştir.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

Early stage diabetes risk prediction veri seti, 2020 yılında Bangladeş de bulunan Sylhet Diabetes hastanesindeki hastaların kayıtlarından elde edilen verilerden yeni diyabetik hasta teşhisi için hazırlanmış bir veri setidir. Yakın zamanda hazırlanmış olan bu veri seti çıkış olarak 1 ve 0 verisinden oluştuğu için makine öğrenmesi sürecinde sınıflandırma algoritmalarında sıkça kullanılmaktadır. Literatürde bu veri seti kullanılarak yapılan bazı çalışmalar şunlardır;

Ö. N. Ergün, H. O. İlhan, Makine öğrenmesi algoritmalarının, hayatlarını doğrudan etkileyen, tedavisi olmayan ve ölümcül bir hastalık olan diyabetin kişilerin hayat standartlarını yükseltmeye faydalı olabileceğini göstermek için 8 farklı makine öğrenmesini kullanarak, hangi makine öğrenmesi algoritması tekniğinin hastalığın erken evre teşhisinde kullanılmasının daha hızlı ve yüksek başarı oranlı sonuç verdiğini test etmiştir. Yapılan bu çalışma diyabet hastalığı riskinin hastalığın daha erken evrelerinde tespit edilebilmesinde yapay zekâ ve makine öğrenmesi algoritmalarının başarı oranlarını göstermiştir. Yapılan çalışmada en iyi sonuç evrimsel sinir ağlarını tek boyutlu olarak kullanılarak elde edilmiştir. Yapılan çalışmada başarı oranı %99,04 olarak elde edilmiştir [6]

G. Bilgin, Türkiye’de son dönemlerde görülme sıklığı artan, insan vücudundaki birçok yapıya zarar veren bir hastalık olan diyabetin, makine öğrenmesi süreçleri ile tespitinin insan sağlığına zarar vermeden en az başarılı oranda tespit edilmesinin makine öğrenmesi süreçleri ile sağlanacağını gösterdiği çalışmada, Erken evre diyabet riskini tahmin edebilmek için makine öğrenmesi algoritmalarını kullanarak bir tanı kiti geliştirmiştir. Geliştirilen tanı kiti, 6 farklı algoritmanın karşılaştırılması sonucu elde edilmiştir. Benzer birçok çalışmada veri setinde var olan 16 tanımlayıcı 1 tane de sınıf belirten özneliğin 9 veya daha üstü seçilerek yapılırken, bu çalışmada tüm öznelikle sürece dahil edilmiş ve farklı algoritmalar kullanarak elde edilen sonuç skorları değerlendirilmiştir tanı kiti hazırlanırken. Çalışmada kNN sınıflandırma algoritması %99,81 doğruluk oranına ve %99,83 F1 skorunu elde etmiştir [7].

A. Yasar, Erken evre diyabet teşhisi için, Veri setine ön işleme ve öznelik çıkarma yöntemleri uygulayarak, farklı Wrapper metodlarının, makine öğrenmesi yöntemleri ile performanslarını analiz etmeye çalışmıştır. Çalışmada MATLAB programı kullanılmış, Öznelik seçim için PSO, CSA, TSA, SMA, ABC gibi Wrapper yöntemler ile 16 farklı öznelik bulunan veri setinden farklı sayıda ve

özelliğe yeni öznelikler elde edildi. Elde edilen her bir öznelik DT, RF, SVM, kNN, FFNN gibi makine öğrenmesi algoritmaları ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen en başarılı sonuçlar, PSO+SVM=97,5 ile CSA+FFNN = 99,04 şeklindedir [8].

R. Ferdousi, M. E. Hossain, A. E. Saddik, Bulaşıcı olmayan hastalıkların erken evre risk tahminlemesi üzerine yaptıkları çalışmada, IOT teknolojisini veri seti ile entegre ederek dinamik olarak insanlardan alınacak veriler ile bu hastalıkların hangi evrede olduğuna dair dönüt alacakları giyilebilir bir IOT ve makine öğrenmesi çalışması yaptılar. Yapılan çalışmada algoritmaların tepki süreleri ve sonuçların başarı oranları ayrıca önemli idi. Kullanılan sensörlerden anlık olarak alınan veriler 0,1 saniye gibi kısa bir sürede işlenmektedir. Yapılan çalışma sonucunda RF, DT, MLP, RT ve KNN algoritmaları %91-94 arası başarılı sonuçlar elde edilmesini sağladı [9].

S. Pate, R. Pate, N. Ganatra, A. Pate, Makine öğrenmesi yaklaşımı ile veri seti üzerinde erken evre diyabet tespiti çalışmasında, 4 farklı makine öğrenmesi algoritması kullanarak erken evre tespit çalışması yaptı. Yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlara bakıldığında Random Forest algoritması %97,5 gibi bir oran ile en yüksek başarıyı gösteren algoritma oldu [10].

Sonar, P. ve Jaya Malini, K., 2019 yılında yayınladıkları çalışmada, diyabet risk olasılığını daha doğru şekilde tahmin edebilmek için, 4 farklı sınıflandırma (Decision Tree, ANN, Naive Bayes ve SVM) algoritmasından elde edilen sonuçları karşılaştırdı. Yapılan çalışma sonucunda elde edilen sonuçlardan Decision Tree algoritmasının %85 oranı ile en yüksek başarıyı elde ettiği görüldü [19].

Güneş Harman, 2021 yılında Python dilini kullanarak destek vektör makinası ile Naive Bayes algoritmalarını karşılaştırmış ve diyabet hastalığını erken evre tespit etmeye çalışmıştır. Smote tekniği ile sınıflandırma işlemi üzerinde olumsuz etki bırakacak etmenleri en aza indirgeyerek başarılı sonuçlar elde etmeye çalışmıştır. Yapılan çalışma sonucunda Destek Vektör Makinaları algoritması diğer Makine öğrenmesi algoritmasına göre daha başarılı bir sonuç vermiştir. Destek vektör makinalarının başarı oranı %90'dır[20].

3. VERİ SETİ

Kullandığımız veri kümesi, 520 kişiye ait diyabetle ilgili 17 farklı semptomun bilgilerini içermektedir. Veri seti'nin hazırlanması sırasında, diyabet teşhisine yönelik semptomlar erken evrede diyabet teşhisi konulan hastalardan doğrudan elde edilmiştir. Data seti, Bangladeş Sylhet Diyabet Hastanesinde hastalara uygulanan bir anket yöntemi kullanılarak toplanmıştır [1, 17].

Veri kümesinin içeriği Çizelge 1'de verilmiştir. Veri setinde toplamda 520 hasta verisi bulunmakta ve bu hastaların yaş aralıkları ekstra bir gruptan alınmamıştır, diğer veriler ise sadece 1 ve 0 verileri olarak gruplara ayrılmıştır. 1 verisi veri seti içerisinde evet cevabı ile özdeşleştirilmişken 0 verisi hayır cevabına karşılık olarak seçilmiştir.

Çizelge 1. Veri Seti İçeriği.

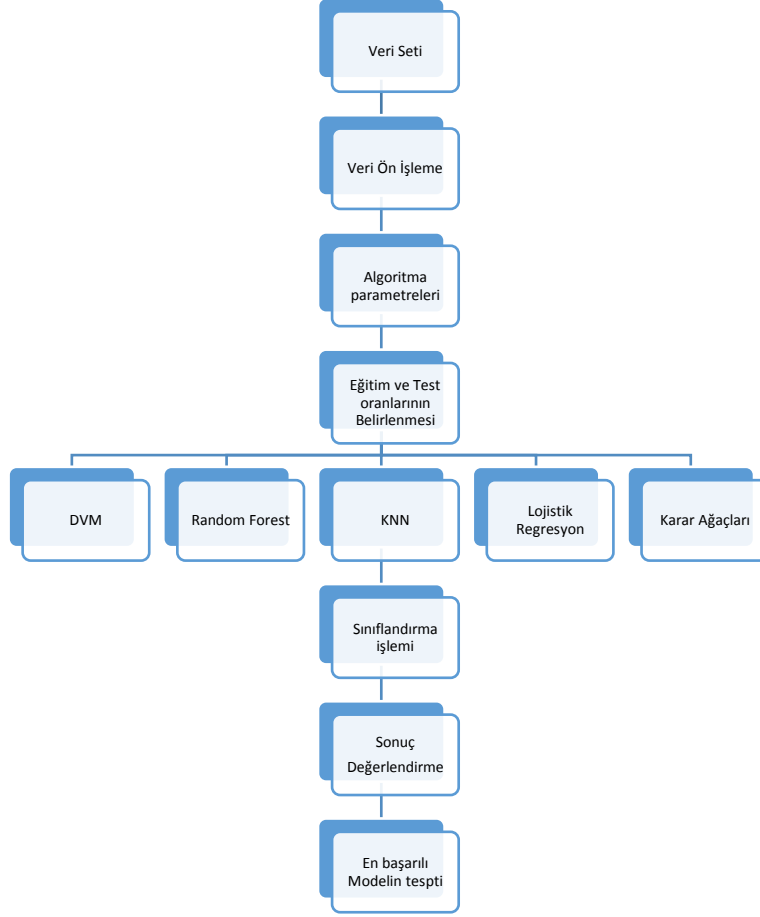
| | Veri | | Değerler |
|---|-----------|-------|-----------------|
| 1 | Yaş | 20-65 | |
| 2 | Cinsiyet | 1. | Erkek- 0. Kadın |
| 3 | Poliüri | 1. | Evet – 0. Hayır |
| 4 | Polidipsi | 1. | Evet – 0. Hayır |

| | | | |
|----|--------------------------|----|----------------------|
| 5 | Ani Kilo Kayıpları | 1. | Evet – 0. Hayır |
| 6 | Halsizlik | 1. | Evet – 0. Hayır |
| 7 | Polifaji | 1. | Evet – 0. Hayır |
| 8 | Genital Bölgede Pamukçuk | 1. | Evet – 0. Hayır |
| 9 | Gözlerde Bulanık görme | 1. | Evet – 0. Hayır |
| 10 | Kaşınma | 1. | Evet – 0. Hayır |
| 11 | Sinirlilik | 1. | Evet – 0. Hayır |
| 12 | Geç iyileşme | 1. | Evet – 0. Hayır |
| 13 | Kısmi parezi | 1. | Evet – 0. Hayır |
| 14 | Kas sertleşmesi | 1. | Evet – 0. Hayır |
| 15 | Alopesi | 1. | Evet – 0. Hayır |
| 16 | Obezite | 1. | Evet – 0. Hayır |
| 17 | Teşhis | 1. | Pozitif – 0. Negatif |

4. YÖNTEMLER

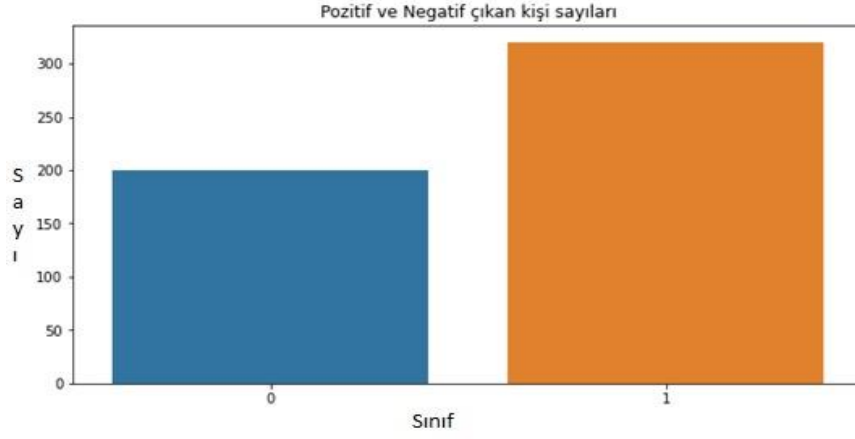
4.1. Veri Önışleme

Veri setine önışleme yapılarak eksik, dağınık ya da yanlış tanımlanmış verilerin tespiti denendi fakat herhangi bir eksik veriye rastlanmadı. Çizelge 1’de verilen bilgiler paralelinde veri seti üstünde gerekli dönüşümler yapılarak verinin işlenebilir şekilde olması sağlandı.

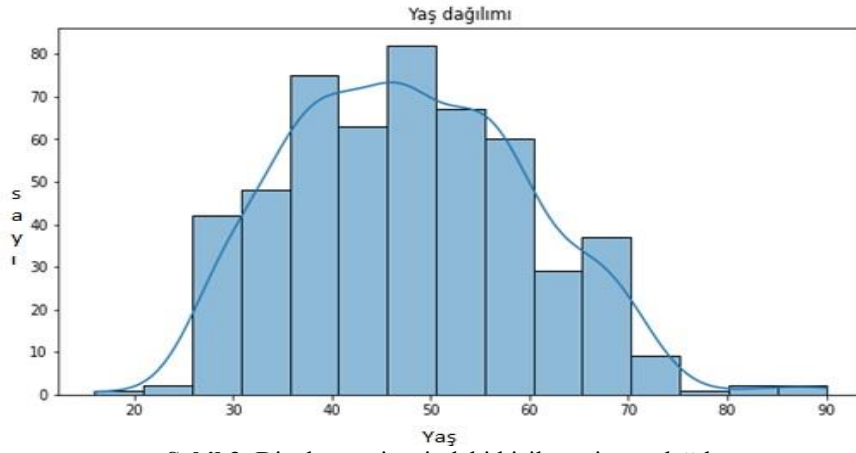


Şekil 1. Veri setine uygulanan işlem basamakları.

Bu çalışmada veri setinde bulunan bazı parametreler istatistik açısından daha çok dikkate alındı. Bunlar, Cinsiyet, yaş dağılımı ve hastalığın pozitif ve negatif olma durumları olarak grafiğe döküldü. **Şekil 1**'de veri setinde var olan kadın erkek sayısının hastalık oranları verilmiştir.

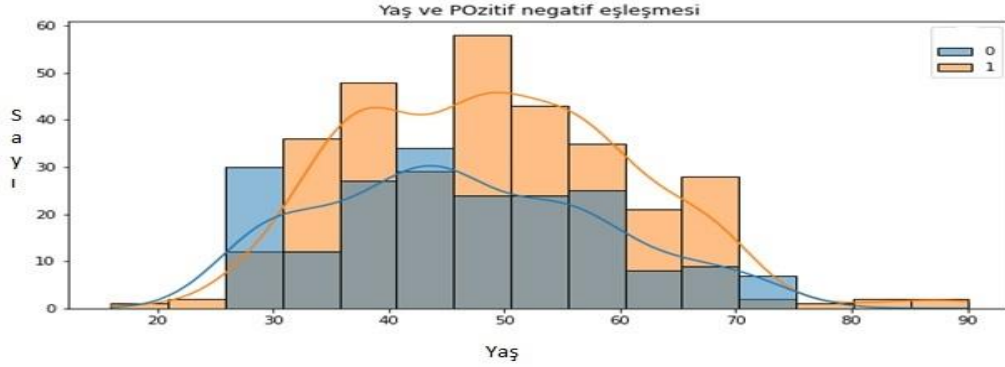


Şekil 2. Diyabet sonuçları pozitif ve negatif çıkan kişi sayıları.



Şekil 3. Diyabet veri setindeki kişilere ait yaş dağılımı.

Şekil 2’de veri setinde var olan 520 kişiye ait yaş dağılım grafiği figsize = (10,5) belirlenerek elde edildi ve yine aynı şekilde Şekil 3’te yaşa göre kadın ve erkek pozitif ve negatif eşleşme oranları verilmiştir.



Şekil 4. Yaş ve pozitif-negatif korelasyonu.

4.2. Sınıflandırma Yöntemleri

Veri setinin üstünde sınıflandırma algoritmalarının bazılarını sırası ile test ederek aralarından en yüksek Doğruluk, Hassasiyet, Kesinlik ve F skor oranı elde edilenlerin kendi aralarında sıralanması amaçlanmıştır. Sıralama işlemini yapmadan önce veri setine uygulanan sınıflandırma algoritmaları için standart olarak hepsinde eğitim ve test veri setlerinin oranlarını 0,3 olarak ayarlanmıştır. Bu şekilde verilerden %30'u test iken kalan %70'i eğitim veri seti olarak kullanılmıştır. Veri setine sırası ile KNN, Lojistik regresyon, Karar Ağaçları, Destek Vektör Makineleri (DVM), Random Forest algoritmaları sırası ile uygulanmış elde edilen skorlar kayıt altına alınmış ve Çizelge 2'de gösterilmiştir.

4.2.1. K-nearest neighbors algoritması

K-Nearest Neighbors algoritması, bağımsız değişkenler tarafından oluşturulan vektörlerin komşularının, hangi sınıfta daha fazla yoğunluk gösterdiği üzerine tahmine dayalı çalışır. K en yakınlık değeri genelde tek sayı seçilir [11]. Çalışmada K komşuluk değeri ($k_{neighbors}=3$) 3 olarak seçilmiştir. Komşuluk ve uzaklık değerleri algoritmanın çalışma performansını etkileyen 2 farklı ana değerdir. Bulunan K değerinin diğer değerlere olan uzaklıkları farklı şekillerde ölçülebilir. Öklid uzaklık ölçümü de bu değerlerden biridir [12]. Denklem 1'de KNN algoritmasının mesafe hesaplama işleminin ifadesi gösterilmiştir.

$$Mesafe = \sqrt{(X_i - X_{Yeni})^2 + (Y_i - y_{Yeni})^2} \quad (1)$$

Denklem 1'den de anlaşılacağı üzere uygun seçilen K değeri, öklit uzaklığı olarak yeni gelen bir değer için hangi sınıfa gireceğini göstermektedir.

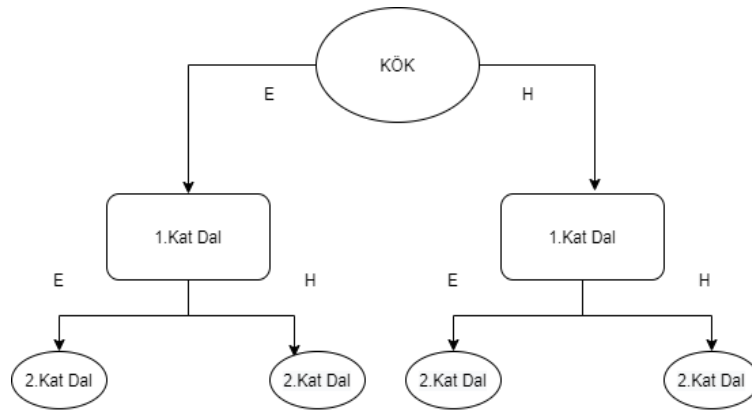
4.2.2. Lojistik regresyon algoritması

Birden fazla bağımsız değişkenin sonucu belirlediği veri kümelerini analiz için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Doğru-Yanlış, Evet-Hayır gibi direkt sonuç bildiren kategorik çıktıya sahip verilerde işlem yapan bir Regresyon örneğidir. Lojistik regresyon Maksimum olasılık ile lineer regresyondan ayrılır [13]. Sigmonoid fonksiyonu, Lojistik regresyonun 0 ile 1 arasındaki gösterimi için kullanılır. Denklem 2'de bir Sigmonoid fonksiyonu görülmektedir.

$$G(z) = \frac{1}{1+e^{-z}} \quad (2)$$

4.2.3. Karar ağaçları algoritması

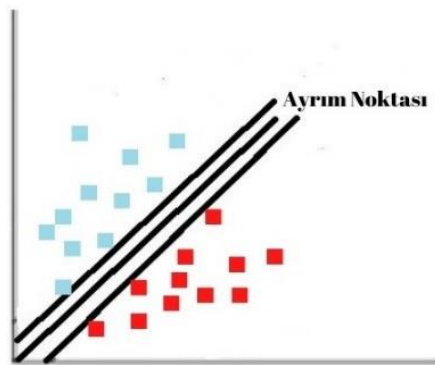
Parametrik olmayan makine öğrenmesi algoritmasıdır. Ters duran bir ağacı andıran karar algoritmaları, Kökten alt dallara ve alt dallardan sonra çoğalan yeni adımlara uzanan bir yapıdadır. Her oluşan yeni dal gövdede bağlı olduğu ana dalın özelliklerini taşır Şekil 5’te gösterilmiştir. Veri setinden seçilen bir kolondan yola çıkılır. Seçilen bu kolondan elde edilen veriler tüm ağaca ya da veri setine uygulanır [14].



Şekil 5. 2 dallı karar ağacı algoritması gösterimi.

4.2.4. Destek vektör makineleri algoritması

Destek vektör makineleri algoritması, uzay vektör alanında bulunan 2 farklı sınıfa birbirinden ayırmak için bir karar sınırı oluşturan makine öğrenme algoritmasıdır [15]. Algoritmadaki amaç 2 farklı sınıfa ait olan verileri birbirinden ayırabilen en doğru şekilde ayıran sınır noktasını çizmektir. İki farklı sınıf değerini birbirinden ayırıştıran margin noktası, arttıkça veriler daha homojen bir dağılım gösterir ve ayrışma sağlar. Şekil 6’da bir DVM algoritmasının sonuç değişkenini margin ile ayırımı gösterilmektedir.



Şekil 6. DVM sonucu oluşan margin.

4.2.5. Random forest algoritması

Karar ağaçları algoritmasının anlaşılması, Random Forest algoritmasını daha iyi anlamamıza yardımcı olur. Birden fazla karar ağacı kullanarak daha uyumlu modeller üretilmesine fırsat tanır, bu şekilde elimizdeki veri setinin daha isabetli bir sınıflandırma yapmasını bu model sayesinde sağlayabiliriz [16].

5. PERFORMANS DEĞERLENDİRME

Toplam 520 kişiye ait 17 farklı değer bulduğu makine öğrenmesi algoritmasından elde edilen sonuçlar Çizelge 2’de verilmiştir. Her algoritmadan elde edilen karışıklık matrisi değerlerine göre, yöntemlerin kesinlik, hassasiyet ve F1 skorları elde edilerek başarı oranları karşılaştırması yapılmıştır.

Çizelge 2. Veri setine uygulanan sınıflandırma algoritmalarından elde edilen sonuçlar.

| Yöntemler | Accuracy (Doğruluk) | Precision (Kesinlik) | Recall (Duyarlılık) | F1 Score (F1 Skoru) |
|--------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|
| KNN | 0,91 | 0,85 | 0,92 | 0,88 |
| Lojistik regresyon | 0,89 | 0,84 | 0,86 | 0,8498 |
| Karar Ağaçları | 0,96 | 0,84 | 0,94 | 0,94 |
| DVM | 0,95 | 0,97 | 0,89 | 0,92 |
| Random Forest | 0,96 | 0,94 | 0,94 | 0,94 |

6. TARTIŞMA

Makine öğrenmesi birçok alanda bizlere karar verme ve uygulama noktasında elimizi güçlendirecek argümanlar sunmaktadır. Tıbbi alanlar başta olmak üzere borsa ve kripto para gibi birden fazla değişkenin sürece dahil olduğu durumlarda bu tarz makine öğrenmeleri süreç içerisinde insanların zarar görmelerini ve yakın zamanda meydana gelebilecek durumları kestirmeleri açısından önem arz etmektedir.

Erken evre diyabet hastalığı da günümüzde tedavisi olmayan erken evrede teşhis sonucu yaşam kalitesini artıran bir hastalıktır. Kalıtsal boyutunun yanı sıra özellikle genç çocukluk dönemlerinde ortaya çıkan Tip-1 diyabet kişi sağlığını etkilemekten öte zamanla uzuv kaybına da neden olmaktadır. Makine Öğrenmesi, sağlık alanında çalışan personele, gizli şekilde varlığını sürdüren, teşhisi zaman alan diyabet hastalığının en kısa sürede ve en yüksek başarı oranları ile teşhis konması için imkân sunmaktadır bizlere. Uyguladığımız algoritmalar incelendiğinde %87 ile %96 arasında yüksek bir oranda başarı elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar %80 - 20 test eğitim oranları ile elde edilmiştir. Makine öğrenmesi sürecinde eğitim test oranlarını farklı seviyelerde denemiş ve en yüksek oranın 80/20 oranında olduğu görülmüştür. Çalışmanın devamında çapraz doğrulama sayısını artırarak elde edilecek başarı oranlarında artış gözlemlenebilir. Yapılan çalışma bizlere makine öğrenmesi algoritmalarının diyabet alanında teşhis konusunda elde ettiği başarıların, gündelik hayatta da aktif şekilde kullanılabileceğini, yapay zekâ ile teşhis tanı kitleri oluşturmasıyla kullanımının artacağı göstermiştir.

7. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında veri setine uygulanan 5 farklı sınıflandırma yöntemi yardımıyla elde edilen doğruluk oranları kıyaslanmış ve elde edilen bulgulara göre en yüksek sınıflandırma başarısı %96 oranla DVM ve Random Forest yöntemlerinde elde edilmiştir. Ayrıca Lojistik regresyon kullanılarak elde edilen %89'luk doğruluk oranı da çalışma kapsamında elde edilen en düşük orandır. Yani 5 farklı sınıflandırma metodu %89-%96 arasında bir doğruluk oranı skalası oluşturmuştur. Bu çalışmada özellikle başarı oranları yüksek çıkacak algoritmalar yerine, topluluk öğrenmesine yatkın, uzay vektör bağlamları yüksek algoritmaları tercih edilmiştir. Kullanılan algoritmaların sınıflandırma performanslarının yüksek oluşu ve başarı oranlarındaki keskinlik ve F skorları bizlere bu algoritmaların en ideal algoritmalar olduğunu göstermiştir. Literatürde yapılan diğer karşılaştırmalarda genelde tek algoritma üstünden süreçler incelenmiş ve algoritmanın başarı oranı tek bir açıdan irdelenmiştir. Çalışmada 5 farklı algoritmanın hepsinde yüksek doğruluk elde edilecek derecede eğitim-test ve komşuluk derecesi gibi ayarlar yapılmıştır.

Yapılan bu çalışma bizlere gösteriyor ki, sağlık alanındaki birçok durumda artık teşhis ve yorumlama süreçleri yerine makine öğrenmesi ve yapay zekâ yöntemleri yer alacaktır. Bunlar kanser gibi, hızlı yaş tahmini, damar sorunları vb. birçok farklı sağlık alanında günden güne daha sık kullanılarak hastalıkların erken teşhisinde önemli bir yol kat edecek hale gelecektir. Hali hazırda günümüzde biyomedikal alanda yapay zekâ ve makine öğrenmesi algoritmaları kullanarak birçok proje yapılmakta ve yapılmaya devam etmektedir. Bu çalışmalar ilerleyen zamanlarda da sağlık alanında birçok alanın makine öğrenmesi algoritmaları ile tespit edilmesini sağlamıştır.

TEŞEKKÜR

Bu makale çalışması Siirt Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnsan Bilgisayar Etkileşimi Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. İnsan Bilgisayar Etkileşimi Laboratuvarı personeline destekleri için ayrıca teşekkür ederim.

KAYNAKÇA

- [1] Islam, M. M., Ferdousi, R., Rahman, S., and Bushra, H. Y. (2020). Likelihood prediction of diabetes at early stage using data mining techniques. In Computer vision and machine intelligence in medical image analysis (pp. 113-125). Springer, Singapore.
- [2] Gregg, E. W., Cheng, Y. J., Srinivasan, M., Lin, J., Geiss, L. S., Albright, A. L., and Imperatore, G. (2018). Trends in cause-specific mortality among adults with and without diagnosed diabetes in the USA: an epidemiological analysis of linked national survey and vital statistics data, *The Lancet*, 391(10138), 2430-2440.
- [3] Kılınc, E. (2022). TİP 2 Diyabetli yetişkinlerde bilgi, motivasyon ve davranış becerileri modeli temelli diyabet eğitimi ve motivasyonel görüşmenin bakım sonuçlarına etkisi: Randomize kontrollü çalışma.
- [4] Demir, N., Kuncan, M., Kaya, Y., and Kuncan, F. (2022). Multi-Layer Co-Occurrence Matrices for Person Identification from ECG Signals, *Traitement du Signal*, 39(2).

- [5] Karakoyun, M., and Hacibeyoğlu, M. (2014). Biyomedikal Veri Kümeleri ile Makine Öğrenmesi Sınıflandırma Algoritmalarının İstatistiksel Olarak Karşılaştırılması, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 16(48), 30-42.
- [6] Ergün, Ö. N., and İlhan, H. O. (2021). Early Stage Diabetes Prediction Using Machine Learning Methods. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (29), 52-57.
- [7] Bilgin, G. (2021). Makine öğrenmesi algoritmaları kullanarak erken dönemde diyabet hastalığı riskinin araştırılması, Journal of Intelligent Systems, Theory and Applications, 4(1), 55-64.
- [8] Yasar, A. (2021). Data Classification of Early-Stage Diabetes Risk Prediction Datasets and Analysis of Algorithm Performance Using Feature Extraction Methods and Machine Learning Techniques, International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering, 9(4), 273-281.
- [9] Ferdousi, R., Hossain, M. A., and El Saddik, A. (2021). Early-stage risk prediction of non-communicable disease using machine learning in health CPS, IEEE Access, 9, 96823-96837.
- [10] Patel, S. (2021). Predicting a risk of diabetes at early stage using machine learning approach, Turkish Journal of Computer and Mathematics Education (TURCOMAT), 12(10), 5277-5284.
- [11] Kılınç, D., Borandağ, E., Yücalar, F., Tunalı, V., Şimşek, M., and Özçift, A. (2016). KNN algoritması ve r dili ile metin madenciliği kullanılarak bilimsel makale tasnifi, Marmara Fen Bilimleri Dergisi, 28(3), 89-94.
- [12] Guo, G., Wang, H., Bell, D., Bi, Y., and Greer, K. (2003). KNN model-based approach in classification. In On The Move to Meaningful Internet Systems 2003: CoopIS, DOA, and ODBASE: OTM Confederated International Conferences, CoopIS, DOA, and ODBASE 2003, Catania, Sicily, Italy, November 3-7, 2003. Proceedings (pp. 986-996). Springer Berlin Heidelberg.
- [13] Kleinbaum, D. G., Dietz, K., Gail, M., Klein, M., and Klein, M. (2002), Logistic regression, New York: Springer-Verlag (p. 536).
- [14] Quinlan, J. R. (1996). Learning decision tree classifiers. ACM Computing Surveys (CSUR), 28(1), 71-72.
- [15] Pisner, D. A., and Schnyer, D. M. (2020). Support vector machine. In Machine learning (pp. 101-121). Academic Press.
- [16] Hegde, C., Wallace, S., and Gray, K. (2015). Using trees, bagging, and random forests to predict rate of penetration during drilling. In SPE Middle East Intelligent Oil and Gas Conference and Exhibition. OnePetro.
- [17] UCI Machine Learning Repository. (2020, July 12). Early stage diabetes risk prediction dataset. <https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Early+stage+diabetes+risk+prediction+dataset>.

- [18] Diyabet nedir, Erişim Adresi: <https://www.medicalpark.com.tr/seker-hastaligi-diyabet-nedir/hg-1703> (Ziyaret Tarihi:04.11.2022)
- [19] Sonar, P., and JayaMalini, K. (2019, March). Diabetes prediction using different machine learning approaches. In 2019 3rd International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC) (pp. 367-371). IEEE.
- [20] Harman, G. (2021). Destek Vektör Makineleri ve Naive Bayes Sınıflandırma Algoritmalarını Kullanarak Diabetes Mellitus Tahmini. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (32), 7-13.