



**KIRKLARELİ
ÜNİVERSİTESİ**

**Mühendislik ve
Fen Bilimleri
Dergisi**

**KIRKLARELİ
UNIVERSITY**

**Journal of
Engineering
and Science**

KLUTES

ISSN: 2458-7494 / E-ISSN: 2458-7613

An International Peer Reviewed, Indexed and Open Acces Journal



ISSN : 2458-7494

E-ISSN: 2458-7613

KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

KIRKLARELİ UNIVERSITY
JOURNAL of ENGINEERING and SCIENCE

Cilt / Volume: 11

Sayı / Number: 1

Haziran / June 2025

Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/klujes>

e-mail: fbedergi@klu.edu.tr



KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ / KIRKLARELİ UNIVERSITY
MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ DERGİSİ / JOURNAL of ENGINEERING and SCIENCE

Sahibi / Owner

Kırklareli Üniversitesi Rektörlüğü Adına / Owner on Behalf of Kırklareli Rectorship
Prof. Dr. Rengin AK (Rektör)

Baş Editör / Editor in Chief

Kırklareli Üniversitesi / Kırklareli University
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü Adına / On Behalf of Institute of Natural Sciences Director
Doç. Dr. H. Hale KARAYER

Editörler / Editors

Prof. Dr. Erol TÜRKEŞ
Doç. Dr. Burak ÖZŞAHİN
Doç. Dr. Nurdan KURNAZ YETİM
Dr. Öğr. Üyesi Erdiç KESKİN
Dr. Öğr. Üyesi Merve ERMİŞ

Teknik Editör / Technical Editor

Doç. Dr. Mümin Mehmet KOÇ

Mizanpaj Editörü / Layout Editor

Dr. Öğr. Üyesi Ufuk PAKSU

Alan Editörleri / Subject Editors

Doç. Dr. Berna AKGENÇ HANEDAR Fizik / Physics
Doç. Dr. Engin HÜNER Yenilenebilir Enerji sistemleri Mühendisliği / Renewable Energy Systems Engineering
Doç. Dr. Mustafa ARSLAN Kimya/Chemistry
Doç. Dr. Olcay EKŞİ Makine Mühendisliği/Mechanical Engineering
Doç. Dr. Orhan ARKOÇ Jeoloji Mühendisliği / Geological Engineering
Doç. Dr. Seda BALKAN Biyoloji / Biology
Doç. Dr. Sencer Süreyya KARABEYOĞLU Makine Mühendisliği/Mechanical Engineering
Doç. Dr. Naim ASLAN Malzeme Mühendisliği / Material Engineering
Doç. Dr. Soner YELER Mimarlık / Architecture
Doç. Dr. Hayrettin TOYLAN Mekatronik Mühendisliği / Mechatronics Engineering
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ÇAKANEL Elektrik ve Elektronik Mühendisliği / Electrical and Electronic Engineering
Dr. Öğr. Üyesi Edip Serdar GÜNER Yazılım Mühendisliği / Software Engineering
Dr. Öğr. Üyesi Nihan TIRMIKÇIOĞLU Matematik / Mathematics
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Utku YILMAZ İnşaat Mühendisliği / Civil Engineering
Dr. Öğr. Üyesi Orhan Onur AŞKIN Gıda Mühendisliği / Food Engineering

Türkçe Dil Editörü / Turkish Language Editor

Doç. Dr. İlker TOSUN

İngilizce Dil Editörü / English Language Editor

Dr. Öğr. Üyesi Sevda PEKCOŞKUN GÜNER



KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ / KIRKLARELİ UNIVERSITY
MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ DERGİSİ / JOURNAL of ENGINEERING and SCIENCE

Yayın Kurulu / Editorial Board

- Rengin AK, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye
Ahmet ÇAKANEL, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye
Ayşegül DERE, Fırat Üniversitesi, Türkiye
Berna AKGENÇ HANEDAR, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye
Bilal BALKAN, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye
Burak ÖZŞAHİN, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye
Burhan CEYLAN, Harran Üniversitesi, Türkiye
Bülent ŞENGÖRÜR, Sakarya Üniversitesi, Türkiye
Cem KINCAL, Dokuz Eylül Üniversitesi, Türkiye
Cemile ÖZCAN, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye
Derya KAPUSUZ YAVUZ, Gaziantep Üniversitesi, Türkiye
Dilek NARTOP, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Duygu BARUT CELEPCİ, Dokuz Eylül Üniversitesi, Türkiye
Edip Serdar GÜNER, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye
Elvan HASANOĞLU ÖZKAN, Gazi Üniversitesi, Türkiye
Engin HÜNER, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye
Erdoğan KESKİN, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye
Erol TÜRKEŞ, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye
Fatih ERSAN, Adnan Menderes Üniversitesi, Türkiye
Fatih SEMERCİ, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye
Fürüzan ASLAN, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye
Gürkan İRSEL, Trakya Üniversitesi, Türkiye
H. Hale KARAYER, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye
Hatice ŞANLIDERE ALOĞLU, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye
Juan Ignacio Ahuir TORRES, Liverpool John Moores Üniversitesi, İngiltere
Mehmet YAĞMURCUKARDEŞ, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Türkiye
Mensur SÜMER, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye
Merve ERMİŞ, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye
Meryem ÇAMUR DEMİR, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye
Mustafa ARSLAN, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye
Mustafa ERKOVAN, INESC MN ve Lizbon Teknik Üniversitesi, Portekiz
Mustafa Utku YILMAZ, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye
Mümin Mehmet KOÇ, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye
Naim ASLAN, Munzur Üniversitesi, Türkiye
Nurdan KURNAZ YETİM, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye
Olca EKŞİ, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye
Orhan ARKOÇ, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye
Orhan Onur AŞKIN, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye
Önder AYER, Trakya Üniversitesi, Türkiye
Seda BALKAN, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye



KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ / KIRKLARELİ UNIVERSITY
MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ DERGİSİ / JOURNAL of ENGINEERING and SCIENCE

Selman MUTLU, İstanbul Üniversitesi, Türkiye
Sencer Süreyya KARABEYOĞLU, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye
Serpil AKÖZCAN PEHLİVANOĞLU, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye
Sena Esen BAYER KESKİN, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye
Soner YELER, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye
Tze Chuen YAP, Heriot- Watt Üniversitesi, Malezya
Ufuk PAKSU, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye

Kırklareli Üniversitesi / Kırklareli University
Fen Bilimleri Enstitüsü Sekreterliği Adına / On Behalf of Institute of Natural Sciences Secretary
Sorumlu Yazı İşleri Müdürü / Editing Manager
Erhan AYZ

İnternet Adresi / Web Address
<https://dergipark.org.tr/tr/pub/klujes>

Yazışma Adresi / Correspondence Address
Kırklareli Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü
Rektörlük Kültür Merkezi B Blok Merkez / Kırklareli
e-mail: fbedergi@klu.edu.tr
Tel: 0 (288) 246 15 16
Fax: 0 (288) 246 16 02

Yayın Türü / Publication Type
Yaygın Süreli Yayın (elektronik) / International Periodical (electronical)
Yılda iki kez yayınlanır: Haziran, Aralık / Twice a year: June, December
Basım Tarihi / Publication Date: 30.06.2025



KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ / KIRKLARELİ UNIVERSITY
MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ DERGİSİ / JOURNAL of ENGINEERING and SCIENCE

Danışma Kurulu / Advisory Board

Bilal BALKAN, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye
Burhan COŞKUN, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye
Bülent ŞENGÖRÜR, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye
Dilek NARTOP, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Elvan HASANOĞLU ÖZKAN, Gazi Üniversitesi, Türkiye
Emel PELİT, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye
Emrah DOĞAN, Sakarya Üniversitesi, Türkiye
Erol TÜRKEŞ, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye
Hatice ŞANLIDERE ALOĞLU, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye
İlker ORUÇ, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye
İsmail KILIÇ, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye
Juan Ignacio Ahuir TORRES, Liverpool John Moores Üniversitesi, İngiltere
Kanat Burak BOZDOĞAN, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Türkiye
Kamil KAHVECİ, Trakya Üniversitesi, Türkiye
Meryem ÇAMUR DEMİR, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye
Murat BOSTANCIOĞLU, Cumhuriyet Üniversitesi, Türkiye
Mustafa ERKOVAN, INESC MN ve Lizbon Teknik Üniversitesi, Portekiz
Mustafa Utku YILMAZ, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye
Natasza TODOROVIC, Novi Sad Üniversitesi, Sırbistan
Nihal ERATLI, İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye
Oğuzhan ERBAŞ, Dumlupınar Üniversitesi, Türkiye
Serap GÜNEŞ, Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye
Serpil AKÖZCAN PEHLİVANOĞLU, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye
Tze Chuen YAP, Heriot-Watt Üniversitesi, Malezya



KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ / KIRKLARELİ UNIVERSITY
MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ DERGİSİ / JOURNAL of ENGINEERING and SCIENCE

İçindekiler / Contents

Research Article / Araştırma Makalesi

Hydrochloric Acid Application Improves the Detection of *Salmonella spp.* and *Escherichia coli* O157:H7 in Food Samples

Gıda Örneklerinde *Salmonella spp.* Ve *Escheichia coli* O157:H7'nin tespitinde Hidroklorik Asit Uygulamasının Etkisi

Sevda TERZİ, Deniz YÜKSLE YENCE, Ece ŞEN..... **1-10**

Research Article / Araştırma Makalesi

Yield Prediction with Deep Learning on UAV Images: Banana tree application

İHA Görüntüleri Üzerinden Derin Öğrenme ile Rekolte Tahmini: Muz ağacı uygulaması

Furkan SÖNMEZ, Polat ASHYROV, Hayrettin TOYLAN..... **11-22**

Araştırma Makalesi / Research Article

Kırklareli Üniversitesi Bölgesel Kalkınma Odaklı Misyon Farklılaşması ve İhtisaslaşma Yol Haritası

Kırklareli University Regional Development Focused Specialization Program Roadmap

Bülent ŞENGÖRÜR, Meryem ÇAMUR DEMİR, Hatice ŞANLIDERE ALOĞLU, Selin ÖZDEN, Çiğdem OVACI BEJİ, Yasemin KEŞKEK KARABULUT, Barış ÇARIKÇI, Seda CELEP **23-55**

Research Article / Araştırma Makalesi

A Comparative Study of Waste Heat Utilization and Solar Power Plant for Sustainable Energy Production

Sürdürülebilir Enerji Üretimi için Atık Isı Kullanımı ve Güneş Enerjisi Santralinin Karşılaştırması

Samet Giray TUNCA, Kadir OLCAY.....

56-72

Derleme Makalesi / Review Article

Negatif Poisson's Oranına Sahip Yapılar (Auxetic Structure) Hakkında Genel Bir Bakış: Literatür Çalışması

An overview of negative Poisson's ratio structures (Auxetic structure): A comprehensive literature review

İsmail ERDOĞAN

73-96

Araştırma Makalesi / Research Article

Depremde Binaların Yıkılma Şekilleri ve Sebepleri

Forms And Causes Of Collapse Of Buildings In Earthquakes

Bülent TOPBAŞLI

97-110

Araştırma Makalesi / Research Article

Kentsel Dönüşüm Uygulamalarının Peyzaj Mimarlığı Çerçevesinde Örnekler Üzerinden Değerlendirilmesi

Evaluation of Urban Transformation Applications Through Examples Within the Framework of Landscape Architecture

Yusranur KOÇ, Hatice Meltem GÜNDOĞDU ANLAĞAN, Timurçin KURT

111-137

Araştırma Makalesi / Research Article

Bir Gama Spektrometresinde Farklı Sintilatör ve Ana Yükseltici Kullanımının Dedeksiyon Performansına Etkisinin Araştırılması

Investigation of the Effect of Using Different Scintillators and Main Amplifiers on Detection Performance in a Gamma Spectrometer

Buket CANBAZ ÖZTÜRK, Cüneyt ÇELİKTAŞ **138-158**

Araştırma Makalesi / Research Article

İstanbul, Kumköy–Kısırkaya Arası Kıyı Kesimi Yamaç Stabilitesi Değerlendirilmesi

Slope Stability Assessment of the Coastal Section Between Kumköy–Kısırkaya, İstanbul

Erkan BOZKURTOĞLU, Gökhan ŞANS, Yunus Emre EROĞLU, Emre ORKAN **159-167**

Araştırma Makalesi / Research Article

Farklı Zemin Sınıfları İçin Tasarlanan Örnek Çelik Binaların 2007 ve 2019 Türk Deprem Yönetmeliklerine Göre Karşılaştırılması

Comparison of Example Steel Buildings Examples Designed for Different Soil Classes According to 2007 and 2019 Turkish Earthquake Regulations

Mahsuni KAYA, Burak ÖZŞAHİN **168-207**

Derleme Makalesi / Review Article

Kronik Bel Ağrılı Hastalarda Uygulanan Fizik Tedavi Modaliteleri

Physiotherapy Modalities Applied in Patients with Chronic Low Back Pain

Selin ÖZDEN, Serpil AKÖZCAN PEHLİVANOĞLU **208-223**

Effect of Hydrochloric Acid Application on the Detection of *Salmonella* spp. and *Escherichia coli* O157:H7 in Food Samples

Sevda Terzi Yavaş¹, Deniz Yüksel Yence¹, Ece Şen^{1*}

¹Department of Biology, Faculty of Science, Trakya University, Edirne, Türkiye

Received: 07.10.2024, Accepted: 25.12.2024, Published: 07.02.2025

ABSTRACT

In this study, it was investigated whether treatment of food samples with HCl (prepared with NaCl solution) could be used instead of the pre-enrichment and enrichment steps in the ISO methods used for the detection of *Salmonella* spp. and *E. coli* O157:H7 in food samples. For this purpose, 103 food samples were analysed for *Salmonella* spp. and *E. coli* O157:H7 detection with 3 different methods, including ISO and 2 modified methods. In the modified methods, food samples were treated with five different concentrations of HCl instead of or after the enrichment step. *E. coli* O157:H7 (beef meat and Turkish-style fermented sausage) and *Salmonella* spp. (whipped cream and instant soup powder) were detected in 2 of the food samples examined. The same results were obtained for the detection of *E. coli* O157:H7 and *Salmonella* spp. in food samples with 3 different methods used. However, effective HCl concentrations (ranging from 1/2 N to 1/10 N) varied depending on the pathogen detected and food type. The results showed that the treatment of food samples with 1/10 N HCl instead of the enrichment step was effective in both the detection of *Salmonella* spp. and *E. coli* O157:H7 in different food samples.

Keywords: Foodborne pathogen; *Salmonella* spp.; *Escherichia coli* O157:H7; detection; hydrochloric acid.

Gıda Örneklerinde *Salmonella* spp. ve *Escherichia coli* O157:H7'nin Tespitinde Hidroklorik Asit Uygulamasının Etkisi

ÖZ

Bu çalışmada, gıda numunelerinin HCl ile muamele edilmesinin (NaCl çözeltisi ile hazırlanmış) gıda numunelerinde *Salmonella* spp. ve *E. coli* O157:H7 tayini için kullanılan ISO yöntemlerindeki ön zenginleştirme ve zenginleştirme adımları yerine kullanılıp kullanılamayacağı araştırılmıştır. Bu amaçla, toplam 103 gıda örneği ISO metod ve 2 modifiye edilmiş yöntem olmak üzere 3 farklı yöntem kullanılarak *Salmonella* spp. ve *E. coli* O157:H7 tespiti için analiz edilmiştir. Modifiye edilmiş yöntemlerde, gıda örnekleri zenginleştirme adımı yerine veya sonrasında beş farklı HCl konsantrasyonu ile muamele edilmiştir. İncelenen gıda örneklerinin 2'sinde *E. coli* O157:H7 (dana eti ve Türk usulü fermente sucuk) ve *Salmonella* spp. (çırpılmış krema ve hazır çorba tozu) tespit edilmiştir. Gıda örneklerinde *E. coli* O157:H7 ve *Salmonella* spp. tespiti için kullanılan 3 farklı yöntemle aynı sonuçlar elde edilmiştir. Ancak etkili HCl konsantrasyonları (1/2 N ila 1/10 N aralığında) tespit edilen patojene ve gıda türüne bağlı olarak değişmiştir. Elde edilen sonuçlar, gıda örneklerinin zenginleştirme adımı yerine 1/10 N HCl ile muamele edilmesinin farklı gıda örneklerinde hem *Salmonella* spp. hem de *E. coli* O157:H7 tespitinde etkili olabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Gıda kaynaklı patojen; *Salmonella* spp.; *Escherichia coli* O157:H7; tespit; hidroklorik asit

1. INTRODUCTION

Foodborne pathogens are a major concern all over the world. *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella* spp. are among these pathogens that pose public health and economic importance. These microorganisms can cause serious illnesses and even death, especially for pregnant women, infants, children, elderly people, and people with compromised immune systems (Panisello et al., 2000; Rangel et al., 2005). Foodborne outbreaks are related to the consumption of contaminated foods. For *E. coli* O157:H7, foods including hamburger meat, unchlorinated water, bruised apples, milk, unpasteurized apple juice, potatoes, lettuce, and mayonnaise are considered the major sources (Deisingh & Thompson, 2004). Food sources for *Salmonella* spp. can differ for different serovars. Although raw eggs, pork, beef, and poultry are the primary sources of contamination for non-typhoidal serovars, seafood, fruits, and vegetables are also sources of contamination (Ferrari et al., 2019). For this reason, early detection of pathogens and the source of pathogens in foodborne diseases has an important place in terms of public health and preventing the spread of diseases.

For the separation and detection of a specific microbial species, plating a mixed culture directly onto selective media can often result in low efficiency, as the target microorganism may be present in low numbers and may not grow well in the selective media. This is particularly true for complex samples, such as foods that can contain a mixed background flora (Safarik et al., 1995). Selective enrichment is commonly used to recover *E. coli* O157:H7 from a mixed culture (Chapman, 2000). The immunomagnetic separation (IMS) technique is a simple and effective method to isolate and concentrate *E. coli* O157:H7 from enriched samples (Bai et al., 2022).

Traditional culture methods for the detection and isolation of *Salmonella* spp. are still widely used as the gold standard strategy. This method involves the use of selective and differential media that are designed to isolate and identify *Salmonella* spp. based on their unique characteristics. The ISO method in use includes pre-enrichment and selective enrichment steps for the detection of pathogens in food samples (ISO 6579-1:2017). One of the major drawbacks of the standard microbial culture method used for *Salmonella* spp. detection is the long waiting time involved. This method can take several days to produce results, which can be a significant drawback when timely detection and treatment of infections is critical (Wang et al., 2021). In this study, it was investigated whether the detection of *Salmonella* spp. and *E. coli* O157:H7 in food samples could be done more quickly and economically by using cultural methods. For this purpose, the standard ISO method and 2 modified versions were tested in various food samples. In the modified methods, food samples were treated with different HCl dilutions prepared with NaCl instead of or after the enrichment step.

2. MATERIAL AND METHOD

2.1. Sample collection

103 food samples included meat samples (89), instant soup powders (3), whipped creams (2), Turkish-style fermented sausages (2), raw milk (1), yogurt (1), ketchup (1), lettuce (1), nut (1), fruit juice (1) and mayonnaise (1) were analyzed. Samples were stored under defined food storage conditions during transportation and analysis (Table 1). *E. coli* O157:H7 (ATCC 43888) and *Salmonella enterica* serovar Enteritidis ATCC 13076 strains were used for the determination of the limits of detection assays.

Table 1: Sample storage conditions and pH values

Food sample	pH value	Temperature (°C)
Meat samples	Between 5,37 - 5,74	4,2
Turkish-style fermented sausages	5,46 and 5,48	4,4
Whipped creams	6,08 and 6,05	4,5
Instant soup powders	4,42	4,5
Yogurt	4,42	4,6
Raw milk	6,08 and 6,05	4,4
Lettuce	6,47	4,3
Nut	5,46 and 5,48	4,2
Mayonnaise	4,02	3,9
Ketchup	3,75	4,1

Table 2: HCl dilutions and pH values

HCl dilutions (N)	pH values
1/100	1,95
1/40	1,58
1/35	1,51
1/30	1,47
1/25	1,38
1/10	1,01
1/8	1,00
1/6	0,77
1/4	0,74
1/2	0,50

2.2. Preparing HCl dilutions for acid treatment of food samples

1N HCl solution was prepared with distilled water and 0,5% NaCl solution was used to prepare HCl dilutions. HCl dilutions used in the assay and the pH values of the solutions are shown in Table 2.

2.3. Standart Detection Procedure for *E. coli* O157:H7

The detection of *E. coli* O157:H7 was performed using ISO 16654:2001/Amd 1:2017. 25 g (or 25 mL) food sample was aseptically taken and added to 225 mL of Tryptic-Soy-Broth with Novobiocin (Merck, Germany), homogenized for 2 min, and incubated for 6 - 18 h at 41,5°C for enrichment. After incubation time, one mL of culture was added to microcentrifuge tubes containing 20 µL of IMS particles. Microcentrifuge tubes were incubated in a shaker at 20 rpm for 30 min. A magnetic separator was used to collect the beads and supernatant was removed. IMS particles were washed twice with 1 mL wash buffer (Modified Phosphate Buffer). After that, the wash buffer was removed and 100 µL of wash buffer was added to each microcentrifuge tube and they were mixed by vortexing for 30 sec and one min. 50 µL of these cultures were streaked onto Sorbitol MacConkey Agar with Cefixime & Tellurite (CT-SMAC) and incubated for 24±2 h at 37°C. Transparent and almost colorless, yellowish-brown pale-looking colonies were determined as *E.coli* O157:H7.

2.4. Detection procedure with HCl treatment without enrichment for *E. coli* O157:H7

One g (or one mL) of food samples was aseptically taken and added to different HCl dilutions (1/10N, 1/8N, 1/6N, 1/4N, and 1/2N) and they were mixed by vortexing for 30 sec and one min. After incubation time, the immunomagnetic separation process was performed as described above. 50 µL of these cultures was streak onto Sorbitol MacConkey Agar with Cefixime & Tellurite (CT-SMAC) agar and incubated for 24±2 h at 37°C. Transparent and almost colorless, yellowish-brown pale-looking colonies were determined as *E. coli* O157:H7.

2.5. Detection procedure with HCl treatment after enrichment for *E. coli* O157:H7

25 g (or 25 mL) food samples were aseptically taken and added to 225 mL of Tryptic-Soy-Broth with Novobiocin (Merck, Germany), homogenized for 2 min, and incubated for 6 - 18 h at 41.5°C for enrichment. After incubation time, one mL of these cultures was added to different HCl dilutions (1/10, 1/8, 1/6, 1/4, and 1/2N) and mixed by vortexing for 30 sec and 1 min. The

immunomagnetic separation process was performed as described above. 50 µL of these cultures was streaked on Sorbitol MacConkey Agar with Cefixime & Tellurite (CT-SMAC) and incubated for 24±2 h at 37°C. Transparent and almost colorless, yellowish-brown pale-looking colonies were determined as *E. coli* O157:H7.

2.6. Standard detection procedure for *Salmonella* spp.

The detection of *Salmonella* spp. was performed using the ISO 6579-1:2017 method. 25 g (or 25 mL) food samples were aseptically taken and added into 225 mL of Buffered Peptone Water (BPW) (Merck, Germany) homogenized for two min and incubated for 18 h at 37°C for pre-enrichment. One mL of these cultures was added into 10 mL of Mueller Kauffmann Tetrathionate Novobiocin Broth (MKTTn) (LABM, England) for 24±2 h at 37°C and also 0.1 mL of these cultures were added to RAPPAPORT-VASSILIADIS-Soya broth (RVS) (Merck, Germany) for 24 ± 2 h at 41.5°C for enrichment. A loopful of both MKTTn broth and RVS broth culture was streaked onto XLD and BGA agar and incubated for 24 ± 2 h at 37°C. Red colonies with a black zone on XLD agar and red or pinkish-white colonies surrounded by a red halo on BGA agar were determined as *Salmonella* spp.

2.7. Detection procedure with HCl treatment without enrichment for *Salmonella* spp.

One g (or one mL) food sample was aseptically taken and added into different HCl dilutions (1/10, 1/8, 1/6, 1/4, and 1/2N) and incubated for 30 sec and one min at room temperature. A loopful of this solution was streaked onto XLD and BGA agar and incubated for 24 ± 2 h at 37°C. Red colonies with black zone on XLD agar and pinkish-white or red colonies surrounded by a red halo on BGA agar were determined as *Salmonella* spp.

2.8. Detection procedure HCl treatment after enrichment for *Salmonella* spp.

25 g (or 25 mL) of each food sample was aseptically taken and added in 225 mL of Buffered Peptone Water (Merck, Germany) homogenized for 2 min and incubated for 18 h at 37°C for pre-enrichment. After incubation time, one mL of these cultures was added to different HCl dilutions (1/10, 1/8, 1/6, 1/4, and 1/2N) and they were mixed by vortexing for 30 sec and one min, a loopful of these solutions was streaked onto XLD and BGA agar and incubated for 24 ± 2 h at 37°C. Red colonies with a black zone on XLD agar and red or pinkish-white colonies surrounded by a red halo on BGA agar were determined as *Salmonella* spp.

2.9. Determination of the effect of HCl treatment on *E. coli* O157:H7 and *Salmonella* spp.

Overnight cultures of *E. coli* O157:H7(ATCC 43888) and *S. Enteritidis* ATCC 13076 strains were diluted with BPW to 1 McFarland standard (3×10^9 cfu/ml). Dilutions were prepared to contain 3×10^8 cfu/mL of bacteria. One mL of these dilutions was added to 1/2, 1/4, 1/6, 1/8, 1/10, 1/25, 1/30, 1/35, 1/40, and 1/100 N HCl solutions and mixed by vortexing for 30 sec and one min. A loopful of these solutions was streaked onto CT-SMAC agar (for *E. coli* O157:H7) and also XLD and BGA agar (for *Salmonella* spp.) and incubated for 24 ± 2 h at 37°C. Colony counts were compared to determine the effectiveness of treatment procedures.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The detection and isolation of foodborne pathogens such as *E. coli* O157: H7 and *Salmonella* spp. have a great importance for public health. However, a high background microbiota poses an obstacle to the detection and isolation of these pathogens. This can make it difficult to differentiate between the target pathogen and other microorganisms that are present in the sample. For foodborne pathogens to cause disease in humans, they must first survive in the acidic condition of the stomach. *Salmonella* spp. and *E. coli* are known to have more tolerance to acid than other Gram-negative bacteria (Gorden & Small, 1993). HCl treatment has been used to separate these microorganisms from background microbiota in feces and food. HCl treatment is a low-cost, easy-to-apply, and fast procedure. Our study investigated the effectiveness of HCl treatment in the detection of *Salmonella* spp. and *E. coli* O157:H7 from various food samples. For this purpose, ground meat samples (n=89) and ten different food samples (n=14) were used. The ISO method and also two modified methods were used for the detection of *Salmonella* spp. and *E. coli* O157:H7. Food samples were treated with five different concentrations of HCl (1/10, 1/8, 1/6, 1/4, and 1/2N) instead of or after the enrichment step.

E. coli O157: H7 was detected in 2 (1,9 %) of 103 food samples using both classical and HCl treatment procedures. These samples were one beef meat and one Turkish-style fermented sausage. The same results were obtained from both the classical and also HCl treatment procedures. Treatment of food samples in 1/2 and 1/10 N and only 1/10 N HCl concentrations was effective for beef meat and Turkish-style fermented sausage sample, respectively. The time of the HCl treatment (30 sec or one min) did not change the results (Table 3). In these two food samples (beef meat and also Turkish-style fermented sausage), the same HCl concentrations were effective for

treatment both after pre-enrichment and without pre-enrichment. For two different food samples, 1/10 N HCl treatment (for 30 sec and 1 min) was effective. Several studies have been conducted using HCl treatment in the detection of *E. coli* in meat, sprouts, and faeces to improve the effectiveness of the detection method. Fukushima and Gomyada (1999) found that 1/8N HCl treatment (for 30 sec) increased the sensitivity for detection of *E. coli* O157:H7 from fecal samples and enrichment cultures of a variety of samples. Fedio et al. (2012) showed that the use of a short acid treatment after enrichment and post-enrichment using IMS beads improved *E. coli* O157:H7 isolation from alfalfa sprouts. Also, Lamparter et al. (2020) showed that an acid treatment added to the enrichment step during the isolation of Shiga toxin-producing *E. coli* from sprouts increased the success of isolation. In all of these studies, HCl treatment was used with an enrichment step. Our study revealed that HCl treatment (1/10 N) can be used instead of the enrichment step for *E. coli* O157:H7 detection from different food samples.

Salmonella spp. was detected in 2 (1,9 %) of 103 food samples by using both classical and HCl treatment procedures. These samples were one instant soup powder and one whipped cream. The same results were obtained from both classical and also HCl treatment procedures (without and after the enrichment step). Treatment of food samples in 1/10 and 1/6 N HCl concentrations was effective for the whipped cream sample, and also for the treatment of food samples in 1/10, 1/8 and 1/6 N HCl concentrations was effective for the instant soup powder sample. The time of the HCl treatment (30 sec or 1 min) did not change the results (Table 3). Barkocy-Gallagher et al. (2002), in their study to develop effective methods for *E. coli* O157:H7 and *Salmonella* spp. isolation from fecal samples, hide, and bovine carcass, and, also tested whether mild acid shock would be effective in non-selective pre-enrichment. However, they found that the non-selective pre-enrichment step (without acid) was more effective. The results obtained from our study showed that HCl treatment can be used instead of enrichment steps in both food samples in which *Salmonella* spp. was detected. However, the effective concentrations in different food samples also varied. However, it seems that 1/10 N and 1/6 N HCl concentrations can be used for both samples.

The effect of HCl treatment of *E. coli* O157:H7 ATCC 48333 and *S. Enteritidis* ATCC 13076 was determined. According to these results, for *E. coli* O157:H7 ATCC 48333, 0.5% NaCl solution did not affect bacterial growth, while HCl solutions prepared at 10 different concentrations used in the study inhibited the growth. For *S. Enteritidis* ATCC 13076, it was determined that both 0.5% NaCl solution and HCl solutions prepared at 10 different concentrations inhibited bacterial growth. The

obtained results of our assays showed that HCl treatment inhibits bacterial growth. It is thought that these results are due to the fact that the standard strains used in the experiments were kept in the culture collections and have been passaged for many years which might have affected the physiological features and growth behavior of these bacteria.

Table 3: *Salmonella* spp. and *E. coli* O57:H157 detection in various food samples

Food samples (count)	<i>E. coli</i> O57:H157			<i>Salmonella</i> spp.		
	HCl treatment without enrichment	HCl treatment after enrichment	Standard procedure	HCl treatment without enrichment	HCl treatment after enrichment	Standard procedure
Meat samples (88)	N	N	N	N	N	N
Meat sample (1)	1/2 N HCl P	1/2, 1/10 HCl P	P	N	N	N
Instant soup powders (2)	N	N	N	N	N	N
Instant soup powder (1)	N	N	N	1/10 N HCl P	1/6, 1/8, 1/10N HCl P	P
Turkish-style fermented sausage (1)	N	N	N	N	N	N
Turkish-style fermented sausage (1)	1/10 N HCl P	1/10 N HCl P	P	N	N	N
Whipped cream (1)	N	N	N	N	N	N
Whipped cream (1)	N	N	N	1/6, 1/10 N HCl P	1/6, 1/10 N HCl P	P
Yogurt (1)	N	N	N	N	N	N
Lettuce (1)	N	N	N	N	N	N
Mayonnaise (1)	N	N	N	N	N	N
Fruit juice (1)	N	N	N	N	N	N
Ketchup (1)	N	N	N	N	N	N
Nut (1)	N	N	N	N	N	N
Raw milk (1)	N	N	N	N	N	N

N: negative, P: positive

4. CONCLUSION

In conclusion, for *E. coli* O157:H7 and *Salmonella* spp. detection from food samples based on cultural methods included pre-enrichment and enrichment steps. These steps involve incubating the food samples in specific growth media to increase the counts of bacteria in the sample, making it easier to detect the pathogens of interest. However, these steps can take several hours or even days to complete. Our results show that subjecting food samples to HCl treatment in the *E. coli*

O157:H7 and *Salmonella* spp. detection procedure in different food samples eliminates the need for pre-enrichment and enrichment steps. This both shortens the time required to detect these pathogens and reduces the cost.

CONFLICT OF INTEREST STATEMENT

There is no conflict of interest among the authors.

ACKNOWLEDGMENTS

This article was produced from the first author's (Sevda Terzi Yavaş) master's thesis under the supervision of Dr. Ece Şen. This research was funded by the Trakya University Scientific Research Fund by the research project, grant number 2018/133.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

S.T.Y. : Methodology, resources, writing—original draft preparation.

D.Y.Y. : Formal analysis, writing—original draft preparation, review and editing.

E.Ş. : Validation, formal analysis, writing—original draft preparation, review and editing, supervision, project administration, funding acquisition.

REFERENCES

- Bai, Z., Xu, X., Wang, C., Wang, T., Sun, C., Liu, S., & Li, D. (2022). A comprehensive review of detection methods for *Escherichia coli* O157: H7. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 152, 116646.
- Barkocy-Gallagher, G. A., Berry, E. D., Rivera-Betancourt, M., Arthur, T. M., Nou, X., & Koohmaraie, M. (2002). Development of methods for the recovery of *Escherichia coli* O157: H7 and *Salmonella* from beef carcass sponge samples and bovine fecal and hide samples. *Journal of Food Protection*, 65(10), 1527-1534.
- Chapman, P. A. (2000). Methods available for the detection of *Escherichia coli* O157 in clinical, food and environmental samples. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 6, 733–740.
- Deisingh, A. K., & Thompson, M. (2004). Strategies for the detection of *Escherichia coli* O157: H7 in foods. *Journal of Applied Microbiology*, 96(3), 419-429.
- Fedio, W. M., Jinneman, K. C., Yoshitomi, K. J., Zapata, R., & Weagant, S. D. (2012). Efficacy of a post enrichment acid treatment for isolation of *Escherichia coli* O157: H7 from alfalfa sprouts. *Food Microbiology*, 30(1), 83-90.
- Ferrari, R. G., Rosario, D. K., Cunha-Neto, A., Mano, S. B., Figueiredo, E. E., & Conte-Junior, C. A. (2019). Worldwide epidemiology of *Salmonella* serovars in animal-based foods: a meta-analysis. *Applied and Environmental Microbiology*, 85(14), e00591-19.
- Fukushima, H., & Gomyoda, M. (1999). An effective, rapid and simple method for isolation of Shiga toxin-producing *Escherichia coli* 026, 0111 and 0157 from faeces and food samples. *Zentralblatt für Bakteriologie*, 289(4), 415-428.
- Gorden, J., & Small, P. (1993). Acid resistance in enteric bacteria. *Infection and immunity*, 61(1), 364-367.

- ISO 16654:2001/Amd 1:2017. Microbiology of food and animal feeding stuffs — Horizontal method for the detection of *Escherichia coli* O157 — Amendment 1: Annex B: Result of interlaboratory studies.
- ISO 6579-1:2017. Microbiology of the food chain — Horizontal method for the detection, enumeration and serotyping of *Salmonella* — Part 1: Detection of *Salmonella* spp.
- Lamparter, M. C., Seemann, A., Hobe, C., & Schuh, E. (2020). Using hydrochloric acid and bile resistance for optimized detection and isolation of Shiga toxin-producing *Escherichia coli* (STEC) from sprouts. *International Journal of Food Microbiology*, 322, 108562.
- Panisello, P. J., Rooney, R., Quantick, P. C., & Stanwell-Smith, R. (2000). Application of foodborne disease outbreak data in the development and maintenance of HACCP systems. *International Journal of Food Microbiology*, 59(3), 221-234.
- Rangel, J. M., Sparling, P. H., Crowe, C., Griffin, P. M., & Swerdlow, D. L. (2005). Epidemiology of *Escherichia coli* O157: H7 outbreaks, united states, 1982–2002. *Emerging Infectious Diseases*, 11(4), 603.
- Safarik, I., Safarikova, M., & Forsythe, S. J. (1995). The application of magnetic separations in applied microbiology. *Journal of Applied Microbiology*, 78(6), 575-585.
- Wang, M., Zhang, Y., Tian, F., Liu, X., Du, S., & Ren, G. (2021). Overview of rapid detection methods for *Salmonella* in foods: Progress and challenges. *Foods*, 10(10), 2402.

Yield Prediction with Deep Learning on UAV Images: Banana tree application

Furkan SÖNMEZ¹, Polat ASHYROV¹, Hayrettin TOYLAN^{1*}

¹Department of Mechatronics Engineering, Faculty of Technology, Kırklareli University, Kırklareli, Türkiye

Received: 03.10.2025, Accepted: 02.01.2025, Published: 04.03.2025

ABSTRACT

Agriculture is developing with the integration of smart imaging technologies into the production, harvesting, and classification of agricultural products. This paves the way for obtaining qualified and quantitative products. The use of imaging technologies and deep learning methods in the agricultural field can increase the success of yield prediction, considering climate change and environmental conditions. This study proposes yield prediction for banana trees based on the YOLO method, using images obtained from unmanned aerial vehicles. Firstly, the performance of YOLOv8 and YOLOv9 models trained using the RoboFlow dataset is analysed. According to the comparison results, it was observed that the YOLOv9 model obtained more successful results with 87.6% mAP, 94% precision, 96% recall, and 94.9% F1-score. Using the YOLOv9 model, the banana yield in the trees was estimated correctly by an average of 78% in the experimental studies conducted on the images obtained by the UAV. This method provides a reliable detection approach for accurately estimating the banana tree yield but needs to be improved.

Keywords: Deep Learning; UAV; YOLO; Yield Prediction

İHA Görüntüleri Üzerinden Derin Öğrenme ile Rekolte Tahmini: Muz ağacı uygulaması

ÖZ

Akıllı görüntüleme teknolojilerin tarım ürünlerinin üretimine, hasadına ve sınıflandırmasına entegre edilmesi ile tarım gelişmektedir. Bunun etkisi ile nitelikli ve nicelikli ürünler elde edilmesinin önü açılmaktadır. Tarım alanında görüntüleme teknolojileri ve derin öğrenme yöntemleri kullanımı ile, iklim değişikliği ve çevresel koşullara bağlı değişen rekolte tahmin başarısı da artırılabilir. Bu çalışma, insansız hava araçlarından elde edilen görüntüler yardımı ile YOLO metodunu temel alarak muz ağaçlarında rekolte tahminini önermektedir. İlk olarak, RoboFlow veri kümesi kullanılarak eğitilen YOLOv8 ve YOLOv9 modellerinin performansı analiz edildi. Karşılaştırma sonuçlarına göre YOLOv9 modeli muz görüntülerini %87.6 mAP, %94 Precision, %96 recall ve %94.9 F1-score ile daha başarılı sonuçlar elde ettiği görülmüştür. YOLOv9 modeli ile, İHA tarafından elde edilen görüntüler üzerinden yapılan deneysel çalışmalarda ağaçlardaki muz rekoltesi ortalama %78 oranında doğru tahmin etmiştir. Bu yöntem, muz ağacı verimini doğru bir şekilde tahmin etmek için güvenilir fakat geliştirilmesi gereken bir tespit yaklaşımı sunar.

Anahtar Kelimeler: Derin Öğrenme; İHA; YOLO; Rekolte Tahmini

1. INTRODUCTION

Ensuring food sustainability is of paramount importance for the survival of people around the world. Crop yield forecasts provide important support in ensuring food continuity (Sneha et al., 2024). Nowadays, most farmers manually check the growth of their crops. This method makes it very difficult to determine the status of crops in large agricultural lands. However, image processing techniques offer a solution by allowing for the determination of size characteristics, quality characteristics, disease, and pest detection of agricultural products. This information is crucial for production planning, determining base prices, and minimizing potential issues in this field (Balambar et al., 2021). Unmanned aerial vehicles (UAVs) equipped with cameras can capture high-resolution images that can be processed to obtain valuable information about crops in agricultural lands from various angles.

In addition to traditional methods, image data analysis methods are frequently used in yield estimation problems. The integration of these images with artificial intelligence-based deep learning algorithms significantly enhances the success of the method. In their study, Yıldırım and Ulu employed Single-Shot Multi-Box Detection (SSD) Mobilnet and Faster R-CNN deep learning model architectures to detect apples. They conducted yield prediction using the obtained apple images and reported a 10% increase in accuracy (Yıldırım & Ulu, 2023). In recent years, YOLO, one of the deep learning algorithms, has been widely used by researchers in yield prediction. Koirala et al. compared the performance of 6 deep learning methods (Faster R-CNN (VGG) and Faster R-CNN (ZF), and the single-stage techniques YOLOv3, YOLOv2, YOLOv2 (tiny), and SSD) for the mango fruit detection task from tree images. The new model designed based on YOLOv3 and YOLOv2 (tiny) was found to be more successful than the other six models (Koirala et al., 2019). Bai et al. used an improved YOLO 7 model to accurately identify the flowers and fruits of strawberry seedlings in a greenhouse. By improving the spatial interactions and feature extraction capability of the model, they obtained precision (P), recall (R) and mean accuracy (mAP) values of 92.6%, 89.6% and 92.1% respectively (Bai et al., 2024). Paul et al. compared the performance of various YOLO models to improve capsicum harvesting. From this evaluation, the YOLOv8s model was found to be the most effective for capsicum detection. Throughout the harvest cycle, this model achieved a remarkable counting accuracy of 94.1% (Paul et al., 2024).

In a study conducted by Sneha et al., the potential of the YOLO deep learning network was explored for detecting grape clusters and predicting grape harvests. Three models, YOLOv3, YOLOv4, and YOLOv5, were trained on grape clusters and compared. The recall and F1 scores for YOLOv3, YOLOv4, and YOLOv5 were found to be 90.2, 91.25, 95.63 and 92.21, 92.68, 93.21, respectively. The results indicated that YOLOv5 was the most successful model (Sneha et al., 2024). Tian et al. integrated the DenseNet method into the YOLOv3 model for real-time detection of apples in orchards, evaluation of apple growth stages, and prediction of yield. They emphasized the real-time applicability of this model for analysing

images (Tian et al., 2019). Sun et al. used an improved detection method based on YOLOv5 to determine rice panicle density, which is an important feature in determining rice yield. Compared to the original YOLOv5, the model increased the detection rate by 12.63% and improved the accuracy by 3.82% (Sun et al., 2024).

Deep learning methods such as YOLO which have powerful feature extraction capabilities, are of great interest in predicting agricultural yields (Chakraborty et al., 2022). The close proximity of fruits on a banana tree and their similar colors during ripening pose a challenge in individual recognition. This study aims to tackle the complex issue of estimating yield in banana trees, which currently relies heavily on human vision and is a labour-intensive process. The main goal is to develop deep learning-based object detection models for identifying fruits in aerial images of banana trees captured by UAVs, and to experimentally compare their performance.

2. MATERIAL AND METHODS

The data used in the experimental studies were obtained from a single-crop banana orchard located in the Manavgat district of Antalya province in Turkey. The orchard consists of a total of 3000 banana trees and yields approximately 100,000 tons of bananas per year. The general methodology of this study is shown in **Figure 1**. Initially, the UAV captured images of the banana trees in RGB format, with a resolution of 3840x5120 pixels. The banana images were then resized to 640x640 for training and testing the deep learning algorithms YOLOv8 and YOLOv9 models.

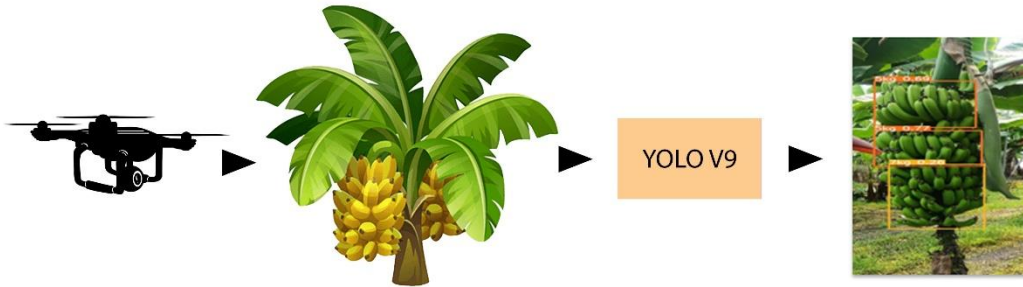


Figure 1: The general methodology of the system

The application for estimating banana fruit yield using image processing method was implemented using the Microsoft Visual Studio Code program and the OpenCv and Ultralytics library. The Ultralytics libraries is an open-source artificial intelligence library commonly used in computer vision projects, particularly for

object detection models. One of Ultralytics' most well-known projects is the enhanced version of the YOLO (You Only Look Once) algorithm.

2.1 YOLO: Deep learning model for object detection

In recent years, the YOLO (You Only Look Once) algorithm has gained popularity for its real-time object detection capabilities. It differs from traditional two-stage approaches by using a single-stage object detection method. With each new version, YOLO has improved its performance. However, the latest version, YOLOv5, introduced a different structure compared to the previous four versions. Instead of the Darknet framework, YOLOv5 adopted the PyTorch framework (Bakirci & Bayraktar, 2024). Following YOLOR, YOLOX, YOLOv6, YOLOv7, and DAMA-YOLO versions, Ultralytics, the entity developing YOLOv5, released YOLOv8 (Jocher et al., 2023) in January 2023. YOLOv8 maintains a similar backbone to YOLOv5 but introduces modifications to the CSPLayer, also known as the C2f module. The YOLOv8 architecture is given in **Figure 2**.

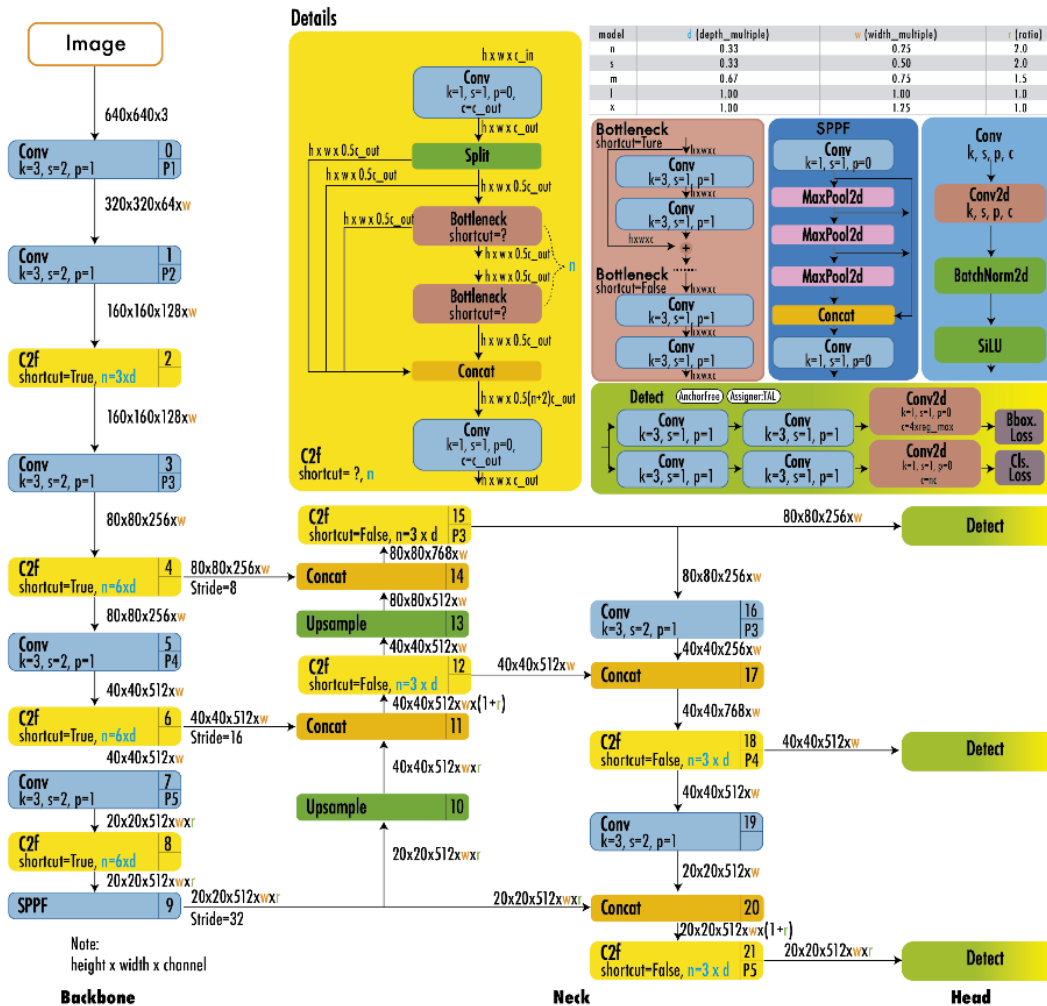


Figure 2: YOLOv8 architecture (Terven et al., 2023)

The YOLOv8 model has demonstrated enhanced performance in a multitude of scenarios, such as complex backgrounds, low-light conditions, and the detection of small objects. However, it's important to consider that real-time videos may experience a decrease in speed. In the YOLOv9 model, introduced in February 2024, two new features were implemented to enhance performance and localization accuracy. These features are programmable gradient information (PGI) and the generalized efficient layer aggregation network (GELAN). Their purpose is to prevent data loss during feed-forward operations. Furthermore, improvements have been made to the computational modules used in the artificial neural network structures, resulting in enhanced flexibility of the network (Yang et al., 2024). The YOLOv9 architecture is given in **Figure 3**.

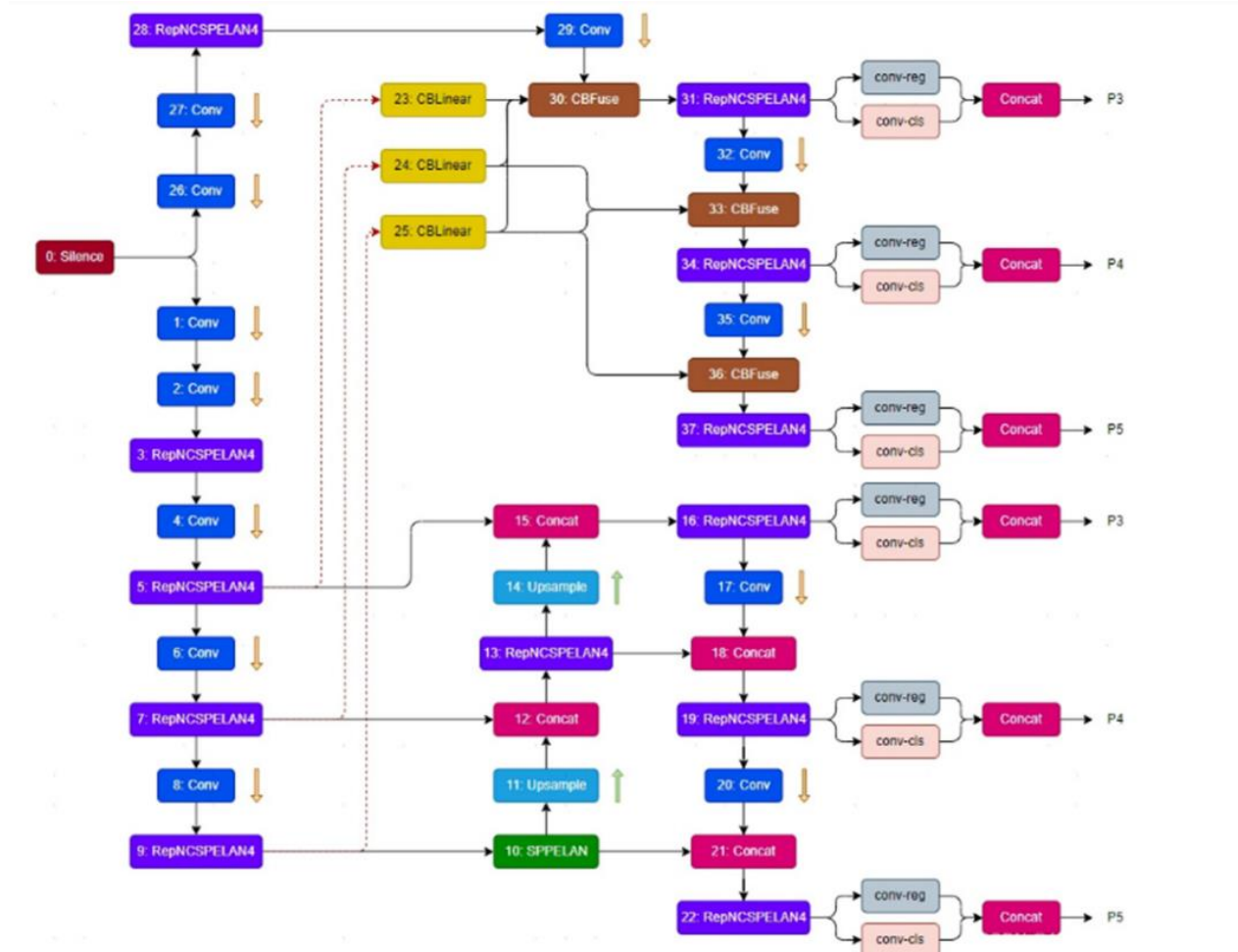


Figure 3: YOLOv9 architecture (Wang, 2024)

It seems reasonable to posit that YOLOv9 will prove particularly adept at meeting the demands of agricultural applications, given its performance. YOLO methods enhance accuracy and efficiency in computer vision applications, establishing a solid foundation for future advancements.

2.2 Metrics

Performance metrics are utilized to assess the accuracy and effectiveness of object recognition models. These metrics provide numerical insights into the model's ability to correctly identify and determine the position of objects. Furthermore, they evaluate the model's performance by taking into account the occurrences of false positives and false negatives. For this study, four metrics were employed to measure the performance of both YOLOv8 and YOLOv9 models.

Mean Average Precision (mAP) is a performance statistic used to predict target locations and categories. Precision (P) measures the proportion of true positives, while recall calculates the proportion of true positives among all the positives. The F1 Score, on the other hand, is the harmonic mean of precision and recall (Subeesh et al., 2024).

$$P = \frac{Tp}{Tp + Fp} \quad (1)$$

$$R = \frac{Tp}{Tp + Fn} \quad (2)$$

$$F1 \text{ score} = \frac{2 \times P \times R}{P + R} \quad (3)$$

$$mAP = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K AP_i \quad (4)$$

Tp represents True Positive, F_N represents False Negative, F_P represents False Positive, K represents the total number of classes, and AP represents average precision (Subeesh et al., 2024).

3. RESULTS and DISCUSSION

3.1. Dataset

In this study, we used Roboflow software to create the dataset. This software effectively organizes object images using artificial intelligence-supported bounding boxes. A total of 70 banana images, collected from a banana greenhouse and captured from different angles, were divided into four classes according to their weights for yield prediction: 1 kg, 3 kg, 5 kg, and 7 kg. The Roboflow software was employed to label the banana images according to the aforementioned four classes. **Figure 4** depicts sample banana images that were prepared for labelling. The training process of the YOLOv8 and YOLOv9 models was conducted by transferring the dataset that was generated following the labelling process to Google Colab. The training process of the two models was completed after 5000 iterations.



Figure 4: Sample banana images

3.2 Performance of YOLO models

In this study, YOLOv8 and YOLOv9 deep learning models were trained and tested with the dataset described above. Accuracy, F1-score, Precision, and Recall were calculated using Equation (1), Equation (2), Equation (3), and Equation (4) respectively. The comparison results of the two models are shown in **Table 1**.

Table 1: The comparison results of the YOLOv8 and YOLOv9

Models	Accuracy (%)	Precision	Recall	F1-score
YOLOv8	84.9	88	94	90.9
YOLOv9	87.6	94	96	94.9

When the results are analyzed in terms of mAP value, it is seen that banana labels are detected with a higher mAP value with YOLOv9. The confidence and recall graphs of YOLOv8 and YOLOv9 models trained with images with four different kilogram labels are given in **Figure 5**.

The X-axis of Figure 5 represents the confidence threshold, which determines the minimum confidence score needed for an estimate to be considered valid. On the other hand, the Y-axis represents recall, which is also known as precision or the true positive rate. Recall measures the ratio of a model's true positive predictions to the total true positives and gives an indication of how accurately the model predicts true positive instances. This metric is especially important in classification problems where the cost of false negatives is high. A high recall value suggests that the model is more likely to generate false positives than

to miss true positives. As the confidence threshold decreases, more predictions are considered valid, including both true positives and potential false positives.

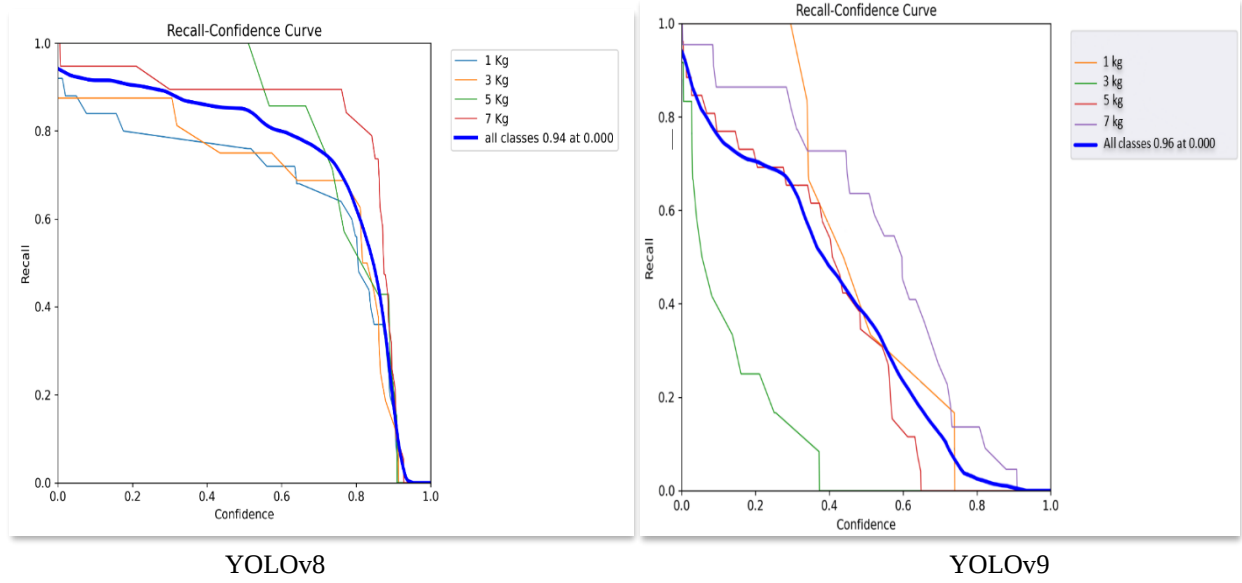


Figure 5: Recall-Confidence Curves of the YOLOv8 and YOLOv9

The confidence-precision curve given in **Figure 6** is a graphical representation that depicts the relationship between the confidence and precision threshold of a deep learning model. As the level of confidence increases, the precision of the model will also increase in proportion.

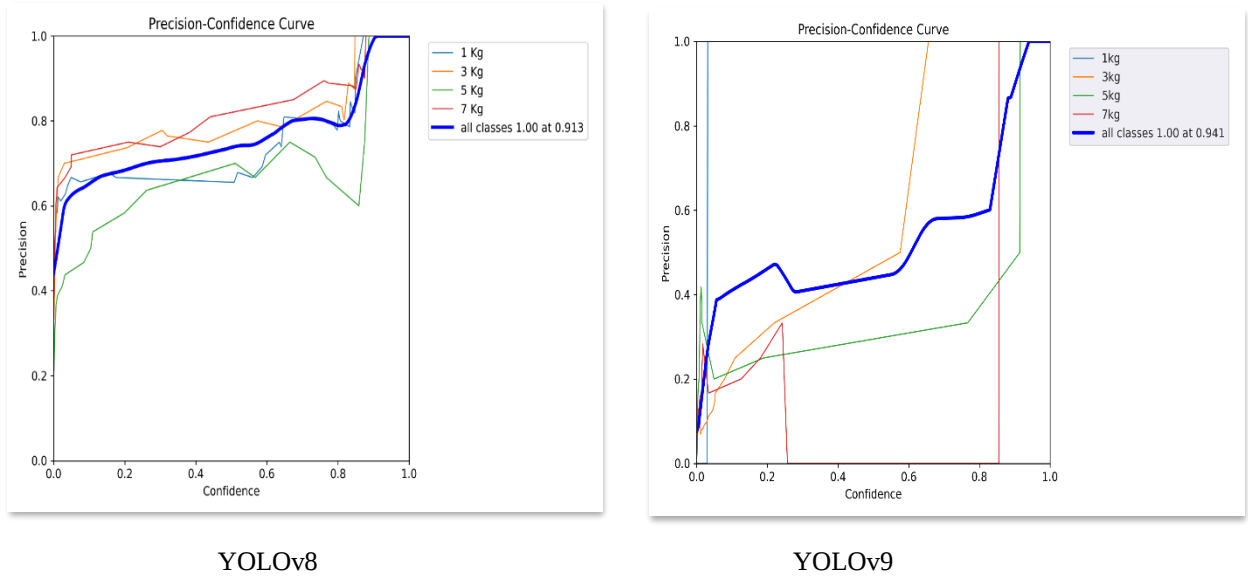


Figure 6: Confidence-Precision Curves of the YOLOv8 and YOLOv9

The X-axis represents the confidence threshold, while the Y-axis represents the sensitivity. The curve illustrates how the precision changes as the confidence threshold is altered.

The recall -precision curve is a graphical representation that demonstrates the performance and efficiency of the YOLOv8 and YOLOv9 models in identifying the labels of banana images. This is demonstrated in **Figure 7**.

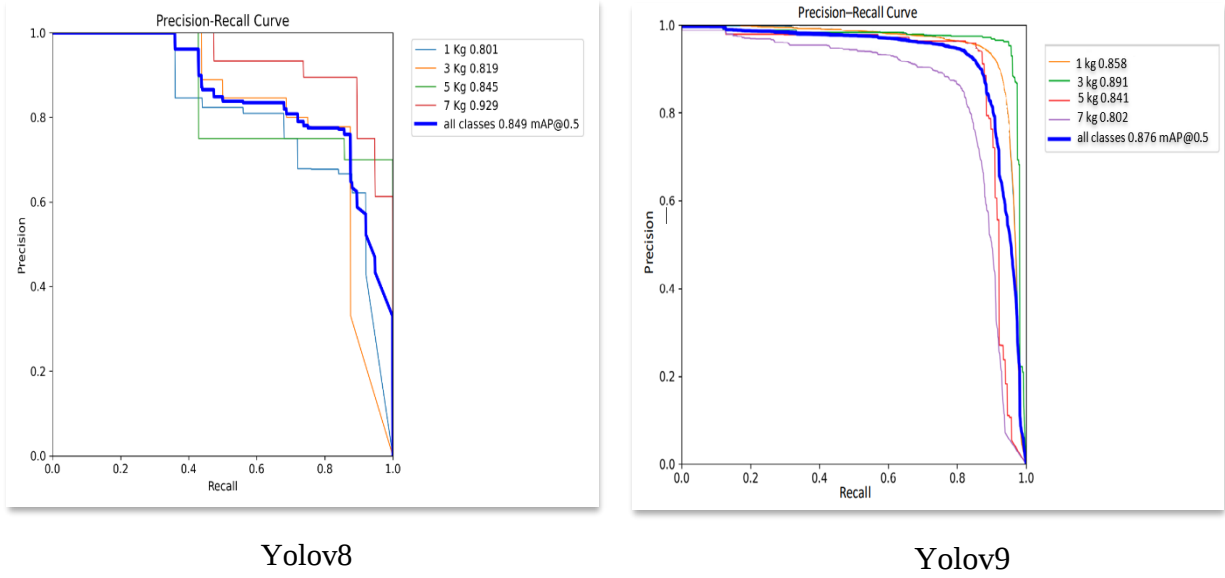


Figure 7: Recall-Precision Curves of the YOLOv8 and YOLOv9

The X-axis represents the recall threshold, while the Y-axis represents the precision. The curve illustrates how the precision changes with varying recall thresholds. The recall-precision curve is the graph that shows the performance and efficiency of the YOLOv8 and YOLOv9 models for labelling banana images.

YOLOv9 has a deeper and wider architecture compared to YOLOv8, which allows for learning more complex features. Both models used a learning rate of 0.001 in combination with the ADAM optimization algorithm. In this study, it is possible to improve accuracy by using more advanced data augmentation techniques, new loss functions, and more efficient optimization algorithms. However, optimizing the different optimization algorithms and learning rates is not the aim of this study. This study aims to use deep learning models for yield prediction and demonstrate their success numerically. The sample images obtained from the banana tree in **Figure 8** were analysed with the YOLOv9 model. The yield predictions of the model, the actual yield value, and the related success rate are given in **Table 2**.

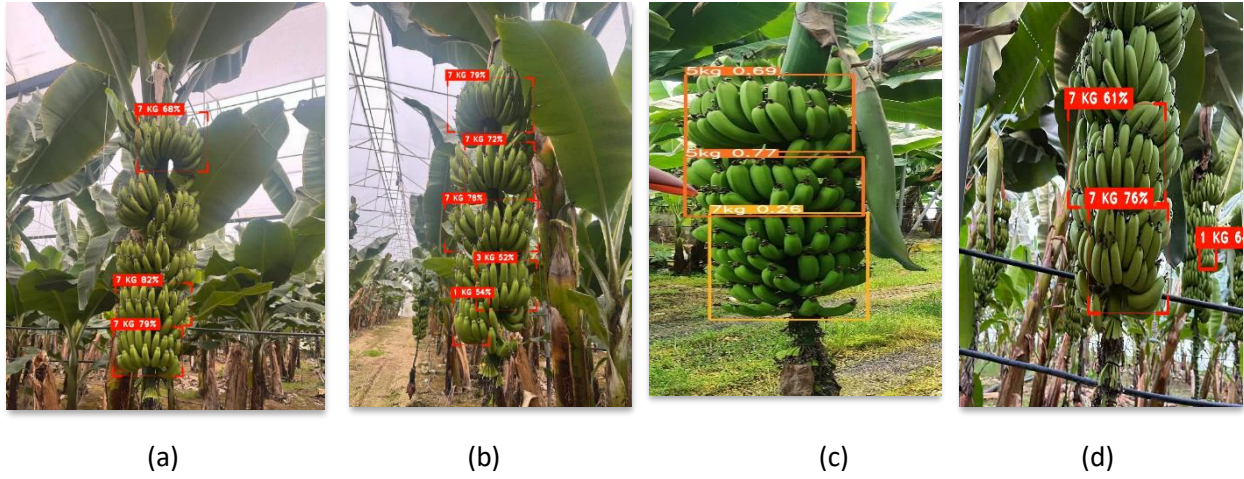


Figure 8: Images of banana tree

Table 2: YOLOv9 yield prediction values

Images	Actual Yield Value (kg)	Estimated Yield Value (kg)	Accuracy Rate (%)
Image (a)	28	21	75
Image (b)	32.5	25	77
Image (c)	19	17	89
Image (d)	21	15	71

The study encountered several unfavourable conditions that affected the accuracy of the predictions. The camera quality, angle of sunlight on the banana fruits, and tree leaves covering the fruits directly impacted the performance of the model. To enhance the accuracy of the predictions, the training dataset can be expanded and the parameters of the deep learning algorithm can be optimized.

4. CONCLUSION

This experimental study demonstrates the performance of YOLO, a widely used deep learning model, on the yield prediction of banana trees. Based on results from experiments with two different versions of the model, YOLOv8 and YOLOv9, we concluded that the YOLOv9 approach, which performs high-precision processing, is more suitable for this application, where accuracy in yield predictions is crucial. The YOLOv9 model, trained on a database created using images obtained from an unmanned aerial vehicle, achieved an accuracy rate of 87.6%. In tests conducted on images captured from four distinct banana trees, the model exhibited an average of 76% accuracy in predicting banana yield. Additionally, it may be possible to enhance its performance further by optimizing the basic parameters of the YOLOv9 architecture.

As a result, it is an important fact that yield prediction using deep learning on images obtained from UAVs will play a pivotal role in the planning of food production for human consumption. This method allows for

the investigation of plant protection and pest control. In this regard, it is inevitable that the rapid development of technology, the introduction of image processing methods due to the progress of unmanned aerial vehicles and camera systems, and the introduction of unmanned aerial vehicles into our lives in various branches, including agriculture, will occur. It can be said that technological developments will continue in the coming processes and that artificial intelligence will enter our lives more with UAVs, so that the use of unmanned aerial vehicles in agriculture will gain more speed.

CONFLICT OF INTEREST STATEMENT

There is no conflict of interest among the authors.

ACKNOWLEDGEMENT

This study supported by TUBITAK (The Scientific and Technological Research Council of Turkey) with 2209-A - Research Project Support Programme

CONTRIBUTIONS OF AUTHORS

F.T.: Methodology, investigation, research, application, writing-original draft preparation,

P.A.: Methodology, investigation, research, application, writing-original draft preparation,

H.T.: Methodology, supervision, validation, writing-original draft preparation, writing-review and editing

REFERENCES

- Bakirci, M., & Bayraktar, I. (2024, April). Boosting aircraft monitoring and security through ground surveillance optimization with YOLOv9. In *2024 12th International Symposium on Digital Forensics and Security (ISDFS)*, 1-6
- Bai, Y., Yu, J., Yang, S., & Ning, J. (2024). An improved YOLO algorithm for detecting flowers and fruits on strawberry seedlings. *Biosystems Engineering*, 237, 1-12.
- Balambar, Ş., Karimi, Z. K., Öztürk, F., Acet, Ş. B., & Pekkan, Ö. I. (2021). Uzaktan algılama tekniklerinden yararlanarak tarımsal faaliyetlerin izlenmesi. *GSI Journals Serie C: Advancements in Information Sciences and Technologies*, 4(2), 58-79.
- Chakraborty, S. K., Chandel, N. S., Jat, D., Tiwari, M. K., Rajwade, Y. A., & Subeesh, A. (2022). Deep learning approaches and interventions for futuristic engineering in agriculture. *Neural Computing and Applications*, 34(23), 20539-20573.
- Jocher, G.; Chaurasia, A.; Qiu, J. YOLO by Ultralytics. (2023). Available online: <https://github.com/ultralytics/ultralytics> (accessed on 04 September 2024).
- Koirala, A.; Walsh, K.B.; Wang, Z.; McCarthy, C. (2019). Deep learning for real-time fruit detection and orchard fruit load prediction: Benchmarking of ‘MangoYOLO’. *Precis. Agric.* 20, 1107–1135.
- Paul, A., Machavaram, R., Kumar, D., & Nagar, H. (2024). Smart solutions for capsicum Harvesting: Unleashing the power of YOLO for Detection, Segmentation, growth stage Classification, Counting, and real-time mobile identification. *Computers and Electronics in Agriculture*, 219, 108832.
- Sneha, N., Sundaram, M., & Ranjan, R. (2024). Acre-Scale Grape Bunch Detection and Predict Grape Harvest Using YOLO Deep Learning Network. *SN Computer Science*, 5(2), 250.
- Subeesh, A., Kumar, S. P., Chakraborty, S. K., Upendar, K., Chandel, N. S., Jat, D., Dubey, K., Modi, R.U., Khan, M. M. (2024). UAV imagery coupled deep learning approach for the development of an adaptive in-house web-based application for yield estimation in citrus orchard. *Measurement*, 234, 114786.

- Sun, J., Zhou, J., He, Y., Jia, H., & Rottok, L. T. (2024). Detection of rice panicle density for unmanned harvesters via RP-YOLO. *Computers and Electronics in Agriculture*, 226, 109371.
- Terven, J., Córdova-Esparza, D. M., & Romero-González, J. A. (2023). A comprehensive review of yolo architectures in computer vision: From YOLOv1 to YOLOv8 and YOLO-nas. *Machine Learning and Knowledge Extraction*, 5(4), 1680-1716.
- Tian, Y., Yang, G., Wang, Z., Wang, H., Li, E., & Liang, Z. (2019). Apple detection during different growth stages in orchards using the improved YOLO-V3 model. *Computers and electronics in agriculture*, 157, 417-426.
- Wang, Z. (2024, May). Enhanced Fire Detection Algorithm for Chemical Plants Using Modified YOLOv9 Architecture. In *2024 9th International Conference on Electronic Technology and Information Science (ICETIS)*, 22-25.
- Yang, S., Cao, Z., Liu, N., Sun, Y., & Wang, Z. (2024). Maritime Electro-Optical Image Object Matching Based on Improved YOLOv9. *Electronics*, 13(14), 2774.
- Yıldırım, Ş., & Ulu, B. (2023). Deep learning-based apples counting for yield forecast using proposed flying robotic system. *Sensors*, 23(13), 6171.

Kırklareli Üniversitesi Bölgesel Kalkınma Odaklı Misyon Farklılaşması ve İhtisaslaşma Yol Haritası

Bülent ŞENGÖRÜR^{1*}, Meryem ÇAMUR DEMİR², Hatice ŞANLIDERE ALOĞLU³, Selin ÖZDEN¹, Çiğdem OVACI BEJİ¹, Yasemin KEŞKEK KARABULUT¹, Barış ÇARIKÇI⁴, Seda CELEP⁴

¹Rektörlük, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli, Türkiye

²Kimya Bölümü, Fen Edebiyat Fakültesi, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli, Türkiye

³Gıda Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli, Türkiye

⁴TÜBİTAK Türkiye Sanayi Sevk ve İdare Enstitüsü, Kocaeli, Kırklareli

Geliş: 10.12.2024, Kabul: 06.02.2025, Yayınlanma: 04.03.2025

ÖZ

Bu çalışmada Bölgesel Kalkınma Odaklı Misyon Farklılaşması ve İhtisaslaşma Programı kapsamında Gıda odak alanında ihtisas Üniversitesi olan Kırklareli Üniversitesi için vizyon oluşturulmasını sağlamak üzere hazırlanan “Kırklareli Üniversitesi Bölgesel Kalkınma Odaklı Ar-Ge Stratejisi ve Yol Haritası” projesi kapsamında yürütülen çalışmalara yer verilmiştir. Strateji ve yol haritasının hazırlanma aşamalarında bölgesel kaynakların analizi, Kırklareli Üniversitesi kaynaklarının analizi, ulusal ve bölgesel strateji ve plan analizi, Ar-Ge stratejisi oluşturma çalışmaları yürütülmüştür. Kırklareli ili gıda ekosistemi, işletme sayıları ve çalışan sayıları açısından ele alınmış, niceliksel ve niteliksel analizler yapılarak 5 alt sektör belirlenmiştir. Gıda değer zincirindeki pozisyonlarına bakılarak analitik yöntem ile seçilen alt sektör temsilcilerinin katılımıyla her sektöre özel çalıştay, saha görüşmeleri ve anket çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma ile bu sektörlerin bölgesel rekabetçilik ve bölgesel kalkınma açısından ihtiyaçları tespit edilmiştir. Devamında üniversitenin gıda konusunda ihtisaslaşma odağında görev alan akademisyenler ile birebir görüşmeler yapılarak değerlendirmeler yapılmış, sektörlerin ihtiyaçları ile üniversite yetkinlikleri eşleştirilmiştir. Çalışma sonucunda Kırklareli Üniversitesinin Koordinasyon-İşbirliği, Eğitim- Farkındalık, Bilgi Model Üretme, Ar-Ge ve Laboratuvar hizmetleri ana eksenlerinde Kırklareli gıda ekosistemine katkıda bulunarak ihtisaslaşma ve misyon farklılaşmasını sağlayabileceği saptanmıştır. Bu eksenler bazında 39 farklı hedef oluşturulmuş ve bu hedeflere ulaşmak için katkı sağlayacak üniversite birimleri ve dış paydaşlar belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bölgesel Kalkınma; Gıda; İhtisaslaşma; Kırklareli

Kırklareli University Regional Development Focused Specialization Program Roadmap

ABSTRACT

This study presents the activities carried out within the scope of the project "Kırklareli University Regional Development Focused R&D Strategy and Roadmap," which was prepared to establish a vision for Kırklareli University, a specialized university in the field of food under the Regional Development Focused Mission Differentiation and Specialization Program. During the preparation of the strategy and roadmap, various

analyses were conducted, including an assessment of regional resources, an analysis of Kırklareli University's resources, a review of national and regional strategies and plans, and the development of an R&D strategy. The food ecosystem of Kırklareli province was examined in terms of the number of enterprises and employees, and through both quantitative and qualitative analyses, five sub-sectors were identified. Based on their positions in the food value chain, representatives of these sub-sectors were selected using analytical methods, and for each sector, dedicated workshops, field interviews, and surveys were conducted. This study identified the needs of these sectors in terms of regional competitiveness and regional development. Subsequently, one-on-one interviews were held with academics specializing in food at the university to gather assessments, and the needs of the sectors were matched with the university's capabilities. As a result of the study, it was determined that Kırklareli University can contribute to the Kırklareli food ecosystem and achieve specialization and mission differentiation through four main axes: Coordination-Collaboration, Education-Awareness, Information Model Production, R&D and Laboratory Services. A total of 39 different goals were established based on these axes, and the relevant university units and external stakeholders that could contribute to achieving these goals were identified.

Keywords: Regional Development; Food; Specialization; Kırklareli.

1. GİRİŞ

Akıllı ihtisaslaşma, Türkiye'de hem ulusal hem de bölgesel düzeyde politika oluşturma süreçlerinde temel yaklaşımlardan biridir. Ulusal düzeyde, akıllı ihtisaslaşma metodolojisini kullanan çeşitli tematik ve sektörel stratejiler ve planlar bulunmaktadır. Akıllı bir ihtisaslaşma stratejisi, ulusal veya bölgesel bir araştırma ve yenilik stratejik politika çerçevesi şeklini alabilir veya bu çerçeveye dâhil edilebilir.

Bir bölgesel yenilik stratejisi olan akıllı uzmanlaşma, bölgelerin kendi öz kaynakları değerlendirilerek kalkınmalarını ifade etmektedir. Bir bölgede yeni ve yüksek potansiyelli ekonomik faaliyetlerin seçilmesi ve kaynakların daha verimli alanlara yönlendirilmesi akıllı ihtisaslaşma ile ilgilidir (Kutgi ve Maden, 2018). Akıllı ihtisaslaşma stratejisi sınırları içerisinde, yeni ve farklı alanlara rekabet avantajı sağlayacak kümeler arası işbirlikleri belirlenebilmektedir. Akıllı ihtisaslaşma, bölgelerin güçlü yönlerine odaklanmasına yardımcı olarak ve olanak sağlayarak bölgesel inovasyonu artırmayı, büyümeye ve refaha katkıda bulunmayı amaçlayan bir inovasyon politikası konseptidir. Akıllı ihtisaslaşma, işletmeler, kamu kurumları ve bilgi kurumları arasındaki ortaklıklara dayanmaktadır.

Akıllı ihtisaslaşma, son yıllarda AB'deki bölgesel inovasyon stratejilerine ilham kaynağı olmuştur. Akıllı uzmanlaşma stratejisi, bölgelerde öne çıkan faaliyetlerde ihtisaslaşmayı içermekte olup bu stratejinin Avrupa Birliği'nde (AB) 2010 yılından itibaren ön plana çıkarıldığı görülmektedir. Öte yandan, akıllı ihtisaslaşma, AB'de yükseköğretim alanı ile resmi ve doğrudan bir bağlantısı bulunmaktayken Türkiye'de bu bağlantı resmi olarak ilk defa 2020 yılında kurulabilmiştir (Tekoğlu, 2023). Akıllı ihtisaslaşma, yönetim, politika süreçleri ve bilimi paydaşların ihtiyaçları ile tanımlayarak ve bu tanımları bilgi tabanı olarak birleştiren stratejik önceliklerin benimsenmesinde değişim için başarılı bir itici güç sağlamıştır (Interreg Europe, 2020).

Hemen her yenilik stratejisi ekosisteminde olduğu gibi akıllı ihtisaslaşma da yükseköğretim alanına ihtiyaç duymaktadır (Bukhari vd., 2021). Akıllı ihtisaslaşma stratejisi, teorik derinlik kazanabilmek ve uygulamayı bilgi içerikli yönlendirebilmek için akademiye ihtiyaç duyarken, akademide de stratejinin bilimsel karşılığını sunmaktadır (Calza vd., 2019). Bu açıdan bakıldığında akıllı ihtisaslaşma stratejisi bir yönetim aracı olarak, bölge içinde tekrarlardan kaçınarak, ortaya çıkan fırsatları ve pazar gelişmelerini tutarlı bir şekilde ele almak amacıyla araştırma ve inovasyonun

kendi güçlü yönlerini iş ihtiyaçları ile geliştirip eşleştirerek rekabet avantajı oluşturmak amacıyla öncelikleri belirleyen ulusal veya bölgesel inovasyon stratejileri anlamına gelir.

“Bölgesel Kalkınma Odaklı Misyon Farklılaşması ve İhtisaslaşma Programı” kapsamında hizmet alımı sözleşmesi ile TÜBİTAK Türkiye Sanayi Sevk ve İdare Enstitüsü ve Kırklareli Üniversitesi ortaklığında yürütülen ve Kırklareli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenen **Gıda İhtisaslaşma Koordinatörlüğü Stratejik Yol Haritası Projesi** Nisan 2021’de tamamlanmıştır. Çalışmada Kırklareli gıda ekosistemine yönelik olarak niceliksel ve niteliksel analizler yapılarak 5 alt sektör belirlenmiş (bitkisel yağ, bağcılık ürünleri, et ürünleri, süt ürünleri ve arıcılık ürünleri) ve bu sektörlerin rekabetçilik ve bölgesel kalkınma açısından ihtiyaçları tespit edilmiştir. Bu ihtiyaçların tespiti sürecinde her sektöre özel çalıştay, saha görüşmeleri ve anket çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Ayrıca üniversitenin gıda konusunda ihtisaslaşma odağında akademisyenler ile birebir görüşmeler yapılarak değerlendirmeler yapılmış, sektörlerin ihtiyaçları ile üniversite yetkinlikleri eşleştirilmiştir.

Çalışma sonucunda Kırklareli üniversitesinin 5 ana ekseninde (Koordinasyon-İşbirliği, Eğitim-Farkındalık – Model Üretme, Ar-Ge ve Laboratuvar hizmetleri) Kırklareli gıda ekosistemine katkıda bulunarak ihtisaslaşma ve misyon farklılaşmasını sağlayabileceği saptanmıştır. Bu eksenler bazında 39 farklı hedef oluşturulmuş ve bu hedeflere ulaşmak için katkı sağlayacak üniversite birimleri ve dış paydaşlar belirlenmiştir.

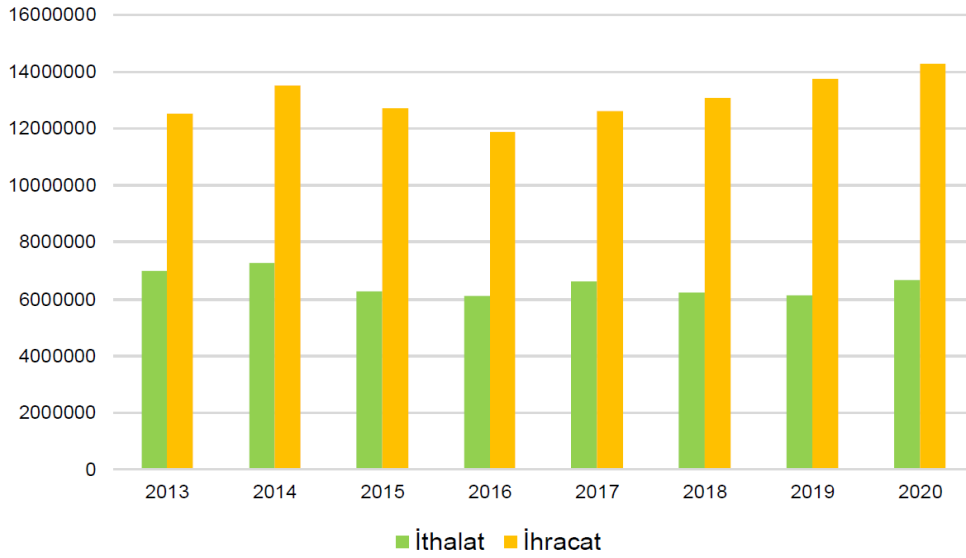
2. AKILLI İHTİSASLAŞMAYA YÖNELİK GIDA SEKTÖRÜ VE ULUSAL STRATEJİLER

En eski sanayi kollarından olan gıda sektörü, tarımsal sanayi ile olan ilişkisi, hammadde temini, istihdama katkısı, dengeli beslenme ile doğrudan ilişkili olması gibi sebeplerle sosyo-ekonomik açıdan oldukça kritik öneme sahiptir. Ana girdisi olan tarım sanayi ile birlikte gelişmeye devam etmekte olan gıda sektöründe son dönemde, gıda güvenliği ve güvenilirliği, gıda savunması, stoklar, tarımsal yapı ve hammadde kaynaklarının maliyeti, akıllı tarım uygulamaları, çevre kirliliği gibi konular ön plana çıkmıştır.

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından açıklanan 2019 yılına ait Gayri Safi Yurt İçi Hasıla (GSYH) verisine göre 2019 yılında %0,9 büyüme göstermiştir. Gıda ve içecek sektöründeki işletmelerin sayısı 50.000 civarında olup sektörde birçok küçük işletme bulunmaktadır. Gıda

sektörünün imalat sanayiinde araştırma ve geliştirmeye ayırdığı payın %2,56 civarında olması sebebi ile küresel rekabette bu alan gelişmeye açıktır (T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2021).

Ülkemizde gıda sanayii, dış ticaret fazlası veren bir sektördür. TÜİK ISIC Rev.4'e göre gıda ürünleri ve içeceklerin imalatının yıllara göre dış ticaret değerleri Şekil 1'de gösterilmiştir. Görüldüğü üzere ihracat değeri 2016 yılından itibaren sürekli artış göstererek 2020 yılında 14 milyar doları geçmiştir. İthalat değeri ise 2016 yılından itibaren 6 milyar dolar civarında seyretmektedir. 2020 yılı dış ticaret fazlası 7.6 milyar dolar olmuştur.



Şekil 1:Gıda ve İçecek Sektörü Dış Ticaret Değerleri (Milyon Dolar) (Kaynak: TÜİK Ekonomik Faaliyetlere (ISIC, Rev. 4) Göre İthalat ve İhracat Verisi)

Türkiye Gıda ve İçecek Sanayii Dernekleri Federasyonu (TGDF) Dijital Veri Paneli'ne göre 2020 yılında en çok ihraç edilen ürünler sırasıyla 1,11 milyar dolar ile fındık içi, 0,97 milyar dolar ile buğday unu ve 0,76 milyar dolar ile makarna olmuştur. Ülkelere bakıldığında, 2020 yılında ürünlerin en çok ihraç edildiği ülkeler sırasıyla Irak, Almanya ve Rusya olduğu görülmektedir. İthal edilen ürünler incelendiğinde, 2 milyar dolar ile 2020 yılında en çok ithal edilen ürün buğday olmuştur. İkinci ve üçüncü sıralarda ise sırasıyla 1,2 milyar dolar ile soya fasulyesi ve 0,7 milyar dolar ile ham ayçiçeği yer almıştır. 2020 yılında, ürünlerin en çok ithal edildiği ülkeler sırasıyla Rusya, Brezilya ve Ukrayna olmuştur (Türkiye Gıda ve İçecek Sanayii Dernekleri Federasyonu, 2020).

11. Kalkınma Planında yer alan “Küresel Gelişmeler ve Eğilimler” başlığı altında, artan gıda talebine ilişkin değişen iklime uygun olarak bitki ve hayvan türlerinin geliştirilmesi ve daha az

kaynak ile gıda talebinin karşılanması amacıyla nitelikli iş gücüne ve teknolojiye ihtiyaç duyulduğu vurgulanmıştır. Aynı zamanda iyi tarım ürünlerine artan talebi karşılamak için yerel ürünlerin farklı pazarlama kanallarıyla doğrudan tüketiciye ulaştırılması konusunda bir eğilim olduğu belirtilmiştir. “Enflasyon ve Para Politikaları” adlı başlıkta da, gıda dağıtım zincirindeki aracılık ve lojistik maliyetlerini azaltmak amacıyla örgüt yapının güçlendirileceği ifade edilmiştir.

Planın “Öncelikle Gelişme Alanları” başlığı altında tarım ilk sırada yer almaktadır ve gıda sektörü ile ilgili de hedef ve politikalar belirtilmiştir. Bu kapsamda, gıda kontrol laboratuvar altyapısının güçlendirileceği vurgulanmıştır. Gıda güvenliği için stok yönetimi sürecinde üretim kayıplarının azaltılmasına yönelik çalışmaların yapılacağı belirtilmiştir. Lisanslı depoculuk sisteminin de yaygınlaştırılması amacıyla desteklerin artırılacağı ifade edilmiştir. Ürün güvenilirliği ve üretimini artırmak amacıyla iyi tarım uygulamaları, kümelenme, sözleşmeli üretim, kümelenme, araştırma, pazarlama ve markalaşma faaliyetlerinin destekleneceği vurgulanmıştır (On Birinci Kalkınma Planı, 2019).

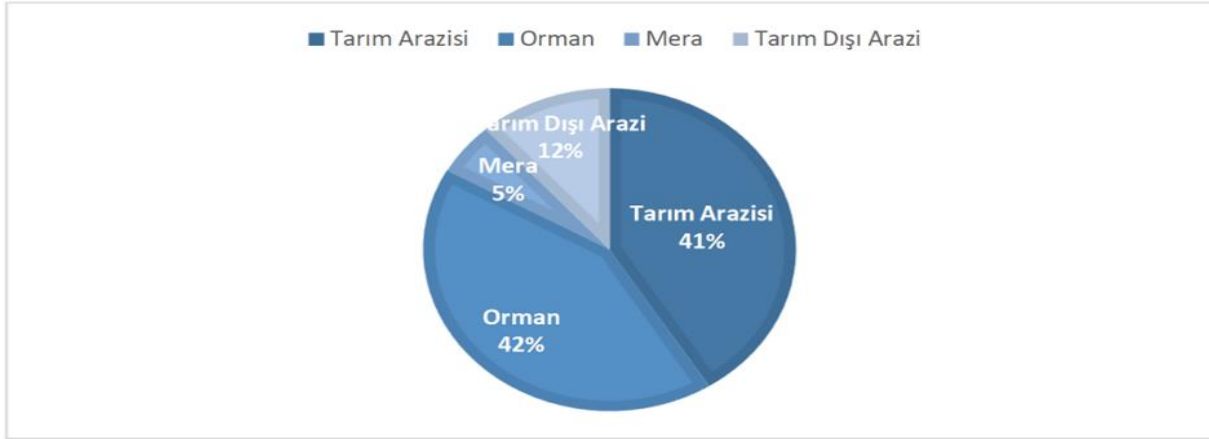
3. KIRKLARELİ İLİ VE GIDA/TARIM EKOSİSTEMİ

Kırklareli, Marmara Bölgesi’nin Trakya yakasında yer alan; Karadeniz, Tekirdağ, Edirne ve Bulgaristan’ın Burgaz ili ile çevrili bir ildir (Şekil 2). Avrupa ve Asya arasında geçiş köprüsü olma özelliği ile de stratejik bir coğrafi konumdadır. 8 ilçesi bulunan Kırklareli’nin nüfusu en yüksek olan ilçesi, 152.192 kişi ile Lüleburgaz’dır. İlde 21 belediye, bu belediyelere bağlı 108 mahalle ve 179 köy bulunmaktadır (T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2021).



Şekil 2: Kırklareli'nin Türkiye'deki Konumu ve İlçeleri

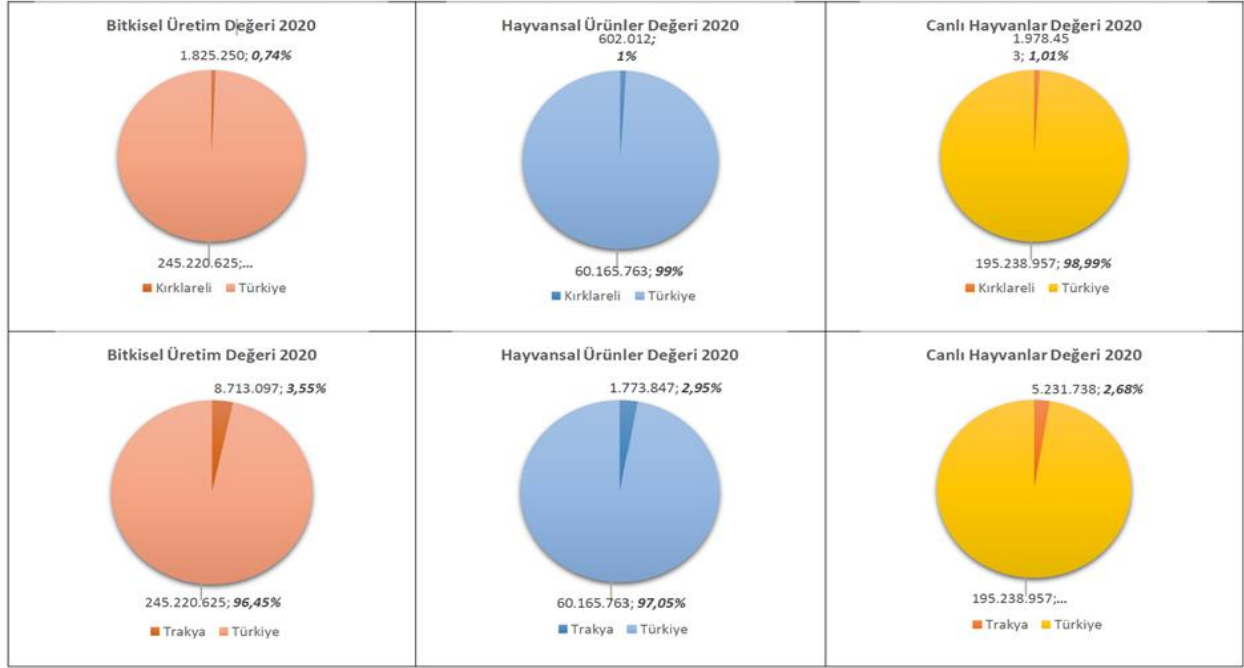
Kırklareli'nin arazi türleri dağılımı Şekil 3'te gösterilmiştir. %39'u tarım arazisi olan bölgede yetiştirilen en önemli ürünler; buğday, ayçiçeği ve çeltiktir (T.C. Kırklareli Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, 2019). Tarım arazisinin %18'lik bölümüne sulama yapılabilir. 2019 verisine göre Kırklareli Türkiye buğday üretiminin %2'sini, ayçiçeği üretiminin ise %14'ünü karşılamaktadır (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021). Sebze üretiminde, karpuz ve domates öne çıkarken; meyve üretiminde, üzüm ve elma ön plandadır.



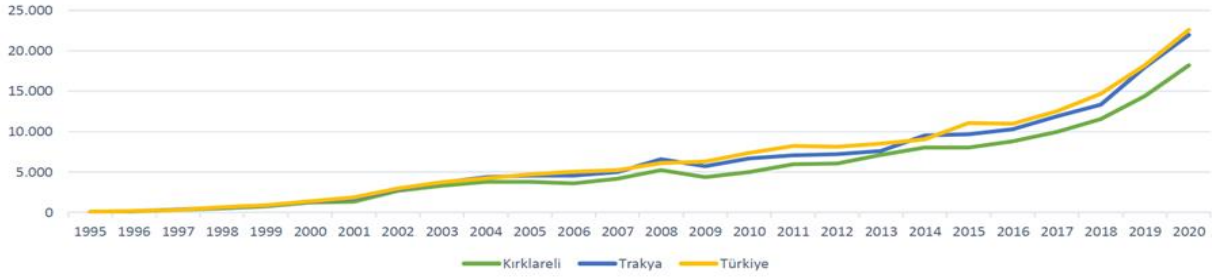
Şekil 3: Kırklareli Arazi Türlerine Göre Dağılım

Kırklareli ilinin tarımsal yıllar itibarı ile sürekli artış göstererek 2020 yılı bitkisel üretim değeri 1,8 milyar TL iken hayvansal ürün değeri 600 milyon TL ve canlı hayvanlar değeri 2 milyar olmuştur. 2020 yılında Türkiye'nin bitkisel üretim değeri yaklaşık 245 milyar TL, hayvansal ürün değeri 60 milyar TL ve canlı hayvan değeri 195 milyar TL olmuştur. 1995 - 2020 yılından beri gerçekleşen tarımsal üretim değerleri hem Türkiye hem de Kırklareli ili için Şekil 3'de verilmiştir. Kırklareli ili bu değerleri ile 2020 yılında Türkiye'nin bitkisel üretiminin %0,74'ne, hayvansal üretiminin %1'ne ve canlı hayvan değerinin yine %1'ne sahiptir. Şekil 4'e bakıldığında 2020 yılı için Kırklareli, Edirne ve Tekirdağ illerini kapsayan TR 21 - Trakya bölgesinin Türkiye içindeki payı bitkisel üretimde %3,55, hayvansal ürünlerde %2,95 ve canlı hayvan değerinde %2,68 olarak görülmektedir.

Yine 1995 – 2020 yılları arasında Şekil 5'te Kırklareli ilinin TR 21 - Trakya bölgesi ve Türkiye içindeki payına bakıldığında Kırklareli ilinin göreceli olarak bitkisel üretiminde hem TR21 bölgesinde hem de Türkiye'deki payının düştüğü görülmektedir. Bölge bazında incelendiğinde, özellikle son yıllarda Türkiye genelindeki artış oranının Kırklareli ve Trakya bölgesinin üstünde olduğu görülmektedir.



Şekil 4: Kırklareli, TR 21 - Trakya Bölgesi ve Türkiye Tarımsal Üretim Değerleri



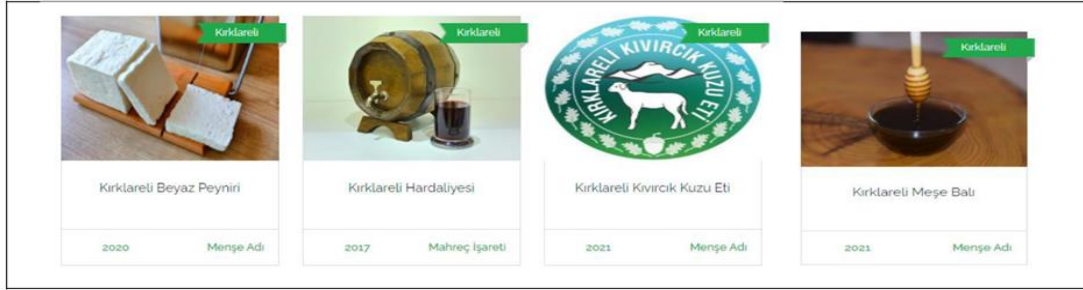
Şekil 5: Kırklareli, TR - 21 ve Türkiye'nin Bitkisel Üretim Değeri (1995 Baz Yıl)

Kırklareli ilinde 2020 yılının işlenebilir arazisinin ürün ve kullanım alanına göre dağılımı Tablo 1'de çıkarılmıştır. Kırklareli'nde işlenebilir arazinin %97,99'u Tarla Arazisi (Nadas Dahil), %0,67'si Sebze Arazisi, %1,13'ü Meyve Arazisi ve %0,19'u Bağ Arazisi alanlarından oluşmaktadır. İlin tarla alanları Türkiye'nin %1,2'sine denk gelmektedir (Tablo 1).

Çizelge 1: Kırklareli İşlenebilir Arazilerin Kullanımı

İşlenebilir Arazi Dağılımı	Alanı (da)	Payı (%)
Tarla Arazisi (Nadas Dahil)	2.269.161	97,99
Sebze Arazisi	15.581	0,67
Meyve Arazisi	26.384	1,13
Bağ Alanı	4.548	0,19
TOPLAM	2.315.674	100

Kırklareli ilinde 2021 Mart tarihi itibarı ile coğrafi işareti alınmış dört ürün bulunmaktadır (Türk Patent ve Marka Kurumu, 2021). Bunun yanı sıra bir ürün için de başvuru çalışmaları devam etmektedir. Ürünlerin üç tanesi menşei adına sahipken, bir tanesi mahreç işaretine sahiptir (Şekil 6).



Şekil 6: Kırklareli'nin Coğrafi İşarete Sahip Ürünlerinden Görseller

3.1 Kırklareli Üniversitesi ve Gıda Odak Alanı

Yükseköğretimin arzını artırmak, sosyal çevrenin zaman içerisinde değişen ihtiyaçlarını ve taleplerini karşılamak amacıyla üniversitelerin farklılaştırıcı çabalar içine girmesi teşvik edilmektedir. Bu çabalardan biri makro kalkınmaya katkı sunmak için yerel-bölgesel dinamiklerden güç alındığı (Yücel ve Çalık, 2023) “Bölgesel Kalkınma Odaklı Misyon Farklılaşması ve İhtisaslaşma Programı” dır (Yükseköğretim Kurulu, 2020).

Program kapsamında, Tarım ve Orman Bakanlığı ile başta üniversiteler olmak üzere iş birliğinin artırılması ile tarımsal üretim ve verimliliği artırmaya yönelik araştırma faaliyetlerin destekleneceği belirtilmiştir. Bu kapsamda, 2020 yılında seçilen üniversiteler ve araştırma alanlarına Tablo 2’de verilmiştir (Yükseköğretim Kurulu, 2020).

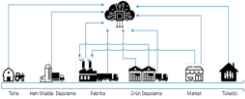
Çizelge 2: Bölgesel Kalkınma Odaklı Misyon Farklılaşması ve İhtisaslaşma Programı: 2020 Yılında Seçilen Üniversiteler

Üniversite	Araştırma Alanı
Artvin Çoruh Üniversitesi	Tıbbi-Aromatik Bitkiler
Bartın Üniversitesi	Akıllı Lojistik ve Bütünleşik Bölge Uygulamaları
Hitit Üniversitesi	Makine Ve İmalat Teknolojileri
Kırklareli Üniversitesi	Gıda
Yozgat Bozok Üniversitesi	Endüstriyel Kenevir Alanında İhtisaslaşma

Kırklareli Üniversitesi **23.01.2020** tarihinde Yükseköğretim Kurulu Başkanlığı tarafından koordine edilen ve Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı ile birlikte eşgüdüm halinde yürütülen **“Bölgesel Kalkınma Odaklı Misyon Farklılaşması ve İhtisaslaşma”** programı kapsamında **“GIDA”** odak alanında ihtisaslaşacak yükseköğretim kurumu olarak belirlenmiştir. Aynı yıl Gıda İhtisaslaşma Koordinatörlüğü Yönergesi hazırlanmış ve Koordinasyon Kurulu, Danışma Kurulu üyeleri belirlenmiştir. Ardından, **Gıda İhtisaslaşma Koordinatörlüğü** kurulmuştur. Bu doğrultuda bölgesel kalkınmaya ilişkin iç ve dış paydaşlar iş birliği ile yürütülecek çalışmalara yönelik hedefler Tablo 3’de verilmiştir.

Çizelge 3: Kırklareli Üniversitesi Gıda Alanında Bölgesel Kalkınma Hedefleri

Sektör	Hedefler
Geleneksel ve Fonksiyonel Süt Ürünleri 	Kırklareli bölgesinin ana gıda sektörü, süt ve süt ürünleridir. Yeni teknolojiler kullanılarak geleneksel süt ürünleri (peynir, yoğurt vb.) ile fonksiyonel süt ürünleri (probiyotik, meyveli labne vb.) üretiminin artırılması ve bu doğrultuda, Kırklareli Üniversitesi laboratuvarlarında ultrafiltrasyon teknikleri ve ısılmayan teknikler gibi örnek çalışmalar yapması planlanmıştır. Raf ömrünün artırılmasına yönelik yenilikçi çalışmaların firmalarla birlikte yapılması, tarımsal üretime ilişkin çok disiplinli (ekonomik, sosyolojik, teknolojik) çalışmaların yapılması ve çıktılara göre yeni modellerin üretilmesi (çiftlik modelleri, tedarik zinciri modelleri vb.), başta coğrafi işaretli ürünler olmak üzere ürünlerin standart proseslerinin oluşturulması ve bu proseslerin optimizasyonuna yönelik ihtiyaçlarının karşılanması, yeni üretim teknolojilerinde rol model olunması ve pilot üretim hizmetlerinin sunulması hedeflenmektedir.
Bal ve Arı Ürünleri 	Ar-Ge ve yeni ürün geliştirme çalışmaları yürütülmesi, markalaşma çalışmaları kapsamında meşe balına coğrafi işaret alınması ile ilgili çalışmalara destek verilmesi, balmumu, arı sütü, polen gibi arıcılık ürünlerinin ticarileştirme durumunun değerlendirilmesi hedeflenmektedir.
Bitkisel Yağ Ürünleri 	Bitkisel yağ üreticisi firmaların rasyonel şekilde yurtdışı piyasalardan hammadde almalarına yönelik karar alma sürecinde yurtiçi üretim rekoltesini doğru şekilde ortaya koyan teknoloji odaklı bir tahmin ve bilgi modelinin kurularak karar destek tedarik modelinin oluşturulması, sektöre yönelik fonksiyonel yağ ürünlerinin geliştirilerek vitamin katkılı yağların Ar-Ge çalışmalarının yürütülmesi hedeflenmektedir.

Et ve Et Ürünleri 	Bölge florasında et ve et ürünlerine katkı yapan spesifik bitkilerin tespit edilmesi, standart ürün çalışmaları için gerekli üretim ve girdi parametrelerinin belirlenerek Kırklareli köftesi için standartların oluşturulması, hedeflenmektedir.
Bağcılık Ürünleri 	Hardaliye tüketiminin faydalarına ilişkin akademik çalışma sayısının artırılarak sonuçlarının ilgili firmaların kullanımına sunulması, Ar-Ge çalışmaları ile hardaliye ürün çeşitliliğinin ve kalitesinin artırılması, süreç optimizasyonunun yapılması ve firmalardan gelecek talepler doğrultusunda Ar-Ge çalışmalarının yürütülerek üniversite-sanayi işbirliğinin artırılması hedeflenmektedir.
Tanıtım ve Medya 	Üniversitemiz bünyesinde gerçekleşen bölgesel kalkınma ve ihtisaslaşma faaliyetlerinin duyurum ve tanıtımı yapılacaktır. Tanıtım filmi, fotoğraf ve video çekimleri, yerel basın ile ilişkiler ve sosyal medya araçları yardımıyla etkin bir tanıtım programı uygulanması hedeflenmektedir.
Gıdanın Dijital Dönüşümü 	Veri analizi ile üretim süreçlerinin güvence altına alınması, ürünün dijital teknolojiler kullanılarak kimliklendirilmesi, ürün standardizasyonu çalışmaları hedeflenmektedir.
Eğitim ve Danışmanlık 	İlgili sektör çalışanlarının uzmanlık kazanabilecekleri eğitim programlarının tasarlanarak nitelikli eleman sayısının artırılması hedeflenmektedir. İklim değişikliği konusunda tarımsal üreticilerde farkındalık sağlayacak eğitim ve bilgilendirme faaliyetlerinin yapılması, süt hijyeni konusunda farkındalık sağlanması, kırsal kalkınma için yürütülen çalışmaların desteklenmesi, modern üretim tekniklerinin yaygınlaştırılması ve tarım ilacı kullanımının azaltılması tekniklerine yönelik farkındalığın artırılmasına katkı sağlanması, arı ürünleri üreticilerinin markalaşma bilincinin artırılmasına katkı sağlanması, arı üreticilerinin flora ve yan arıcılık ürünleri konusundaki bilgi düzeylerinin artırılması konularında faaliyetler yürütülecektir.

Ayrıca, TÜBİTAK Bilim, Teknoloji ve Yenilik Politikaları Daire Başkanlığı tarafından hazırlanan “2020-2021 TÜBİTAK Öncelikli Ar-Ge ve Yenilik Konuları” kapsamında Tarım ve Gıda alanı yer almaktadır. Bu kapsamda, 11. Kalkınma Planına uygun olarak gıda alanında aşağıdaki konular desteklenecek projeler olarak belirtilmiştir (TÜBİTAK, 2021);

- Gıda Güvenliğine Yönelik Nesnelerin İnterneti Uygulamaları,
- Yerli Gıda Hammaddeleri ve Yardımcı Maddeler,
- Kuru Meyve ve Sebze Üretim Teknolojileri,

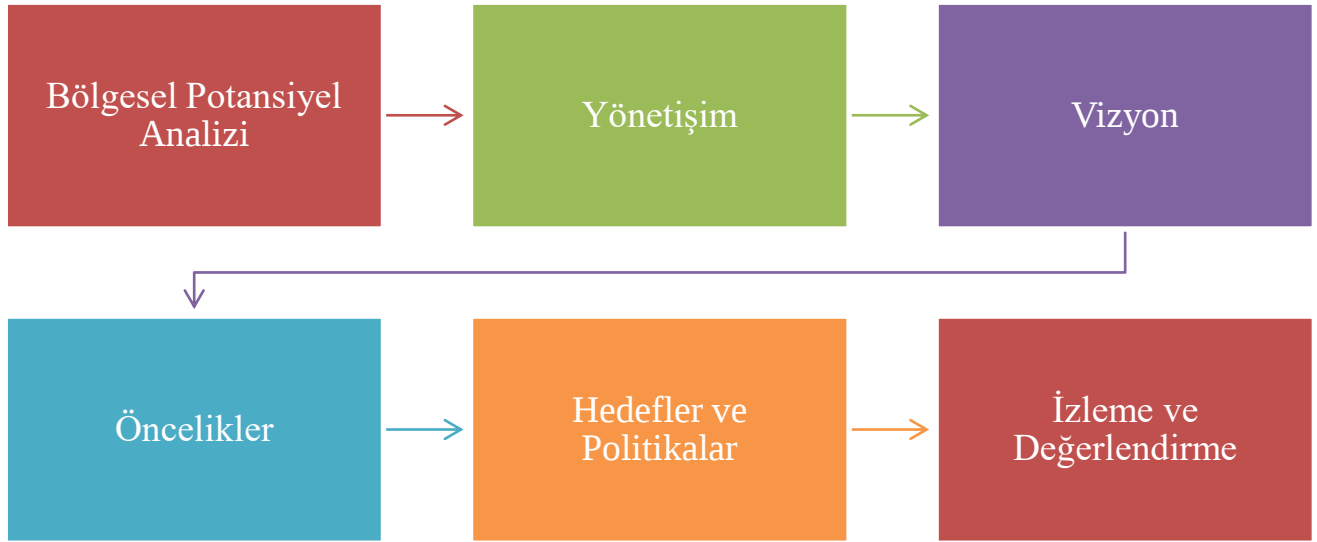
- Yerli ve Yenilikçi Hububat Öğütme ve Tavlama Teknolojileri,
- Yenilikçi Gıda Katkı Maddeleri,
- Yağ Bitkileri Islahı,
- Yem Bitkileri Islahı,
- Kenevir Islahı,
- Yerli Pamuk Islahı,
- Meyve Islahı ve Teknolojileri,
- Sebze Islahı ve Teknolojileri.

Kırklareli Üniversitesi'nde ihtisaslaşmanın merkezinde bulunan bölüm olan Gıda Mühendisliği Bölümünde 2012 yılında açıldığı günden bu yana, gıda güvenliği, süt ve ürünleri teknolojisi, et ve ürünleri teknolojisi, bitkisel yağ teknolojisi gibi alanlarda çeşitli Ar-Ge çalışmaları yürütülmektedir. Kırklareli Üniversitesinde İhtisaslaşma çalışmaları kapsamında öncelikli çalışma alanları aşağıdaki gibi belirlenmiştir;

- Bölgenin süt ürünleri sektör üreticilerinin sorunlarının çözülmesi; ürün kalitesinin, veriminin, çeşitliliğinin artırılması
- Gıda sektörünün atık ürünlerinin değerlendirilmesi, piyasaya arzı, sıfır atık farkındalığı
- Hardaliye, manda yoğurdu gibi yöresel ürünlerin geliştirilmesi yenilikçi yaklaşımlar ile irdelenmesinin yanı sıra ülke çapında küresel çapta pazar payının artırılması
- Yörede arıcılığın önemli ölçüde yapılması ve bu alandaki eksiklerin giderilmesi, Ar-Ge çalışmalarının yürütülmesi

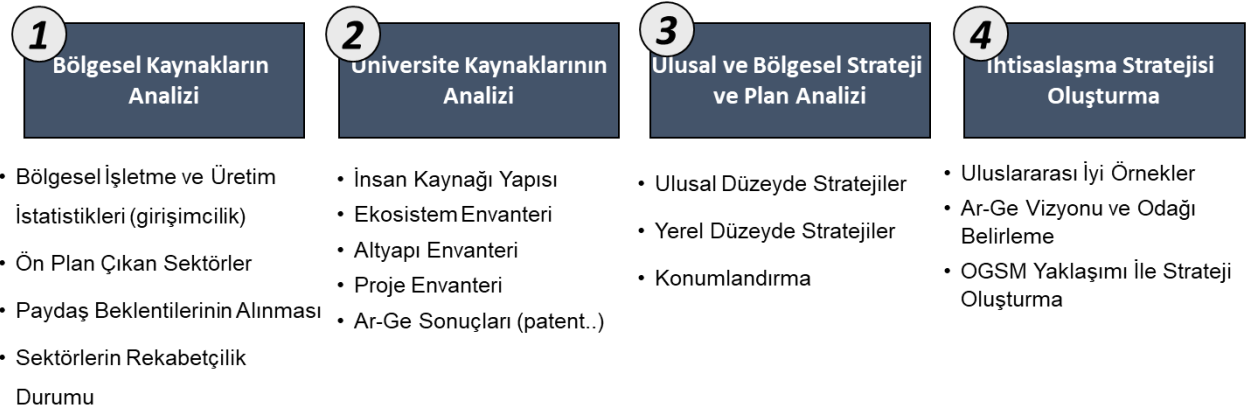
4. ANALİZ ve BULGULAR

Akıllı ihtisaslaşma oluşturmada farklılıklar olmakla birlikte genel bir metodoloji aşağıda tanımlanmıştır. Bu süreç adımlarında kullanılan yöntemlerde yine farklılıklar göstermekle birlikte Grienice ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada belli yöntemlerin ön plana çıktığı görülmüştür (Griniece vd., 2017).



Şekil 7: Akıllı İhtisaslaşma Yol Haritası

Kırklareli Üniversitesi'nin Akıllı İhtisaslaşma stratejisi oluşturulurken aynı temel yaklaşım kullanılmış olmakla birlikte, yöntemlerde üniversite temelli bir ihtisaslaşma stratejisi oluşturulduğu için üniversite yetkinlikleri ve kapasitesi daha dikkatli ele alınmıştır (Şekil 7 ve Şekil 8).



Şekil 8: Strateji Yaklaşımı

Çizelge 4. Akıllı İhtisaslaşma Stratejisi Oluşturmada Kullanılan Yöntemler

Potansiyel Analizi	Yönetişim	Vizyon	Öncelikler	Hedefler	İzleme
Bölgesel Profilleme SWOT Analizi Çalışma Grubu/Fokus Grup Biblometrik Analiz Paydaş Görüşmeleri Anketler Bölgesel Ağ Yapısı Analizi Kümelenme Analizi Değer Zinciri Analizi	Çalışma Grubu/Fokus Grup Uzman GörüşüAnket Paydaş Görüşmeleri Küme Geliştirme Sosyal Medya Çevrimiçi Forumlar	Çalışma Grubu/Fokus Grup SWOT Analizi İstatiksel Analizler Senaryo Planlama Uzgörü ve Ufuk Tarama VRIO Analizi Benchmark	Çalışma Grubu/Fokus Grup Karar Verme Teknikleri TOWS Matrisi Paydaş Katılım	Çalışma Grubu/Fokus Grup Yol Haritası Uzman Görüşü Etki Analizi Paydaş Görüşleri Anketler	Benchmark Gösterge Takibi Uzman Görüşü Dengeli Karne İyi Uygulama Örnekleri

4.1 Bölgesel Kaynakların Analizi

Kırklareli bölgesinde gıda sektörünün göreceli olarak rekabetçiliğinin değerlendirilmesi amacıyla alt üretim dallarının/faaliyet kollarının tespit edilmesi için Kırklareli Üniversitesi öğretim üyeleri ile yüz yüze ve çevrimiçi görüşmeler gerçekleştirilmiş, bununla birlikte ilin gıda ekosistemindeki alt sektörlerin büyüklük, baskınlık, uzmanlaşma ve ölçek büyüklüğünün analizi yapılmıştır.

4.1.1 Kırklareli Gıda Ekosisteminin Göreceli Olarak Rekabetçiliğinin Değerlendirilmesi

Kırklareli ilinde yer alan gıda ekosisteminin büyüklüğünün ve ön plana çıkan alt üretim dallarının ortaya çıkarılması amacı ile il içinde yer alan firmaların NACE kodları (sadece 10 numara ile başlayan gıda üretimi imalatı) dikkate alınarak bir analiz yapılmıştır. Analiz verilerinde 2015, 2017 ve 2019 yıllarına ait veriler kullanılmıştır. Analizde ortaya çıkan rakamlar, ilgili NACE kodunda yer alan firmaların çalışan sayılarından üretilmiştir. Firma sayısının firma cirosu ve toplam büyüklüğünü yeteri kadar temsil etmediği sonucuna varılmış olması, çalışan sayısı parametresinin kullanılmasını gerektirmiştir.

Gıda sektörünü temsilen NACE 10 kodu altında yer alan firmaların çalışan sayıları dikkate alınarak Kırklareli özelinde ilgili NACE koduna ilişkin büyüklük, baskınlık, uzmanlaşma ve ölçek büyüklüğü hesaplanmıştır. Bu değerler normalize edilmiş ve toplamalarına dikkat edilerek il içinde ön plana çıkan *gıda* NACE kodu belirlenmiştir. Analizler verinin alındığı 2015, 2017 ve 2019 yıllarını kapsamaktadır. Her yıl için yapılan işlemler daha sonra konsolide edilip toplanmıştır. Ön plana çıkan alt sektörler için yapılan hesaplamalar aşağıda verilmiştir:

$$\text{Büyükölük} = \frac{\text{İlde NACE Kodunda Sektördeki İstihdamı}}{\text{Türkiye’de NACE Kodunda Sektördeki İstihdamı}} \quad (1)$$

$$\text{Baskınlık} = \frac{\text{İlde NACE Kodunda Sektördeki İstihdamı}}{\text{İldeki Toplam Gıda İmalat İstihdamı}} \quad (2)$$

$$\text{Uzmanlaşma} = \frac{(\text{İlde NACE Kodunda Sektördeki İstihdam} / \text{İldeki Toplam Gıda İstihdam})}{(\text{Türkiye’de NACE Kodunda Sektördeki İstihdam} / \text{Türkiye’deki Toplam Gıda İstihdam})} \quad (3)$$

$$\text{Ölçek Büyüklüğü} = \frac{(\text{İlde NACE Kodunda Sektörde Firma Başına Ortalama İstihdam})}{(\text{Türkiye’de NACE Kodunda Sektörde Firma Başına Ortalama İstihdam})} \quad (4)$$

Şekil 9’da 2015, 2017 ve 2019 yılları için Kırklareli gıda imalatı ve üretimi ön plana çıkan NACE kodlarının büyüklük, baskınlık, uzmanlaşma ve ölçek büyüklüğü grafikleri verilmiştir. Gıda üretim ve imalatında yıldız ile işaretlenen NACE Kodlarının ön plana çıktığı anlaşılmaktadır. Analiz sonuçlarına göre Kırklareli’nde göreceli olarak Türkiye içinde daha rekabetçi olan sektörler; 1062 NACE kodlu nişasta ve nişastalı ürünlerin imalatı, 1061 NACE kodlu öğütölmüş hububat ve sebze ürünleri imalatı, 1051 NACE kodlu süthane işletmeciliği ve peynir imalatı ile 1041 NACE kodlu sıvı ve katı yağ imalatıdır.

Kırklareli Üniversitesi genelinden seçilen yapılan görüşmelerde hardaliye, et ürünleri ve balın da Kırklareli ile özdeşleşen ürünler arasında olduğu ifade edilmiştir. Buna ek olarak; Kırklareli’nde nişasta özelinde tek bir fabrikanın bulunması ve nişasta ürünleri imalatının çalışmaya dâhil edilmesinin yanıltıcı sonuçlar verebileceği öngörüsü, Kırklareli Üniversitesi Gıda Mühendisliği bölümünün çalışma alanları ve mevcut proje teklifleri, Kırklareli’nde başta hardaliye olmak üzere üzümden elde edilen çok çeşitli ürünün olması sektörlerin seçimine etki eden faktörlerdir.

Tüm değerlendirmelerin sonucunda 1051 NACE kodlu süthane işletmeciliği ve peynir imalatı, 1011 NACE kodlu etin işlenmesi ve saklanması, 1013 NACE kodlu et ve kümes hayvanları etlerinden üretilen ürünlerin imalatı, 014901 NACE kodlu Arıcılık, bal ve bal mumu üretilmesi (arı sütü dâhil), 0121 NACE kodlu Üzüm Yetiştirilmesi ve 012105 NACE kodlu Üzüm yetiştiriciliği (şaraplık, sofralık ve diğer üzümler), 1041 NACE kodlu sıvı ve katı yağ imalatı ön plana çıkan sektörlerdir.



Şekil 9: a. 2015, b. 2017 ve c. 2019 yılları için Kırklareli gıda imalatı ve üretimi ön plana çıkan NACE kodları

4.2 Saha Çalışmaları

4.2.1. Rekabetçilik Analizi

Bitkisel yağ sektörü, et ve et ürünleri sektörü, süt ve süt ürünleri sektörü, arıcılık ürünleri sektörü ile bağcılık ürünleri sektörlerinin mevcut durumunu ortaya koymak ve ihtiyaçlarını belirlemek amacı ile saha çalışmaları yürütülmüştür. Saha çalışmaları kapsamında çalıştaylar, birebir görüşmeler ve anketler yapılmıştır. Sektörlerin gelişmeye ve iyileştirmeye açık yönlerinin tespiti için rekabet gücüne etki eden bileşenler Porter'ın 5 Güç yaklaşımına göre belirlenmiştir:

İşletme Stratejisi ve Rekabet Yapısı: Bu rekabetçilik bileşeni işletmelerin varsa stratejik kararlarını; sektördeki en önemli rekabet unsurlarını; işletmelerin ulusal veya uluslararası ölçekteki rakipleri ile kıyaslandığında göreceli konumunu; kurumsallık ve Ar-Ge faaliyetlerinin seviyesini; sektördeki firmalar arasında varsa işbirliklerinin durumu ile işletmelerin finansal yapısının değerlendirilmesini kapsamaktadır.

Girdi Koşulları: Bu rekabetçilik bileşeni sektörde ihtiyaç duyulan insan kaynaklarının niteliği ile insan kaynağı temininde yaşanan problemleri; sektörde ihtiyaç duyulan temel hammadde, ekipman ve teknolojinin nitelikleri; girdi temininde yaşanan problemleri; ulusal/uluslararası rekabet açısından avantajlar/dezavantajların neler olduğunu kapsamaktadır.

Talep Koşulları: Bu rekabetçilik bileşeni iç ve dış talebe ilişkin koşullarla ilişkilidir. Talep koşulları bileşeni yurt içindeki en önemli alıcıları; bu alıcıların pazarlık ve kâr marjlarını; piyasadaki rakip yabancı ürünler/firmaları; üründen elde edilen katma değeri; firmaların yurtdışı pazarlar hakkındaki bilgi seviyesini; yurtdışı pazarlarda kullanılan pazarlama stratejilerini; potansiyel pazarlar ve ihracat altyapısının olup olmadığını kapsamaktadır.

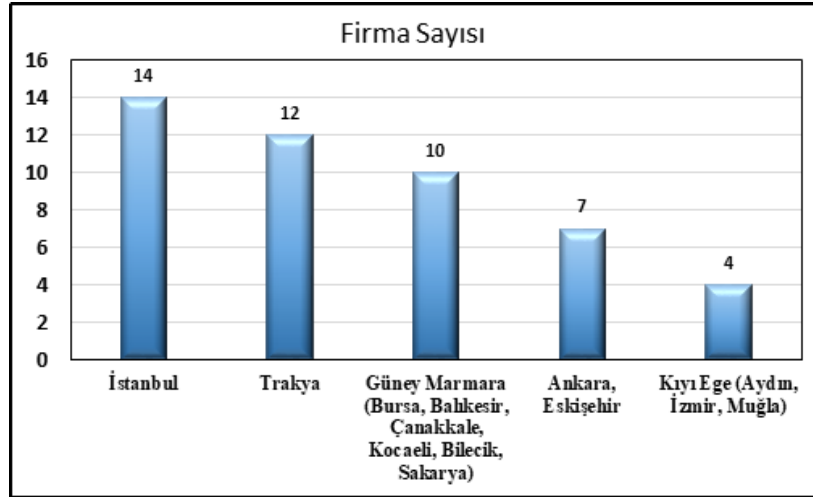
İlgili ve Destekleyici Kuruluşlar ve Sektörler: Bu rekabetçilik bileşeni sektöre odaklanmış ve uluslararası seviyede akademik çalışmalar gerçekleştiren üniversiteler veya araştırma enstitülerinin olup olmadığını ve varsa bu kurumların yapmış olduğu çalışmaların sektöre etkisini; sektör odaklı akademisyenlerin/danışmanların olup olmadığını; ulusal ve/veya bölgesel derneklerin olup olmadığını; sektöre öncelik veren ticaret borsası vb. bir kurumun olup olmadığını ve var ise firmalara olan yararlarını; bölgedeki kalkınma ajanslarının veya TKDK'nın sektöre yönelik faaliyet veya destekleri ile firmalara yararını; firmaların ihtiyaç duyduğu destekler ile sektörün ilişkide olduğu diğer sektörlerin değerlendirilmesini kapsamaktadır.

Devlet: Bu rekabetçilik bileşeni devletin sektörün rekabet gücünü artıran ve/veya zayıflatan uygulama, destek veya kanunlarının olup olmadığını; devletin ulusal ölçekte sektöre yönelik politika ve stratejilerinin olup olmadığını ve bunlardaki doğrular ve yanlışların değerlendirilmesi ile sektörde kayıt dışılığın olup olmadığının değerlendirilmesini kapsamaktadır (Mujisusatyo, 2020).

Rekabet gücüne etki eden bileşenler üzerinden yapılan değerlendirmeler sonucu ilgili sektörün mevcut durumuna ilişkin tespitler elde edilmiştir. Tespitler ulusal ve bölgesel nitelikte olmak üzere iki ölçekte kodlanmıştır. Tüm ülke genelindeki ilgili sektörün faaliyetlerini etkileyen tespitler ulusal nitelikte değerlendirilirken; Kırklareli bölgesindeki ilgili sektörü etkileyen ve yerel ölçekte çözüm geliştirilebilecek ve/veya iyileştirme yapılabilecek tespitler bölgesel olarak nitelendirilmiştir. Her bir mevcut durum tespiti SWOT (Strength-Güçlü Yön; Weakness-Zayıf Yön; Opportunity-Fırsat; Threat-Tehdit) analizi yardımı ile değerlendirilmiştir (Dyson, 2004).

Rekabetçi sektörlerdeki paydaş beklentilerinin en kapsamlı şekilde alınabilmesi için çalıştay ve birebir görüşmelere ek olarak anket çalışmaları yürütülmüştür. Gıda sektörü firma anketi 5 Mart 2021-9 Nisan 2021 tarihleri arasında uygulama biçimine göre elektronik posta veya telefon görüşmesi yöntemleri ile 18 firmanın katılımında tamamlanmıştır.

Ankete katılan firmalardan sadece bir tanesinde beyaz yakalı çalışanların oranını %50 olarak, iki firma ise beyaz yakalı çalışan sayısı oranını %25 olarak belirtmiştir. Ankete katılan firmalar geçmiş 5 ve 10 yıllık zaman diliminde firmalarının durumunu değerlendirmişlerdir. 9 firma ilgili zaman diliminde büyüdüğünü, 6 firmada mevcut durumunu koruduğunu belirtmiştir. Firmaların çoğunluğu ilgili zaman diliminde sektörlerinin büyüdüğünü veya mevcudu koruduğunu, bununla birlikte sektörün sürekli büyüdüğünü ve sürekli küçüldüğünü ise sadece 1'er firma belirtmiştir. Firmalardan kendi geleceklerine dair öngöründe bulunmaları istendiğinde ise olumlu bir beklenti içerisinde oldukları görülmektedir; sürekli büyüme ve büyüme dışında 5 firma mevcut durumunu koruyacağını öngörmektedir. Bununla birlikte sektörlerinin gelecek 5 ve 10 yılda küçüleceğini öngören sadece iki firma bulunmaktadır. Yurtiçi satışlarını en çok hangi bölgeye yaptıkları değerlendirmeleri beklenen firmalardan, yurtiçi satışlarında en önemli 3 bölgeyi seçmeleri istenmiştir. İstanbul, 14 firmanın yurtiçi satışını gerçekleştirdiği göreceli birinci bölge olmuştur. Şekil 10'da firmalar tarafından yurtiçinde genellikle satış yapıldığı belirtilen ve ankette en çok seçilen beş bölgeye yer verilmiştir.



Şekil 10: Yurtiçi Satışların Coğrafi Açından Değerlendirilmesi

Rekabetçi sektörlerdeki ihracat durumu değerlendirildiğinde katılımcı firmaların neredeyse %80'i ürünlerini ihraç etmemektedir. İhracat yapan sınırlı sayıdaki firmadan en yoğun ihracat yaptıkları üç konum seçilmesi istendiğinde Avrupa ve Uzak Doğu'yu Orta Asya, Orta Doğu ve Amerika takip etmektedir. Bu firmalara ihracatlarının ciro içindeki son 5 yıldaki ortalama payı sorulduğunda, iki firma %30 olarak, bir firma %5, bir firma ise %3-5 olarak değerlendirilmiştir. Anket sonuçları pasta grafik olarak Şekil 11'de özetlenmiştir.

Ankete katılan firmaların %33'ünün internet üzerinden satışı bulunmaktadır. Bu firmaların internet satışlarının 2020 yılında ciro içindeki payı sorulduğunda bir firma için bu pay %80 olarak gerçekleşmiştir; diğer firmalar için ise bu oran %10 ve altındadır.

Ankete katılan firmaların geleceğe yönelik işletme stratejilerinde işletmenin ürün veya hizmetlerinin, rakip ürün ve hizmetlerden, endüstri çapında benzersiz-farklı olarak algılanmasını sağlayacak farklılaşma stratejisi ile verimli ölçekte faal tesislerin kurulmasını, deneyimlerden güçlü maliyet düşüşlerinin elde edilmesini, sıkı maliyet ve genel giderler kontrolünü ile araştırma geliştirme (Ar-Ge), servis, satış gücü, reklamlar, vb. gibi alanlarda maliyetlerin en aza indirilmesini gerektiren maliyet liderliği stratejisinin ön plana çıktığı görülmektedir. Firmaların büyük bir çoğunluğu büyüme öngörmektedir. Rekabetten dolayı küçülme öngören firma bulunmamaktadır.



Şekil 11: Firmalara anketlerde sorulan sorular ve sonuçları

Ankete katılan firmalara “bölgesel düzeyde rekabetçilik sağlayan en önemli unsur nedir” sorusu da yöneltilmiş ve alınan cevaplarda kalite, yenilikçi ürünler, ürün çeşitliliği ile maliyet ön plana çıkmıştır. Aynı zamanda firmalara ‘ulusal veya uluslararası düzeyde’ avantaj ve dezavantajları da sorulmuştur. Farklı cevapların verildiği bu sorularda avantajlarda kalite, tecrübe, ürün farklılığı gibi faktörler dikkat çekerken; dezavantajları marka bilinirliğinin düşük olması ve rekabet faktörleri dikkat çekmektedir.

Kurumsallık seviyesinin ‘proseslerin standartlığı’, ‘idari süreçler’ ve ‘işletme sürdürülebilirliği’ faktörleri açısından değerlendirilmesi istenildiğinde aşağıdaki yorumlar yapılabilir:

- Ankete katılan firmaların bir bölümünde proseslerinin standartlaştırılması için iyileştirme ihtiyacının bulunduğu anlaşılmaktadır.
- Ankete katılan firmaların bir bölümünün idari süreçlerinin iyileştirme ihtiyacı bulunduğu anlaşılmaktadır.
- Ankete katılan firmaların bir bölümünde işletme sürdürülebilirliğinin iyileştirme ihtiyacı bulunduğu anlaşılmaktadır.

Girdiler özelinde değerlendirme yapmaları istenen firmalara öncelikle insan kaynağına yönelik soru yöneltilmiştir. Ankete katılan firmaların yarısından fazlası sektörlerinde Kırklareli’nde istedikleri insan kaynağını bulabilmektedir. İnsan kaynağı bulmakta problem yaşayan firmalara insan kaynağının nitelikleri sorulduğunda ise teknik bilgiye veya ustalık deneyimine sahip insan kaynağı diğer cevaplar arasında dikkat çekmiştir.

Girdi faktörlerinden ekipman ve teknolojiye yönelik soruda Kırklareli’nde eksiklikler önemli bir oranda öne çıkmaktadır. Ankete katılan firmaların %80’inden fazlası il dışından test, analiz, pilot üretim vb. hizmetler almaktadır. Bu hizmetler arasında ürün tahlilinden kimyasal ve mikrobiyoloji analizlerine, ekipman bakımından kalite danışmanlık hizmetine kadar farklı hizmetler bulunmaktadır.

Ankete katılan firmaların büyük bir çoğunluğu (%66,6) pazardaki rakipleri ile kıyasladıklarında kapasite kullanım oranını orta ve düşük olarak değerlendirmektedir. Firmaların kapasite kullanım oranını olumsuz etkileyen faktörler arasında en üst sıralarda COVID-19, üretim maliyetleri, yetersiz talep, hammadde temin sorunu ile teknolojik yetersizlik bulunmaktadır.

Ankete katılan firmaların il içinde en çok dağıtım, taşımacılık ve depolama, teknik danışmanlık, denetim ve muhasebe alanlarında dış kaynaktan faydalandığı; il dışında ise dağıtım, taşımacılık ve depolama, denetim ve muhasebe, fason üretim, pazarlama-tanıtım, ihracat alanlarında dış kaynaktan faydalandığı görülmektedir.

Ankete katılan firmaların yarısı ‘private label’ ürün üretimi yaparken, ‘private label’ ürünlerin payı %100’e kadar ulaşan firmalar bulunmaktadır.

Ankete katılan firmaların yarısından fazlası Ar-Ge veya inovasyon faaliyetlerinin bulunmadığını belirtmektedir. Firmaların yenilikleri takibatına ilişkin yöneltilen bir başka soruda, Ar-Ge veya inovasyon faaliyeti olsun ya da olmasın, ankete katılan tüm firmalar sektördeki yenilikleri takip

ettiklerini ifade etmişlerdir. Ankete katılan firmaların %72'sinin Ar-Ge faaliyetlerinden sorumlu birimi bulunmamaktadır. Ar-Ge birimi olmayıp da Ar-Ge faaliyeti yürüten firmalar, bu faaliyetlerini en çok mevcut personel desteği, üniversite/akademisyen desteği ve/veya danışmanlık firması/uzman desteği ile yürütmektedirler. Ankete katılan firmalardan anket düzenlendiği döneme kadarki zamanda TÜBİTAK, Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (Teknogirişim-Santex) veya KOSGEB ile yürüttükleri projeler belirtmeleri istenmiştir. Ancak verilen cevaplara göre bu tür yürütülen projelerin sayısı yok denecek kadar azdır. Ankete katılan firmalara son üç yıl içerisinde hangi inovasyonları gerçekleştirdikleri sorulduğunda en çok *ürün inovasyonunun* gerçekleştirildiği görülmektedir. Bununla birlikte ilgili zaman diliminde hiç inovasyon yapmamış firma sayısı 6'tır; katılımcı firmaların 1/3'ünün inovasyon yapmadığını belirtmeleri, Kırklareli'ndeki gıda firmalarının inovasyon konusunda geliştirmeleri gereken yönlerinin bulunduğu bir göstergesi olarak kabul edilebilir. İnovatif çalışmaların bir parçası olarak değerlendirilebilecek patent, marka, faydalı model ve endüstriyel tasarım başvuru ve tescil durumu da anket bünyesinde firmalara yöneltilen sorular arasında yer almıştır. Ankete katılan firmaların bu sorulara vermiş olduğu yanıtlardan ön plana çıkanlar aşağıdaki gibidir;

- İki firmanın kendi bünyelerinde yapmış oldukları patent başvurusu bulunmaktadır. Bir firma ise kendi bünyesinde yapmış olduğu patent başvurusunu tescillemiştir.
- Bir firmanın danışmanlık şirketi aracılığıyla yapmış olduğu patent başvurusu bulunmaktadır ve bir firma danışmanlık şirketi aracılığıyla patent başvurusunu tescillemiştir.
- Firma bünyesinde yapılan marka başvuruları bir firmada 20'ye kadar ulaşabilmiştir.
- Danışmanlık şirketi aracılığıyla yapılan marka başvuruları ve tescil sayıları bir firmada en fazla 3 adet olmuştur.
- Kendi bünyelerinde ve/veya danışmanlık şirketi aracılığıyla faydalı model başvurusu yapan ve tescillendiren firma sayısı 2'dir.
- Danışmanlık şirketi aracılığıyla yapılan faydalı model başvuru ve tescil sayısı 1 adettir.

Ankete katılan firmaların yarısı Ar-Ge ve İnovasyon konusunda danışmanlık veya eğitim hizmeti ihtiyacı duymaktadır. Ar-Ge ve İnovasyon danışmanlığı veya eğitim hizmeti ihtiyacı en çok pazarlama, ürün, süreç ve organizasyonel/yönetimsel fonksiyonlarda duyulmaktadır. Firmaların

Ar-Ge ve İnovasyon konusunda bir diğer ihtiyacı ürünlerle ilişkili raf ömrünün uzatılması olarak ortaya çıkmıştır.

Anket çalışması kapsamında firmalara rekabet içerikli sorular yönetilmiştir. Firmaların rakiplerinin coğrafi olarak nerede olduğu sorusu yönetildiğinde ‘çevre iller’ ön plana çıkmaktadır. Ankete katılan firmaların 1/3’ü (%33,3) sektörlerindeki rekabet ortamını çok yoğun olarak değerlendirmektedir. Anket çalışmasında firmalardan kendilerini rakiplerine göre değerlendirmeleri istenmiştir. Çoğu firma kendisini makine teçhizat, işgücü niteliği, üretim ölçeği, kalite ve fikri mülkiyet hakları bakımından rakiplerine göre ‘yeterli’ ve ‘kısmen yeterli’ konumda değerlendirirken; ihracat kapasitesi bakımından çoğu firma ‘yetersiz’; teknoloji kullanım becerisi bakımından çoğu firma ‘kısmen yeterli’ olarak değerlendirmektedir.

Anket çalışması kapsamında son olarak firmalara iş birliğine yönelik sorular sorulmuştur. Firmalara faaliyet gösterdikleri ildeki diğer firmalarla hangi alanlarda işbirliği yapıldığı sorulduğunda en sık tekrarlanan işbirliği alanları bilgi ve yetenek-deneyim paylaşma, üretim/kalite/proses iyileştirme ile sektör bilgisi/farkındalık olmaktadır; bununla birlikte ankete katılan firmaların 1/3’ü iş birliği yapılmamaktadır cevabını vermiştir. Firmalara, kendi firmaları açısından hangi alanlarda üniversite ile işbirliği yapmasının daha önemli olduğu sorusu sorulduğunda sunulan seçeneklerin tamamında üniversite ile iş birliği yapılmasının ‘vazgeçilmez’ olduğu çoğunlukla düşünülmektedir. Bununla birlikte firmalara aynı alanlarda üniversite ile hangi iş birliği gerçekleştirdiği sorulduğunda ankete katılan firmaların yarısından fazlası (10 firma) üniversite ile işbirliğinin bulunmadığını beyan etmiştir. Benzer şekilde ‘Teknokent’, ‘TÜBİTAK’, ‘KOSGEB’ ve ‘Kalkınma Ajansı’ ile yapılan işbirliği türleri sorulduğunda katılımcı firmalar büyük bir çoğunlukla iş birliklerinin olmadığını belirtmektedir. ‘Meslek Kuruluşları’ ve ‘Sivil Toplum Kuruluşları’ ile yapılan iş birliklerinde ise ‘bilgi ve yetenek paylaşımının’ sınırlı sayıda olmak üzere ön plana çıktığı tespit edilmektedir.

Firmalara çeşitli kurum veya kuruluşlardan desteğe/danışmanlığa olan ihtiyaçları değerlendirmeleri istenildiğinde ankete katılan çoğu firma makine ve teçhizat alımı, Ar-Ge için iş birliği, üretim için iş birliği, danışmanlık hizmeti alımı ve açık dış bilgi kaynakları (fuar, sergi, yayın vb.) konularda bir desteğe/danışmanlığa ihtiyaç duymaktadır. Bununla birlikte ankete katılan firmaların çoğu lisans alımı ve firma birleşmesi konularında desteğe/danışmanlığa ihtiyaç duyarken; yeni uzman istihdamı konusunda desteğe/danışmanlığa ihtiyaç duyan firma kadar duymayan firma bulunmaktadır.

Firma anketindeki son soru bazı üretim faaliyetlerinin il dışındaki firmalara ihale edilip edilmemesi; ediliyorsa nedenleri üzerine olmuştur. Ankete katılan firmaların büyük bir çoğunluğu (%88,9) üretim faaliyetlerini il dışındaki firmalara ihale etmemektedir.

4.3. Bölgesel Akıllı İhtisaslaşma Vizyonu, Temel Performans Göstergeleri ve Programlar

4.3.1. Vizyon İfadeleri ve Temel Performans Göstergeleri

Kırklareli Üniversitesi'nin 'Gıda' odağındaki ihtisaslaşma çalışmaları kapsamında üniversite içinden ve dışından paydaşlarla yapılan birebir görüşmeler, çalıştaylar ile nicel analizler sonucunda elde edilen verilerin değerlendirilmesi doğrultusunda oluşturulan ve kısa-orta-uzun vadeli zaman dilimlerinde gıda ihtisaslaşma çalışmalarına yön verecek olan 'vizyon' ifadeleri sırası ile aşağıdaki gibi sunulmaktadır;

- Teknolojik altyapı, sektörel uzgörü ve özgün bilimsel çalışmaları ile farklılaşarak Kırklareli'nin gıda sektörünü en üst seviyeye taşımak
- Dijitalleşme başta olmak üzere geleceğin eğilimlerini öngörerek bölgesel gıda sektörüne yön veren akademik kurum olmak
- Özgün akademik ve sektörel proje çalışmaları, çok çeşitli ve modern teknolojik altyapısı ile ulusal ve uluslararası referans gıda çalışmaları merkezi olmak

Kırklareli Üniversitesi'nin gıda ihtisaslaşma çalışmaları kapsamında farklı vadelerdeki hedeflerine ulaşabilmesi için performansının izlenmesi gerekmektedir. Üniversitenin gıda ihtisaslaşma çalışmaları ile yarattığı ekonomik ve entellektüel faydaların ölçülmesine öncülük edecek ana performans göstergeleri Tablo 5'de yer almaktadır. Söz konusu performans göstergelerinden firmalara ziyaret sayısı 6 aylık bir periyodu kapsamakta olup, diğer tüm göstergeler 12 aylık periyodu kapsamaktadır.

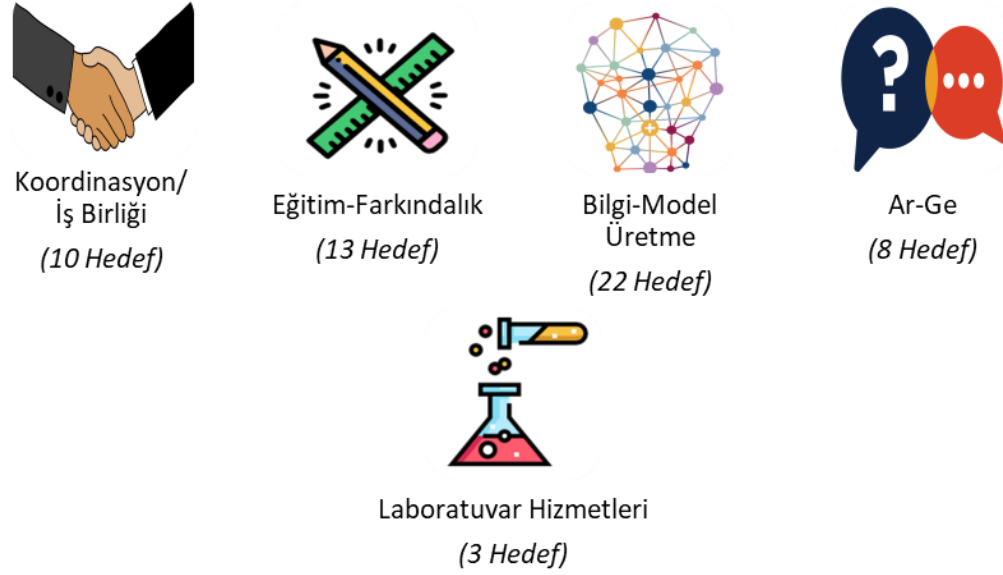
Cizelge 5. İhtisaslaşma Çalışmaları Kapsamında Takip Edilmesi Gereken Ana Performans Göstergeleri

Proje Danışmanlık ve Eğitim Gün Sayısı	Gıda sektöründen üretici işletmeler ve/veya sektör firmalarına ve üniversite öğretim elemanlarına verilen danışmanlık ve eğitim gün sayısı
Yararlanıcı Sayısı	Üniversitenin sunmuş olduğu eğitim ve danışmanlık faaliyetlerinden yararlanan birey ve kurumların sayısı
Firmalara Ziyaret Sayısı	Projeler ve danışmanlık faaliyetlerinin artırılabilmesi ile sektörün ihtiyaçlarının güncel olarak tespit edilebilmesi amacıyla her altı ayda bir yapılan firma ziyaret sayısı
Firmalarla Yapılan Çalıştay Sayısı	Sektörden firmalar ve üretici işletmelerle yapılan çalıştayların sayısı
Ulusal ve Uluslararası İş Birliği Sayısı	Sektörden firmalar ile başlatılan SANTEZ, TÜBİTAK vb. projelerin sayısı Diğer üniversiteler, kamu kurumları vb. ile gerçekleştirilen proje sayısı İmzalanan protokol sayısı
Laboratuvar Kullanım Hizmetlerinin Sayısı	Üniversite bünyesinde yer alan laboratuvarlardan, uygulama ve araştırma merkezlerinden kurum içi ve kurum dışı alınan hizmetlerin sayısı
Ar-Ge Çalışmalarının Bir Sonucu Olarak İnovatif Ürün Sayısı	Fonksiyonel gıdalar başta olmak üzere sektörde inovasyon olarak benimsenebilecek geliştirilen yeni ürün sayısı
Proje ve Yayın Sayısı	Araştırma odaklı proje sayısı, İhtisaslaşma projelerinden geliştirilen yayın sayısı
Proje Danışmanlık ve Eğitim Gün Sayısı	Gıda sektöründen üretici işletmeler ve/veya sektör firmalarına ve üniversite öğretim elemanlarına verilen danışmanlık ve eğitim gün sayısı

4.3.2. Akıllı İhtisaslaşma Odaklı Hedefler ve Programlar

Kırklareli Üniversitesi'nin bölgesel kalkınma odaklı misyon farklılaşması ve ihtisaslaşma çalışmaları için geliştirilen hedeflere bu bölümde yer verilmektedir. Bu kapsamda geliştirilen her bir hedef çeşitli bileşenler aracılığıyla sunulmaktadır, ilgili bileşenlerin tanımları aşağıdaki gibidir;

- **Program Adı:** Kırklareli Üniversitesi'nin gıda ihtisaslaşma çalışmaları kapsamında geliştirdiği farklı hedeflerin kesişim noktası; kategoriler



Şekil 12: Hedeflere İlişkin Program Adları

- **İlgili Bölgesel Sektör:** Rekabetçi Sektör Raporu’nda seçim kriterleri ayrıntılı olarak sunulan, Kırklareli’nin bölgesel kalkınmasında odak olarak belirlenmiş beş sektörden biri veya ‘genel’ değerlendirmesi ile Kırklareli gıda ekosistemindeki tüm sektörler
- **Mevcut Durum:** İlgili sektör ve/veya sektörlerdeki rekabet gücünü olumlu veya olumsuz yönde etkileyen/etkileyecek tespitler, hedeflerin dayanakları
- **Hedef:** Mevcut durumdaki zayıf bir yönü iyileştirmeye, güçlü bir yönü kuvvetlendirmeye, bir tehdidi bertaraf etmeye veya bir fırsatı değerlendirmeye yönelik geliştirilmiş varılmak istenen noktalar
- **Hedef Açıklaması:** İlgili hedeflerin ayrıntılı olarak tanımlanması
- **Dış Paydaşlar:** İlgili hedeflerin gerçekleştirilmesinde Kırklareli Üniversitesi ile maddi/manevi işbirliği gerçekleştirmesi beklenen üniversite dışı kurum, kuruluş ve/veya gerçek kişiler
- **Üniversite İçi Sorumluluk:** İlgili hedefin gerçekleştirilmesinde Kırklareli Üniversitesi bünyesinde doğrudan görev alacak birim

Çizelge 6: Koordinasyon/ İşbirliği Programı Mevcut Durum-Hedef Tablosu

MEVCUT DURUM	HEDEF
Gıda İhtisaslaşma Ar-Ge Stratejisi ve Yol Haritası'nın hazırlanması	İhtisaslaşma Faaliyetlerinin Tanıtılması, KLU'nun gıda ekosistemindeki katkısının ve etkisinin sürdürülebilir olması
Kırklareli ilinin kaliteli gıda ürünlerinin potansiyel tüketiciler tarafından tanınmaması	Kırklareli gıda ürünlerinin tanınırlığının artırılmasına yönelik organizasyon ve faaliyetlere katkı sağlanması
Bölgede inovatif gıda ürünlerinin az olması, firmaların yeni ürünlere önyargılı olması	Fonksiyonel inovatif gıda üretimine katkı sağlayacak iş birliği yapılarının kurulması
Kırklareli'nin gıda imajını temsil eden sembol ve anıtların yeterli olmaması	Kırklareli'nin gıda imajını temsil edecek görsellerin ve hikayelerin oluşturulması
Üniversitenin gıda ihtisaslaşma misyonunun yeni projelerle desteklemesi gerekliliği	Gıda odaklı yeni projeleri hayata geçirebilmek için ulusal ve uluslararası düzeyde bağlantıların çeşitlendirmesi ve mevcut bağlantıların kuvvetlendirilmesi, araştırmacı ekosistem entegrasyonunun güçlendirilmesi
Kırklareli'nin arıcılık ürünlerinin tanınırlığının yeterli düzeyde olmaması	Kırklareli arı ürünlerinin tanınırlığının artırılmasına katkı sağlanması
Kırklareli'de KLU mezunlarının özel sektörde istihdam oranının artırılması	Üniversite-özel sektör iş birliğinin yeni mezun istihdamı konusunda geliştirilmesi

Çizelge 7: Bilgi/ Model Üretme Programı Mevcut Durum-Hedef Tablosu

MEVCUT DURUM	HEDEF
Yerli üretimin/hasadın rekoltesi ile ilgili doğru ve yeni teknolojilere dayanan tahmin modellerinin ve sistemlerinin olmaması ve bu nedenle garanti sunan yurtdışı emtia piyasalarına bağımlı kalınması	Bitkisel yağ üreticilerine yönelik karar destek tedarik modelinin oluşturulması
Süt üretiminde AB standartlarına ulaşamaması nedeni ile sektörün Avrupa'ya ihracat problemleri yaşaması	Süt ve süt ürünleri AB ihracatı yol haritasının oluşturulması ve uygulanması
Ürünlerin farklılığının bir karşılığı olan yüksek fiyat politikasının rakip ürünler karşısında uygulanamaması	Farklılaştırılmış süt ve süt ürünleri için tutundurma faaliyetlerinin desteklenmesi
Geleneksel ve endüstriyel üretimi birleştirecek niş pazar ve üretim yapısının kurulamaması	Modern üretim ve satış tekniklerinin sektöre tanıtılması
Bitkisel yağ üretim, tüketim ve pazarlama faaliyetlerine ilişkin bilimsel çalışmaların firmalar tarafından ilgi ile karşılanması	Bilimsel çalışmalar aracılığıyla üniversite sektör iş birliğini kuvvetlendirilmesi

Kırklareli kırsalında tarım ile ilgili uğraşan nüfusun giderek azalması ve yaşlanması, tarımsal ekonominin giderek güç kaybetmesi. Özellikle süt arzının talebi karşılayamamasının nedenlerinin tam olarak bilinmemesi ve bu nedenle çözüm önerisi geliştirilmesinde sorun yaşanması	Tarımsal üretime ilişkin çok disiplinli (ekonomik, sosyolojik, teknolojik) çalışmaların yapılması ve çıktılara göre yeni modellerin üretilmesi (çiftlik modelleri, tedarik zinciri modelleri vb.)
Süt ürünleri üretimi için uygun maliyet ile sürdürülebilir olan çiftlik modellerinin bulunmaması	Ekolojik sürdürülebilir ve aynı zamanda kârlı çiftlik modellerinin Kırklareli içerisinde yaygınlaştırılmasına katkı sağlanması
Bal ile ilişkili olarak bir coğrafi haritalandırmanın bulunmaması	Bal Deseni Haritası'nın oluşturulmasına katkı sağlanması
Bölgenin ve Kırklareli'nin bağcılık konusunda tanınmaması	Kırklareli bağcılık ürünlerinin ülke çapında tanıtımının desteklenmesi
Rekabet avantajı kazanabilmek amacıyla üreticiler arasında birlik oluşturma girişimlerinin sonuçsuz kalması, sosyal sermayenin düşük olması	Tarım ve gıda değer zincirinde bölgesel işbirliği yapılarının oluşturulması
Gıda arz ve güvenliğinin makro düzeyde kritik önem teşkil etmesi	Ülkenin gıda politikalarına katkı sunulması
Coğrafi işaretli meşe balı, beyaz/kaşar peynir, hardaliye ve kıvırcık koyunu başta olmak üzere ulusal ve uluslararası potansiyeli olan ürünlerin istenilen seviyede talebin olmaması	İlgili sektörlere uygun ölçek büyütme modelinin oluşturulması
Sözleşmeli üretim modeli için oluşturulmuş modellerin hukuksal bağlayıcılığının ve ekosistemde içinde sosyal sermayenin düşük olması	Bölgeye özgü sözleşmeli üretim modellerinin oluşturulması
Apiturizm için bir potansiyelin bulunması	Kırklareli ilinde apiturizmin geliştirilmesinde kurucu rol oynanması

Çizelge 8: Eğitim/Farkındalık Programı Mevcut Durum-Hedef Tablosu

MEVCUT DURUM	HEDEF
Üreticilerin iklim değişikliği ile ilgili tarımsal üretim bilgisinin olmaması ve bu değişime hazır olmaması	İklim değişikliği konusunda tarımsal üreticilerde farkındalık sağlayacak eğitim ve bilgilendirme faaliyetlerinin yapılması
Süt üretiminde hijyenik şartların etkin bir şekilde sağlanamaması	Süt hijyeni konusunda farkındalık sağlanması
Yağ sektöründe nitelikli usta ve eleman sayısının az olması	Yeni ustaların ve elemanların yetiştirileceği eğitim programlarının oluşturulması
Hali hazırda özel sektörde sınırlı sayıda yürütülen sürdürülebilir köy sütçülüğü üzerine eğitim farkındalık çalışmalarının geliştirilme ihtiyacı	Kırsal kalkınma için yürütülen çalışmaların desteklenmesi

Arıcılık ve bağcılık ürünlerinde atadan kalma usullerle üretim yapılması ve/veya tarım ilaçlarının bilinçsiz şekilde kullanılması	Modern üretim tekniklerinin yaygınlaştırılması ve tarım ilacı kullanımının azaltılması tekniklerine yönelik farkındalığın artırılmasına katkı sağlanması
Satış konusunda bağımsız hareket eden üreticilerin markalaşmanın ve ürünlerin değerinde satılmasının önünde bir engel teşkil etmesi	Arı ürünleri üreticilerinin markalaşma bilincinin artırılmasına katkı sağlanması
İlde arıcılık faaliyetlerinin artırılması gerekliliği	Genç nüfusun arıcılık sektörüne yönlendirilmesi
Hem bölgenin farklı bal türleri hem de balın yan ürünlerinden elde edilen ekonomik değerin artırılması için çalışma ve bilgilendirme/egitim faaliyetlerinin yapılmasına ihtiyacın olması	Arı üreticilerinin flora ve yan arıcılık ürünleri konusundaki bilgi düzeylerinin artırılması

Çizelge 9: AR-GE Programı Mevcut Durum-Hedef Tablosu

MEVCUT DURUM	HEDEF
Yeni ürünler üzerine yapılan çalışmaların bulunmaması/sınırlı olması	Sektöre yönelik fonksiyonel ürünlerin geliştirilmesi
Firmalara yönelik ankette raf ömrü ve ambalajlama ile ilgili inovatif yaklaşımlara ihtiyaçlarının olması	Raf ömrünün artırılmasına yönelik çalışmaların yapılması
Süt ve Süt Ürünleri, Bağcılık Ürünleri Sektörleri İçin proses optimizasyonu ihtiyacının olması	Süt ve Süt Ürünleri, Bağcılık Ürünleri Sektörlerinde standart proses geliştirilmesi ve optimizasyonunun yapılması
Kırklareli köftesinde standardizasyonun sağlanamaması	Ürün standardizasyonuna yönelik süreç ve girdilerin belirlenmesi
Bölgede floranın et ürünlerine tat olarak olumlu olarak yansımaları	Et ve et ürünlerine katkı yapan spesifik bitkilerin tespit edilmesi
Peynirde pilot üretimin endüstriyel ölçekte yapılması ve buna bağlı olarak başarısız bir pilot üretimde kayıp miktarının çok olması ve maliyetlerin artması	Pilot üretim hizmetlerinin sunulması
Maya, starter vb. teknolojik ürünlerde yurtdışına bağımlı olunması ve bu tür yan ürünlerin maliyetleri yükseltmesi	Yerli kültür üretimine katkı sağlanması
Hardaliye ürününün geliştirilmesi için Ar-Ge çalışmalarına ihtiyaç duyulması	Ar-Ge çalışmaları ile hardaliye ürün çeşitliliğinin ve kalitesinin artırılması, süreç optimizasyonunun yapılması

Tablo 10: Laboratuvar Hizmetleri Programı Mevcut Durum-Hedef Tablosu

MEVCUT DURUM	HEDEF
Yıl içerisinde ihtiyaç duyulan bazı test ve analizlerin Kırklareli Üniversitesinde yaptırılmaması	Gıda ürünlerine yönelik test analiz hizmet yapısının geliştirilmesi
İl içinde yaptırılmaması nedeniyle il dışında yaptırılması gereken analizlerin maliyetlerinin çok yüksek olması	Gıda ürünleri test ve analiz altyapısının kurulması

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Kırklareli'nin ve Kırklareli Üniversitesi'nin gıda odak alanındaki profili detaylı bir şekilde incelenerek bitkisel yağ, bağcılık ürünleri, et ürünleri, süt ürünleri ve arıcılık ürünleri sektörlerinde Ar-Ge ve Laboratuvar Hizmetleri, Eğitim, Farkındalık, Model Oluşturma alanlarında Koordinasyon ve İşbirliği çalışmaları yürütülmesi için bu sektörlerin rekabetçilik ve bölgesel kalkınma açısından ihtiyaçları tespit edilmiştir. Bu ihtiyaçlara yönelik Kırklareli Üniversitesi'nin kapasitesi tespit edilerek hedefler oluşturulmuştur. Bu doğrultuda, 39 farklı hedef ve bu hedeflere ulaşmak için üniversite birimleri ve dış paydaşlar belirlenmiştir. Hedefler açısından bakıldığında akıllı ihtisaslaşmanın sadece Ar-Ge ve endüstriyel hizmetlerden ibaret olmadığı, yönetim ve farkındalık faaliyetlerinin ve özgün modellerin oluşturulmasın da akıllı ihtisaslaşma için ihtiyaç olduğu görülmüştür. Görüleceği üzere akıllı ihtisaslaşma bu açıdan daha geniş hedefler kapsamında düşünülmelidir.

Çalışma sürecinde, her bir sektör için özel çalıştaylar, saha görüşmeleri ve anket çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, üniversitenin gıda alanında uzman akademisyenlerle yapılan görüşmelerde sektörel ihtiyaçlar ve üniversitenin yetkinlikleri karşılaştırılarak stratejik hedefler belirlenmiştir. Bu süreçte, ulusal ve bölgesel planlarda belirlenen politikalar da dikkate alınmıştır. Çalışmada sadece nicel analizler ile sınırlı kalınmamış, potansiyel vaat eden konular nitel analizler ile ortaya konulmuştur. Bu tür çalışmalarda bölgesel sağlıklı veri bulmanın ve toplamının zorlukları düşünülürse nitel analizler önemli yol gösterici olmuştur. Önemli bir bulgu ise en büyük ihtiyacın birlikte inovasyon (co and open innovation) gerçekleştirme olduğudur. Özellikle küçük ve orta boyutlu işletmelerin tek başlarına gerçekleştiremeyeceği birçok inovasyon ihtisaslaşmış

üniversite kaynakları ile birlikte herkese sunulabilir. Üniversitenin bu noktada merkez olmaya yönelik politikaları yine ihtisaslaşma yol haritasında verilmiştir.

Sonuç olarak, Kırklareli Üniversitesi'nin gıda odak alanında misyon farklılaşması ve ihtisaslaşma stratejisi, bölgenin ekonomik ve sosyal kalkınmasına önemli katkılar sağlayacak potansiyele sahiptir. Bu stratejiyi hayata geçirmek için belirlenen hedefler ve işbirliği yapılacak kurumlar, üniversitenin gıda alanındaki etkinliğini artıracak ve bölgesel kalkınmaya ivme kazandıracaktır. Kırklareli Üniversitesi'nin gıda odak alanındaki çalışmaları devam etmektedir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu makale “Kırklareli Üniversitesi Bölgesel Kalkınma Odaklı Ar-Ge Stratejisi ve Yol Haritası” başlıklı Kırklareli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü KLÜBAP-220 no'lu projesiyle desteklenmiştir. Çalışmada destekleri için Kırklareli Üniversitesi ve TÜBİTAK Türkiye Sanayi Sevk ve İdare Enstitüsü (TÜSSİDE)'ne teşekkür ederiz.

YAZARLARIN KATKILARI

B.Ş.: Kavramsallaştırma, yöntem, yazılım, doğrulama, formel analiz, araştırma, kaynaklar, yazı yazma - orijinal taslak hazırlama.

M. Ç. D.: Kavramsallaştırma, yöntem, yazılım, doğrulama, formel analiz, araştırma, kaynaklar, yazı yazma - orijinal taslak hazırlama.

H. Ş. A.: Kavramsallaştırma, yöntem, yazılım, doğrulama, formel analiz, araştırma, kaynaklar, yazı yazma - orijinal taslak hazırlama.

S. Ö.: Kavramsallaştırma, yöntem, yazılım, doğrulama, formel analiz, araştırma, kaynaklar, yazı yazma - orijinal taslak hazırlama.

Ç. O. B.: Kavramsallaştırma, yöntem, yazılım, doğrulama, formel analiz, araştırma, kaynaklar, yazı yazma - orijinal taslak hazırlama.

Y. K. K.: Kavramsallaştırma, yöntem, yazılım, doğrulama, formel analiz, araştırma, kaynaklar, yazı yazma - orijinal taslak hazırlama.

B. Ç.: Kavramsallaştırma, yöntem, yazılım, doğrulama, formel analiz, araştırma, kaynaklar.

S. C.: Kavramsallaştırma, yöntem, yazılım, doğrulama, formel analiz, araştırma, kaynaklar.

KAYNAKLAR

- “Kırklareli Lezzet Rotası”. <http://trakyaturizmrotasi.com/tr/kirklareli-lezzet-rotasi/>, (Erişim tarihi: 25.04.2021).
- “Proje Hakkında”. <http://www.trakyabagrotasi.com/proje-hakkinda/>,
<http://www.trakyabagrotasi.com/kirklareli-baglari/> ; <http://www.trakyabagrotasi.com/kirklarelelezzet-rotasi/> , (Erişim tarihi: 25.04.2021).
- Bukhari, E., Dabic, M., Shifrer, D., Daim, T., & Meissner, D. (2021). Entrepreneurial university: The relationship between smart specialization innovation strategies and university-region collaboration. *Technology in Society*, 65, 101560.
- Calza, F., Carayannis, E. G., Panetti, E., & Parmentola, A. (2019). The role of university in the smart specialization strategy: Exploring how university–industry interactions change in different technological domains. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 69(6), 2649-2657.
- Dyson, R. G. (2004). Strategic development and SWOT analysis at the University of Warwick. *European journal of operational research*, 152(3), 631-640.
- Griniece, E., Panori, A., Kakderi, C., Komninos, A., & Reid, A. (2017, August). Methodologies for Smart Specialisation Strategies: A view across the EU regions. In *International Conference for Entrepreneurship, Innovation, and Regional Development (ICEIRD 2017), University-Industry Links: Coproducing Knowledge, Innovation & Growth, Conference Proceedings* (pp. 321-330).
- Interreg Europe (2020). Smart Specialisation Strategy (S3), July 2020, *Brüksel*, 1-21.
- Kutgi, D., ve Maden, S. I. (2018). Bölgesel Yenilik Sistemlerinde Yeni Bir Yaklaşım: Akıllı Uzmanlaşma Stratejisi ve Teorik Temelleri. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (55), 142-156.
- Mujisusatyo, Y. (2020). Porter's Five Forces Model Competition as a Framework for Determining the Competitive Strategy of State University. *IC2RSE 2019*, Medan, Indonesia.
- T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji Ve Bütçe Başkanlığı. *On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023)*. <https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2019/07/OnbirinciKalkinmaPlani.pdf>, (Erişim tarihi: 21.04.2021).
- T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. “Tarih”, <https://kirklareli.csb.gov.tr/genel-bilgiler-i-3772>, (Erişim tarihi: 10.04.2021).
- T.C. Kırklareli Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü. (2019). “Kırklareli İli 2019 Yılı Çevre Durum Raporu”. https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/kirklarel-_cdr2019-20200708151830.pdf, (Erişim tarihi: 10.04.2021).
- T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. “Gıda ve İçecek Sektörü Raporu”. <https://www.sanayi.gov.tr/plan-program-raporlar-veyayinlar/sektor-raporlari/mu1003011412> , (Erişim tarihi: 21.04.2021).
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. “Kırklareli Tarımsal Yatırım Rehberi”. https://www.tarimorman.gov.tr/SGB/TARYAT/Belgeler/il_yatirim_rehberleri/k%C4%B1rklareli.pdf , (Erişim tarihi: 10.04.2021).
- Tekoğlu, A. S. (2023). Akıllı Uzmanlaşma Yoluyla Bölgesel Kalkınmada Üniversitelerin Rolü. *Bölgesel Kalkınma Dergisi*, 1(02), 55-76.
- TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu). https://www.tubitak.gov.tr/sites/default/files/21566/tubitak_cp2021.pdf , (Erişim tarihi: 21.04.2021).
- TÜRK PATENT (Türk Patent ve Marka Kurumu). <https://www.ci.gov.tr/cografi-isaretler/liste?il=39&tur=&urunGrubu=&adi=>, (Erişim tarihi: 12.04.2021).
- Türkiye Gıda ve İçecek Sanayii Dernekleri Federasyonu. “2020 Dış Ticaret Verileri”. <https://www.tgdf.org.tr/wp-content/uploads/2021/04/2020-Dis-Ticaret-Verileri-HD.pdf> , (Erişim tarihi: 21.04.2021).
- YÖK (Yükseköğretim Kurulu). “Yükseköğretimde İhtisaslaşma Ve Misyon Farklılaşması Bölgesel Kalkınma Odaklı Üniversiteler”. https://www.yok.gov.tr/Documents/Yayinlar/Yayinlarimiz/2020/bolgesel_kalkinma_odakli_universiteler.pdf , (Erişim tarihi: 21.04.2021).
- Yücel, F. H. & Çalık, T. (2023). Yükseköğretimde Bölgesel Kalkınma Odaklı Misyon Farklılaşması ve

İhtisaslaşmaya Yönelik Durum Analizi. Yükseköğretim Dergisi, 13(3), 474.

A Comparative Study of Waste Heat Utilization and Solar Power Plant for Sustainable Energy Production

Samet Giray TUNCA^{1*}, Kadir OLCAY

¹Department of Electrical and Energy, Dumlupınar Vocational School, Kütahya Dumlupınar University, Kütahya, Türkiye

Received: 16.11.2024, Accepted: 8.12.2024, Published: 12.05.2025

ABSTRACT

A comparison was conducted between a steam turbine system utilizing waste heat and a solar power plant (SPP) in the same region, focusing on energy production potential and investment evaluation. The steam turbine system enhances energy efficiency in industrial facilities by generating electricity from waste heat produced during furnace operations. Waste heat is obtained from natural gas and petroleum coke. In contrast, SPPs are sustainable and typically require lower initial investment costs. Solar energy production depends on geographical conditions, sunlight exposure, and panel efficiency. However, output can vary due to environmental factors and time of day. This variability impacts electricity production, yielding an average daily output of 7.52 MWh. Both systems were analyzed in terms of energy production capacities and payback periods. The steam turbine system provides stable production in large facilities with continuous waste heat availability, though its efficiency is influenced by the type of fuel used. SPPs, with shorter payback periods and lower initial costs, offer rapid financial returns but are more susceptible to environmental fluctuations. The study highlights that both systems have distinct advantages and disadvantages, emphasizing the importance of selecting the most suitable system based on local energy needs and environmental conditions. SPPs have a short payback period of 5.6 years, delivering quick financial returns and short-term economic benefits. Conversely, waste heat recovery systems, with a longer payback period of 10.5 years, represent a cost-effective, environmentally friendly solution for energy-intensive industries, enhancing energy efficiency and reducing long-term operational costs.

Keywords: Steam turbine system; Waste heat utilization; Solar power plant (SPP); Energy production efficiency; Investment evaluation

Sürdürülebilir Enerji Üretimi için Atık Isı Kullanımı ve Güneş Enerjisi Santralinin Karşılaştırması

ÖZ

Aynı bölgede atık ısı kullanarak elektrik üreten bir buhar türbini sistemi ile güneş enerjisi santrali (GES) arasındaki enerji üretimi karşılaştırılmıştır. Bu çalışma, iki sistemin potansiyel enerji üretimini analiz etmeyi ve yatırım değerlendirmesi yapmayı amaçlamaktadır. Buhar türbini sistemi, endüstriyel tesislerde, fırınlarda üretilen atık ısıdan elektrik üreterek enerji verimliliğini artırmaktadır. Atık ısının elde edilmesinde doğal gaz ve petrokok kullanılmaktadır. Petrokok doğal gaza göre daha fazla atık ısı üretirken, doğal gaz daha temiz

bir yakıttır. Buna karşın, güneş enerjisi santralleri sürdürülebilir olup, genellikle daha düşük başlangıç yatırımı gerektirmektedir. Güneş enerjisi üretimi, coğrafi koşullar, güneş ışığına maruz kalma süresi ve panel verimliliği gibi faktörlere bağlıdır. Üretim kapasitesi sabit olup çevresel koşullar ve günün saatine bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Bu değişkenlik, elektrik üretimini etkilemekte ve günlük ortalama 7.52 MWh üretim sağlanmaktadır. Her iki sistemde geri ödeme süreleri ve enerji üretim kapasiteleri açısından değerlendirilmiştir. Buhar türbini sistemi, büyük tesislerde sürekli atık ısının sağlanması ile istikrarlı üretim sunarken, verimliliği yakıt türlerine bağlıdır. GES ise daha düşük başlangıç maliyetleri ve kısa geri ödeme süreleri sağlamakta, ancak çevresel faktörlerden etkilenebilmektedir. Çalışma, her iki sistemin kendi avantaj ve dezavantajlarına sahip olduğunu ve en uygun sistemin yerel enerji ihtiyaçları ve çevresel koşullara göre seçilmesi gerektiğini vurgulamaktadır. GES, 5.6 yıl gibi kısa bir geri ödeme süresiyle yatırımcılara hızlı finansal getiri ve kısa vadede ekonomik avantaj sunmaktadır. Atık ısı geri kazanım sistemleri ise 10.5 yıllık geri ödeme süresiyle başlangıçta maliyetli görünmekle birlikte, enerji yoğun endüstrilerde atık enerjiyi değerlendiren çevre dostu bir çözüm sunar. Bu sistemler, enerji verimliliğini artırarak uzun vadede işletme maliyetlerini düşürmektedir.

Anahtar Kelimeler: Buhar türbini sistemi; Atık ısı kullanımı; Güneş enerjisi santrali (GES); Enerji üretim verimliliği; Yatırım değerlendirmesi

1. INTRODUCTION

Energy is of vital importance in terms of sustainability and efficiency in the modern world. The increasing use of renewable energy sources minimizes environmental impacts by reducing fossil fuel dependency (Olcay & Cetinkaya, 2023). Energy efficiency supports both economic growth and enables more efficient use of natural resources. In particular, the development and application of energy-saving technologies reduce energy costs and contribute to the fight against climate change by reducing greenhouse gas emissions (Olcay et al., 2024). In order to increase energy efficiency in the industrial sector and contribute to sustainable production processes, utilization of waste heat is becoming increasingly important today. Recovery of waste heat in industry offers significant potential to increase energy efficiency and reduce environmental impacts (Erbas, 2021). The use of waste heat released in processes in various sectors, especially in secondary processes such as heating, electricity generation or cooling, is becoming increasingly common (Guo et al., 2021). For example, waste heat recovery systems in the cement and steel industries reduce energy consumption, lower costs and minimize carbon emissions (Worrell et al., 2016). In recent years, systems that can convert low-temperature thermal energy, such as organic Rankine cycles (ORC), have emerged as a highly effective solution for converting waste heat into electricity (Vélez et al., 2012). These technologies promote sustainable production methods in industry and enable more efficient use of energy resources.

Although installation of waste heat recovery systems provides energy savings and environmental benefits, the initial investment cost and operating expenses can be high. In particular, the installation of high-temperature systems and the application of technologies such as ORC (Organic Rankine Cycle) require large-scale investments (Bao & Zhao, 2013). A large portion of these costs consist of the prices of components such as heat exchangers, energy conversion equipment and system integration (Forman et al., 2016). However, studies show that the payback period of such systems varies from process to process and that in some sectors, the investment cost can be covered in a short period of 3 to 5 years (Dong et al., 2020). It is emphasized that these systems, which reduce energy costs in the long term, are becoming an increasingly competitive solution.

Solar Energy Systems (SPP) stand out as one of the most important components of renewable energy sources and offer environmental and economic benefits such as increasing energy security and reducing carbon emissions (Zhao, 2020). Worldwide and up-to-date, inscriptions on solar power plants are increasing rapidly in letters. (Yolcan & Köse, 2020). The fact that solar energy is an infinite resource and its easy accessibility as a sustainable energy source has made SPPs the center of energy strategies in many countries (Jacobson et al., 2017). The use of photovoltaic panels (PV) and other solar energy technologies is of great importance, especially for countries aiming to reduce their dependence on fossil fuels (Bogdanov et al., 2021). In

addition to technological advances, the reduction of costs plays an important role in the spread of SPP applications. The cost of solar energy systems, which used to be high-cost in the past, has decreased rapidly thanks to developments in production processes. The decrease in unit costs of PV panels, in particular, contributes to the preference of SPP projects as a larger-scale and low-cost option. Studies show that PV system installation costs have decreased by approximately 80% since 2010, making solar power plant investments attractive in many sectors (Feldman et al., 2021). These cost reductions have enabled more widespread use of solar power plants in commercial, industrial and residential applications and accelerated the transformation process in the energy sector (IRENA, 2020).

Although energy demand is met economically, the primary cause of greenhouse gas emissions is fossil fuels (Lehtola & Zahedi, 2019). In the studies conducted, the environmental effects of solar energy systems were discussed in detail and it was emphasized that the relevant procedures should be followed (Rabaia et al., 2021). Carbon emissions encourage studies in the field of renewable energy, and a study on the benefits of renewable energy in terms of emissions was conducted in (Shahsavari & Akbari, 2018). Although the use of fossil fuels is considered economical, it has many harmful effects on the environment (Adekanbi, 2021). However, the generation of large amounts of greenhouse gases has a negative impact on the carbon footprint (Arshian et al., 2021). It is estimated that a 1 MW capacity solar power plant (SPP) can produce approximately 1.5 million kWh of electricity annually. If this amount replaces carbon-intensive sources like coal, it can prevent the emission of an average of 1000 tons of CO₂ (Liu et al., 2019).

Investments in solar power plants (SPPs) offer significant long-term savings in energy costs due to their short payback periods (Özgür & Köse, 2012). Studies indicate that solar energy projects with shorter payback periods reduce operational costs in the long run and enhance energy security (Sharma & Jain, 2019). This contributes to greater predictability and cost savings in the energy budgets of enterprises or public institutions. Furthermore, clean energy derived from solar power reduces carbon emissions, thereby lowering the carbon footprint and contributing to environmental sustainability goals (Chaudhari et al., 2020).

Both waste heat recovery systems and solar power systems (SPPs) emerge as critical investments aimed at improving energy efficiency and providing sustainable energy solutions. However, the installation of waste heat recovery systems typically involves higher initial investment requirements and technical challenges, whereas the costs of SPPs have significantly decreased in recent years. While SPPs are becoming more attractive due to their low operating costs and short payback periods, waste heat recovery systems are more suitable for enhancing energy efficiency in larger industrial applications.

This study evaluates the electricity production data obtained through a steam turbine powered by waste heat and compares it with the production of a solar power plant designed to generate the same output. Specific

flow rates and production values achieved under defined conditions for waste heat utilization were analyzed. Based on these findings, a solar power plant capable of generating 7.52 MWh of electricity per month was designed. Calculations for the required land, solar panels, and associated costs were conducted. The advantages and disadvantages of both systems were discussed, highlighting key considerations for investment decisions. The choice between these systems depends on the constraints of existing production capacities or investment plans.

This study provides significant contributions to the energy systems literature by comparing Solar Power Plants (PV systems) and waste heat recovery systems from economic and environmental perspectives. While PV systems offer a short payback period of 5.6 years, delivering rapid financial returns and low operational costs for investors, waste heat recovery systems, with a payback period of 10.5 years, contribute to sustainability and energy efficiency by utilizing waste energy in energy-intensive industries. This comparative analysis offers a comprehensive perspective on balancing economic returns with environmental benefits in energy investment decision-making processes, thereby contributing to the development of strategies for enhancing energy efficiency and reducing operational costs. Furthermore, the assessment of the complex infrastructure requirements and maintenance processes of waste heat recovery systems addresses existing gaps in the literature regarding industrial applicability and technical sustainability. Finally, the findings of this study serve as a guide for policymakers and investors in shaping energy policies and selecting appropriate energy solutions for different sectors, emphasizing the importance of a holistic evaluation of the economic and environmental performance of energy systems.

2. ENERGY GENERATION THROUGH WASTE HEAT RECOVERY

Waste heat systems are important technologies that enable the recovery and reuse of heat generated in industrial processes. In addition to increasing energy efficiency, these systems offer an effective way to reduce operating costs and minimize environmental impacts. In general, waste heat recovery covers a wide range of energy conversion methods from high-temperature processes to low-temperature heat recovery (Oyedepo & Fakeye, 2021). Organic Rankine cycles (ORC), thermophotovoltaic systems and heat exchanger technologies are the main applications that enable the integration of industrial waste heat into electrical energy or district heating-cooling systems (Smith et al., 2019). Such systems are gaining more and more importance as part of sustainable energy management strategies and contribute to the use of renewable energy sources (Wang et al., 2020). According to the operating principle of the rotary kilns in the mentioned industrial facility, instead of cooling the waste heat generated by the flue gas and discharging it, the idea of utilizing the waste heat has been realized by providing a connection between the boiler and the steam turbine (Tunca & Akbulut, 2023).

The steam turbine system is an energy generation unit designed to achieve high efficiency and reliability. The system operates with an inlet steam pressure of 21 bar and a temperature of 340°C. The outlet pressure is set at 0.2 bar, and the turbine has a nominal steam flow capacity of 8.27 tons per hour. The turbine operates at a speed of 8600 RPM, which is connected to a generator running at 1500 RPM, producing energy at 6300 V and a frequency of 50 Hz. The nominal capacity of the generator is 1540 kVA, with a total power output of 1234 kWe. The turbine is designed with five stages and a nominal shaft output power of 1285 kW. The water-cooled vacuum condenser manages a steam flow of 8.3 tons per hour and operates efficiently with cooling water at a maximum inlet temperature of 34°C. This comprehensive design supports the system's objectives of high performance, environmentally friendly energy production, and long operational life.

In steam turbine systems, flow rate and steam temperature are important factors for electricity production. The continuity of energy production should be achieved by working in harmony with the entire system. When “**Figure 1**” is examined, cumulative energy production is seen. In more than 100 measurements, it is seen that the production in the system is fluctuating. It should not be forgotten that the amount of waste heat in such systems depends on the production method and amount.

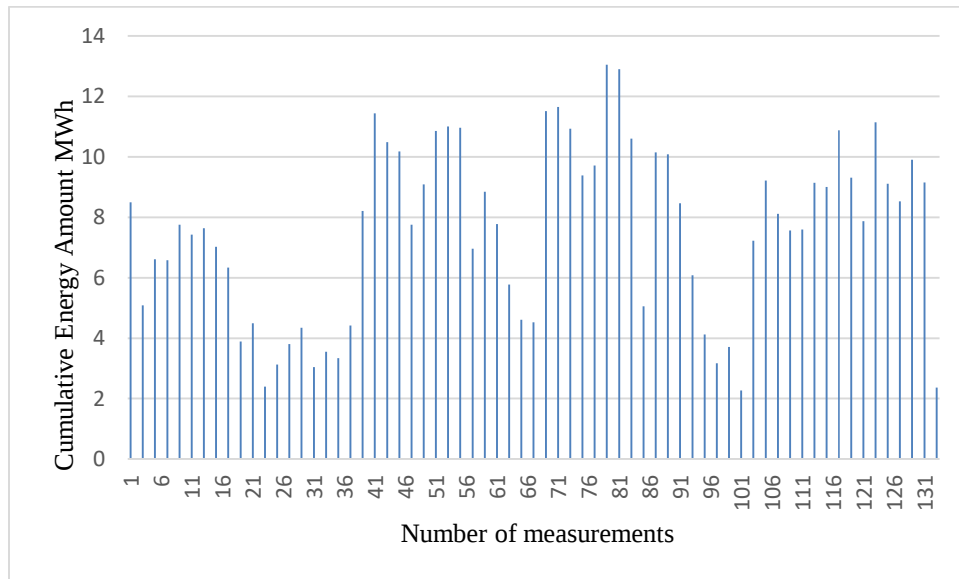


Figure 1. Cumulative energy amount

One of the important factors in energy production is the flow rate in the cycle. The measurements show that the flow rate affects electricity production (See **Figure 2**). It is seen that different energy production occurs at the same flow rates. This situation negatively affects energy production due to factors other than flow rate. It is known that there is unstable waste heat production in the system, but this does not change the fact that there are unexpected losses in the cycle. For energy production to occur healthily, system components must work in harmony with each other. The current situation shows that all components should be examined in detail.

The flow rate determines the capacity of heat energy to be transported, and as the flow rate increases, more heat energy can be taken into the system. This means that the amount of heat sent to the turbines increases, and therefore electricity production increases. In addition, high flow rate allows heat to be used more quickly and efficiently, converting it into more energy (Li, et al., 2017). However, the flow rate must remain within the physical limits of the system, in other words, excessively high flow rates can cause mechanical problems in components such as heat exchangers and turbines, as well as reduce efficiency. The flow rate must be optimized correctly, because the correct flow rate value maximizes the electricity production from waste heat while also ensuring the efficient operation of the system. The main reason for the inefficiency of energy production in waste heat systems is the incompatibility and obsolescence of system elements. Old systems may be incompatible with modern components such as new generation steam turbines and heat exchangers. This causes the waste heat not to be collected and used efficiently. Old equipment usually operates with lower efficiency and cannot fully convert heat into energy. In addition, wear and tear of components in the system or technological backwardness reduces heat transfer efficiency and leads to heat loss. This causes less energy to be obtained from the same amount of waste heat. Old systems may not be efficient enough to meet modern energy production needs, and therefore the energy production capacity decreases. As a result, the incompatibility and obsolescence of system elements in waste heat systems lead to losses in energy production, increase operating costs and make it difficult to achieve environmental sustainability goals.

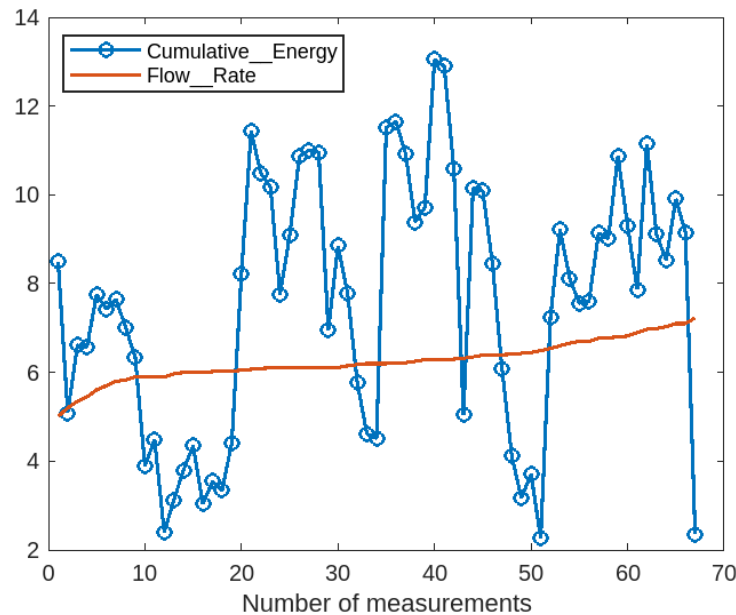


Figure 2. Cumulative energy production in proportion to flow rate

Another factor in the amount of energy production in steam turbines is the steam temperature. Steam temperature and flow rate values are effective in energy production. When looking at “**Figure 3**”, steam temperature and instantaneous production data are seen depending on the flow rate. As seen in other figures,

it is seen that a fluctuating production occurs in Fig. 3. At steam temperature values between 250-350 °C, real-time production occurs in a wide range such as 200-600 kWh.

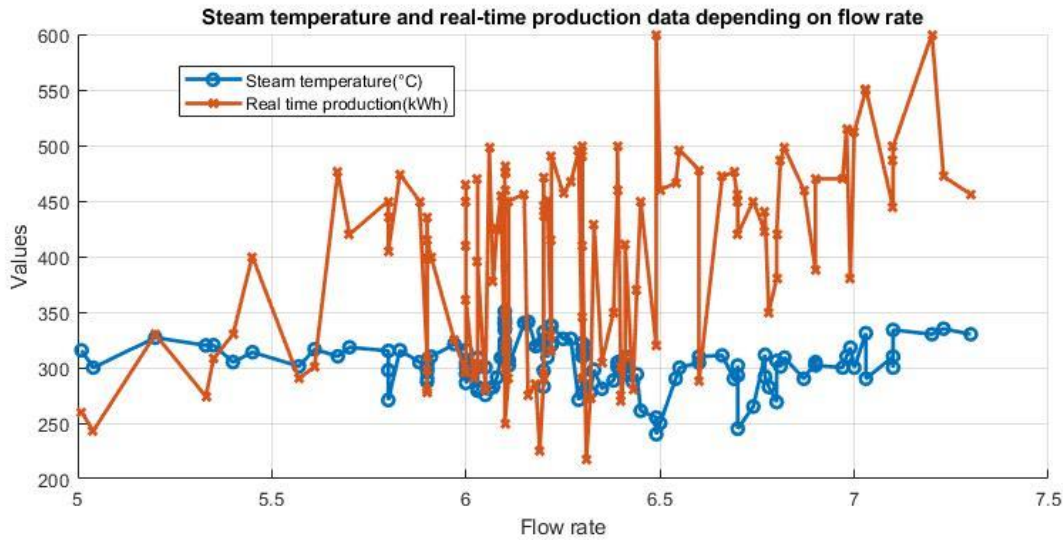


Figure 3. Steam temperature and real-time production data depending on flow rate.

The flow rate, which was thought to be constant at 8 tons/h during the installation phase of the system, was found to be in the range of 5-7 tons/h. With this operation of the system, 7.52 MWh of electricity is produced per day. It should be noted that there are differences between the preliminary study data made before the system was installed and the actual data. This situation can be seen as the reason why the expected energy production cannot be met in terms of investment planning.

3. ELECTRICITY GENERATION THROUGH SOLAR POWER PLANTS

Reducing dependency on fossil fuels is accelerating the transition to renewable energy technologies (Harsito et al., 2022). In order to prevent a future climate crisis, the 2015 Paris Agreement set a goal to limit global temperature rise to 1.5 to 2 degrees Celsius above pre-industrial levels (Lamb et al., 2021). As a result, minimizing the use of fossil fuels and increasing the use of energy derived from clean sources should become a priority (Eshiemogie et al., 2023). By 2040, it is estimated that more than one-third of the energy produced from renewable sources will come from solar and wind energy, with solar energy production reaching 7200 TWh (Ghosh, 2020). The sun has the capacity to provide 1.7×10^{22} J of energy in just 1.5 days, which is equivalent to the total energy that could be provided by 3 trillion barrels of oil (Hayat et al., 2019) (Kabir et al., 2018).

The ideal size of a solar energy system to be installed in different regions is specified with the lowest system cost. Technical research on the areas has shown that there is a direct relationship between the system's efficiency and climate parameters (Panayiotou, 2012).

The solar panel is a critical component of the solar energy system. PV technology uses semiconductor-based solar cells (panels) to capture solar radiation and convert it into electrical energy (Jordan et al., 2012). These panels perform better when there are no environmental issues and when they are oriented and tilted at ideal angles (Toth, 2019). The instantaneous efficiency of photovoltaic panels is related to the cell temperature of the panels (Yolcan & Köse, 2023).

When the waste heat installation processes with an average daily electricity production of 7.52 MWh are evaluated, 3968-580-watt panels will be needed for the solar power plant to be installed for the same value of electricity production. The placement of the panels on the land in the same region is as seen in **“Figure 4”**. The surface area of the 3968 solar panels in the solar power plant covers an area of 10250.3 m².



Figure 4. The land arrangement of solar panels

There are 22 inverters in the solar power plant (SPP). It is necessary to convert the direct current (DC) produced by solar panels into alternating current (AC) in the electrical grid. This conversion ensures that the energy obtained from the sun can be used. Inverters also optimize the energy flow and regulate voltage and frequency, which contributes to the provision of a safe and compatible energy with the grid (Tunca et al., 2023). Inverter

systems can also undertake functions such as monitoring energy production and detecting faults, which increases the efficiency of the SPP system. It has been calculated that the planned solar power plant prevents a significant amount of CO² emissions in terms of emissions. In the study conducted by Parida et al. (2018), it was emphasized that with the installation of SPPs, not only electricity production but also CO² emissions from energy used in industry and public institutions can be significantly reduced (Parida et al., 2018). Similarly, Owusu and Asumadu-Sarkodie (2016) stated that the use of renewable energy sources such as solar energy reduces the carbon footprint of countries by reducing greenhouse gas emissions and reduces dependence on fossil fuel consumption (Owusu & Asumadu-Sarkodie, 2016).

Table 1: Solar panel data.

Parameters	Values
Maximum Power (P_{max})	550 W
Module Efficiency (%)	20.98
Maximum Power Point Current (I_{mpp} (A))	12.96
Short Circuit Current (I_{sc} (A))	13.70
Maximum Power Point Voltage (V_{mpp} (V))	42.13
Open Circuit Voltage (V_{oc} (V))	49.33
Nominal Cell Operating Temperature	41.2 °C + 2 °C
Temperature Coefficient P_{mpp}	0.311 % / °C
Temperature Coefficient I_{sc}	+0.040 % / °C
Temperature Coefficient V_{oc}	-0.237 % / °C

Alternatively, the solar panels used in the planned SPP have an efficiency of 21.17%. The efficiency of these panels is the panels with Tunnel Oxide Passivated Contact (TOPCon) cell technology, which has recently started to be used in the current energy sector. With this technology, solar panels work more efficiently. It is thought that SPP is installed on a land near the field in question with these panels. The installed power of this plant planned with 550 W panels is calculated as 2305.6 kWp. It is thought that the plant will sell energy to the grid and generate income from this, and it is designed as a ten-grid. Solar panel data is shown in “**Table 1**”.

Table 2: Inverter data.

Parameters	Values
Maximum Input Voltage(V)	1.110 V
Maximum Current per MPPT	30 A
Max. Short Circuit Current per MPPT	40 A
Start Voltage	200 V
MPPT Operating Voltage Range	200 V – 1000 V
Nominal Input Voltage	600 V (at 400 V AC)
Number of MPP trackers	10
Maximum Input number per MPPtracker	2

The plant incorporates 18 inverters, each designed with a nominal active power output of 100 kW, to achieve AC energy integration with the grid. Inverters data is shown in “Table 2”.

The inverter used has the Maximum Power Point Tracking (MPPT) feature. Each solar panel has a maximum power point (MPP). This point is the moment when both the voltage and current of the panel produce the highest power together. This point changes continuously depending on sunlight and environmental conditions. That is, during the day, in cloudy weather, morning and evening hours, the maximum power point (MPP) of the panel also varies. MPPT technology constantly tracks the maximum power point and adjusts the voltage and current to operate at this point. In this way, system efficiency is increased because each panel operates at its highest power point. Even when different panels operate in different light conditions, the inverter ensures that each panel operates at maximum efficiency. Energy loss is minimized, especially in partial shading or changes in light levels. The number of MPP trackers for the selected inverter is 10. In the configuration of the modules, 233 panels have been connected to each of the 17 inverters. The panels are connected to the inverter MPP inputs in series as groups of 13, 11, and 16 modules. For the final inverter, a total of 231 panel connections have been designed. Therefore, 1.8 MWe active power is output to the grid.

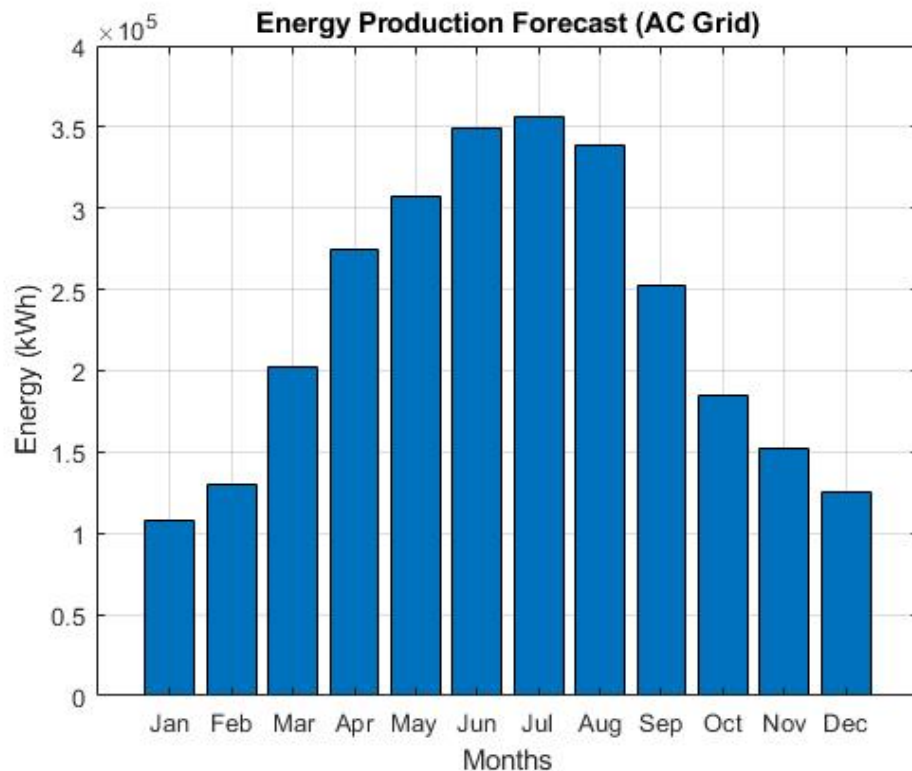


Figure 5. Energy production forecast

As a result of the calculations and simulations made for SPP energy production, it is found that 2,736,703 kWh of annual energy production is made. Energy production varies in different months according to the changing energy radiation and temperature amounts. Annual energy production is shown in “**Figure 5**”.

All shading elements and meteorological changes are taken into account when making energy production calculations. Meteorological databases are used to make energy production estimates for solar power plants, to optimize system performance and to assist in the selection of the right location. In this way, energy production estimates that are very close to reality can be made.

4. RESULTS

Based on this data, the projected solar power plant's annual prevention of 1,306,947 kg of CO² emissions represents a significant contribution to environmental sustainability and the global effort to mitigate climate change. Such renewable energy investments not only reduce environmental pollution but also increase energy security by paving the way for a transition to cleaner and more sustainable energy sources in the long term. Since solar energy provides energy production with zero carbon emissions compared to fossil fuels, the installation of solar power plants significantly reduces the negative impacts on the environment. The reduction of CO² emissions prevents the release of this gas, which accumulates in the atmosphere and causes greenhouse gas effects and global warming, into the environment.

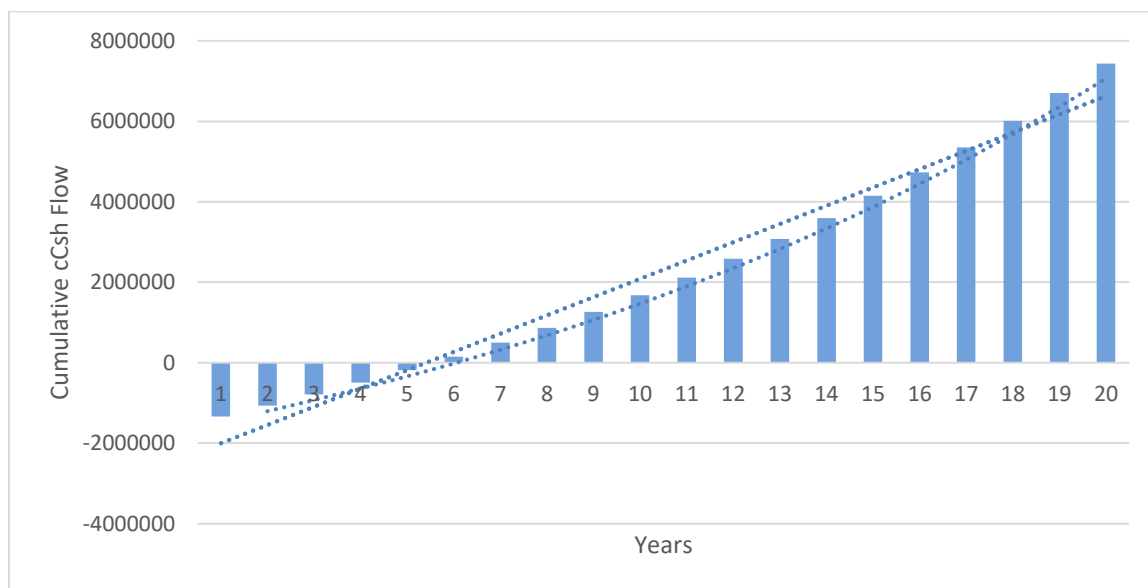


Figure 6. Yearly cumulative cash flow obtained from solar power plant utilization

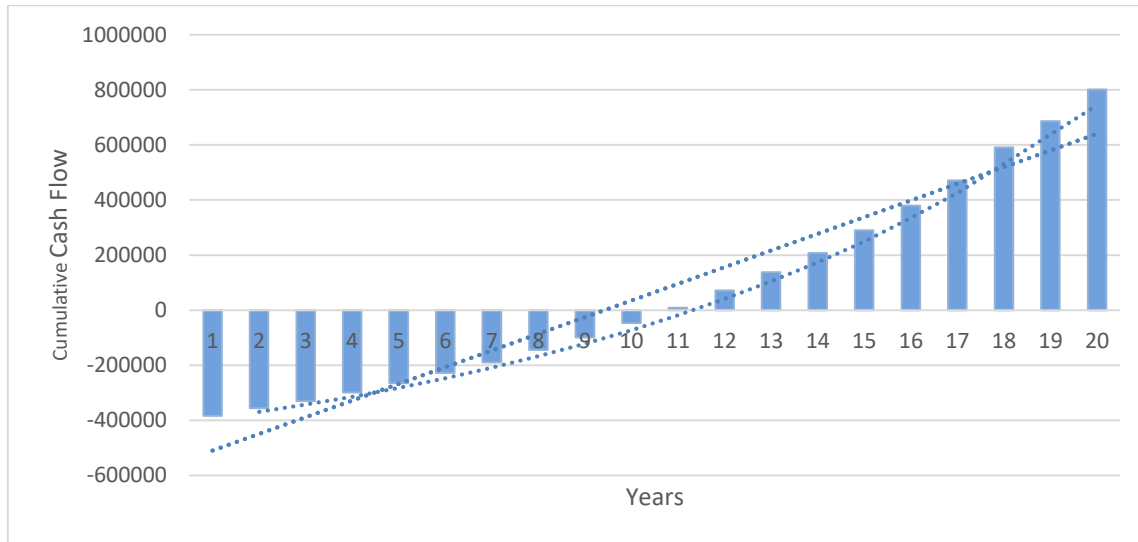


Figure 7. Yearly cumulative cash flow obtained from waste heat recovery

A solar power plant (SPP) investment with a payback period of 5.6 years offers a highly advantageous payback period in financial terms (See **Figure 6**). Amortization periods, which usually vary between 5-10 years, are considered a critical indicator in determining the cost-effectiveness of solar energy projects. Recovering costs in a relatively short period of 5.6 years offers an attractive opportunity for investors and ensures that the investment quickly turns into profit. Especially in today's world where energy production costs are constantly changing and efforts are being made to reduce dependence on fossil fuels, this amortization period contributes to the sustainability of the investment both economically and environmentally. A steam turbine system that utilizes waste heat with a payback period of 10.5 years can be considered a meaningful investment in terms of energy efficiency (See **Figure 7**). Such systems enable the utilization of waste heat in industrial processes and at the same time offer businesses significant savings in energy costs through electricity generation. 10.5 years is generally an acceptable payback period for waste heat recovery systems, as these systems provide energy production while minimizing operating costs for many years after installation.

Waste heat recovery offers a sustainable solution both environmentally and economically. The payback period of such a system is usually an important indicator of the return on investment, reducing the energy consumption of the enterprise and minimizing the use of fossil fuels.

In addition, steam turbine systems that utilize waste heat increase energy supply security and reduce external dependency. Such systems reduce operating costs in industrial facilities with high energy consumption while also contributing to the sustainability goals of the facilities. Therefore, a payback period of 10.5 years indicates a period in which the investment will be profitable in the medium term and provide energy efficiency and environmental benefits in the long term.

4. CONCLUSION

Solar power plants (SPP) and waste heat recovery systems offer different advantages and disadvantages in terms of investment payback periods, areas of use and environmental benefits, despite having the same amount of energy production. While the payback period of SPP is calculated as 5.6 years, this period is 10.5 years for the waste heat recovery system. With a shorter payback period, SPP offers investors a quick financial return and offers an economic advantage in the short term. This can make SPP more attractive, especially for businesses that expect a quick return on their energy investments. In addition, the installation and maintenance processes of SPPs are generally simpler and can be managed with lower operational costs. On the other hand, waste heat recovery systems offer an environmentally friendly solution, especially in energy-intensive industries, by using waste energy from existing processes. Although the longer payback period of these systems may seem costly at first, they provide continuous energy savings by increasing the energy efficiency of industrial processes and reduce operating costs in the long term. In addition, waste heat recovery systems contribute to the enterprise's sustainability goals by increasing its energy efficiency. However, it requires a more complex infrastructure compared to GES and since it is suitable for industrial facilities, it may be difficult to implement in every business. In the current system, the fact that the furnaces where waste heat is obtained undergo maintenance for 45 days per year can be seen as a disadvantage for the steam turbine system. As a result, while GES seems more advantageous for investments seeking short-term gain and quick return, waste heat recovery systems may be a more suitable choice in terms of energy efficiency and industrial compliance in the long term.

CONFLICT OF INTEREST STATEMENT

There is no conflict of interest among the authors.

CONTRIBUTIONS OF AUTHORS

S.G.T.: Conceptualization, methodology, software, validation, formal analysis, investigation, resources, writing—original draft preparation.

K.O.: Conceptualization, methodology, software, validation, formal analysis, investigation, resources, writing—original draft preparation.

REFERENCES

- Adekanbi, M. L. (2021). Optimization and digitization of wind farms using internet of things. *International Journal of Energy Research*.
- Arshian, S., Meo, M., Ashraful, M., Chowdhury, F., & Sohag, K. (2021). *Role of solar energy in reducing ecological footprints: An empirical analysis*. *Journal of Cleaner Production*.
- Bao, J., & Zhao, L. (2013). A review of working fluid and expander selections for organic Rankine cycle. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 24, 325-342.
- Bogdanov, D., Farfan, J., Sadovskaia, K., Aghahosseini, A., Child, M., Gulagi, A., ... & Breyer, C. (2021). Global transition to 100% renewable energy across the sectors: The role of storage and demand side measures. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 141, 110742.
- Chaudhari, A., Joshi, P., & Deshmukh, R. (2020). *Sustainability in renewable energy systems: Solar and wind power as alternatives to fossil fuels*. *Renewable Energy*, 152, 1221-1233. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.01.028>
- Dong, Y., Liang, S., Zhang, Y., & Li, M. (2020). Economic analysis of waste heat recovery systems in industry: A case study for the cement sector. **Energy Reports**, 6, 183-190.
- Erbas, O. (2021). Investigation of factors affecting thermal performance in a coal-fired boiler and determination of thermal losses by energy balance method. **Case Studies in Thermal Engineering**, 26, 101047. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101047>
- Eshiemogie, S., Ighalo, J., Adekanbi, M., Banji, T., Eshiemogie, S., Okoh, R., . . . Dulta, K. (2023). *Current Effect and Projected Implications of Climate Change on Nigeria's Sustainable Development Plan*. Springer International Publishing.
- Feldman, D., Ramasamy, V., Fu, R., Ramdas, A., Desai, J., & Margolis, R. (2021). U.S. Solar Photovoltaic System and Energy Storage Cost Benchmark: Q1 2020. **National Renewable Energy Laboratory (NREL)**.
- Forman, C., Muritala, I. K., Pardemann, R., & Meyer, B. (2016). Estimating the global waste heat potential. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 57, 1568-1579.
- Ghosh, A. (2020). Soiling Losses: A Barrier for India's Energy Security Dependency from Photovoltaic Power. *Challenges*.
- Guo, S., Li, Y., Zhang, X., & Wang, K. (2021). A review of waste heat recovery technologies towards molten steel industry. **Energy Conversion and Management**, 245, 114605.
- Harsito, C., Triyono, T., & Rovianto, E. (2022). Analysis of Heat Potential in Solar Panels for Thermoelectric Generators using ANSYS Software. *Civil Engineering Journal*.
- Hayat, M., Ali, D., Monyake, K., Alagha, L., & Ahmed, N. (2019). *Solar energy-A look into power generation, challenges, and a solar-powered future*. *International Journal of Energy Research*.
- IRENA. (2020). Renewable Power Generation Costs in 2020. International Renewable Energy Agency (IRENA).

- Jacobson, M. Z., Delucchi, M. A., Cameron, M. A., & Frew, B. A. (2017). Low-cost solutions to global warming, air pollution, and energy insecurity for 139 countries. **Joule**, 1(1), 108-121.
- Jordan, D., Wohlgemuth, J., & Kurtz, S. (2012). Technology and Climate Trends in PV Module Degradation: Preprint. Presented at the 27th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 24-28 September 2012 Frankfurt Germany.
- Kabir, E., Kumar, P., Kumar, S., Adelodun, A., & Kim, K.-H. (2018). *Solar energy: Potential and future prospects*. Renewable and Sustainable Energy Reviews.
- Lamb, W., Wiedmann, T., Pongratz, J., Andrew, R., Crippa, M., Olivier, J., . . . House, J. (2021). *A review of trends and drivers of greenhouse gas emissions by sector from 1990 to 2018*. Environmental Research Letter.
- Lehtola, T., & Zahedi, A. (2019). *Solar energy and wind power supply supported by storage technology: A review*. Sustainable Energy Technologies and Assessments.
- Li, W., Zhou, F., & Zhang, X. (2017). Dynamic modeling and control of energy storage systems in microgrids: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 355–367. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.063>
- Liu, H., Xiao, S., & Wang, J. (2019). *Comparative study of CO₂ emission reduction effects of different renewable energy sources in China*. *Journal of Cleaner Production*, 233, 644-655. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.231>
- Olcay K. & Çetinkaya N. (2023) Analysis of the Electric Vehicle Charging Stations Effects on the Electricity Network with Artificial Neural Network. *Energies*. 2023; 16(3):1282. <https://doi.org/10.3390/en16031282>
- Olcay K. & Çetinkaya N., "Solar Power Plant Suggestion for Charging Electric Vehicles and The Effects of The System on The Electric Network and CO₂ Emission," *2021 IEEE 2nd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*, Kharkiv, Ukraine, 2021, pp. 249-254, doi: 10.1109/KhPIWeek53812.2021.9570056.
- Olcay, K., Tunca, S. G., & Özgür, M. A. (2024). "Forecasting and performance analysis of energy production in solar power plants using long short-term memory (LSTM) and random forest models." *IEEE Access*, 12, 103299-103312. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3432574>
- Owusu, P. A., & Asumadu-Sarkodie, S. (2016). *A review of renewable energy sources, sustainability issues, and climate change mitigation*. *Cogent Engineering*, 3(1), 1167990. <https://doi.org/10.1080/23311916.2016.1167990>
- Oyedepo, SO & Fakeye, BA (2021). ATIK ISI GERİ KAZANIM TEKNOLOJİLERİ: SÜRDÜRÜLEBİLİR ENERJİ GELİŞİMİNE GİDEN YOL. *Termal Mühendislik Dergisi*, 7(1), 324-348. <https://doi.org/10.18186/thermal.850796>
- Özgür, M. A., & Köse, G. (2012). A technoeconomic analysis of solar photovoltaic power systems: Kütahya case study. **International Journal of Energy Optimization and Engineering**, 42-57. <https://doi.org/10.1080/15567036.2010.523761>
- Panayiotou, G., Kalogirou, S., & Tassou, S. (2012). Design and simulation of a PV and a PV–Wind standalone energy system to power a household application. *Renewable Energy*.

- Parida, B., Iniyar, S., & Goic, R. (2018). *A review of solar photovoltaic technologies*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15(3), 1625-1636. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.06.110>
- Rabaia, M., Abdelkareem, M., Sayed, E., Elsaid, K., Chae, K.-J., Wilberforce, T., & Olabi, A. (2021). *Environmental Impact of Solar Energy Systems: A Review*. Science of The Total Environment.
- Shahsavari, A., & Akbari, M. (2018). Potential of solar energy in developing countries for reducing energy-related emissions. Renewable and Sustainable Energy Reviews.
- Sharma, A., & Jain, S. (2019). *Economic feasibility analysis of solar photovoltaic systems: A case study of India*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 111, 415-428. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.05.030>
- Smith, J., Brown, T., & Zhang, Y. (2019). *Industrial waste heat recovery technologies and applications*. Energy Conversion and Management, 180, 248–256. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.10.023>
- Toth, S., Hannigan, M., Vance, M., & Deceglie, M. (2019). Enhanced Photovoltaic Soiling In An Urban Environment. 2019 IEEE 46th Photovoltaic Specialists Conference (PVSV).
- Tunca, S. G., & Akbulut, A. (2023). Sinter Manyezit Üretimi Döner Firinindeki Atık Isinin Kojenerasyon Sistem Performansı ve Ekonomik Analizi. Kırklareli Üniversitesi Mühendislik Ve Fen Bilimleri Dergisi, 9(2), 498-515. <https://doi.org/10.34186/klujes.1391426>
- Tunca, S. G., Olcay, K., & Özgür, M. A. (2023). *Güneş enerji santrallerinin üretim performans analizi ve kamu kurumları için santral örneği*. In Mühendislik alanında uluslararası araştırma ve değerlendirmeler (Vol. 2, pp. 195-216). Serüven Yayınevi.
- Vélez, F., Segovia, J. J., Martín, M. C., Antolín, G., Chejne, F., & Quijano, A. (2012). A technical, economical and market review of organic Rankine cycles for the conversion of low-grade heat for power generation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(6), 4175-4189.
- Wang, H., Liu, X., & Li, Z. (2020). *Advances in waste heat recovery systems for industrial processes: A review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 125, 109799. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109799>
- Worrell, E., Bernstein, L., Roy, J., Price, L., & Harnisch, J. (2016). Industrial energy efficiency and climate change mitigation. *Energy Efficiency*, 9(6), 973-981.
- Yolcan, O. O., & Köse, R. (2020). Türkiye'nin güneş enerjisi durumu ve güneş enerjisi santrali kurulumunda önemli parametreler. *Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 6(2), 196-215. <https://doi.org/10.34186/klujes.793471>
- Yolcan, O. O., & Köse, R. (2023). Photovoltaic module cell temperature estimation: Developing a novel expression. *Solar Energy*, 249, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2022.11.001>
- Zhao, Z., Li, S., Jin, B., Wang, H., & Li, G. (2020). A comprehensive study of smart energy management for multi-energy systems based on multi-agent reinforcement learning. *Energy*, 204, 117925. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117925>

Negatif Poisson's Oranına Sahip Yapılar (Auxetic Structure) Hakkında Genel Bir Bakış: Literatür Çalışması

İsmail Erdoğan^{1*} 

¹Turkish Aerospace Industries (TAI), 06980, Kahramankazan, Ankara, Türkiye

Geliş: 03.11.2025, Kabul: 25.11.2025, Yayınlanma: 12.05.2025

ÖZ

Poisson's oranı yapıların önemli mekanik özelliklerinden birisidir. Tasarım ve üretim süreçlerinin gelişmesi ile birlikte farklı özelliklere sahip yapıların kullanımı ihtiyaç haline gelmiştir. Bu bağlamda, farklı özelliklere sahip yapıların oluşmasına olanak verecek auxetic yapılar detaylı bir şekilde incelenmeye başlanmıştır. Negatif Poisson's oranı özelliği gösteren bu yapılar, geleneksel yapılardan enerji sönmleme, darbe direnci gibi konularda üstün özelliklere sahiptir. Bunlara ek olarak, gelişen eklemeli imalat teknolojisi ile birlikte daha fazla üstün özellik kazanan auxetic kafes yapılar birçok araştırmacı tarafından farklı uygulama alanları ile bütünleşmiş, teorik ve deneysel olarak incelenmiş ve incelenmeye devam etmektedir. Bu kapsamlı inceleme çalışmasında, önceki çalışmalarda yer alan auxetic yapılar incelenmiş ve yapılan çalışmalar sunulmuştur. Yeni tasarlanmış ve mevcut auxetic yapıların farklı şartlar altında statik ve dinamik testler ile çalışıldığı çalışmaların incelendiği bu derleme çalışması kapsamında, 17 adet derleme çalışması ve 45 adet araştırma çalışması olmak üzere toplam 62 yayın incelenmiştir. Araştırma çalışmalarının 33 adedi hem teorik hem de deneysel, 8 adedi teorik ve 4 adedi ise deneysel niteliktedir. Ayrıca; incelenen çalışmalarda, en çok tercih edilen birim geometrisi re-entrant, en çok kullanılan malzemeler ABS, PLA, Onyx gibi plastikler ile alüminyum ve titanyum alaşımları, en çok incelenen mekanik özellik ise enerji sönmleme kabiliyeti olarak görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Poisson's oranı; Negatif Poisson's oranı; Auxetic; Auxetic yapı

An overview of negative Poisson's ratio structures (Auxetic structure): A comprehensive literature review

ABSTRACT

Poisson's ratio is one of the important mechanical properties of structures. With the development of design and production processes, the use of structures with different characteristics has become a necessity. In this context, auxetic structures, which will allow the formation of structures with different properties, have begun to be studied in detail. These structures, which show negative Poisson's ratio feature, have superior properties in terms of energy absorption and impact resistance than traditional structures. In addition to these, auxetic lattice structures, which have gained more superior features with the developing additive manufacturing technology, have been integrated into different application areas by many researchers and have been examined theoretically and experimentally and continue to be increasingly studied. In this comprehensive review study, the auxetic structures in previous studies were examined and the studies were presented. Within the scope of this review study, in which studies on newly designed and existing auxetic structures were studied under different conditions with static and dynamic tests, a total of 62 publications, 17 review studies and 45 research studies, were examined. 33 of the research studies are both theoretical and experimental, 8 of them are theoretical and 4 of them are experimental. In addition, in the studies examined, the most preferred unit geometry was re-entrant, the most used materials were plastics such as

ABS, PLA, Onyx and aluminum and titanium alloys, and the most examined mechanical property was energy absorption ability.

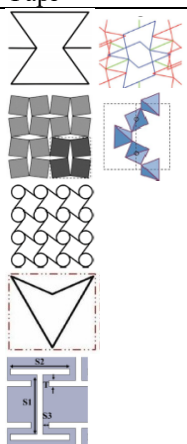
Keywords: Poisson's ratio; Negative Poisson's ratio; Auxetic; Auxetic structure

1. GİRİŞ

Poisson's oranı, bir eksen gerilimi üzerindeki yanıl sıkıştırmanın boylamasına uzamaya oranıdır ve pozitif veya negatif olabilir. Poisson's oranı negatif bir değeri alırsa bu yapılar auxetic olarak adlandırılır. Auxetic yapılar literatürde yeni geliştirilmiş yapılar olarak karşımıza çıkmaktadır. Birçok araştırmacı, yeni tasarlanan auxetic yapıları literatüre kazandırmış ve bu yapıların mekanik özelliklerini ve uygulama alanlarını çalışmıştır.

Auxetic yapılar, Tablo 1a'de verildiği gibi birincil ve ikincil olmak üzere iki temel özellik sınıfına ayrılırlar. Negatif Poisson's oran özelliği, eş eğrilik davranışı ve değişken geçirgenlik birincil özellikleridir. İkincil özellik olarak ise, birçok çalışmada incelenen enerji emilimi, darbe direnci, kayma direnci, girinti direnci ve kırılma direnci özellikleri görülmektedir. Auxetic yapılar, Tablo 1b'de verildiği gibi çeşitli birim geometrileri ve düzenlerinde olabilir. Döner birimler, kiral birimler, re-entrant ve 3B/2B döner birimler bu konunun örnekleridir.

Çizelge 1: a) Auxetic özellikler, b) Auxetic yapılar (Cardoso ve ark., 2021).

Auxetic özellikler		Yapı	Tanım
Birincil özellikler	İkincil özellikler		Re-entrant, 3B Re-entrant yapı
Negatif Poisson's Ratio	Kesme direnci		Döner birimler, ve 2B döner yapı
Senklastik davranış	Girinti direnci		Kiral yapı
Değişken geçirgenlik	Kırılma direnci		Çift ok yapı
	Enerji emilimi		I Şekilli yapı
	Etki dayanımı		

a)

b)

Auxetic yapıların üretim yöntemleri ve süreçleri çeşitli araştırmacılar tarafından incelenmiştir. Auxetic yapılar, geleneksel imalat yöntemleri, eklemeli imalat yöntemleri ve bu iki yöntemin birleşimi ile de üretilir. Özellikle eklemeli imalat yöntemleri ile üretilen auxetic yapılar literatürde çokça karşımıza çıkmaktadır. Auxetic yapıların mekanik özelliklerine ve imalat süreçlerine bakıldığında; yüksek mukavemet, hafiflik, yüksek kesme dayanımı, yüksek girinti direnci, yüksek senklastik davranış, iyi çatlama direnci, yüksek mukavemet-ağırlık oranı, enerji sönmüleme, değişken malzeme yapısı ve yapı oranları gibi birçok avantajlarının yanı sıra, karmaşık yapı düzeninin ve üretiminin zor olması dezavantajları olarak gösterilmektedir. Auxetic yapılar; havacılık ve savunma sanayi, otomotiv ve inşaat sanayi, biyomedikal, sensör ve tekstil gibi birçok farklı uygulama alanında farklı amaç ve görevlerde kullanılabilmektedir.

Auxetic yapılar ile ilgili yeni araştırmalar yapılmış olup bu çalışmalardan bahsetmeden önce, konuyla ilgili bazı inceleme çalışmaları aşağıda özetlenmiştir.

Wu ve ark. (Wu ve ark., 2019) tarafından yapılan ve 2019 yılında yayımlanan inceleme çalışmasında, Kiral auxetic yapıların mekanik tasarımı ve çok işlevli uygulamaları araştırılmış ve sunulmuştur. Zhang ve ark. (Zhang ve ark., 2020) tarafından yapılan ve 2020 yılında yayımlanan diğer bir inceleme çalışmasında, deformasyon ve enerji sönümleme özelliklerine sahip eklemeli imalat teknolojisi ile üretilen yapılar araştırılmış ve mekanik özellikleri değerlendirilmiştir. Öte yandan; Dogan ve ark. (Dogan ve ark. 2020) tarafından yapılan ve 2020 yılında yayımlanan bir inceleme çalışmasında da, eklemeli imalat teknolojisi ile üretilmiş auxetic yapıların doku mühendisliği alanındaki durumu aktarılmıştır.

Cardoso ve ark. (Cardoso ve ark., 2021) tarafından yapılan ve 2021 yılında yayımlanan inceleme çalışmasında, Negatif mekanik/termomekanik özelliklere sahip yapısal metamateryaller incelenmiştir. Wu ve ark. (Wu ve ark., 2021) tarafından yapılan ve 2021 yılında yayımlanan bir diğer inceleme çalışmasında, dinamik mekanik metamateryallerin mekanik enerji sönümleme durumları araştırılmıştır. Luo ve ark. (Luo ve ark., 2021) tarafından yapılan ve 2021 yılında yayımlanan diğer inceleme çalışmasında, boru şeklindeki auxetic yapıların tasarımı, üretimi ve uygulama alanları hakkında bilgi verilmiştir. Ji ve ark. (Ji ve ark., 2021) tarafından yapılan ve 2021 yılında yayımlanan diğer bir inceleme çalışmasında ise, titreşim kontrol tabanlı metamateryale ve origami yapı özellikleri aktarılmıştır.

Lu ve ark. (Lu ve ark., 2022) tarafından yapılan ve 2022 yılında yayımlanan diğer inceleme çalışmasında; yeni tasarlanmış ve eklemeli imalat ile üretilmiş auxetic yapıların mekanik özellikleri sunulmuştur. Xue ve ark. (Xue ve ark., 2022) tarafından yapılan ve 2022 yılında yayımlanan diğer bir inceleme çalışmasında ise, negatif Poisson's oranlı kafes yapıları araştırılmış olup mekanik özellikleri değerlendirilmiştir. Jiang ve ark. (Jiang ve ark., 2022) tarafından yapılan ve 2022 yılında yayımlanan diğer inceleme çalışmasında, auxetic köpük yapıları üretimi, özellikleri ve uygulamaları incelenmiştir. Shukla ve ark. (Shukla ve ark., 2022) tarafından yapılan ve 2022 yılında yayımlanan diğer inceleme çalışmasında, lifli ve kompozit auxetic yapıların özellikleri ile uygulama alanları aktarılmıştır.

Balan ve ark. (Balan ve ark., 2023) tarafından yapılan ve 2023 yılında yayımlanan diğer inceleme çalışmasında, auxetic yapıların geleceğe yönelik olan gelişmelerinden bahsedilmiştir. Vyavahare ve ark. (Vyavahare ve ark., 2023) tarafından yapılan ve 2023 yılında yayımlanan diğer inceleme çalışmasında, eklemeli olarak üretilmiş meta-biyo yapılar hakkındaki araştırmalar sunulmuştur. Zhou ve ark. (Zhou ve ark., 2023) tarafından yapılan ve 2023 yılında yayımlanan diğer inceleme çalışmasında, auxetic yapıların üretim, gelişim ve uygulama alanları hakkındaki araştırmalar sunulmuştur. Shirzad ve ark. (Shirzad ve ark., 2023) tarafından yapılan ve 2023 yılında yayımlanan diğer inceleme çalışmasında ise; Auxetic yapıların,

kemik implantlarında kullanılması ve konu ile ilgili son gelişmeleri aktarılmıştır. Huang ve ark. (Huang ve ark., 2023) tarafından yapılan ve 2023 yılında yayımlanan diğer inceleme çalışmasında, sıkıştırılmış katılardan ve bunlarla yakından ilişkili olan mekanik metamateryallerle ilgili son çalışmaları gözden geçirmişlerdir. Montgomery-Liljeroth ve ark. (Montgomery-Liljeroth ve ark., 2023) tarafından yapılan ve 2023 yılında yayımlanan diğer inceleme çalışmasında, 2B auxetic petek yapılarının elastik özellikleri araştırılmış ve sunulmuştur.

Pek çok farklı yeni tasarlanmış ve geleneksel auxetic yapıların mekanik özellikleri araştırmacılar tarafından teorik ve deneysel olarak incelenmiştir. Bu inceleme çalışması kapsamında; yapılmış çalışmalar yayınlanma yıllarına göre geçmişten günümüze olacak şekilde aşağıda verilmiştir. İncelenen inceleme çalışmalarının ve araştırma çalışmalarının genel çıktıları, sonuç ve öneriler bölümünde incelenmiştir. Ayrıca gelecekte yapılacak çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

2. LİTERATÜR İNCELEMESİ

Bu inceleme çalışması kapsamında, incelenen derleme ve araştırma çalışmaları Tablo 1'de özetlenmiş olup detaylı bir şekilde bu bölümde verilmiştir. Birçok araştırmacı tarafından teorik ve deneysel olarak yapılan çalışmalarda geleneksel ve yeni tasarlanmış auxetic yapılar incelenmiştir.

Negatif Poisson's oranı yapı geometrisi ve geometrik özelliklere bağlı olarak değişmektedir. Bu bağlamda, Yolcu ve Baba (Yolcu ve Baba, 2022) tarafından yapılan teorik ve deneysel çalışmada; Poisson's oranının belirlenmesinde, hücresel yapıda olmaları ve ölçüm yönteminin standart olmaması durumlarını araştırılmıştır. Bu çalışma ile farklı ölçüm bölgeleri ve bu bölgeler üzerinden seçilen hedef noktalarının, yapıların Poisson's oranları üzerindeki etkisini sistematik olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, incelenen auxetic yapının Poisson's oranı, bir görüntü analiz yazılım paket programı kullanılarak deneysel olarak araştırılmış ve deneysel sonuçlar, sayısal benzetim sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, negatif Poisson's oranının numune üzerinde seçilen ölçüm bölgesine bağlı olarak önemli ölçüde değiştiğini gösterilmiştir.

Liu ve ark. (Liu ve ark., 2022) yaptıkları teorik ve deneysel çalışmada, 3 farklı 3 boyutlu auxetic yapının deformasyon mekanizmalarını araştırmışlardır. Küresel olarak deforme olmuş yapı, kısmen deforme olmuş yapı ve içsel deforme olmuş yapının incelendiği bu araştırma çalışmasında, içsel deforme yapısının yapısal gücünün, diğer yapılara göre 2-5 kat daha fazla olduğu, tüm sıkıştırma işlemi sırasında bir auxetic özelliği sergilediği ve ilk iki yapınınkinden daha büyük olan yapısal dayanıklılığa sahip olduğu sonuç olarak aktarılmıştır. Bu çalışmadaki auxetic yapılar kullanılarak hareket modülü ve algılama modülüne sahip sürünen bir robot tasarlanmıştır. Tıbbi tedavi ve diğer alanlarda potansiyel uygulama alanına sahip robotun

hareket modülü kısmen deforme yapısı kullanılarak tasarlanmış, algı modülü ise içsel deforme yapısı kullanılarak gerçekleştirilmiş olup, ek olarak modüllerin birleşimi, ilerleme ve döndürme dâhil olmak üzere farklı işlevleri aktarılmıştır.

Galati ve ark. (Galati ve ark., 2022) metal eklemeli imalat teknolojisi ile üretilmiş yeni bir 3 boyutlu bucklicrystal auxetic yapısının davranışlarını teorik ve deneysel olarak araştırmışlardır. Bu çalışmada, delikli ince hiperbolik kabuklardan oluşan yeni bir auxetic yapı, bucklicrystal geometrisine dayalı olarak tasarlanmış ve bir metal eklemeli üretim süreci kullanılarak imal edilmiştir. Mekanik yapı özelliklerini karakterize etmek için sayısal sonlu eleman analizleri ve tek eksenli sıkıştırma testleri gerçekleştirilmiştir. Yapının deformasyonu, geleneksel dijital görüntü korelasyon yöntemi ve yeni bir yaklaşım tabanlı X-ışını bilgisayarlı tomografi tarama analizi kullanılarak analiz edilmiştir. Önerilen yapının; malzeme ve tasarım parametrelerinin Poisson's oranı üzerindeki etkisi, yapının auxetic davranışını ayarlamak için tasarım değişkenlerini belirlemek üzere araştırılmıştır. Sonuçlar; tasarlanan yapının, en düşük değerde, yaklaşık -6 Poisson's oranı ile belirgin bir auxetic davranış sergilediğini göstermiştir.

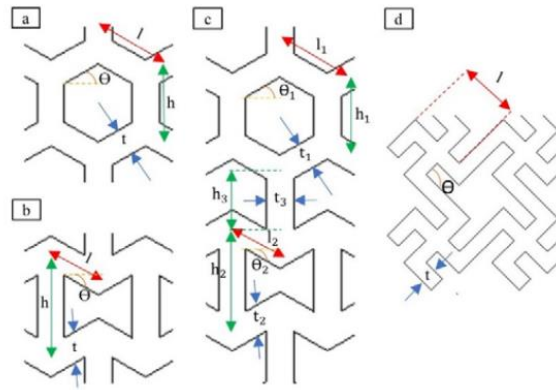
Yang ve ark. (Yang ve ark., 2022) balistik darbe etkilerini incelemek için yaptıkları teorik ve deneysel çalışmada, yeni tasarlanmış kompozit bir çift ok geometrisinde auxetic yapıyı incelemişlerdir. Çalışmada, farklı bağıl yoğunluklara sahip kompozit çift ok geometrilili auxetic yapının balistik sınır hızları, hasar alanı ve kopma mekanizması karşılaştırılmış ve analiz edilmiştir. Bu çalışmada ek olarak, kompozit çift ok geometrilili auxetic yapının anti-penetrasyon performansları, deneysel sonuçlara dayalı olarak değerlendirilmiş ve tartışılmıştır.

Li ve ark. (Li ve ark., 2022) Auxetic yapıların uygulamalarını sınırlayan düşük sertlik karakterizasyonu hakkında çalışmışlardır. Bu çalışmada, Oluklu sac ve borulardan oluşan kompozit auxetic yapının mekanik özellikleri deneyler, sonlu elemanlar ve teori analizi ile incelenmiştir. Çalışma sonuçları, kompozit yapılarının geniş sıkıştırma gerinim aralığında belirgin negatif Poisson's oranı gösterdiğini ve kompozit yapılarının auxetic özelliklerinin sıkıştırma gerilimindeki artışla daha belirgin hale geldiğini göstermektedir. Diğer yandan, yapının rijitliği, küçük gerinim aşamasında oluklu levhaların kalınlığına bağlı iken, büyük gerinim aşamasında boruların malzeme parametreleri belirleyici rol oynamaktadır.

Zhang ve ark. (Zhang ve ark., 2022) yaptıkları teorik ve deneysel çalışmada, yeni tasarlanmış iki boyutlu auxetic yapının enerji sönümleme kapasitesini araştırmışlardır. Çalışma sonuçları, birim hücrelerin içindeki düzenlenmiş şekil ve üçgen tasarımın, enerji emme kapasitesini artırdığını göstermiştir. Oluşturulan bu yeni yapının, geometrik parametreler ayarlanarak farklı kullanım gereksinimlerine göre, en iyi enerji sönümleme ve hafiflik tasarımlarında kullanılabileceği aktarılmıştır.

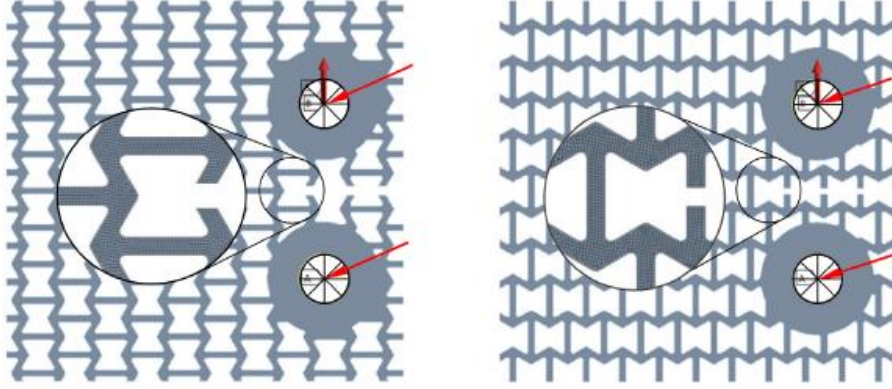
Changfang ve ark. (Changfang ve ark., 2022) yaptıkları teorik ve deneysel çalışmada, yüzey auxetic yapısını ele almışlardır. Bu çalışmada, çift ok birim hücre yapısında yüzeysel ve düzlemsel auxetic yapı olmak üzere iki farklı yapı tasarlanmıştır. Deneysel sonuçların simülasyonlar ile doğrulandığı bu çalışmada, incelenen yapıların sıkıştırma büzülmeleri davranışlarına bakıldığında en yüksek spesifik enerji emiliminin yüzeysel auxetic yapıda görüldüğü aktarılmıştır. Çalışmada ayrıca, bu tasarlanan yapıların, mekanik ve enerji sönümleme özelliklerinin farklı mühendislik uygulamalarında da kullanılabileceği aktarılmıştır.

Ergene ve Yalçın (Ergene ve Yalçın, 2022) yaptıkları deneysel çalışmada, PLA malzeme kullanarak eriyik yığma modelleme ile üretilen hafiflik ve yük absorpsiyonu gibi özellikleri ile negatif Poisson's oranı davranışa sahip Şekil 1'de gösterilen re-entrant, kiral ve hibrit yapının (re-entrant+bal peteği) ve geleneksel bal peteği yapısının mekanik özelliklerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Deneysel çalışma sonuçlarına bakıldığında, hücresel yapıların yönleri ve giriş kalınlıklarının mekanik özelliklerini etkilediği sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 1: Birim hücrelerin gösterimi, a) balpeteği, b) re-entrant, c) hibrit, d) kiral (Ergene ve Yalçın, 2022).

Neçemer ve ark. (Neçemer ve ark., 2022) yaptıkları teorik ve deneysel çalışmada, AA 7075-T651 alüminyum alaşım malzemeden yapılmış olan ve Şekil 2'de gösterilmiş farklı dizilimdeki re-entrant tipi auxetic yapıların yorulma davranışlarını araştırmışlardır. Bu çalışmada, birim hücre diziliminin çatlak yolu ve yorulma ömrü üzerindeki etkisi detaylıca incelenmiştir. Deneysel ve hesaplama sonuçları; birim hücrenin diziliminin, yorulma ömrü üzerinde küçük bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir.

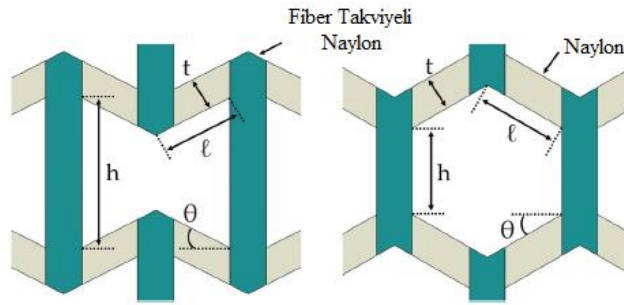


Şekil 2: Birim hücrelerdeki dizilimler ve çatlak yolları (Neçemer ve ark., 2022).

Winczewski ve Rybicki (Winczewski ve Rybicki, 2022) yaptıkları teorik çalışmada, beşgen motifli yeni tasarladıkları auxetic yapının mekanik davranışlarını incelemiştir. Bu incelenen yeni auxetic yapının, hem çekme hem de sıkıştırma rejimlerinde gözlemlenen negatif Poisson's oranının yanı sıra benzersiz mekanik özelliklere sahip olabileceği öne sürülmüştür.

Montemayor ve ark. (Montemayor ve ark., 2022) tarafından teorik ve deneysel olarak yapılan araştırma çalışmasında; bir kanat profiline entegre edilen Ti-24Zr-10Nb-2Sn alaşımı malzeme ile oluşturulmuş kiral ve re-entrant auxetic yapıların mekanik özellikleri değerlendirilmiştir.

Günaydın ve ark. (Günaydın ve ark., 2022) tarafından yapılan teorik ve deneysel çalışmada; Şekil 3'te gösterilen naylon ve fiber takviyeli naylon malzeme kullanılarak oluşturulan altıgen ve re-entrant auxetic yapıların mekanik özellikleri araştırılmıştır. Sonuç olarak, çoklu malzeme yaklaşımında re-entrant yapının enerji sönümleme, basınç dayanımı ve modül değerleri sırasıyla %60, %104 ve %201 oranında artmaktadır.



Şekil 3: Altıgen ve re-entrant auxetic yapılar (Günaydın ve ark., 2022).

Han ve ark. (Han ve ark., 2023) tarafından yapılan diğer bir teorik ve deneysel çalışmada ise, üç farklı auxetic tüp yapısının mekanik özellikleri araştırılmıştır. Çalışmanın sonuçları, yeni tasarlanmış auxetic tüp yapısının özgül enerji sönümleme kapasitesini artırdığını göstermektedir. Ayrıca, birim hücre parametrelerinin, mekanik özellikler üzerindeki etkisi de araştırılmıştır.

Zhang ve ark. (Zhang ve ark., 2023) tarafından auxetic kafes yapı üzerinde yapılan teorik ve deneysel çalışmada, yapının enerji sönümleme özelliği araştırılmıştır. Yapılan çalışma ile auxetic kafes yapının enerji sönümleme kapasitesinin geleneksel auxetic yapılardan 80 kat daha yüksek değerde olduğuna ve bu değer yaklaşık 2000 kJ/m³ değerinde olduğuna ulaşılmıştır. Dahası incelenen yapının; düşük su emme, yüksek kimyasal ve sıcaklık direncine sahip olması özellikleri ile zorlu koşullarda kullanılmasına olanak sağlayacağı aktarılmıştır.

Huo ve ark. (Huo ve ark., 2023) yaptıkları teorik ve deneysel çalışmada, köpük dolgu auxetic tüp yapılarının mekanik özelliklerini karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, dört farklı geometrik parametrenin incelendiği bu köpük dolgu auxetic yapıların, özgül enerji sönümleme davranışlarını iyileştirdiği aktarılmıştır.

Vyavahare ve ark. (Vyavahare ve ark., 2023) tarafından yapılan deneysel çalışmada, erimiş biriktirme modellemesi ile ABS ve PLA malzeme kullanılarak üretilen re-entrant auxetic yapının hücre tasarım faktörleri olan açı, genişlik ve kol uzunluğunun mukavemet, rijitlik ve özgül enerji sönümleme gibi mekanik özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada, ABS yapılarının her üç tasarım faktöründeki artışla eğilme dayanımının arttığı; PLA yapılarda ise açının artması, kol genişliğinin ve uzunluğunun azalmasıyla iyileştiği aktarılmıştır.

Guo ve ark. (Guo ve ark., 2023) tarafından yapılan teorik ve deneysel araştırma çalışmasında; özel mikro yapıların, yeni tasarlanmış anti-kiral auxetic yapının mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonuçları, artan gerilim ile azalan auxetic etkinin her ikisi de daha düşük yarı eksen uzunluk oranından kaynaklandığını göstermektedir.

Jiang ve ark. (Jiang ve ark., 2023) tarafından auxetic yapıların üretimi ve maliyeti hakkında teorik ve deneysel bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada incelenen yapı, yenilikçi bir montaj stratejisi kullanılarak bir auxetic yapı ile iki bağımsız yapının yapışkanlar aracılığıyla birbirlerine montajlanması ile oluşturularak teorik ve deneysel olarak değerlendirilmiştir. Önerilen auxetic yapının, çok aşamalı yoğunlaştırma, ayarlanabilir rijitlik ve dayanıklılık açısından sadece mekanik performans açısından elverişli olmakla kalmayıp, aynı zamanda düşük maliyetli ve büyük ölçekli imalat da umut verici olduğu aktarılmıştır.

Etemadi ve ark. (Etemadi ve ark., 2023), Şekil 4'te verilen auxetic yapıların çekme ve basma altındaki mekanik özelliklerini teorik ve deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışma sonuçları, her iki auxetic yapının da benzer mekanik özellikler sergilediklerini göstermiştir.

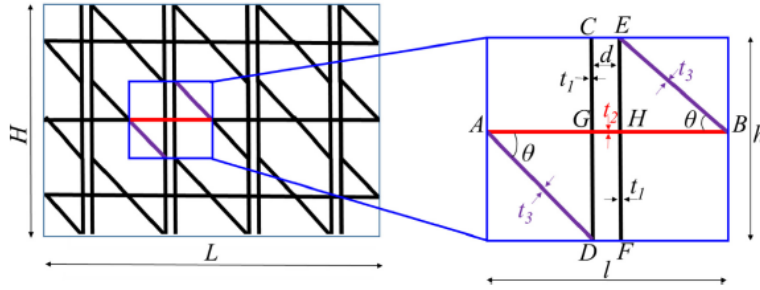


Şekil 4: Çalışmada incelenen Auxetic yapılar (Etemadi ve ark., 2023).

Sabari ve ark. (Sabari ve ark., 2023) metalik auxetic yapıların çekme ve basma testlerindeki plastik deformasyon davranışları üzerine yaptıkları teorik ve deneysel çalışmada, AA2017, AA5083, AA6082 ve AA7075 alüminyum alaşımlarından yapılan re-entrant auxetic yapıları kullanmışlardır. Çalışma sonuçları; çekme testinde, yapının kırılmanın başlangıcındaki pekleşme davranışının kuvvet ve hasar modu üzerinde güçlü bir etkiye sahip olduğunu, ancak Poisson's oranı üzerinde etken olmadığını göstermiştir. Basma testinde ise, temel malzemelerin sertleşme davranışının, burkulma oluşumunun, yapının enerji emme kabiliyetinin ve yükleme sırasında Poisson's oranı gelişimini belirleyerek yapıların auxetic'liği üzerinde güçlü bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir.

Pour ve ark. (Pour ve ark., 2023) yaptıkları teorik ve deneysel çalışmada, tek eksenli yarı statik sıkıştırma yüklemesi altında nanopartikülle güçlendirilmiş köpüklerle doldurulmuş re-entrant auxetic yapının mekanik davranışını araştırmışlardır. Çalışma sonuçları; re-entrant auxetic yapıya karbon nanotüplerin eklenmesinin, tepe noktasından sonra kuvvetin keskin bir şekilde azalmasını önlediğini, ağırlıkça %2 oranında karbon nanotüplerin kullanımının ise maksimum kırılma kuvvetini %75'e kadar artırdığını ve, nanotüp eklenmesinin enerji emilimini %130'a kadar artırdığını göstermiştir.

Bohara ve ark. (Bohara ve ark., 2023) tarafından yapılan teorik ve deneysel çalışmada, Şekil 5'te tasarımı ve birim geometrik sınırları verilmiş, koruma performansını iyileştirmek için çok amaçlı bir optimizasyon modeli aracılığıyla yeni bir auxetic yapı oluşturulmuş ve incelenmiştir. Çalışmanın sonuçları; elde edilen optimum tasarımın; hem yarı statik hem de patlatma yüklemeleri altında temel yapıdan daha iyi performans sergilediğini göstermiştir.



Şekil 5: Çalışmada incelenen Auxetic yapı (Bohara ve ark., 2023).

Singh ve ark. (Singh ve ark., 2023), kobalt krom malzeme ile seçici lazer eritme eklemeli imalat teknolojisi kullanılarak üretilen re-entrant auxetic yapının geometrik parametrelerinin, Poisson's oranı üzerine etkisini teorik ve deneysel olarak incelemişlerdir. Auxetic yapının mekanik özelliklerinin ve Poisson's oranının, sıkıştırma testi ve dijital görüntü korelasyonu ile tespit edildiği bu çalışmada, incelenen auxetic yapının literatürdeki diğer yapılardan üstün mekanik özelliklere ulaştığı aktarılmıştır.

Lvov ve ark. (Lvov ve ark., 223) tarafından yapılan teorik ve deneysel çalışmada, biyomedikal cihaz modellemede kullanmak amacıyla Ti-6Al-4V malzeme ile seçici lazer eritme eklemeli imalat teknolojisi kullanılarak üretilen re-entrant auxetic ve bal peteği yapılarının mekanik özellikleri incelenmiştir. Statik sıkıştırma testinin yapıldığı bu çalışmada; hücre kenarları arasındaki eğim açısı 90°'den az olan auxetic yapının, eğim açısı 90°'den büyük olan bal petek yapısına göre daha yüksek statik basınç dayanımı ve yorulma direnci gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır. Bu çalışmada ayrıca, eğim açısının değişiminin mekanik özellikleri nasıl etkilediği de araştırılmıştır.

Yang ve ark. (Yang ve ark., 2023) tarafından yapılan teorik ve deneysel bir çalışmada, origami sanatından ilham alınarak oluşturulmuş 2B çift ok auxetic yapısı ile 3B çift ok auxetic yapısının yarı-statik ve dinamik sıkıştırma özellikleri araştırılmıştır. Sonuçlar, 3B çift ok auxetic yapısının, 2B auxetic yapısına göre daha büyük enine sıkışma deformasyonu gösterdiğini ve izotropik ezilme direnci sağladığını göstermiştir. Buna ek olarak, 3B çift ok auxetic yapısının maksimum girinti derinliği, 2B çift ok auxetic yapıya göre en fazla %40'a kadar daha az olabileceği, bu durumun da onun üstün darbe direnci performansını ve darbeye dayanıklı uygulamalar için büyük potansiyelli kullanım olabileceğini göstermiştir.

Park ve ark. (Park ve ark., 2023), statik ve kinematik olarak mimari amaçla kullanmak üzere yeni tasarlanmış auxetic paslanmaz çelik çerçeve ve homojen poliüretan köpük katmanı içeren dışbükey deforme olabilen panel yapısının mekanik özelliklerini teorik olarak incelemişlerdir. Çalışmada oluşturulan panel, çekme ve burkulma yükleri altında incelenmiş olup auxetic davranış sergilemiştir. Ek olarak, çeşitli geometrik parametrelerin ve malzeme özelliklerinin auxetic davranış üzerindeki etkileri, Taguchi yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir.

Sarafraz ve ark. (Sarafraz ve ark., 2023) tarafından yapılan teorik çalışmada, auxetic bal peteği ve polimer ve fiber yüzey levhaları olan dikdörtgen sandviç panel yapılarının serbest titreşim ve burkulma davranışları incelenmiştir. Çalışma sonuçları, auxetic bal peteği yapısının kalınlığının artmasının burkulma yüklerini azalttığını göstermiştir. Ayrıca, auxetic bal peteği yapısının eğim açısının burkulma yükleri üzerinde etkisinin olmadığı aktarılmıştır.

Wang ve ark. (Wang ve ark., 2023) tarafından yapılan teorik ve deneysel çalışmada, auxetic bal peteği yapısının düşük hızda darbe yüklemesi altındaki enerji sönümleme özellikleri incelenmiştir. Çalışma sonuçları irdelendiğinde; düşük hız darbe yüklemesi altında, auxetic bal peteği yapısı, auxetic olmayan bal peteği yapısına göre daha iyi enerji sönümleme kapasitesine sahip olduğu görülmüştür. Çalışmada ayrıca, hem içbükey açılı gradyan tasarımı hem de kalınlık gradyan tasarımı, auxetic bal peteği yapılarının enerji sönümleme performansını daha da artırabilir olduğu belirtilmiştir.

Li ve ark. (Li ve ark., 2023), yeni tasarlanmış ve seçici lazer eritme eklemeli imalat yöntemi ile üretilmiş re-entrant anti-kiral auxetic yapının düzlemsel sıkıştırma altında mekanik özelliklerini inceledikleri teorik ve deneysel çalışmada, ezilme ve deformasyon mekanizmasını sayısal olarak oluşturulan model ile doğrulamıştır. Çalışma sonuçlarına bakıldığında; düzlemsel sıkıştırma altında içbükey ve dönme deformasyonu sergilediği ve ortalama sıkıştırma gerilimi aynı kalınlıkta ve aynı kütlede nispeten yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Çalışmada ek olarak, re-entrant anti-kiral auxetic yapının geometrik özelliklerinin mekanik özellikleri üzerindeki etkisini kapsamlı bir şekilde ortaya koymak için parametrik analiz de yapılmıştır. Düğüm merkez mesafesinin, düğüm çapının ve duvar kalınlığının mekanik özellikler ve deformasyon modu üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu bulunmuştur. Diğer parametrelerle karşılaştırıldığında, duvar kalınlığının mekanik özellikler üzerinde nispeten fazla etkiye sahip olduğu ve duvar kalınlığı 0,4 mm'den 0,8 mm'ye çıktığında Young's modülü, akma dayanımı ve ortalama sıkıştırma gerilimi sırasıyla %447,27, %530,62 ve %370,87 arttığı aktarılmıştır.

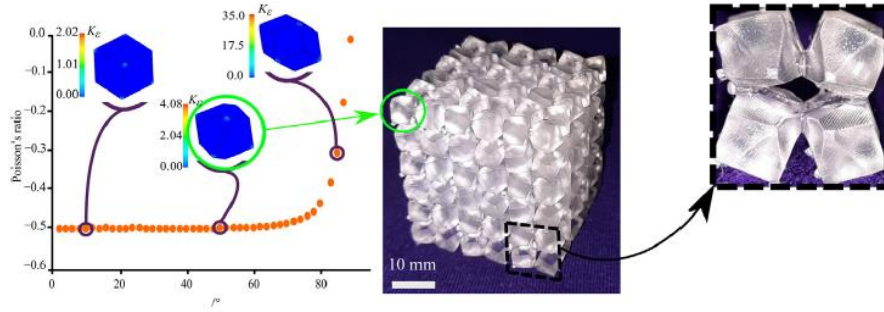
Błachut (Błachut, 2023) tarafından yapılan teorik çalışmada; negatif Poisson's oranı özelliğine sahip re-entrant yapının, mevcut dıştan basınçlı kap kapaklarının burkulma davranışı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu sayısal çalışmanın sonuçları incelendiğinde, önerilen auxetic yapının basınç arızalarında auxetic olamayan yapıya göre %89'luk kazanç sağladığı görülmektedir. Auxetic katmanla desteklenen metalik kaplama yapısının diğer konfigürasyondan daha iyi performans sergilediği belirtilmiştir.

Bohara ve ark. (Bohara ve ark., 2023) tarafından yapılan teorik ve deneysel bir diğer çalışmada ise, yeni tasarlanmış ve eklemeli imalat yöntemi ile üretilmiş auxetic yapının ezilme davranışları ve koruma performansı incelenmiştir. Auxetic yapı, yarı statik sıkıştırma yüküne maruz bırakılmış ve sayısal bu model

deneysel sonuçlarla kalibre edilmiştir. Yeni tasarlanan bu auxetic yapının, yük-deformasyon ilişkisi, Poisson's oranı, kırılma mekanizması ve enerji soğurma kapasitesi gibi üstün özellikleri araştırılmıştır.

Liu ve ark. (Liu ve ark., 2023), auxetic re-entrant femoral gövdelerinin kalça artroplastisinde stres azaltma kapasitesi üzerine teorik olarak çalışmışlardır. Çalışma sonuçları, gövde tasarımına bir auxetic yapının dâhil edilmesinin daha az strese neden olduğunu göstermiştir.

Galea ve ark. (Galea ve ark., 2023) tarafından teorik ve deneysel olarak yapılan çalışmada; Şekil 6'da gösterilen, yeni 3B döner birim auxetic yapı üretim metodu önerilmiş ve bu önerilen metod incelenmiştir. Bu çalışmada, sabit kesit alanına sahip sürekli boşluklar getirilerek 3B yardımcı metamatallerin üretilebileceği yeni bir tasarım yöntemi önerilmiştir. Önerilen yapının birbirine bağlı çokgenler olarak tanımlanabildiği ve negatif Poisson's oranı sergilediği bulunmuştur.



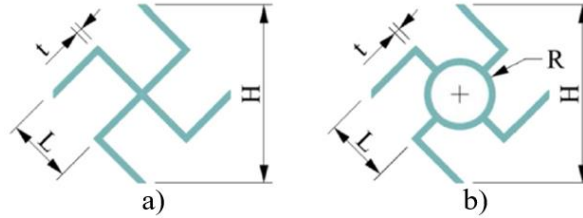
Şekil 6: 3B döner birim auxetic yapı ve Poisson's oranı değişimi (Galea ve ark.,2023).

Gupta ve Chanda (Gupta ve Chanda, 2023) tarafından yapılan deneysel bir çalışmada, I-şekline sahip auxetic yapılarının deri grefti alanındaki kullanımı incelenmiştir. Bu çalışmada, deri greftleri için önerilen I-şekilli auxetic yapının, -1,12 ile yüksek negatif Poisson's oranı ve 3,84 ile yüksek ağ oluşturma oranı sağladığı tespit edilmiştir. Bu önerilen deri greftinin ciddi yanık yaralanmalarında kullanılabileceği de ifade edilmiştir.

Jiang ve ark. (Jiang ve ark., 2023) tarafından yapılan teorik ve deneysel çalışmada, fıtıklaşmış lomber diskin potansiyel tedavisi için 3 boyut baskılı auxetic yapıli intervertebral disk implantı incelenmiştir. Bu çalışmada, "Bucklicrystal" yapıya sahip yeni bir yapay intervertebral disk implantı tasarlanmış ve termoplastik poliüretan malzemeden 3 boyut baskı ile üretilmiştir. Çeşitli koşullar altında implantın deformasyonu ve yük dağılım davranışı yükleme koşulları (eğilme, burulma, uzama ve bükülme) kapsamlı bir şekilde değerlendirilmiştir. Doğal intervertebral disk ve 3 boyutlu implant karşılaştırıldığında, yeni implantın, pratik yükleme koşulları altında daha etkili stres transferi sağladığı görülmüştür. Çalışmada ek olarak, implantın kompresyon altında yanıl olarak büzülme yeteneği, potansiyel olarak semptomları hafifletmek için kullanılabılır olduğu da aktarılmıştır.

Liu ve ark. (Liu ve ark., 2023) yaptıkları teorik ve deneysel çalışmada, köpük dolgulu çift oklu auxetic yapının balistik darbeye karşı davranışlarını incelemişlerdir. Balistik darbe testlerinin yapıldığı bu çalışmada, kullanılan merminin gelen kinetik enerjisinin artması ile köpük dolgulu auxetic yapının özgül enerji Emilimi önce artmış, sonra azalmış ardından da sabit kaldığı tespit edilmiştir. Çalışmada, köpük dolgusuz auxetic yapı ile köpük dolgulu auxetic yapı karşılaştırıldığında, balistik limit hız köpük dolgulu auxetic yapıda %6,12 oranında arttığı tespit edilmiştir. Çalışmada ayrıca, göreceli yoğunluk artışı, köpük dolgulu auxetic yapıya nüfuz etme durumunu iyileştirmede olumlu bir etkiye sahip olduğu aktarılmıştır.

Pan ve ark. (Pan ve ark., 2023), Şekil 7’de verilen dairesel düğümler içeren yeni ve geleneksel auxetic kiral yapıların mekanik davranışlarını yarı statik tek eksen altında teorik ve deneysel olarak incelemişlerdir. Sonuçlara bakıldığında; yeni auxetic yapının, diğer geleneksel yapıya göre enerji Emilimini %34,1 oranında, özgül enerji Emilimini ise %13,3 oranında iyileştirdiği sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 7: Geleneksel (a) ve yeni tasarlanmış (b) Auxetic kiral yapı (Pan ve ark., 2023).

Varas ve ark. (Varas ve ark., 2023) tarafından yapılan deneysel çalışmada, eklemeli imalat teknolojisi ile polimer malzeme kullanılarak üretilmiş re-entrant auxetic yapısının farklı yüklemeler altındaki mekanik davranışları incelenmiştir. Çalışmada, numunelerde kullanılan birim hücrelerin sayısının ve boyutunun/ölçeğinin etkisi, hem statik hem de dinamik yükler ile analiz edilmiştir. Sonuçlar, gerilme ve gerinim açısından yapı ve silindirik elemanların boyutlarının yanı sıra arasındaki temas, rijitlik yapısının gerektiği gibi değiştirilmesine yardımcı olduğunu göstermiştir.

Zhao ve ark. (Zhao ve ark., 2023) yaptıkları teorik ve deneysel bir çalışmada, alüminyum köpük ile doldurulmuş karbon fiber takviyeli auxetic yapıların enerji Emilimi ve spesifik enerji Emilimi kabiliyetlerini incelemiştir. Çalışmada, alüminyum köpük ile doldurulmuş karbon fiber takviyeli auxetic yapının iyi mekanik özellik sergilediği görülmüştür.

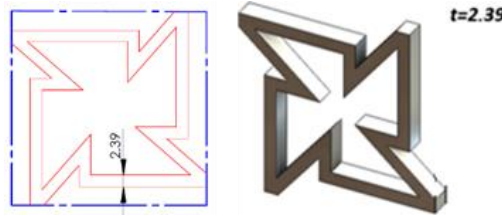
Zhou ve ark. (Zhou ve ark., 2023) tarafından teorik ve deneysel olarak yapılan araştırma çalışması, eklemeli olarak naylon ve onyx gibi iki farklı malzemeden üretilen altıgen, re-entrant ve çift ok auxetic yapıların farklı yarı statik yükleme koşullarında karşılaştırılmasını konu almaktadır. Deneysel sonuçların sonlu elemanlar analizi ile doğrulandığı bu çalışmada, çift ok auxetic yapısının diğer yapılara göre enerji Emilimi

davranışında üstün özellik gösterdiği aktarılmıştır. Ayrıca, Onyx ile üretilen çift ok auxetic yapısı özgül enerji miktarı, altıgen ve re-entrant yapılara kıyasla %125 ve %244 daha fazla olduğu ifade edilmiştir.

Zhao ve ark. (Zhou ve ark., 2023) tarafından yapılan bir diğer teorik çalışmada, karbon fiber takviyeli auxetic yapıların mekanik özellikleri incelenmiştir. Sonuçlar; karbon takviyeli auxetic yapının, köşeye yakın yerlerde çatlama, delaminasyon ve kayma kırılmasını içerdiğini ve bununla birlikte kapalı yapıda dislokasyon deformasyonunun meydana geleceğini göstermiştir.

Song ve ark. (Song ve ark., 2023) negatif Poisson's oranlı çekirdeğe sahip çift ok yapısı içeren yeni bir çarpışma önleyici sistemin yapı tasarımı ve mekanik özelliklerini teorik ve deneysel olarak çalışmışlardır. Bu çalışmada, darbe yükü durumları için enerji emilimini arttırmak amacıyla negatif Poisson's oranına sahip yeni çift ok yapıları önerilmiş ve mekanik özelliklerine karşılık gelen tahmin formülleri çıkarılmıştır. Auxetic çarpışma önleyici sistemin, geleneksel çarpışma önleyici sistemlerine göre daha fazla enerji emme kabiliyetleri olduğu aktarılmıştır.

Erdoğan ve Toktaş (Erdoğan ve Toktaş, 2023) yaptıkları teorik çalışmada, Şekil 8'de geometrik motifi verilen literatürde olmayan yeni bir auxetic özellik gösteren birim hücreyi tasarlamış ve incelemişlerdir.



Şekil 8: Erdoğan ve Toktaş tarafından incelenen birim hücre ve analiz numunesi (Erdoğan ve Toktaş, 2023).

Bu çalışmada; yeni tasarlanan auxetic birim hücrenin, kafes kalınlığı (t) ve matris diziliminin Poisson's oranı üzerine etkisi incelenmiştir. Çalışmadaki incelenen tüm yapıların negatif Poisson's oranına sahip olduğu ve kafes kalınlığı artırıldıkça Poisson's oranının düştüğü, 4x2 kafes yapısının 4x4 kafes yapısından daha auxetic özellik gösterdiği aktarılmıştır. Bunlar ile birlikte, 4,9 mm kafes kalınlığı ile 4x2 matris yapısının -0,55 değeriyle en düşük negatif Poisson's oranına sahip olduğu aktarılmıştır. Ayrıca, 4x4 ve 4x2 kafes matrisin en düşük kafes kalınlığında maksimum deformasyon ve gerilmeye ulaştığı gözlemlenmiştir.

Roychoudhury ve ark. (Roychoudhury ve ark., 2023) tarafından yapılan teorik çalışmada, merkezi bir destek yapısı bulunan sinüzoidal re-entrant auxetic yapının mekanik özellikleri incelenmiştir. Bu çalışmada, auxetic yapının özelliğini artırmak için tek eksenli bir sıkıştırma kuvvetine yanıt olarak önerilen merkezi destek yapısının yüksek derecede auxetic etkinin elde edilebileceği gösterilmiştir. Ayrıca, değiştirilmiş auxetic yapının daha yüksek elastik modülü ve yük taşıma kapasitesi değerleri elde edildiği aktarılmıştır.

Abbaslou ve ark. (Abbaslou ve ark., 2023) tarafından yapılan çalışmada, geliştirilmiş mekanik özelliklere sahip yeni bir re-entrant meta-trikiral auxetic vasküler stent yapısının mekanik özellikleri incelenmiştir. Önerilen ve incelenen auxetic yapının düzlem içi gerilme davranışı, sonlu elemanlar analizi yoluyla araştırılmış ve teorik sonuçlarını doğrulamak için deneysel testler yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılacak olan numunelerin üretimi eklemeli imalat teknolojisi ile yapılmıştır. Gerilim-gerinim eğrisi ve Poisson's oranı dâhil olmak üzere çeşitli geometrik parametrelerin tasarlanan auxetic yapısının düzlem içi davranışı üzerindeki etkisi sonucunda negatif Poisson's oranının -4,91 olarak bulmuşlardır. Sonrasında vasküler stent yapısına çevrilen bu auxetic birim yapısı yerleştirme işlemi sırasında stentin davranışını ve vasküler stent, arter ve plak arasındaki etkileşimi değerlendirmek için de teorik çalışma yapılmış vasküler stentin kısılması ve geri tepmesi gibi durumları da değerlendirilmiştir. Ayrıca vasküler stentin bükülme esnekliği teorik ve üç noktalı bükülme testlerine göre araştırılmıştır.

İNCELENEN LİTERATÜRÜN DEĞERLENDİRİLMESİ

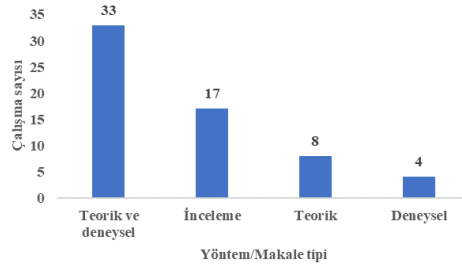
Bu derleme yer alan tüm çalışmaların tek bir tabloda özet halinde sunulmasının, çalışmaların karşılaştırılmasında kolaylık sağlayacağı düşünüldüğü için Çizelge 2'de özetlenmiştir.

Çizelge 2: 2019 ve 2023 yılları arasında auxetic yapılarla ilgili önceki çalışmaların bir özeti.

Yazar(lar)	Yayın Yılı	Yöntem/Makale tipi	Auxetic Geometri(ler)
Wu ve ark.	2019	İnceleme	—
Zhang ve ark.	2020	İnceleme	—
Dogan ve ark.	2020	İnceleme	—
Cardoso ve ark.	2021	İnceleme	—
Wu ve ark.	2021	İnceleme	—
Luo ve ark.	2021	İnceleme	—
Ji ve ark.	2021	İnceleme	—
Lu ve ark.	2022	İnceleme	—
Xue ve ark.	2022	İnceleme	—
Jiang ve ark.	2022	İnceleme	—
Shukla ve ark.	2022	İnceleme	—
Balan ve ark.	2023	İnceleme	—
Vyavahare ve ark.	2023	İnceleme	—
Zhou ve ark.	2023	İnceleme	—
Shirzad ve ark.	2023	İnceleme	—
Huang ve ark.	2023	İnceleme	—
Montgomery-Liljeroth ve ark.	2023	İnceleme	—
Yolcu ve Baba	2022	Teorik ve deneysel	Re-entrant
Liu ve ark.	2022	Teorik ve deneysel	Re-entrant
Galati ve ark.	2022	Teorik ve deneysel	Kiral
Yang ve ark.	2022	Teorik ve deneysel	Çift ok
Li ve ark.	2022	Teorik ve deneysel	Re-entrant
Zhang ve ark.	2022	Teorik ve deneysel	Re-entrant
Changfang ve ark.	2022	Teorik ve deneysel	Çift ok
Ergene ve Yaçın	2022	Deneysel	Re-entrant, kiral
Neçemer ve ark.	2022	Teorik ve deneysel	Re-entrant
Winczewski ve Rybicki	2022	Teorik	Re-entrant
Montemayor ve ark.	2022	Teorik ve deneysel	Re-entrant, kiral
Günaydın ve ark.	2022	Teorik ve deneysel	Re-entrant
Han ve ark.	2022	Teorik ve deneysel	Re-entrant
Zhang ve ark.	2023	Teorik ve deneysel	Re-entrant
Huo ve ark.	2023	Teorik ve deneysel	Döner birim

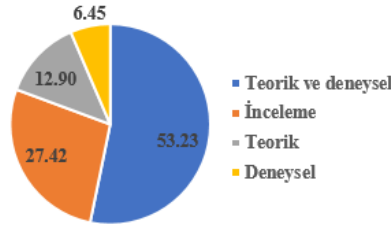
Vyavahare ve ark.	2023	Deneyisel	Re-entrant
Guo ve ark.	2023	Teorik ve deneyisel	Anti-kiral
Jiang ve ark.	2023	Teorik ve deneyisel	Re-entrant
Etemadi ve ark.	2023	Teorik ve deneyisel	Re-entrant
Sabari ve ark.	2023	Teorik ve deneyisel	Re-entrant
Pour ve ark.	2023	Teorik ve deneyisel	Re-entrant
Bohara ve ark.	2023	Teorik ve deneyisel	Re-entrant
Singh ve ark.	2023	Teorik ve deneyisel	Re-entrant
Lvov ve ark.	2023	Teorik ve deneyisel	Re-entrant
Yang ve ark.	2023	Teorik ve deneyisel	Çift ok
Park ve ark.	2023	Teorik	Re-entrant
Sarafraz ve ark.	2023	Teorik	Re-entrant
Wang ve ark.	2023	Teorik ve deneyisel	Re-entrant
Li ve ark.	2023	Teorik ve deneyisel	Re-entrant anti-kiral
Blachut ve ark.	2023	Teorik	Re-entrant
Bohara ve ark.	2023	Teorik ve deneyisel	Re-entrant
Liu ve ark.	2023	Teorik	Re-entrant
Galea ve ark.	2023	Teorik ve deneyisel	Döner birim
Gupta ve Chanda	2023	Deneyisel	I Şekilli
Jiang ve ark.	2023	Teorik ve deneyisel	Re-entrant
Liu ve ark.	2023	Teorik ve deneyisel	Çift ok
Pan ve ark.	2023	Teorik ve deneyisel	Kiral
Varas ve ark.	2023	Deneyisel	Re-entrant
Zhao ve ark.	2023	Teorik ve deneyisel	Re-entrant
Zhou ve ark.	2023	Teorik ve deneyisel	Re-entrant ve çift ok
Zhao ve ark.	2023	Teorik	Re-entrant
Song ve ark.	2023	Teorik ve deneyisel	Çift ok
Erdoğan ve Toktaş	2023	Teorik	Re-entrant
Roychoudhury ve ark.	2023	Teorik	Re-entrant
Abbaslou ve ark.	2023	Teorik ve deneyisel	Hibrit Re-entrant ve kiral

Çalışma türüne ilişkin çalışmaların sayı ve yüzde dağılımları sırasıyla Şekil 9 ve Şekil 10'da gösterilmiştir. Şekil 9'dan da görüleceği üzere, hem teorik hem de deneyisel çalışmalar literatürde bolca bulunmaktadır.



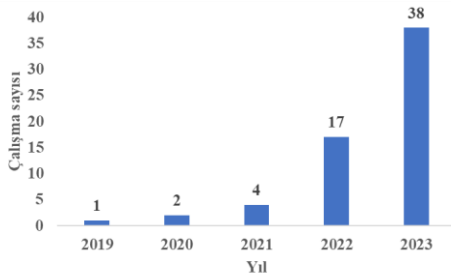
Şekil 9: Çalışma türüne göre incelenen önceki çalışmaların sayısı.

Auxetic yapıları inceleyen bu derleme çalışması kapsamında, 17 inceleme çalışması, 33 hem teorik hem de deneyisel çalışma, 8 adet teorik çalışma ve 4 deneyisel çalışma olmak üzere toplam 62 çalışma incelenmiştir. Şekil 10'dan da görüleceği gibi, incelenen kaynaklar arasında %53,23 oranında teorik ve deneyisel çalışmalar, %27,42 oranında inceleme çalışmalar, %12,90 oranında teorik araştırma çalışmalar, %6,45 oranında deneyisel araştırma çalışmalar yer almaktadır.

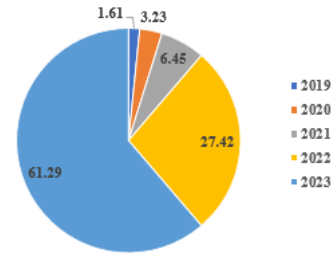


Şekil 10: Çalışma türüne göre incelenen önceki çalışmaların yüzde dağılımları.

Genel olarak auxetic yapılar ile ilgili çalışmaların artarak devam ettiği söylenebilir. Bu inceleme çalışmasında incelenen çalışmaların yayın yıllarına göre sayıları ve yüzde dağılımları Şekil 11’de ve Şekil 12’de sırasıyla gösterilmiştir. Şekil 11’den de görüleceği üzere bu alandaki çalışmalar artarak devam etmektedir. Şekil 12’den de görüleceği üzere bu derleme çalışmasında incelenen referans çalışmaları son 5 yıl içerisinde yayımlanmış çalışmaları içermektedir. Bu incelenen çalışmalardan, %61,29’u son 1 yılda yayınlanmış çalışmalardan oluşmaktadır.

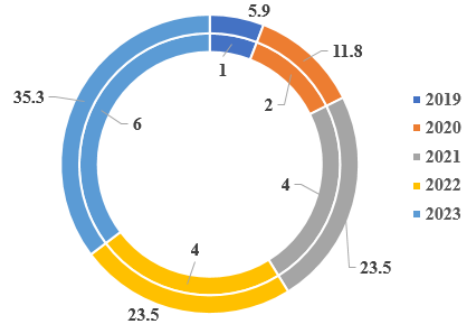


Şekil 11: Önceki çalışmaların yayın yıllarına göre sayısı.



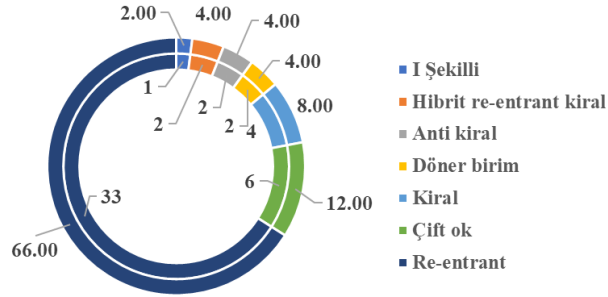
Şekil 12: Önceki çalışmaların yayın yıllarına göre yüzde dağılımları.

Öte yandan, Şekil 13’te önceki derleme çalışmalarının sayıları ve yıllara göre yüzde dağılımları gösterilmiştir. Şekil 13’te görüldüğü gibi, 17 derleme çalışması incelenmiştir. Bu inceleme çalışmasında 2019’dan 1 çalışma, 2020’den 2 çalışma ve 2021 ve sonrasında 14 derleme çalışması yer almaktadır. Dolayısıyla incelenen derleme çalışmalarının %82,3’ü son 3 yılda yayınlanmış çalışmaları içermektedir. Dolayısıyla bu inceleme çalışması, özellikle son üç yıldaki güncel derleme çalışmalarını içermektedir. Bu derleme çalışması önceki inceleme çalışmaları ile karşılaştırıldığında, içerik açısından üstün özelliklere sahip olduğu görülmektedir. Bu çalışmada, toplam 62 kaynak taranmış ve literatürde yer almayan grafiklerle çalışma zenginleştirilmiştir.



Şekil 13: Önceki inceleme çalışmalarının yıllara göre sayıları ve yüzde dağılımları.

İncelenen çalışmalarda, farklı tipte birçok auxetic birim geometrisi ele alınmıştır. Şekil 14'te incelenen çalışmalarda konu edinilen geometri çeşitleri ve yüzdesel dağılımları verilmiştir. Şekil 14'ten de görüldüğü gibi, 33 adet çalışma re-entrant birim geometrisini ele almıştır. Çift ok, kiral, döner birim, anti-kiral ve I şekil birim geometrileri çalışmalarda incelenen diğer auxetic geometrileridir.



Şekil 14: Önceki çalışmalarda konu alınan auxetic yapı birim geometri sayıları ve yüzde dağılımları.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

Malzeme ve yapıların önemli mekanik özelliklerinden biri olan Poisson's oranı, bilinen hemen hemen tüm malzeme ve yapılar için pozitifdir. Negatif Poisson's oranı gösteren malzeme ve yapıya auxetic denir. Auxetic yapılar, yeni bir yapı tasarlamak özellikle yapısal ve işlevsel bir göreve sahip sistem oluşturmak için önemlidir. Birçok araştırmacı bu konuda deneysel ve teorik çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmada, auxetic yapılar hakkında literatürde yapılan çalışmaların derlemesi bulunmaktadır. Buna göre auxetic yapılar ile ilgili incelenen çalışmalar şu şekilde özetlenebilir:

- Bu derleme çalışması, daha önce yapılmış derleme çalışmaları ile karşılaştırıldığında içerik açısından üstün özelliklere sahip olduğu söylenebilir. Bu çalışma için toplam 62 kaynak taranmış ve literatürde yer almayan grafiklerle çalışma zenginleştirilmiştir.
- İncelenen çalışmaların yaklaşık %95,16'sı son 3 yıl içinde yayınlanmıştır. Bu bağlamda bu çalışmanın zengin içerikli, güncel ve kapsamlı bir derleme çalışması olduğu söylenebilir.

- Literatürde auxetic yapılar hakkında çoğunlukla %53,23 ile hem teorik hem de deneysel çalışma bulunmaktadır.

Öte yandan, auxetic yapılar ile ilgili incelenen çalışmalarda incelenen mekanik özellikler ve etkileri şu şekilde özetlenebilir:

- İncelenen çalışmalarda en çok rastlanan auxetic birim geometrisi re-entrant olarak gözlemlenmiştir.
- Teorik ve deneysel çalışmanın birlikte yapıldığı çalışmalarda, deneysel sonuçlar ile teorik çözümlemeler karşılaştırılmıştır.
- Çalışmalarda kullanılan deney numunelerinin çeşitli malzemelerden oluştuğu görülmektedir. ABS, PLA, Onyx gibi plastikler ile alüminyum alaşımlardan, titanyum alaşımlarına kadar farklı metalik malzemeler kullanılarak üretilen deney numuneleri ile çalışmalar yapılmıştır.
- Çalışmalarda kullanılan deney numunelerinin su jeti gibi geleneksel imalat yöntemleri ile üretimlere ek olarak 3B baskı ve seçici lazer eritme gibi eklemeli imalat yöntemleri kullanılarak üretildiği görülmektedir.
- Çalışmalarda yeni tasarlanmış veya literatürde olan auxetic yapıların statik ve dinamik yük altında mekanik davranışları incelenmiştir.
- Çalışmalarda auxetic yapıların mekanik özellikleri ile geleneksel yapıların mekanik özellikleri; eş eğrilik davranışı ve değişken geçirgenlik, enerji emilimi, darbe direnci, kayma direnci, girinti direnci ve kırılma direnci özellikleri bakımından karşılaştırılmıştır.
- Bütün bunlara ek olarak auxetic yapıların kullanım alanları çalışmalarda incelenen yapıya göre aktarılmıştır. Özellikle savunma ve havacılık sanayisinde olmak üzere, sağlık sektöründe de çalışmalar artarak devam etmektedir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

YAZARLARIN KATKILARI

İ.E.: Kavramsallaştırma, yöntem, araştırma, kaynaklar, yazı yazma - orijinal taslak hazırlama, yöntem, doğrulama, kaynaklar, gözden geçirme ve düzenleme.

KAYNAKLAR

- Abbaslou, M., Hashemi, R., Etemadi, E. (2023). Novel hybrid 3D-printed auxetic vascular stent based on re-entrant and meta-trichiral unit cells: Finite element simulation with experimental verifications. *Materials Today Communications*, 35, 105742.
- Blachut, J. (2023). Buckling behaviour of auxetic domes under external pressure. *Thin-Walled Structures*, 182(B), 110262.
- Bohara, R.P., Linforth, S., Thai, H.T., Nguyen, T., Ghazlan, A., Ngo, T. (2023). Multi-objective bulk scale optimisation of an auxetic structure to enhance protection performance. *Engineering Structures*, 280, 115729.
- Bohara, R.P., Linforth, S., Thai, H.T., Nguyen, T., Ghazlan, A., Ngo, T. (2023). Experimental, numerical, and theoretical crushing behaviour of an innovative auxetic structure fabricated through 3D printing. *Thin-Walled Structures*, 182(A), 110209.
- Cardoso, J.O., P. Borges, J.P., Velhinho, A. (2021). Structural metamaterials with negative mechanical/thermomechanical indices: A review. *Progress in Natural Science: Materials International*, 31(6): 801-808.
- Changfang, Z., Changlin, Z., Jianlin, Z., Hongwei, Z., Kebin, Z., Yangzuo, L. (2022). Compressive mechanical behavior for surface auxetic structures. *Journal of Alloys and Compounds*, 894, 162427.
- Dogan, E., Bhusal, A., Cecen, B., Miri, A.K. (2020). 3D Printing metamaterials towards tissue engineering. *Applied Materials Today*, 20, 100752.
- Erdoğan, İ., Toktaş, İ. (2023). Investigation of the effect of geometry inner thickness on new designed auxetic structure, *Politeknik Dergisi*, 901-912.
- Ergene, B., Yalçın, B. (2022). Eriyik yığma modelleme (EYM) ile üretilen çeşitli hücresel yapıların mekanik performanslarının incelenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 38(1): 201-218.
- Etemadi, E., Gholikord, M., Zeeshan, M., Hu, H. (2023). Improved mechanical characteristics of new auxetic structures based on stretch-dominated-mechanism deformation under compressive and tensile loadings. *Thin-Walled Structures*, 184, 110491.
- Galati, M., Calignano, F., Minosi, F. (2022). Numerical and experimental investigations of a novel 3D bucklicrystal auxetic structure produced by metal additive manufacturing. *Thin-Walled Structures*, 180, 109850.
- Galea, R., Farrugia, P.S., Dudek, K.K., Attard, D., Grima, J.N., Gatt, R. (2023). A novel design method to produce 3D auxetic metamaterials with continuous pores exemplified through 3D rotating auxetic systems. *Materials & Design*, 226, 111596.
- Günaydın, K., Rea, C., Kazancı, Z. (2022). Energy absorption enhancement of additively manufactured hexagonal and re-entrant (auxetic) lattice structures by using multi-material reinforcements. *Additive Manufacturing*, 59(A), 103076.
- Guo, Z., Li, Z., Li, X., Mo, Z., Li, J. (2023). Theoretical, numerical, and experimental study on quasi-static compressive behaviors of elliptical anti-chiral auxetic structure. *Materials Today Communications*, 34, 105059.
- Gupta, V., Chanda, A. (2023). Expansion potential of novel skin grafts simulants with I-shaped auxetic incisions. *Biomedical Engineering Advances*, 5, 100071.
- Han, D., Zhang, Y., Zhang, X.Y., Xie, Y.M., Ren, X. (2023). Lightweight auxetic tubular metamaterials: Design and mechanical characteristics. *Composite Structures*, 116849.
- Huang, J., Zhang, J., Xu, D., Zhang, S., Tong, H., Xu, N. (2023). From jammed solids to mechanical metamaterials : A brief review. *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, 27(1), 101053.
- Huo, R.Y., Han, D., Zhang, Y., Jiang, W., Fan, L.Y., Peng, X.W., Shi, G.C.J., Chu, M.H., Zhang, X.Y., Xie, Y.M., Ren, X. (2023). Mechanical properties of auxetic circular and square tubes filled with aluminum foam. *Engineering Structures*, 281, 115732.
- Ji, J.C., Luo, Q., Ye, K. (2021). Vibration control based metamaterials and origami structures: A state-of-the-art review.

- Mechanical Systems and Signal Processing, 161, 107945.
- Jiang, W., Ren, X., Wang, S.L., Zhang, X.G., Zhang, X.Y., Luo, C., Xie, Y.M., Scarpa, F., Alderson, A., Evans, K.E. (2022). Manufacturing, characteristics and applications of auxetic foams: A state-of-the-art review. *Composites Part B: Engineering*, 235, 109733.
- Jiang, W., Zhang, X.G., Han, D., Wang, L., Chen, W.Q., Xie, Y.M., Ren, X. (2023). Experimental and numerical analysis of a novel assembled auxetic structure with two-stage programmable mechanical properties. *Thin-Walled Structures*, 185, 110555.
- Jiang, Y., Shi, K., Zhou, L., He, M., Zhu, C., Wang, J., Li, J., Li, Y., Liu, L., Sun, D., Feng, G., Yi, Y., Zhang, L. (2023). 3D-printed auxetic-structured intervertebral disc implant for potential treatment of lumbar herniated disc. *Bioactive Materials*, 20: 528-538.
- Li, K., Zhang, Y., Hou, Y., Su, L., Zeng, G., Xu, X. (2023). Mechanical properties of re-entrant anti-chiral auxetic metamaterial under the in-plane compression. *Thin-Walled Structures*, 184, 110465.
- Li, Z.Y., Wang, X.T., Ma, L., Wu, L.Z. (2022). Study on the mechanical properties of CFRP composite auxetic structures consist of corrugated sheets and tubes. *Composite Structures*, 292, 115655.
- Liu, B., Feng, J., Yu, K., Li, J., Hu, Q., Lin, Z., Fu, J. (2022). Three-dimensional auxetic structure design methods based on bulking-induced deformation and the application in soft crawling robot. *Composites Part B: Engineering*, 244, 110146.
- Liu, B., Wang, H., Zhang, M., Li, J., Zhang, N., Luan, Y., Fang, C., Cheng, C.K. (2023). Capability of auxetic femoral stems to reduce stress shielding after total hip arthroplasty. *Journal of Orthopaedic Translation*, 38: 220-228.
- Liu, J., Yang, W., Liu, J., Liu, J., Huang, W. (2023). Ballistic impact analyses of foam-filled double-arrow auxetic structure. *Thin-Walled Structures*, 182(A), 110173.
- Lu, C., Hsieh, M., Huang, Z., Zhang, C., Lin, Y., Shen, Q., Chen, F., Zhang, L. (2022). Architectural Design and Additive Manufacturing of Mechanical Metamaterials: A Review. *Engineering*, 17: 44-63.
- Luo, C., Han, C.Z., Zhang, X.Y., Zhang, X.G., Ren, X., Xie, Y.M. (2021). Design, manufacturing and applications of auxetic tubular structures: A review. *Thin-Walled Structures*, 163, 107682.
- Lvov, V.A., Senatov, F.S., Shinkaryov, A.S., Chernyshikhin, S.V., Gromov, A.A., Sheremetyev, V.A. (2023). Experimental 3D printed re-entrant auxetic and honeycomb spinal cages based on Ti-6Al-4V: Computer-Aided design concept and mechanical characterization. *Composite Structures*, 310, 116766.
- Madhu, B.P., Mertens, J., Bahubalendruni, A.M.V.A.R. (2023), Auxetic mechanical metamaterials and their futuristic developments: A state-of-art review. *Materials Today Communications*, 34, 105285.
- Montemayor, R.D.P., Osorio, L.A.R., Lopez-Pavon, L., Garcia-Salazar, O., Moreno-Cortez, I.E., Kim, H.Y. (2022). Modeling of superelastic auxetic structures of Ti-Zr base alloy. *Finite Elements in Analysis and Design*, 201, 103705.
- Montgomery-Liljeroth, E., Schievano, S., Burriesci, G. (2023). Elastic properties of 2D auxetic honeycomb structures- a review. *Applied Materials Today*, 30, 101722.
- Nečemer, B., Vuherer, T., Glodež, S., Kramberger, J. (2022). Fatigue behaviour of re-entrant auxetic structures made of the aluminium alloy AA7075-T651. *Thin-Walled Structures*, 180, 109917.
- Pan, Y., Zhang, X.G., Han, D., Li, W., Xu, L.F., Zhang, Y., Jiang, W., Bao, S., Teng, X.C., Lai, T., Ren, X. (2023). The out-of-plane compressive behavior of auxetic chiral lattice with circular nodes. *Thin-Walled Structures*, 182(A), 110152.
- Park, E.B., Jeong, Y.C., Kang, K. (2023). A novel auxetic sandwich panel for use in structural applications: Fabrication and parametric study. *Materials Today Communications*, 34, 105383.
- Pour M.H.N., Payganeh, G., Tajdari, M. (2023). Experimental and numerical study on the mechanical behavior of 3D printed re-entrant auxetic structure filled with carbon nanotubes-reinforced polymethylmethacrylate foam. *Materials Today Communications*, 34, 104936.

- Roychoudhury, A., Singamneni, S., Das, S. (2023). Modification of a re-entrant sinusoidal auxetic structure with a central stiffener. *Materials Today: Proceedings*.
- Sabari, S., Andrade, D.G., Leitão, C., Simões, F., Rodrigues, D.M. (2023). Influence of the strain hardening behaviour on the tensile and compressive response of aluminium auxetic structures. *Composite Structures*, 305, 116472.
- Sarafraz, M., Seidi, H., Kakavand, F., Viliani, N.S. (2023). Free vibration and buckling analyses of a rectangular sandwich plate with an auxetic honeycomb core and laminated three-phase polymer/GNP/fiber face sheets. *Thin-Walled Structures*, 183, 110331.
- Shirzad, M., Zolfagharian, A., Bodaghi, M., Nam, S.Y. (2023). Auxetic metamaterials for bone-implanted medical devices: Recent advances and new perspectives. *European Journal of Mechanics - A/Solids*, 98, 104905.
- Shukla, S., Behera, B.K. (2022). Auxetic fibrous structures and their composites: A review. *Composite Structures*, 290, 115530.
- Singh, D., Tobin, D., Dowling, L., Trimble, D. (2023). Optimization of Cobalt Chrome 3D re-entrant Auxetics fabricated using Selective Laser Melting. *Engineering Structures*, 278, 115542.
- Song, Z., Liang, H., Ding, H., Ma, M. (2023). Structure design and mechanical properties of a novel anti-collision system with negative Poisson's ratio core. *International Journal of Mechanical Sciences*, 239, 107864.
- Varas, D., Pernas-Sánchez, J., Fjeldberg, N., Martín-Montal, J. (2023). Experimental analysis at different loading rates of 3D printed polymeric auxetic structure based on cylindrical elements. *Polymer Testing*, 119, 107930.
- Vyavahare, S., Mahesh, V., Mahesh, V., Harursampath, D. (2023). Additively manufactured meta-biomaterials: A state-of-the-art review. *Composite Structures*, 305, 116491.
- Vyavahare, S., Teraiya, S., Kumar, S. (2023). FDM manufactured auxetic structures: An investigation of mechanical properties using machine learning techniques. *International Journal of Solids and Structures*, 265–266, 112126.
- Wang, W.J., Zhang, W.M., Guo, M.F., Yang, J.S., Ma, L. (2023). Energy absorption characteristics of a lightweight auxetic honeycomb under low-velocity impact loading, *Thin-Walled Structures*, 185, 110577.
- Winczewski, S., Rybicki, J. (2022). Negative Poisson's ratio from pentagons: A new auxetic structure combining three different auxetic mechanisms. *Computational Materials Science*, 201, 110914.
- Wu, L., Wang, Y., Chuang, K., Wu, F., Wang, Q., Lin, W., Jiang, H. (2021). A brief review of dynamic mechanical metamaterials for mechanical energy manipulation. *Materials Today*, 44: 168-193.
- Wu, W., Hu, W., Qian, G., Liao, H., Xu, X., Berto, F. (2019). Mechanical design and multifunctional applications of chiral mechanical metamaterials: A review. *Materials & Design*, 180, 107950.
- Xue, X., Lin, C. Wu, F., Li, Z., Liao, J. (2023). Lattice structures with negative Poisson's ratio: A review. *Materials Today Communications*, 34, 105132.
- Yang, Q., Li, Z., Hao, H., Chen, W. (2023). Compressive mechanical properties and dynamic behaviour of origami-inspired tri-directional auxetic metastructure, *Engineering Structures*, 281, 115751.
- Yang, W., Huang, R., Liu, J., Liu, J., Huang, W. (2022). Ballistic impact responses and failure mechanism of composite double-arrow auxetic structure. *Thin-Walled Structures*, 174, 109087.
- Yolcu, D.A., Baba, B. O. (2022). Measurement of Poisson's ratio of the auxetic structure. *Measurement*, 204, 112040.
- Zhang, J., Lu, G., You, Z. (2020). Large deformation and energy absorption of additively manufactured auxetic materials and structures: A review. *Composites Part B: Engineering*, 201, 108340.
- Zhang, K., Zhang, X., Gao, Q., Chan, M., Zhang, S., Li, J., Liao, W.H. (2023). Ultrahigh energy-dissipation and multifunctional auxetic polymeric foam inspired by balloon art. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 167, 107435.
- Zhang, W.M., Li, Z.Y., Yang, J.S., Ma, L., Lin, Z., Schmidt, R., Schröder, K.U. (2022). A lightweight rotationally arranged auxetic structure with excellent energy absorption performance. *Mechanics of Materials*, 166, 104244.
- Zhao, C., Goh, K.L., Lee, H.P., Yin, C., Zhang, K., Zhong, J. (2023). Experimental study and finite element analysis

on energy absorption of carbon fiber reinforced composite auxetic structures filled with aluminum foam. *Composite Structures*, 303, 116319.

Zhao, C., Zhong, J., Goh, K.L., Liu, X. (2023). Mechanics of carbon fiber reinforced plastics negative Poisson's ratio structures. *Materials Today: Proceedings*.

Zhou, J., Liu, H., Dear, J.P., Falzon, B.G., Kazancı, Z. (2023). Comparison of different quasi-static loading conditions of additively manufactured composite hexagonal and auxetic cellular structures. *International Journal of Mechanical Sciences*, 244, 108054.

Zhou, X., Ren, L., Song, Z., Li, G., Zhang, J., Li, B., Wu, Q., Li, W., Ren, L., Liu, Q. (2023). Advances in 3D/4D printing of mechanical metamaterials: From manufacturing to applications. *Composites Part B: Engineering*, 254, 110585

Depremde Binaların Yıkılma Şekilleri ve Sebepleri

Bülent Topbaşlı 

İnşaat Bölümü, Pınarhisar Meslek Yüksekokulu, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli, Türkiye

Geliş: 17.09.2024, Kabul: 26.02.2025, Yayınlanma: 20.06.2025

ÖZ

Türkiye deprem konusunda riskli bir konumda bulunmaktadır. Deprem riskinin yüksek olduğu ülkemizde geçmişten günümüze birçok yıkıcı deprem sonucu on binlerce insan hayatını kaybetmiş ve binlerce bina hasar görmüş veya yıkılmıştır. Can ve mal kaybı dışında ülke ekonomisine milyonlarca lira zarar vermiştir. Bu durum göz önüne alınarak yapılar oluşturulurken deprem yönetmeliğine çok dikkat etmek gerekmektedir. Türkiye’de meydana gelen depremler incelendiğinde hasar gören veya yıkılan birçok binanın tasarım veya imalat hatalarından kaynaklandığı tespit edilmiştir. Özellikle beton kalitesinin düşük olması, donatı yetersizliği, zemin sıvılaşması, kolon veya kirişlerin uygun olmaması ve yapının kullanım esnasında kolon kesilmesi gibi durumlar deprem anında yapıların hasar görmesine veya yıkılmasına sebep olmaktadır. Bu olumsuz durumların oluşmaması için deprem yönetmeliğine uygun yapıların yapılması ve kullanım aşamasında da yönetmeliklere uygun hareket edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, Türkiye’de meydana gelen depremlerde yıkılan binaların yıkılma şekilleri ve sebepleri araştırılmıştır. Elde edilen bilgilere göre yıkılan yapıların işçilik, beton kalitesi, projeye uygunluğu ve zemin özelliklerinin yapının yıkılmasını nasıl etkilediği belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen bilgilere göre öneriler de bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Donatı yetersizliği; Zemin sıvılaşması; Beton kalitesi; Perde duvar

Forms And Causes Of Collapse Of Buildings In Earthquakes

ABSTRACT

Turkey is in a risky position regarding earthquakes. In our country, where the earthquake risk is high, tens of thousands of people have lost their lives and thousands of buildings have been damaged or collapsed as a result of many devastating earthquakes from the past to the present. Except for loss of life and property, these earthquakes have caused millions of liras of damage to the country's economy. Considering this situation, it is necessary to strictly comply with the earthquake regulations when constructing structures. When earthquakes in Turkey were examined, it was determined that many buildings were damaged or collapsed due to design or manufacturing errors. In particular, situations such as low concrete quality, insufficient reinforcement, soil liquefaction, inappropriate columns or beams, and column cutting during use of the structure cause damage or collapse of structures during an earthquake. In order to prevent these negative situations, structures that comply with earthquake regulations should be built and the regulations should be followed during use. In this study, forms and causes of collapse of buildings that collapsed in earthquakes in Turkey were investigated. In accordance with the information obtained, it was tried to determine how the workmanship, concrete quality, compliance with the project, and soil properties of the collapsed structures affected the collapse of the structure. Suggestions were made after the information obtained.

Keywords: Insufficient reinforcement; Soil liquefaction; Concrete quality; Shearwall

1. GİRİŞ

Yerkabuğundaki kırılmalar nedeniyle ani olarak ortaya çıkan, titreşimlerin dalgalar halinde yayılarak geçtikleri ortamları sarsma olayına deprem denir. Dünyanın varoluşundan günümüze kadar birçok bölgede büyük depremler meydana gelmiştir. Bu depremlerin birçoğu büyük yıkımlara ve can kayıplarına sebep olmuştur. Özellikle deprem bölgesinde yer alan birçok ülke büyük yıkımlarla karşı karşıya kalmıştır (Genç, 2007)

Türkiye’de de birçok şehir deprem riski taşımaktadır. Bu durum bizim depremlerle yaşamamızı ve depremlere hazır olmamızı göstermektedir. Türkiye’de Son 50 yılda 7 tanesi 7 ve üstü olmak üzere yüzlerce deprem meydana gelmiştir. (1975-2024) yılları arasında meydana gelen depremlerde 80972 kişi hayatını kaybetmiştir. Depremlerin şiddetinin artması yıkım oranını ve can kaybını arttırmaktadır. Fakat standartlara uygun malzeme kullanılmaması ve yönetmeliklere uygun yapılmaması meydana gelebilecek küçük depremlerde bile yıkımlara yol açmaktadır (Binici, kaplan ve Çağatay 2001).

Yapıların deprem esnasındaki davranışları üzerine geçmişten günümüze birçok çalışma yapılmış ve yapılmaya devam edilmektedir. Deprem sonrası yapılan incelemelerde birçok binanın yapı düzensizliği ve bölge şartlarına uygun yapılmadığından dolayı yıkıldığı veya hasar aldığı görülmektedir (İnan, Korkmaz ve Çağatay, 2014)

Yapı sistemlerinin tasarımında taşıyıcı elemanlar büyük öneme sahiptirler. Taşıyıcı elemanlar binanın yükünü güvenli bir şekilde temele aktarması gerekmektedir. Taşıyıcı sistemin risk barındırmaması olası bir deprem anında oluşacak hasar miktarını en düşük seviyede tutmasına yarar. Yapı denetim şartnamelerinde taşıyıcı elemanların boyut uyumu çok önemlidir. Özellikle kolon ve kiriş hesaplamalarının ve birleşimlerinin düzgün yapılması gerekmektedir (Kocaman, Bayülke, Doğan ve Duran, 2011).

Ayça vd. (2023) tarafından yapılan çalışmada deprem etkisinde hasar alan betonarme yapıların düzensizlik türleri yönü ile incelenmiş. Özellikle betonarme yapılarda deprem anında dinamik davranışlar ve gerekli tedbirlerin alınmaması sonucu yıkım ve can kaybının arttığı görülmüştür.

Dindar vd. (2021) çok katlı yapılarda kritik deprem doğrultusunun belirlenmesi çalışması ile yapıların daha güvenli yapılar için, kuvvet esaslı tasarım yaklaşımlarında yapı geometrisine bağlı olarak kritik açının ele alınması gereken bir büyüklük olduğu belirtilmiştir.

Samed vd. (2024) taşıma gücü çok iyi olmayan zeminlere inşa edilen betonarme ve çelik yapıların kıyaslanması çalışmasında betonarme karkas tarzında inşa edilen yapının, deprem yükleri nedeniyle yıkılma sebebi çok yüksek etkenle zemine göre tasarlanmamış olmasıyla birlikte, binanın inşaat aşamasında duraksayarak ilerlemiş olmasının etkisinin olduğu düşünülmektedir.

Asena vd. (2023) Tarihi Yığma Minarelerin Deprem Yüğü Altındaki Davranışlarının 6 Şubat Kahramanmaraş Depremlerinde Hasar Görmüş Cami Örnekleri Üzerinden Mimari Açıdan İncelenmesi çalışmasında genel itibariyle ince-uzun forma sahip olan minareler, depremden önemli ölçüde olumsuz etkilenme potansiyeli olan yapı elemanları olduğu belirtilmiştir.

Mehmet vd. (2013). Yapı Hasar Nedenlerinin Değerlendirilmesi. Yapılan incelemelerde yetersiz malzeme özellikleri, tasarım ve uygulama hataları başta olmak üzere, hasar alan yapıların benzer eksikliklere sahip olduğu sonucuna varılmıştır. En önemli göçme sebebi olarak birleşim bölgesi ve donatı kenetlenme boyu yetersizlikleri gösterilmiştir.

Demirci, vd. (2022). Geçmiş dönemlerde meydana gelen depremlerde yapısal veya jeoteknik arızalar, inşaat uygulamalarının ve tasarım metodolojilerinin yetersizliklerini ortaya koymuştur. Mühendislik analiz, tasarım ve inşaat uygulamalarının sınırlılıkları deprem sonrası keşif incelemeleriyle ortaya çıkabileceğini belirtmiştir.

Bu çalışmada, Türkiye’de meydana gelen depremlerde binaların yıkılma şekilleri ve sebepleri araştırılmıştır. Yapım aşamasından kullanım aşamasına kadar yapıların ne tür riskler barındırdığı ve bu risklere karşı neler yapılması gerektiği açıklanmıştır. Elde edilen bilgilere göre öneriler de bulunulmuştur.

2. BETONARME YAPILARIN YIKILMA SEBEPLERİ

Türkiye deprem bölgesine bulunan bir ülke olmasından dolayı birçok yıkıcı depremle karşı karşıya kalmıştır. Yaşadığımız en son deprem 6 Şubat tarihinde merkez üstü Kahramanmaraş Pazarcık olan (Mw 7.7) ve Elbistan (Mw 7.6) depremleri ise en yıkıcı ve en fazla can kaybına sebep olan depremler olarak tarihte yerini almıştır. Bu depremlerin diğer depremlerden farkı çok büyük bir alanda yaşanması ve çok kısa zaman aralığında 2 büyük depremin olmasıdır (AFAD 2023).

Merkez üssü Kahramanmaraş olan depremlerden sonra yapılan hasar tespiti çalışmaları sonucu 11 ildeki toplam yıkılan ve hasarlı bina sayıları çizelge 1’de verilmiştir. (Web 1).

Çizelge 1: Binalardaki Hasar Durumu ve Kaldırılan Enkaz Sayısı.

İl	Yıkık	Acil Yıkılacak	Ağır Hasarlı	Orta Hasarlı	Az Hasarlı ve Hasarsız	Kaldırılan Enkaz Sayısı
Adana	38	41	3.330	4.087	358.645	517
Adıyaman	6.187	2.327	21.027	4.715	82.775	17.068
Diyarbakır	44	59	5.491	2.783	183.712	4.120
Elâzığ	58	44	10.671	300	23.646	9.074
Gaziantep	4.126	1.988	14.304	5.513	265.262	11.109
Hatay	13.889	9.041	56.214	13.006	257.403	51.974
Kahramanmaraş	7.490	4.436	35.721	6.040	181.459	29.326

Kilis	457	151	1.926	488	32.335	1.769
Malatya	5.651	1.841	36.369	2.520	119.157	27.979
Osmaniye	702	531	9.167	1.074	122.840	8.009
Şanlıurfa	719	732	8.351	2.818	324.921	7.244
Toplam	39.361	21.191	202.571	43.344	1.952.155	168.189

Tablo incelendiğinde merkez üssü Kahramanmaraş olan depremde 260 bin civarı binanın hasarlı olduğu görülmektedir. Merkez üssü Kahramanmaraş olan iki depremde en fazla hasarın ise Hatay ilinde olduğu görülmektedir. Kahramanmaraş ve Hatay illerinde bulunan toplam hasar görmüş bina sayısı 145837 hasar görmeyen bin sayısı ise 438862 bu sonuç bize her dört binadan birinin hasar gördüğünü göstermektedir. Bu durum bu bölgedeki yapıların deprem yönetmeliğine ve yapı kurallarına uygun yapılmadığını göstermektedir. Yaşanan doğal afetler sonucu Yapı hasarlarının, yapıların özelliklerine göre değiştiği bilinen bir gerçektir. Özellikle hasar gören veya yıkılan yapıların birçoğunun değişik parametrelerden kaynaklandığı görülmektedir (Şengezer, 1999).

Betonarme binalarda oluşan hasarlar birden fazla nedene bağlanabilir. Zeminden kaynaklanan hasarlar

- Zayıf yapı malzeme kalitesi
- Yumuşak kat oluşumu
- Güçlü kirişler ve zayıf kolonlar
- Kötü detaylandırma
- Kısa kolon gibi birçok etken sayılabilir. (Erdik, Kamer, Demircioğlu ve Şeşetyan, (2012).

2.1. Zeminden kaynaklanan hasarlar

Zemin, üzerine yapının inşa edildiği toprak veya kayaç tabakasıdır. Sıvılaşma sonucu zemin içindeki su basıncı artar ve zemin tanecikleri arasındaki sürtünme azalır, bu da zeminin geçici olarak sıvı gibi davranmasına neden olur. Bu sıvılaşma ile deprem anında tetiklenen zemin yapıya ciddi zararlar vermektedir (Ertınan, 2016). Zeminlerde sıvılaşma zeminin kayma dayanımının sıfıra düştüğü durumda meydana gelir. Bir yerin sıvılaşmaya karşı duyarlılığı, yeri oluşturan tanelerin şekillerine, boyutlarına ve zemin türüne bağlıdır. Yapılan birçok çalışmaya bakıldığında zeminin kil içeriğinin %20'den fazla olması durumunda sıvılaşma olayının gerçekleşmediği görülmektedir (Seed, Idriss, ve Arango, 1983). Kohezyonsuz (temiz kumlar, plastik olmayan siltli kumlar) zeminler sıvılaşmaya en eğilimli olan zemin türleridir. Genellikle birbirine sıkı şekilde bağlanmamış, zayıf sıkıştırılmış daneler sıvılaşma eğilimi gösterirler (Mert, 2018). Sıvılaşma sonucu yapılarda çatlaklar, temel çökmesi ve bazen yapının çökmesine gibi durumlar ortaya çıkabilir (Durmaz ve Soyaslan, 2023).

Sıvılaşma olayı genellikle büyüklüğü fazla olan depremlerde görülebilmektedir. Yani deprem anında sıvılaşmadan dolayı sarsıntı fazla olacaktır. Sarsıntı anında sıvılaşma etkisi artmaktadır. Bu durum tanelerin

yer değiştirmesi ve suyun boşluk bulduğu alanlarda dolaşımını artırmaktadır. Dolayısıyla depremin sıvılaşmayla doğrudan ilgili bir parametre olduğu anlaşılmıştır (Ündül ve Gürpınar 2003). Bütün bunları dikkate aldığımızda zeminlerde sıvılaşma olayının önüne geçmek için zemin etütlerinin doğru bir şekilde yapılması gerekmektedir. Yapılan zemin etütleri sonucu elde edilen bulguların zeminin yapısının iyi incelenmesi ve oluşabilecek risklere karşı önlemlerin alınması gerekmektedir. Şekil.1 ve Şekil.2 de sıvılaşma sonucu hasar alan bina resimleri görülmektedir.



Şekil 1: 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş-Pazarcık depreminde sıvılaşma sonucu hasar almış binalar.



Şekil 2: 1964'te gerçekleşen Nigata depreminde sivilaşma nedeniyle yan yatan binalar.

2.2. Düşük kalite beton kullanılmasından kaynaklanan hasarlar

Ülkemizde yapıların büyük çoğunluğu betonarme taşıyıcı sisteme sahiptir. Betonarme yapı beton ve donatı ana malzemesinden oluşmaktadır. Özellikle beton kalitesinin düşük olması basınç dayanımını etkilemektedir (Bayülke, Aşık ve Hürata 1989). Yapılarda beton ile donatı arasındaki aderans kaybolduğu zaman deprem anında oluşan gerilmelerde donatılar betondan kolaylıkla sıyrılmaktadır (TBDY (2018)). Yapılarda kullanılan betonun üretimi beton kalitesini etkileyen faktörlerden birisidir. Özellikle eski yapılarda hazır beton kullanımı fazla yaygın değildi, elle yapılan beton karışımları betonun homojen bir şekilde karışmasını engellemektedir bu da yapılarda beton kalitesinin düşük olmasına sebep olmaktadır. Ancak betonun kalitesinin düşük olmasını sadece hazır betona bağlamak doğru olmaz. Beton içerisine konulan donatı miktarı yapıların güvenliği için büyük önem arz etmektedir (Kızılkant, Koçak, Coşar, Güney ve Selçuk 2011). Betonda üretiminde karşılaşılan başka bir problemde, uygun olmayan boyutta agrega kullanılmasıdır. Özellikle büyük çaplı agrega kullanmak beton içinde çimento miktarını azaltmaktadır. Bu durum betonun kolaylıkla dağılmasına sebep olmaktadır (Çağlar, Bayhan, Avcı, Koca, Özen, Yıldırım ve Sakcalı 2023).

2.3. Kolonlardan kaynaklanan hasarlar

Taşıyıcı sistem binaların en önemli bileşenlerinden birisidir. Taşıyıcı sistemi oluşturan en önemli bileşenden birisi de kolondur. Kolon Kirişten aldığı yükü güvenli bir şekilde temele aktaran yapı elemanıdır (Ulusoy ve Güven 2019).

Binalarda yükseklikler arttıkça deprem etkilerinin karşılanabilmesi için dayanımları yüksek kolonların kullanılma gerekliliği artmaktadır. Binalardaki kolon göçmelerinin başlıca iki nedeni yetersiz kesme ve yetersiz şekil değiştirme kapasitesidir (Vatansever ve Şimşek, 2021). Yapılarda kolon kiriş birleşim noktaları yatay yükler altında en çok hasar gören bölgelerden biridir. Bunun oluşmasının başlıca sebepleri

etriye sıklaştırılması, donatı filiz boyları gibi gerekli detaylara önem verilmemesidir. Bu durumdan dolayı kiriş kolon birleşim bölgesinde meydana gelen çatlama ve hasarlar, sistemin yatay yük taşıma kapasitesini ve rijitliğini doğrudan etkilemektedir (Durmaz ve Soyaslan, 2023).

Yapılarda meydana gelen çatlakların birçok sebebi bulunmaktadır. En yaygın sebeplerden bazıları zemin oturması, deprem ve su baskını gibi doğal afetler sonucu oluşan çatlaklardır. Standartlara uygun olmayan veya eksik malzeme kullanılması, yakındaki inşaat veya ağır makinelerin titreşimi gibi faktörler binalarda çatlak oluşumuna sebep olmaktadır. Binalardaki çatlakların altında yatan nedenleri anlamak, bunların oluşmasını önlemek ve yapının güvenliğini sağlamak için bunlara derhal müdahale etmek gerekmektedir (Üncü, Kayakuş, Yavru ve İbadov, 2023).

Bütün bunları göz önüne aldığımız zaman özellikle yapının taşıyıcı elemanı olan kolonda oluşabilecek çatlaklara karşı önceden önlem almak çok önemlidir. Taşıyıcı sistemi etkileyen bu çatlakların zaman kaybedilmeden giderilmesi gerekiyor. En küçük çatlak bile olası bir deprem anında taşıyıcı sistemde büyük sıkıntılar çıkaracağını göz önünde tutmamız gerekmektedir. Şekil 3’de kolonlardan kaynaklanan hasarlar görülmektedir.



Şekil 3: Kolonlardan meydana gelen hasarlar

2.4. Kirişlerden kaynaklanan hasarlar

Betonarme bir yapıda çekme dayanımının düşük olması betonarme kirişlerde çatlaklara sebep olmaktadır. Beton içerisinde donatı bulunması çatlamların önüne geçmemektedir. Kiriş ve kolona gelen yükler altında bazen çok ince çatlaklar oluşurken bazen ise taşıyıcı sistemi etkileyecek sorunlar oluşmaktadır. Betonarme elemanların üzerindeki yüklerin türü, büyüklüğü ve mevcut donatı oranları dahi çatlamların gelişimini ve ilerlemesini etkileyebilmektedir (Turan, 2022). Birçok yapı incelendiğinde kirişlerde, eğilme ve kesme hasarlarının oldukça fazla olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle deprem yükü altında kirişlerin en çok mesnet bölgeleri zorlanır ve çatlaklar meydana gelir (Beklen ve Çağatay, (2009) Kirişlerde meydana gelen bu çatlakların büyüklükleri yapı üzerinde oluşturacağı hasarı etkilemektedir. Eğer meydana gelen çatlak küçük ise taşıyıcı sistemi çok fazla etkilemez. Fakat çatlak geniş ise kirişlerde ağır hasar oluşabilir. Ayrıca, bir kirişe dolaylı olarak mesnetlenen bir başka kiriş yani saplama kiriş var ise, bu bölgede de eğilme ve kayma çatlakları oluşabilir. Eğilme çatlakları, çekmenin en yüksek olduğu bölgede oluşur bu tür çatlaklar donatının aktığını göstermektedir. Kayma çatlakları eğilme çatlaklarına göre daha fazla üzerinde durulması gereken bir durumdur (Çırak,2011). Kolon-kiriş birleşimlerinde sarılma bölgesinde kolonlarda etriye sıklaştırması yapılmaması, düşey taşıyıcı elemanlarda seyrek etriye konulması veya etriye konulmaması nedeniyle birleşim noktalarında mafsallaşmaların olması. Kolon ve kirişlerde, betonun aynı anda dökülmemesi nedeniyle kolon-kiriş birleşim bölgelerinde soğuk derz oluşumu meydana gelmektedir (Çatal 2019). Şekil 4’de Kiriş hasarları görülmektedir. (Mertol, 2023).



(a) Gölcük depremi



(b) Adıyaman depremi alt katı göçen bina (kirişlerin kolonlarından daha güçlü olduğu bina)

Şekil 4: Kirişlerden kaynaklanan hasarlar.

2.5. Güçlü kiriş zayıf kolon oluşumundan kaynaklanan hasarlar

Betonarme yapıların taşıyıcı sistem elemanlarının, kendi aralarında anlamlı bir ilişkiye sahip olmaları gerekmektedir. Bundan dolayı tasarım aşamasında yapı tasarım kuralları dikkate alınarak işlem yapılmalıdır (Kocaman, Bayülke, Doğan, ve Duran, 2011). Bu cümle çıkarıldı Deprem sonrası yapılan incelemelerde birçok yapının yönetmeliklere uygun olmadığı veya sonradan yapı üzerinde yapılan değişikliklerden dolayı binanın yıkıldığı veya hasar gördüğü tespit edilmiştir. Özellikle taşıyıcı sistemi etkileyen kısımlarda yapılacak hatalar yapının hasar almasını kolaylaştırır.

Yapılarda karşılaşılan sıkıntılardan birisi de güçlü kiriş zayıf kolon tasarımı bu durum yapılarda sorunlar ortaya çıkarmaktadır. Özellikle betonarme yapılarında geniş kullanım alanları oluşturmak için kolonlar zayıf yapılmaktadır. Mekanların iç kısımlarının geniş olması için kolon boyutları küçük tutulup kirişlere ekstra donatı koyuluyor bu durumda taşıyıcı sistemde sıkıntılar ortaya çıkarmaktadır. Betonarme yapılarda kolonların taşıma kapasitesi, kirişlerin taşıma kapasitesinden büyük olması gerekirken birçok yapıda bu olay tam tersi durumdadır (Işık ve Özdemir, 2016). Deprem anında kolonlarda oluşacak sıkıntı yapının göçmesine neden olurken, kirişlerde oluşacak hasarlar yapıda kısmi hasarlarla atlatılabilir. Şekil 5’de zayıf kolon güçlü kirşten kaynaklanan durum görülmektedir. Bundan dolayı kirişlerin kolonlara göre daha sünek olarak tasarlanması gerekmektedir (Doğangün, 2016).

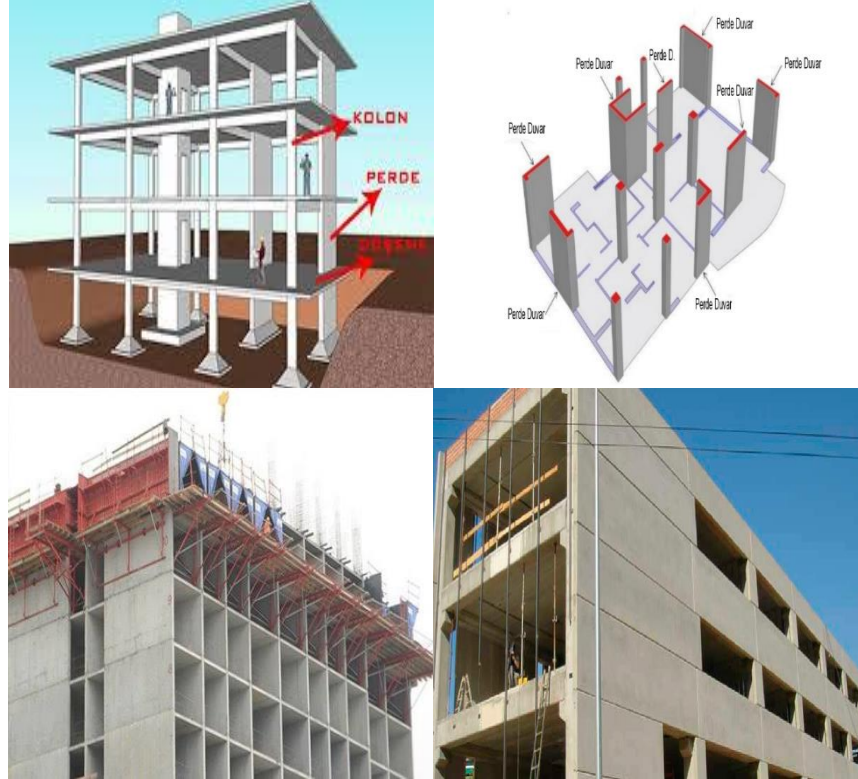


Şekil 5: Erciş, Merkez, Güçlü kiriş zayıf kolon davranışı ağır hasar almış kolon üst ucu.

2.6. Perde duvarlardan kaynaklanan hasarlar

Yapılarda kat sayısı arttıkça deprem etkisi artacağı için, özellikle yüksek yapılarda, yatay yüklere karşı rijitlik sağlayan perde duvarların yapılması çok önemlidir. Perde duvarlar kat sayısının fazla olduğu yapılarda, üst katlara çıkıldıkça artan yatay ötelenmenin sınırlandırılmasını sağlamaktadır (Aktan ve Kırac, 2010). Binalarda Taşıyıcı sistemde yatay yükler altında oluşacak rölatif ötelenmeler ve eğilmeler, ikinci mertebe momentlerini artırmaktadır. Perde duvarlar bu olumsuzluğu azaltır. Bu durumun oluşmaması için planda perde duvar ve geniş kolonların dağılımının dengeli olması gerekir. Perde duvar ve geniş kolonların planda dengeli dağıtılmaması, sistemde düşey taşıyıcıların bir kısmının kapasitelerinin üstünde, bir kısmının da altında etkilere maruz kalmalarına neden olur. Perde duvar olmayan yapılarda geniş kolonlar normal kolonlara göre daha faydalı olmaktadır. Ülkemizde meydana gelen birçok deprem incelendiğinde, bina yüksekliği boyunca sürekli olan perde duvarlı yapılar, deprem davranışını olumlu yönde etkilemektedir (Özcebe, 1999).

Perde duvar kullanılarak yapılan binalarda yapım aşamasında çok büyük hatalar yapılmamışsa yapı güçlü-rijit statik sistem sayesinde bina ayakta kalabilmekte, meydana gelen depremler küçük hasarlarla atlatılabilmektedir. Perde duvarlar ayrıca ötelenmeleri azaltan önemli bir taşıyıcı sistem elemanıdır. Şekil 6'da perde duvar resimleri görülmektedir (Web 2).



Şekil 6: Perde duvar.

2.7. Zayıf kat, yumuşak kat ve çekiçleme etkisinden kaynaklanan hasarlar

Yapılarda deprem anında karşılaşılan sıkıntılardan birisi de çekiçleme etkisi. Bitişik nizamda inşa edilen betonarme yapılarda derz mesafesine dikkat edilmesi gerekiyor. Bitişik nizamda bulunan iki binanın arasında yeterli derz mesafesi bulunmaması çekiçleme etkisi oluşturur bu durum deprem anında binaların yıkılması, devrilmesi veya hasar almasına sebep olmaktadır (Tezcan, Yazıcı, Özdemir ve Erkal 2007).

Yumuşak kat sebepleri arasında bodrum kat bulunmaması, zemin katlarının otopark veya dükkân olarak kullanılması, genellikle dış duvar yerine cam kullanılması yapılarda rijitlik düzensizliği oluşturmaktadır. Bu durum zemin katta büyük deformasyonlar oluşturmakta ve deprem etkisi bir katta yoğunlaşmaktadır (Karabulut, Kartal, Özil ve Ünlü 2018). Ayrıca zemin kat yüksekliğinin üst katlara oranla fazla olması da zayıf kat düzensizliği oluşturmaktadır. Şekil 7' de zayıf kattan dolayı oluşan hasar görülmektedir. Yumuşak kat durumu sadece zemin katta oluşsa da bazı durumlarda yanal rijitlik ve dayanımda ani değişikliğin olduğu durumlarda üst katlarda olabilir. (Özmen 2005).



Şekil 7: Zayıf kat ve çekiçleme etkisi.

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan araştırmalara bakıldığı zaman yapının her aşamasında yönetmeliklere uygun hareket edilmesi gerektiğini göstermektedir. Özellikle yapıyı ayakta tutan taşıyıcı sistemin yönetmeliğe uygun olmaması veya sonradan taşıyıcı sistemde yapılan değişiklikler yapılar da büyük hasarlar veya yıkılmalarına sebep olmaktadır. En önemli hasar sebepleri şu şekilde sıralanabilir.

- Beton kalitesinin düşük olması beton ile donatı arasında aderansın sağlanamaması. Bu durum olası bir deprem anında donatının betondan kolayca sıyrılmasına sebep olur ve yapı ağır hasar alabilir.
- Bodrum katlarında ticari amaçlı işyerlerinin kolon kesmesi veya bölme duvarları kaldırması. Özellikle işyerlerinde bu durumla çok karşılaşılıyor işletmelerin hem alan genişlemesi hem de kolonların işyeri ortasında kötü görüntü oluşturmaması için binanın ana taşıyıcı elemanı olan kolonları kestikleri görülmektedir. Bir kolon dahi kesilmesi bütün taşıyıcı sistemi etkilediği için yapıda büyük sorunlara yol açabilmektedir.
- Güçlü kiriş zayıf kolondan kaynaklanan olumsuzluklar. Bu durum genellikle yapıların alanını geniş tutmak için düşünülmektedir. Kolonların alanlarını küçük tutup kirişleri ise güçlü yapmak yapılarda daha da büyük hasarlara yol açmaktadır. Kiriş yükünün artması, kolonun istenilenden küçük tasarlanması deprem anında yapının yıkılmasına yol açmaktadır.
- Zemin etütlerinin düzgün yapılmaması ve bu etüt sonuçlarına göre temel sistemin tasarlanması. Bütün bina yükünü taşıyan zeminlerin analizlerinin yapılması ve bu analiz sonuçlarına göre temel tipinin belirlenmesi gerekmektedir. Zemin etütlerinin yapılmaması veya yapılan zemin etüt sonuçlarına uygun temel tipinin belirlenmemesi yapıda büyük sorunlar ortaya çıkarabilir.
- Düşey taşıyıcı sistemde kullanılan donatı miktarının az olması. Donatı miktarının az olması binanın taşıyıcı sistemini etkilediğinden dolayı olası bir deprem anında yapıda büyük hasarlar ortaya çıkarmaktadır.
- Yeterli miktarda etriye kullanılmaması nedeniyle birleşim noktalarında mafsallaşmaların oluşması. Etriye yetersizliği kolonlarda patlamalar ve hasarlar oluşturabilmektedir.
- Kolon ve kiriş birleşim noktalarında soğuk ders oluşması.

Sonuç olarak deprem bölgesinde bulunan ülkemizin her an deprem olabilecek mantığıyla hareket etmesi ve yapıların buna uygun yapılması gerekmektedir. Olası depremlerde hasar ve kayıpları en aza indirmek için yönetmeliğine uygun yapılar yapılması gerekmektedir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

YAZARLARIN KATKILARI

B.Y.: Kavramsallaştırma, yöntem, yazılım, doğrulama, formel analiz, araştırma, kaynaklar, yazı yazma - orijinal taslak hazırlama.

KAYNAKLAR

- AFAD (Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı). (2023). 06 Şubat 2023 Pazarcık (Kahramanmaraş) Mw 7.7 ve Elbistan (Kahramanmaraş) Mw 7.6 Depremlerine İlişkin Ön Değerlendirme Raporu. İçişleri Bakanlığı, Deprem Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Aktan, S. V, Kırış, N., (2010) Betonarme binalarda perdelerin davranışa etkileri, Eskişehir Osmangazi Ünv. Müh. Mim. Fak. Dergisi, Cilt. XXIII, Sayı. 1, s. 15- 32.
- Akbaş, A., Çalışkan, Özlem. (2023). Deprem etkisinde hasar alan betonarme yapıların düzensizlik türleri yönü ile incelenmesi. 2 nd International Conference on Scientific and Academic Research March 14-16, 2023 sayfa: 228-234
- Bayülke, N., Aşık, M. S., Hürata, A. (1989) Yapıların Deprem Dayanımına Düşük dayanımlı Betonun Etkisi ve Sürgü Temel Eğitim Okulu Örneği, TMMOB İMO 1. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul.
- Beklen, C., Çağatay, İ.H., (2009) Çerçevelerde dolgu duvar modellerinin incelenmesi, Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt: 24 Sayı: 1
- Binici, H., Kaplan, H., Çağatay, İ., (2001). Değişik Faktörlerin Beton Basınç Dayanımına Etkisi, Mühendislik Bilimler Dergisi (Journal of Engineering Science), Cilt: 6, Sayı: 2-3, Sayfa: 203-209.
- Bozdağ, S., Fenkli, M., (2024). Taşıma gücü çok iyi olmayan zeminlere inşa edilen betonarme ve çelik yapıların kıyaslanması. Uluslararası Sürdürülebilir Mühendislik ve Teknoloji Dergisi. Cilt: 8, Sayı: 1, (2024), 64 – 73
- Çatal, H., H. (2019). Deprem nedeniyle binalarda oluşan hasarlar. 3. International Symposium On Innovative Approaches In Scienific Studies. April 19-21 , 2019 Ankara, Türkiye s. 315.
- Çırak, İ.,Feyza. (2011). Betonarme binalarda gözlenen hasarlar, nedenleri ve öneriler. SDU International Technological Science vol. 3. sayfa: 63-67
- Demirci, H.E., Karaman, M. & Bhattacharya, S. (2022). A survey of damage observed in Izmir due to 2020 Samos-Izmir earthquake. Nat Hazards 111, 1051
- Dindar, A., A. Ayar., B. (2021). Çok Katlı Yapılarda Kritik Deprem Doğrultusunun Belirlenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi. Sayfa 489-500.
- Doğangün, A. (2016). Betonarme yapıların hesap ve tasarımı: Deprem yönetmeliği 2007'ye uygun. Birsan yayınevi.
- Durmaz, S. A., Soyaslan, İ., İ. (2023). Zemin sıvılaşmasını denetleyen koşulların ve sıvılaşma nedenli deformasyonların incelenmesi. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. Volume: 14 Issue: 2, 401 – 411.
- Erdik M, Kamer Y, Demircioğlu M, Sesetyan K (2012). 23 October 2011 Van (Turkey) earthquake. Nat Hazards 64, 658–659
- Etminan, E. (2016). Effect of gradation, fines content and silt shape characteristics on static liquefaction of loose sands. (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Genç, F. N. (2007). Türkiye’de Doğal Afetler ve Doğal Afetlerde Risk Yönetimi. Stratejik Araştırmalar Dergisi 9, 201-226.
- Işık, E., Özdemir I. Betonarme Yapılarda Güçlü Kiriş – Zayıf Kolon Durumunun Yapı Performansına Etkisi 1st International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2016), October 26-28, 2016, Adana/Turkey
- İnan, T., Korkmaz, K., and Çağatay, İ. H. (2014). The effect of architectural form on the earthquake behavior of symmetric RC frame systems. Computers and Concrete, 13(2), 271-290. doi:10.12989/cac.2014.13.2.271

- İnel, M., Özmen, H.,B., Çaycı, B.,T. (2013). Simav ve Van depremleri (2021) yapı hasar nedenlerinin değerlendirmesi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi. Volume: 19 Issue: 6, 256 - 265
- Karabulut, M., Kartal, M., Özil, E., ve Ünlü R. (2018). Betonarme binalarda deprem mesafelerinin incelenmesi. Natural & Applied Sciences Journal, Vol. I, No. 1,39-45, 2018 Araştırma Makalesi.
- Kızılkıranat A., Koçak A., Coşar A., Güney D., Selçuk M.E., (2011). “23 Ekim 2011 Van Depremi Ön İnceleme Raporu”, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Kocaman, C., Bayülke, N., Doğan, A., Duran, A. (2011). 19 Mayıs 2011 Simav Depremi ve Yapı Hasarı Raporu. İMO Afet Müdahale Hazırlık Kurulu.
- Mertol, C. Halit.(2023). 6 Şubat 2023 depremlerinde gözlenen betonarme binalardaki sorunların hiyerarşik bir üçgen ile açıklanması. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi ISSN 2146-0574 S. 2727
- Mert, M. (2018). Zeminlerin sıvılaşma potansiyelinin doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerle değerlendirilmesi. (Yüksek Lisans Tezi). Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- N. Çağlar., B. Bayhan., E. Avcı., S. Koca kaplan., S. Özen., E. Yıldırım., ve G. B. Sakcalı, (2023). Kahramanmaraş Depremleri Pazarcık [Mw=7.7] ve Elbistan [Mw=7.6], İnceleme ve Değerlendirme Raporu. Bursa Teknik Üniversitesi Deprem Mühendisliği Uygulama ve Araştırma Merkezi, Bursa, Türkiye, Şubat 2023.
- Soyluk, A., Demircan, B. (2023). Tarihi Yığma Minarelerin Deprem Yüğü Altındaki Davranışlarının 6 Şubat Kahramanmaraş Depremlerinde Hasar Görmüş Cami Örnekleri Üzerinden Mimari Açından İncelenmesi. Mimarlık Bilimleri ve Uygulamaları Dergisi. 8 (Special Issue), 329-354
- Özcebe, G., (1999) “Ülkemizdeki depremlerden sonra gözlenen betonarme yapı hasarları”, İnşaat Mühendisliği XV. Teknik Kongre, Deprem Özel Oturumu konuşmaları, Türkiye Mühendislik Haberleri, 404-1999.6, s. 47-51.
- Özmen, H. B (2005) Hızlı değerlendirme yöntemlerinde kullanılan parametrelerin yapı performansı üzerindeki etkilerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Seed, H.B., Idriss, I.M, and Arango, I., (1983). “Evaluation of liquefaction potential using filed performance data”, Journal of Geotechnical Geoenvironmental Engineering, ASCE, 109(3):458-482.
- Şengezer, B. (1999). 13 Mart 1992 Erzincan Depremi Hasar Analizi ve Türkiye’de Deprem Sorunu. YTÜ. Basın Yayın Merkezi.
- TBDY (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, Türkiye.
- Tezcan, S., Yazıcı, A., Özdemir, Z., ve Erkal A. Zayıf kat yumuşak kat düzensizliği. “Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı” 16-20 Ekim 2007, İstanbul Sixth National Conference on Earthquake Engineering, 16-20 October 2007, Istanbul, Turkey
- Turan, A. F. (2022) Betonarme Kirişlerde Donatı Oranının ve Genişlik/yükseklik Oranının Kiriş Davranışına Etkileri. (Yüksek Lisans Tezi) . Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Ulusoy Ö., Güven S. (2019) Betonarme yüksek yapıların TDY’ ne göre plan düzensizliklerinin örnek yapılarla gözden geçirilmesi, Ç.Ü. Fen ve Müh. Bil. Dergisi, Cilt: 38- 2, s. 5- 14.
- Ündül, Ö., Gürpınar, O., (2003). Çokal Vadisindeki (Gelibolu) alüvyal zeminlerin sıvılaşma potansiyeli. İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yerbilimleri Dergisi, 16(1): 67-80.
- Üncü, S., Kayakuş, M., Yavru, C. A. ve İbadov, N. (2023). Crack Control in Buildings with a CNN-based Image Processing Measurement System Method. Gazi Journal of Engineering Sciences, doi:10.30855/gmbd.0705S24
- Vatansever, C. ve Şimşek, Y. E. (2021). Taşıyıcı sistemi beton dolgu kompozit kolonlar ve çelik kirişlerden oluşan çok katlı bir binanın tasarımı ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, cilt: 27 Sayı: 3, 264 – 273.
- Web1:<https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2024/02/Kahramanmaraş-ve-Hatay-Depremleri-Yeniden-İmar-ve-Gelisme-Raporu-1.pdf> Erişim tarihi: 15.04.2024
- Web2: <https://www.statikprogramlar.com/perde-duvar-nedir/> Erişim tarihi: 15.05.2024

Kentsel Dönüşüm Uygulamalarının Peyzaj Mimarlığı Çerçevesinde Örnekler Üzerinden Değerlendirilmesi

Yusranur KOCA^{1*}, Hatice Meltem GÜNDOĞDU ANLAĞAN¹, Timuçin KURT¹

¹Kırklareli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Fakültesi, Kırklareli, Türkiye

Geliş: 13.02.2025, Kabul: 22.05.2025, Yayınlanma: 20.06.2025

ÖZ

1950’li yıllardan itibaren Türkiye’de artan göçler ve plansız kentleşme, büyükşehirlerde gecekonduların oluşumuna, altyapı yetersizliklerine ve çevresel sorunlara yol açmış, bu durum yaşam kalitesini olumsuz etkilemiştir. Bu sorunlara çözüm bulmak ve yaşam kalitesini artırmak amacıyla, sürdürülebilir kentleşme hedefleri doğrultusunda kentsel dönüşüm projeleri hayata geçirilmiştir. Ancak, dünya genelinde ve Türkiye’deki kentsel dönüşüm projeleri incelendiğinde, Türkiye’de uygulanan projelerin çoğunda fiziksel dönüşüm kararlarının ön planda olduğu, sürdürülebilirlik kavramının yeterince entegre edilmediği ve yaşam kalitesini artırma hedeflerinin geri planda kaldığı görülmektedir. Peyzaj mimarlığı çerçevesinde değerlendirildiğinde, projelerde yeşil alan yetersizlikleri, sosyal donatı alanlarının sınırlı kapsayıcılığı ve sürdürülebilir tasarım yaklaşımlarının yetersiz uygulanması gibi sorunlar öne çıkmaktadır. Bu durum, kentsel yaşam kalitesini olumsuz etkileyerek çevresel sürdürülebilirliği sağlama ve sosyal ihtiyaçları karşılama noktasında yetersiz kalmıştır.

Araştırmanın amacı, kentsel dönüşüm projelerinde kentlerin sürdürülebilirliği ve yaşam kalitesinin artırılması açısından peyzaj mimarlığının önemini vurgulamak ve kentsel dönüşüm uygulamaları kapsamında hazırlanan planlama ve tasarım çalışmalarında, peyzaj varlığının değerlendirmesine ilişkin kriterlerin yer alması gerekliliğini ortaya koymaktır.

Araştırma kapsamında, kentsel dönüşüm ve peyzaj mimarlığı kavramları, sürdürülebilirlik ile ilişkilendirilerek ele alınmış, peyzaj mimarlığı yetkinliği ve peyzaj varlığının kentsel dönüşüm projelerindeki önemi incelenmiştir. Dünya ve Türkiye’deki kentsel dönüşüm projeleri, planlama ve tasarım yaklaşımları açısından değerlendirilmiş peyzaj değerlerinin bu süreçlere katkı sağlama potansiyeli incelenmiştir. Bu doğrultuda belirlenen eksiklikler temel alınarak bir değerlendirme sistemi geliştirilmiş ve İstanbul’daki Kirazlıtepe ve Locamahal Kentsel Dönüşüm Projeleri üzerinde uygulanmıştır. Elde edilen bulgular, önerilen değerlendirme sisteminin peyzaj değerlerinin ölçülebilmesine olanak tanıdığını göstermektedir. Ayrıca bu sistemin, mevcut uygulamaların iyileştirilmesine katkı sunacağı ve projelerin kriterler doğrultusunda daha etkili bir şekilde yönlendirilmesine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kentsel Dönüşüm; Peyzaj Mimarlığı; Sürdürülebilirlik; Yaşam Kalitesi.

Evaluation of Urban Transformation Applications Through Examples Within the Framework of Landscape Architecture

ABSTRACT

Since the 1950s, increasing migration and unplanned urbanization in Turkey have led to slum formation, infrastructure deficiencies, and environmental problems in major cities, negatively impacting the quality of life. To address these issues, urban regeneration projects have been implemented in line with sustainable urbanization goals. However, when analyzing urban regeneration projects globally and in Turkey, it is

evident that most projects in Turkey prioritize physical transformation, fail to integrate sustainability effectively, and overlook the goal of improving quality of life. From a landscape architecture perspective, issues such as insufficient green spaces, limited inclusivity of social facilities, and inadequate sustainable design approaches emerge. These shortcomings negatively affect urban life quality, failing to ensure environmental sustainability and meet social needs.

This research aims to emphasize the role of landscape architecture in improving urban sustainability and quality of life in regeneration projects, highlighting the necessity of incorporating landscape assessment criteria in planning and design processes.

The study examines urban regeneration and landscape architecture in relation to sustainability, evaluating the importance of landscape assets in these projects. Urban regeneration projects worldwide and in Turkey are analyzed from a planning and design perspective, exploring the contribution of landscape values. Based on identified deficiencies, an evaluation system was developed and applied to the Kirazlıtepe and Locamahal Urban Regeneration Projects in Istanbul. The findings show that the proposed system effectively measures landscape values. Additionally, this system is expected to enhance existing practices and guide projects more effectively according to established criteria.

Keywords: Urban Transformation; Landscape Architecture; Sustainability; Quality of Life.

1. GİRİŞ

Kentsel dönüşüm, şehirlerin yapısal, sosyal, ekonomik ve çevresel sorunlarını çözmeyi amaçlayan planlı ve kapsamlı müdahaleler bütünüdür. Bu süreç, yalnızca fiziksel yenileme değil, aynı zamanda sürdürülebilirlik, yaşam kalitesi ve toplumsal dengeyi de hedeflemektedir. Türkiye’de 1950’lerden itibaren artan göç ve hızlı nüfus artışı, plansız kentleşmeye ve gecekondu alanlarının yaygınlaşmasına neden olmuş, bu da altyapı eksiklikleri, çevresel sorunlar ve düşük yaşam kalitesi gibi sonuçlar doğurmuştur. Günümüzde uygulanan kentsel dönüşüm projeleri ise çoğunlukla sosyal ve çevresel değerleri göz ardı eden, niteliksiz yeşil alanlara sahip betonlaşmış yapılarla kent kimliğini zedelemektedir. Bu noktada, kentlerin yaşanabilirliğini artırmakta ve dönüşüm projelerinin sürdürülebilirliğini sağlamakta peyzaj mimarlığı önemli bir rol üstlenmektedir. Peyzaj mimarlığı, yalnızca yeşil alan düzenlemeleri ile sınırlı kalmamakta; ekolojik sürdürülebilirlik, estetik uyum, sosyal etkileşim alanları ve kamusal mekân kalitesini odağına alan çok yönlü bir disiplin olarak kentsel dönüşüm süreçlerine entegre edilmesi gereken temel aktörlerden biri olarak öne çıkmaktadır. Doğal ve kültürel peyzaj varlıklarının korunması, yeşil altyapı sistemlerinin güçlendirilmesi ve açık alanların işlevselliğinin artırılması gibi unsurlar, sağlıklı bir kent dokusunun oluşturulmasında belirleyici olmaktadır.

Bu çalışmanın temel amacı, kentsel dönüşüm projelerinde sürdürülebilirlik ve yaşam kalitesinin artırılması açısından peyzaj mimarlığının üstlendiği rolü vurgulamak ve bu projelerde peyzaj varlıklarının değerlendirilmesine yönelik kriterlerin planlama ve tasarım aşamalarında yer almasının gerekliliğini ortaya koymaktır. Bu kapsamda, İstanbul’da uygulanan kentsel dönüşüm projeleri, peyzaj mimarlığı açısından kavramsal ve teorik bir çerçevede ele alınarak irdelenmiştir. Türkiye’nin en yoğun ve hızlı dönüşüm yaşayan metropolü olması açısından araştırma için özgün bir örneklem sunmaktadır. Seçilen bu alanlar, kentsel dönüşüm projelerinin peyzaj mimarlığı çerçevesinde, sürdürülebilirlik ve yaşam kalitesini artırılmasını destekleyen kriterlerin bütüncül bir şekilde ele alınmasının gerekliliğini vurgulamaktadır. Araştırma, mevcut literatüre yeni bir bakış açısı kazandırarak, kentsel dönüşüm ile peyzaj mimarlığı arasındaki ilişkiyi değerlendirme kriterleri çerçevesinde ele almayı ve bu alanda yapılacak projelere kaynak sağlamayı amaçlamaktadır.

2. KENTSEL DÖNÜŞÜM VE PEYZAJ MİMARLIĞI: KAVRAMSAL VE TEORİK ÇERÇEVE

Kentsel Dönüşüm “*Herhangi bir sebep sonucunda kentte meydana gelen çökme veya çökme tehlikesi olan, insan sağlığı açısından tehlike oluşturan, kent halkının temel yaşam kalitesini düşüren ve temel barınma ihtiyacını karşılamayan, kent silüetini bozan yapıların ortadan kaldırılıp, sosyo kültürel yapısı ve doğal*

yaşam alanlarının korunduğu, kent kimliğini kaybetmeden yapıların yenilenip, kentte kazandırılan yeni sağlıklı uygulamalardır” şeklinde tanımlanmaktadır (Taşçı, 2023).

Kentsel dönüşüm, mevcut kentsel alanların yeniden inşa edilmesi süreci olarak tanımlanmaktadır. Bu kavram, belirli alanların farklı sebeplere bağlı olarak yeniden yapılandırılmasını ifade etmektedir. Smith'e göre kentsel dönüşüm, *'kentsel sorunların çözümüne katkı sağlayan ve ekonomik, fiziksel, sosyal ve çevresel koşullarda kalıcı bir iyileşme oluşturmayı amaçlayan kapsamlı ve bütünlük bir vizyon ile eylem süreci'* olarak tanımlanmaktadır (Smith, 2002).

Avrupa Peyzaj Sözleşmesi'nde (The European Landscape Convention), peyzaj *'insan algısına dayanan, karakteri doğal ve/veya insan faktörlerinin hareketleri ve etkileşimleri sonucu oluşmuş bir alan'* olarak tanımlanmaktadır. 'Land' kelimesi, kelime anlamı olarak yer ve orada yaşayan insanı ifade ederken, birçok dilde 'arazi, alan, bölge, görsel resim, görünüm' gibi anlamlarda tanımlanmaktadır. Türk Dil Kurumu'na göre ise peyzaj kelimesi *'kır resmi, bir yerin doğal görünüşü'* olarak kullanılmaktadır (Keskin, 2019).

Türkiye'de 2006 yılına kadar olan süreçte 'Bahçe Mimarı' meslek koduyla meslek tanımlaması yapılırken, 'Peyzaj Mimarı' olarak değişiklik yapılmıştır. *'Bir arazi parçasının daha cazip bir hale getirilmesi için planlar ve projeler yapan, parklar, spor ve eğlence yerleri için planlar hazırlayan kişidir'* şeklinde tanımlanmış meslek tanımı, Türk Meslekler Sözlüğünde *'Doğa ve çevrenin, insanın ihtiyaçlarını en iyi karşılayabilecek biçimde ekonomik, işlevsel, ekolojik ve estetik ölçülere uygun olarak planlanması, düzenlenmesi, korunması, geliştirilmesi ve yönetimi konularında çalışan nitelikli kişidir'* olarak tanımlanmıştır (Demiröz Kıray, 2014).

Kentsel dönüşümün amaçları: 21. yüzyılda artan küreselleşme ile birlikte, kentler arasındaki rekabetin hızla artmasıyla daha da çeşitlenmiştir. Bu süreçte, kent içindeki görüntü kirliliğine müdahale etmek, kent ekonomisine katkı sağlamak, altyapı iyileştirmelerini gerçekleştirmek ve kent tarihini korumak gibi birçok farklı amaç doğrultusunda çeşitli uygulamalar hayata geçirilmiştir. Ancak, geçmişten günümüze uygulanan kentsel dönüşüm projelerinin birçoğu, asıl amaçlarının dışında, eski yapıların yıkılıp yerine yüksek katlı binaların inşa edilmesi ve mevcut binalara yapılan yenileme, güçlendirme çalışmalarıyla sınırlı kalmıştır (Köktürt ve Köktürk 2007).

Kentsel dönüşüm projelerinin başarılı olabilmesi için yalnızca fiziksel yapıyı yenilemek yeterli değildir. Bu süreçte, kentlerin ekolojik, sosyal ve ekonomik boyutlarının bir arada ele alınması gerekmektedir. Aksi takdirde, kentsel dönüşüm uygulamaları, sadece betonlaşmayı artıran bir süreç haline gelebilir ve kentlerin kimliğini, sosyal dokusunu ve doğal çevresini olumsuz etkileyebilir. Bu noktada, peyzaj mimarlığı meslek disiplini kentsel dönüşüm projelerine sürdürülebilir bir bakış açısı kazandırmakta ve yaşam kalitesini artıran, çevreye duyarlı çözümler sunmaktadır. Bu alanda tasarım ilkeleri, yaşam kalitesini artırmayı ve çevreyle uyumlu, fonksiyonel alanlar yaratmayı hedefler. Özellikle ekolojik dengenin korunması, biyolojik

çeşitliliğin desteklenmesi, enerji verimliliği, su yönetimi ve ulaşılabilirlik gibi ilkelerle öne çıkmaktadır. Peyzaj mimarlığının sunduğu çözümler şu şekilde sıralanabilir:

- Yumuşak altyapı elemanları ve yeşil alanları ön plana çıkararak çevre dostu projeler oluşturur.
- Alanın sadece estetik kaygılarla değil, aynı zamanda ergonomik ve işlevsel kavramlarla ele alınarak, projeye bütüncül bir bakış açısı kazandırır.
- Dönüşüm alanı ile çevresi arasındaki bağlantı, bütüncül bir perspektifle düşünülerek, alanın entegrasyonu sağlar.
- Yaşam kalitesini yükseltecek, alanlar tasarlar.
- Toplum ve kent kimliğini yansıtan projeler geliştirerek, bölgenin kültürel dokusunu güçlendirir.
- Çeşitli toplumsal ihtiyaçlara yönelik fonksiyonlar belirler ve sosyal dengeyi gözetken kararlar alır.
- İşlevsel ve erişilebilir yeşil alanlar tasarlar.
- Bitkisel tasarım kararları kapsamında kent iklimini iyileştiren, hava kirliliğini azaltan, kent ekolojisine katkı sağlayan tasarım kararları alır.
- Dört mevsimi göz önünde bulundurarak, iklim özelliklerine ve çevre koşullarına uygun bitki seçimleri yaparlar. Estetik değeri yüksek, çevreyle uyumlu, dayanıklı ve fonksiyonel bitki gruplarını belirleyerek bitkisel bir kompozisyon oluşturur (Öz, 2009).

2.1. Dünyada Kentsel Dönüşüm Gelişim Süreci ve Proje Örnekleri

Kentsel dönüşüm, dünyada sanayi devrimi sonrası hızlanan kentleşme süreciyle birlikte gündeme gelmiştir. Dünyada değişen dönüşüm süreci, finansal olarak sanayi devrimi sonrasında, 2. Dünya Savaşı sonrasında, 1960-1980 dönemi ve 2000 sonrasında olmak üzere dört ana başlık altında incelenmektedir. Sanayi devrimi sonrasında kentlerde sağlıklı yaşam alanları oluşturma amacıyla kamusal alanlarda dönüşüm çalışmaları başlamış ve ilk uygulamalar 1850-1860 yıllarında Fransa'da Haussmann tarafından Paris'te gerçekleştirilmiştir. Bu dönemde, yeşil ilişkilere yönelik projeler, örneğin 1844'te Liverpool'daki Birkenhead Parkı, 1845'te Londra'daki Victoria Parkı ve 1863'te New York'taki Central Park, sağlıklı kent yaşamı hedefiyle hayata geçirilmiştir (Cesur, 2017). 2. Dünya Savaşı'ndan sonra, dönemdeki savaş yaratan yıkımları onarmak amacıyla projeler ivme kazandı ve 1950'li yıllarda "Buldozer Dönemi" olarak sunulan, ayrılan, tamamen yıkılarak yeniden inşa edilen bir süreç başladı (Torun, 2022). 1960-1980 yılları arasında Avrupa'daki planlama yönetim uygulamaları, sosyal ve sağlıklı yaşam alanları oluşturma bütçesini taşıırken, 1990'lı yıllarda sürdürülebilirlik ilkeleri ön plana çıkmış, büyüme, sosyal ve ekonomik dengeyi sağlamayı amaçlayan yeni kent programları geliştirilmektedir. 2000'den sonraki dönemde ise gelişme, büyümenin sürdürülebilirliği, sosyal uyum ve ekonomik gelişme hedefi, daha gelişmiş ve kapsamlı bir yapıya kavuşmuş; bu dönemdeki yeşil binalar, enerji verimliliği, değişikliği enerji kullanımı ve atık yönetimi gibi unsurlar öne çıkmıştır (Çakır, 2023).

Peyzaj mimarlığının kentsel dönüşüm projelerindeki rolü, özellikle 20. yüzyılın ortalarından itibaren giderek daha fazla önem kazanmaya başlamıştır. Bunun başlıca sebepleri arasında, kentlerin hızla büyümesi, sanayileşmenin etkisi, çevresel sorunların artışı ve yeşil alanların azalması yer almaktadır. 1950'lerden sonra modern şehir planlaması ve kentsel tasarım daha fazla entegre olmaya başladı ve peyzaj mimarları bu süreçte çevresel sürdürülebilirlik ve estetik değerler dahilinde ön plana çıktılar. 1960'lı yıllarda çevre bilincinin artması, peyzaj mimarlarının kentsel alanlardaki ekolojik dengeyi gözeterek tasarım yapmalarını önemli kılmıştır. Bu dönemde, kentsel dönüşüm projelerinde açık alanların, yeşil alanların ve sosyal yaşam alanlarının yeniden tasarlanmasına yönelik çalışmalar öne çıkmıştır. Peyzaj mimarlığı, sadece estetik değil, aynı zamanda fonksiyonel ve çevresel açıdan da sürdürülebilir çözümler sunarak şehirlerin yeniden şekillendirilmesine katkı sağlamıştır. Günümüzde ise, peyzaj mimarlığı kentsel yeşil alan tasarımlarında, ekolojik tasarımın uygulanmaları ve yaşam kalitesinin yükseltilmesi açısından aktif bir rol üstlenmektedir.

Dünyada uygulanan kentsel dönüşüm projeleri arasında Cheonggyecheon Nehri Projesi (Güney Kore-Seul), City of Tomorrow (İsveç-Malmö), Aylesbury Estate (İngiltere-Londra) ve Fukasawa Symbiotic Konut Kompleksi (Japonya-Tokyo) gibi örnekler, çevresel sürdürülebilirlik, sosyal etkileşim ve ekonomik gelişim açısından başarılı uygulamalar olarak araştırma kapsamında incelenmektedir.

Cheonggyecheon Nehri Projesi, kentsel dönüşüm uygulamalarının peyzaj mimarlığı çerçevesinde değerlendirilmesine önemli bir örnek teşkil etmektedir. Seul'da yoğun bir karayolu altyapısının doğal bir dere ekosistemine dönüştürülmesi amacıyla gerçekleştirilen bu proje, 1960'lı yıllarda sanayileşme süreciyle betonla kapatılan ve üzerine otoyol inşa edilen Cheong Gye Cheon Deresi'nin, çevresel ve yapısal sorunlar nedeniyle 2002 yılında restorasyon sürecine alınmasıyla başlamıştır. Proje sürecinde su temini, köprü yapımı, peyzaj düzenlemeleri ve altyapı iyileştirmeleri gerçekleştirilmekte, tamamlandığında ise ekolojik denge sağlanarak bölgenin doğal ve sosyal bir cazibe merkezi haline gelmesi hedeflenmektedir. Ekolojik ve peyzaj açısından, dere yatağı doğal taşlarla güçlendirilmiş, su kalitesini artırmak için filtreleme sistemleri ve biyolojik arıtma yöntemleri uygulanmıştır. Yerel bitki türleriyle doğal bir habitat oluşturularak biyolojik çeşitliliğin desteklenmesi sağlanmış, sucul yaşam yeniden canlandırılmıştır. Ayrıca, yayalaştırılmış yürüyüş yolları, köprüler ve rekreasyon alanları tasarlanarak kamusal alanlar güçlendirilmiş, böylece hem ekolojik hem de sosyal sürdürülebilirlik sağlanmıştır (Shin ve Lee, 2006).

City of Tomorrow İsveç'in Malmö kentinde gerçekleştirilen kentsel dönüşüm projesi, endüstriyel bir alanın sürdürülebilir ve yaşanabilir bir kentsel bölgeye dönüştürülmesi sürecinde geliştirilen planlama stratejileri, ekolojik yaklaşımlar ve sosyal etkileşim odaklı tasarım kararları ele alınmaktadır. Projede, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, yüzey suyu yönetimi, biyoçeşitliliğin artırılması ve yeşil alan faktörü gibi sürdürülebilirlik kriterleri ön plana çıkmaktadır. Kamusal açık alanların ve yarı özel iç avluların mekânsal organizasyonu, kullanıcı deneyimi ve kentsel ekoloji üzerindeki etkileri incelenmektedir (Austin, 2013).

Londra'nın *Aylesbury Estate* bölgesinde gerçekleştirilen kentsel dönüşüm sürecini peyzaj mimarlığı ve toplumsal sürdürülebilirlik perspektifinden ele almaktadır. Yeniden bir yapılandırma projesi kapsamında yürütülen bu süreç, yalnızca fiziksel mekânın dönüşümünü değil, aynı zamanda sosyal inovasyonu da hedef almıştır. İnsan merkezli tasarım ve katılımcı yöntemler kullanılarak gerçekleştirilen atölye çalışmaları; el sanatları, yemek kültürü ve yerel tarih gibi temalar etrafında şekillenmiş, sakinlerin geçmişle bağ kurarak geleceğe yönelik kolektif bir vizyon geliştirmelerine olanak tanımıştır. Proje, dönüşüm sürecinde topluluk hafızasının korunmasının ve mekânsal planlamanın sosyal dinamiklerle birlikte ele alınmasının önemini vurgulamakta, peyzaj mimarlığı ve kent planlama disiplinleri için örnek teşkil eden bir model sunmaktadır (Triggs, McAndrew, ve Choukeir, 2011).

Japonya'nın Tokyo kentinde gerçekleştirilen *Fukasawa Symbiotic Housing Complex* projesini peyzaj mimarlığı ve kentsel sürdürülebilirlik perspektifinden değerlendirmektedir. Japonya'nın "Çevresel Olarak Simbiyotik Konut" politikası çerçevesinde uygulanan bu proje, enerji verimliliği, biyoçeşitlilik, su yönetimi ve sosyal sürdürülebilirlik gibi unsurları entegre ederek çağdaş kentsel dönüşüm projelerine örnek oluşturmaktadır. Yeşil çatılar, su geçirgen yüzeyler ve doğal havalandırma sistemleri gibi sürdürülebilir tasarım ilkeleri, konut alanının ekolojik ayak izini azaltırken, yerel bitki örtüsü ve doğal su kaynaklarının korunmasına yönelik uygulamalar ekolojik çeşitliliği artırmaktadır. Projede, katılımcı tasarım anlayışı benimsenmiş ve mevcut mahalle kültürü korunarak, yeni konut düzenlemeleri içinde topluluk bilincinin devam etmesi sağlanmıştır (Iwamura, 2005).

Bu projeler, kentsel dönüşüm ve peyzaj tasarımı alanında sürdürülebilirlik, sosyal etkileşimi destekleme ve çevresel sorunları çözmeye yönelik bütüncül yaklaşımlar sunmaktadır. Her biri, arazi kullanımı ve yeşil alanları yeniden şekillendirerek yaşam kalitesini artırmayı ve doğal ekosistemleri yeniden canlandırmayı hedeflemektedir. Cheonggyecheon Nehri, City of Tomorrow, Aylesbury Estate ve Fukasawa Symbiotic Konut Kompleksi akıllı sistemler, sürdürülebilir malzeme kullanımı ve çevresel sürdürülebilirlik kriterleriyle öne çıkmaktadır. Ayrıca, bu projeler yerel halkın katılımını teşvik ederek ve sosyal entegrasyonu sağlayarak hem doğal hem de sosyal açıdan sağlıklı yaşam alanları oluşturulmasına katkıda bulunmaktadır. Sonuç olarak, dünyadaki bu örnekler, peyzajın sadece doğayla uyumlu değil, aynı zamanda toplumla da uyumlu bir şekilde tasarlanması gerektiğini ve bu tasarımın kentsel dönüşüm projelerinde başarılı sonuçlar elde etmenin gerekliliğini ortaya koymaktadır.

2.2. Türkiye’de Kentsel Dönüşüm Gelişim Süreci ve Proje Örnekleri

Türkiye’de kentsel dönüşüm süreci, ekonomik, sosyal ve politik değişimlerin etkisiyle farklı stratejilerle şekillenmektedir. 1966 öncesi, 1966-1980, 1980-2000 ve 2000 sonrası olmak üzere dört dönemde incelenmiştir. 1966 öncesinde, gecekondü sorununa çözüm bulma amacıyla yapılan kentsel düzenlemelerle başlayan dönüşüm, altyapı iyileştirmeleri ve planlamayla sınırlıydı (Bayram, 2017). 1966-1980 yılları

arasında, gecekondü kanunu ve ekonomik krizlerin etkisiyle yerel projeler ön plana çıkmıştır (Yenice, 2014). 1980-2000 yılları arasında, kentsel dönüşüm daha geniş bir çerçevede, sosyal ve kültürel unsurları içeren bir yaklaşım benimsemiş; koruma projeleri ve toplu konut yasaları uygulamaya konmuştur. 2000 sonrası dönemde ise TOKİ öncülüğünde hız kazanan projelerle birlikte çevre düzenlemeleri ve yeşil alanlar önemli bir yer tutmaya başlamıştır (Ocakçı, Türk ve Terzi, 2017). Bu dönemde çıkarılan 5366 sayılı Yıpranan Tarihi ve Kültürel Taşınmaz Varlıkların Yenilenerek Korunması Kanunu ve 6306 sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun gibi mevzuatlar, kentsel dönüşümün çevresel, estetik ve yapısal yönlerine odaklanarak yaşam kalitesinin artırılmasını hedeflemektedir.

Peyzaj mimarlığının Türkiye’deki kentsel dönüşüm projelerindeki yeri ve önemi, özellikle 2000’li yıllardan itibaren daha belirgin hale gelmiştir. 1980’ler ve 1990’larda, kentsel dönüşüm süreci genellikle yapıların iyileştirilmesi ve fiziksel dönüşümle sınırlıydı. Bu dönemde peyzaj mimarlığının rolü daha çok yeşil alan düzenlemeleri ve çevre düzenlemeleri ile sınırlı tutulmuştur. Ancak, 2000’lerin başlarından itibaren kentsel yaşam kalitesini artırmaya yönelik daha kapsamlı ve sürdürülebilir projelerin artmasıyla peyzaj mimarlığı daha aktif bir olarak projelerde yer almaya başlamıştır. Sonuç olarak, peyzaj mimarlığı, kentsel dönüşüm projelerinde, sürdürülebilir, çevre dostu ve insan odaklı projelerin uygulanması noktasında kritik bir öneme sahiptir.

Türkiye’deki çeşitli kentsel dönüşüm projeleri hem fiziksel hem de sosyal açıdan önemli değişikliklere yol açmıştır. Sulukule Kentsel Dönüşüm Projesi (İstanbul), tarihi ve kültürel mirası koruma amacı güderken, yerel halkın sosyal yapısını yeterince dikkate almayarak soylulaşma sürecine ve düşük gelirli halkın yerinden edilmesine neden olmuştur. Fikirtepe Kentsel Dönüşüm Projesi (İstanbul), bölgedeki düzensiz yapılaşmayı modern ve güvenli alanlarla değiştirmeyi amaçlasa da ekolojik dengeyi koruyamamış ve sosyal yapıyı yeterince koruyamamıştır. Zağnos ve Tabakhane Vadileri Kentsel Dönüşüm Projesi (Trabzon), yeşil alanları artırarak, tarihi dokuyu koruyarak ve ekolojik sürdürülebilirlik sağlayarak başarılı bir dönüşüm gerçekleştirmiştir; ancak yenilenebilir enerji ve akıllı sistemler gibi unsurlar projeye entegre edilmemiştir. Kepez-Santral Kentsel Dönüşüm Projesi (Antalya), akıllı şehir uygulamaları ve sürdürülebilir altyapılarla yaşam kalitesini artırırken, estetik uyum ve kent silüeti açısından eleştiriler almıştır. Bu projeler, kentsel dönüşümün yalnızca fiziksel değil, aynı zamanda sosyal ve ekolojik sürdürülebilirliği de göz önünde bulundurması gerektiğini vurgulamaktadır. Sonuç olarak, Türkiye’deki kentsel dönüşüm uygulamaları, peyzajın fiziksel çevreyi güzelleştirmenin ötesinde, toplumsal yapıyı iyileştirmek, ekolojik sürdürülebilirlik sağlamak ve sosyal uyum oluşturmak için kapsamlı bir şekilde ele alınması gerektiğini göstermektedir.

3. İSTANBUL'DA UYGULANAN KENTSEL DÖNÜŞÜM PROJELERİNE YÖNELİK ARAŞTIRMA

3.1. Yöntem ve Metodoloji

Dünyada ve Türkiye'deki kentsel dönüşüm süreçlerini incelediğimizde, peyzaj mimarlığının kentsel dönüşüm projelerine olan katkısının giderek arttığını görmekteyiz. Özellikle çevresel sürdürülebilirlik, sosyal etkileşim ve yaşam kalitesini artırma hedefleri doğrultusunda, peyzaj tasarımı, sadece estetik değil, aynı zamanda ekolojik ve sosyal açıdan da önemli bir rol oynamaktadır.

Araştırma kapsamında, 2019 yılında hazırlanan Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı *Kentsel Dönüşüm Projeleri Tasarım Kriterleri* ile 2017 yılında hazırlanan Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, İstanbul Teknik Üniversitesi iş birliği ile oluşturulan '*Kentsel Dönüşüm Uygulamalarında Planlama İlke ve Kriterleri*' konut alanlarının kentsel dönüşümüne yönelik ilke ve kriterler temel alınmıştır. Bu kriterler, kentsel dönüşüm projelerinin sürdürülebilir, estetik, fonksiyonellik ve çevresel etkiler açısından rehberler niteliği taşımaktadır. Araştırma kapsamında geliştirilen kentsel dönüşüm projeleri değerlendirme kriterleri, özgün, bütüncül ve peyzaj değerini göz önünde bulunduran bir sistem önerisi sunmaktadır. Peyzaj değerinin kentsel dönüşüm projelerine katkısını vurgulamak amacıyla belirlenen kriterler; kentsel kimlik, arazi kullanımı, erişilebilirlik, başedebilirlik, akıllı uygulamalar, yönetim bakım ve kontrol, sosyal yapı, yaşanılabilirlik ve sürdürülebilirlik olarak tanımlanmıştır.

Kentsel dönüşüm projelerinin değerlendirme kriterleri, peyzaj değerlerinin ölçülmesine olanak tanıyan sistematik bir sürece dayanmaktadır. Bu süreç, temel ve alt kriterlerin belirlenmesiyle detaylandırılmış ve bu unsurlar, kentsel kimlik, arazi kullanımı, erişilebilirlik, başedebilirlik, akıllı uygulamalar, yönetim, bakım ve kontrol, sosyal yapı ve yaşanılabilirlik, sürdürülebilirlik gibi temel başlıklar altında toplanarak kriter tablosu oluşturulmuştur. Bu bağlamda, İstanbul'daki Kirazlıtepe ve Zeytinburnu Locamahal Kentsel Dönüşüm Projeleri örnekleri üzerinden yapılan analizler, peyzajın sadece estetik olarak algılanmanın ötesinde, kullanıcıların sosyal yapısını güçlendiren, ekolojik dengeye katkı sağlayan ve sürdürülebilir yaşam alanları oluşturan önemli bir disiplin olduğunu ortaya koymaktadır.

Elde edilen bulgular doğrultusunda, sürdürülebilir kentsel dönüşüm projelerinde peyzajın çok boyutlu bir şekilde ele alınması gerekliliği öne çıkmaktadır. Kentsel kimliği destekleyen peyzaj düzenlemelerinin, yerel halkın mekâna aidiyetini artırdığı, sosyal ilişkileri güçlendirdiği ve kullanıcıların açık alanları etkin bir şekilde kullanmasına katkı sağladığı görülmektedir. Erişilebilirlik açısından değerlendirildiğinde, kapsayıcı ve engelli dostu tasarımların benimsenmesi, kamusal alanların herkes tarafından rahatça kullanılabilmesini sağlamaktadır. Sosyal yapı üzerinde yapılan değerlendirmeler, yeşil alanlar ve ortak kullanım alanlarının sosyal etkileşimi artırarak toplumsal dayanışmayı güçlendirdiğini göstermektedir. Yaşanılabilirlik kriteri çerçevesinde ise, doğal peyzaj unsurlarının korunması, iklim koşullarına uyumlu tasarımlar geliştirilmesi

ve kullanıcı ihtiyaçlarına duyarlı mekanlar oluşturulması, projelerin sürdürülebilirliğini desteklemektedir. Peyzaj düzenlemelerinin, yerel halkın ihtiyaçları ve beklentileri doğrultusunda şekillendirilmesi, mekânsal sürekliliğin sağlanması, erişilebilirliğin artırılması ve kamusal alanların daha işlevsel hale getirilmesi, kentsel dönüşüm süreçlerinde peyzajın etkin bir şekilde kullanılmasını sağlamaktadır. Bu yaklaşım, sürdürülebilir, kimlik sahibi ve yaşanılabilir kentlerin oluşturulmasına önemli katkılar sunmaktadır.

Kurgulanan modelin literatür taramaları sonucunda, benzer bir modelin yerli ve yabancı kaynaklarda bulunmadığı tespit edilmiştir. Özellikle, kentsel kimlik, arazi kullanımı, erişilebilirlik, başedebilirlik, akıllı uygulamalar, yönetim, bakım ve kontrol, sosyal yapı ve yaşanılabilirlik, sürdürülebilirlik gibi temel kriterlerin bir arada ele alındığı ve peyzaj değerlerinin ölçülebilmesi için sistematik bir değerlendirme sürecine dayanan bir model literatürde yer almamaktadır. Bu durum, geliştirdiğim modelin özgünlüğünü ve literatüre katkısını ortaya koymaktadır.

Araştırmanın materyalini, kentsel dönüşüm projeleriyle ilgili akademik yayınlar, ilgili yasa ve yönetmelikler, belediye raporları ve diğer dokümanlar oluşturmaktadır. Ayrıca, çalışma kapsamında incelenen kentsel dönüşüm projelerine ilişkin saha verileri ve görsel materyaller de değerlendirilmiştir. Araştırma yöntemi ise, yerinde inceleme, gözlem, literatür taraması ve ilgili kurumlardan veri temini gibi çeşitli veri toplama yöntemlerini içermektedir.

3.2. Kullanılan değerlendirme kriterleri

Kentsel dönüşüm projeleri değerlendirme kriterleri, peyzaj değerlerinin ölçülebilmesi için oluşturulan sistematik bir değerlendirme sürecine dayanmaktadır. Bu süreç, temel ve alt kriterlerin belirlenmesiyle detaylandırılmış ve bir kriter tablosu oluşturulmaktadır. Tablo; kentsel kimlik, arazi kullanımı, erişilebilirlik, başedebilirlik, akıllı uygulamalar, yönetim, bakım ve kontrol, sosyal yapı ve yaşanılabilirlik, sürdürülebilirlik gibi temel başlıklar altında, değerlendirme içeriği ve ölçütleri ile oluşturulmaktadır. Mahalle ölçeği ve konut alanı ölçeğinde yapılan analizler, proje üzerinden yapılacak değerlendirmeleri netleştirmiş ve gözlemler için yönlendirme sağlamıştır. Değerlendirme ölçütleri, ‘var-yok’ ve ‘yeterli-yeterli değil’ gibi nitel ölçütlerle ifade edilerek sistematik bir değerlendirme süreci sunmaktadır. Peyzaj faktörü, her bir unsurla etkileşim içinde ele alınmakta ve bu etkileşimler, sürdürülebilir kentsel dönüşüm projelerinde izlenmesi gereken yolu belirlemek adına önemli veriler sağlamaktadır.

Kentsel kimlik, bir bölgenin karakterini oluşturan en önemli unsurlardan biridir. Kimlik oluşumunu etkileyen faktörler, bu çalışmanın değerlendirme içeriği olarak belirlenmiş ve bu doğrultuda bölgeye ilişkin detaylı analizler yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, kent kimliği ve peyzaj düzenlemeleri birbiriyle ilişkili olarak değerlendirilmiştir. Kentsel dönüşüm süreçlerinde, doğru adımların atılması ve bölge için tanımlanan kimliğin korunması, peyzaj tasarım kararlarında etkili ve gereklidir. Arazi topografyası hem

yapısal hem de bitkisel tasarım kararlarını doğrudan etkileyen önemli bir faktördür. Doğal bitki örtüsünün türü, toprak yapısı ve su kaynakları, peyzaj projelerinin hangi bitkilerle şekilleneceğini belirleyen temel unsurlardır. Ayrıca, bölgenin jeolojik yapısı ve toprak özellikleri, potansiyel afet riskleri açısından göz önünde bulundurulması gereken kritik faktörlerdir. Bu unsurların dikkate alınması, projelerin sürdürülebilirliği ve çevresel uyumu açısından büyük önem taşır. Demografik yapı, bölgedeki ihtiyaçlar doğrultusunda alan kullanımlarına dair fonksiyonları belirleyecektir. Bu fonksiyonların yaş gruplarına göre ayrımı, örneğin çocuklar için oyun alanları, gençler için spor alanları, yaşlılar için dinlenme alanları oluşturulması, güvenli ve etkileşim potansiyeli yüksek mekanların tasarlanmasında belirleyici olacaktır. Sosyo-ekonomik durum ve sosyo-kültürel yapı, bölge halkı için sosyal etkileşim alanları yaratırken, aidiyet hissini güçlendiren tasarım kararlarının alınmasını sağlayacaktır. Proje kapsamında yeşil alan varlığı, yaşam kalitesini doğrudan etkileyen bir faktör olup, insanların doğayla olumlu yönde etkileşimini sağlayarak çevresel ve sosyal sürdürülebilirliğin temelini oluşturur.

Kentsel imajın belirlenmesinde Kevin Lynch tarafından geliştirilen İmaj Analizi tekniği, mahalle ölçeğinde yapılmış olup, bölgenin nasıl deneyimlendiğini ve nasıl kurgulandığını ortaya koyacaktır. Bu analiz, bölgeye ilişkin alınacak kararlar ve kentsel kimliği güçlendirecek stratejilerin belirlenmesi açısından yol gösterici olacaktır. Kent kimliği, karakter ve imaj üzerinden değerlendirilmiştir. Bu çerçevede, alanın genel coğrafi özellikleri, iklim ve bitki örtüsü, demografik yapı, eğitim durumu, sosyo-ekonomik durumu, sosyo-kültürel özellikleri, yeşil alan varlığı ve mimari özellikleri göz önünde bulundurularak, kent kimliğini oluşturan unsurlar analiz edilmiştir. Arazi kullanımı projelerin başarısı ve sürdürülebilirliği açısından kritik bir öneme sahiptir. Tasarım ve planlama kararlarının alınmasında, alanların verimli bir şekilde kullanımı ancak doğru planlama kararıyla mümkün olacaktır. Kentsel dönüşüm projelerinde farklı fonksiyonların bütünleşmesi mekandaki çeşitliliği artırırken, yeşil alan miktarlarının dikkate alınması sosyal ve çevresel sürdürülebilirlik üzerinde olumlu bir etki sağlayacaktır. Kullanılan kentsel donatı elemanları, atık dönüşüm, malzeme tercihleri, aydınlatma elemanları, oturma birimleri, malzeme seçimleri merdiven ve rampa kullanımları incelenerek değerlendirilmiştir. Alanın hem işlevsel hem de sürdürülebilirliği açısından önemlidir. Atık dönüşümleri, doğa dostu malzeme tercihleri, tasarruflu aydınlatma kullanımı ve standartlara uygun herkes eşit erişilebilir olan tasarımlar kullanıcı ihtiyacını gözetirken yaşanılabilir alanlar oluşturulmasına katkı sağlamaktadır. Ayrıca arazi kullanımı aktivite çeşitliliği ve kentsel donatı elemanları, erişilebilir, estetik, işlevsellik ve malzeme tercihleri açısından değerlendirilmiş ve bu unsurların uyumlu bir şekilde tasarlanması hedeflenmiştir.

Erişilebilirlik, mekanlar arasında ilişki kurarak, projelerde bütüncül bir sistemin temelini oluşturur. Bu bağlamda, yaya, araç ve diğer ulaşım aksları için tasarlanmış iyi bir yol kurgusu, alanlar arası etkileşimi artırırken herkes için erişilebilirliği sağlayan kapsayıcı bir rol üstlenir. Bu açıdan kentsel dönüşüm projelerinde, çevre dostu ulaşım alternatiflerinin entegre edilmesi gereklidir. Bisiklet yolları ve akslarının

kullanımı, merdiven ve rampa çözümlerinin standartlara uygunluğu ile yürünebilirlik durumları değerlendirilmiştir. Sağlık hizmetleri, eğitim kurumları, ticari alanlar, ibadet alanları ve toplu taşıma noktalarına olan mesafelerin erişilebilirlik standartlarına uygunluğu incelenmiştir. Yeşil alanlara, sosyal etkinlik alanlarına ve ticari bölgelere erişim kolaylığı, kullanıcı deneyimini artırmak amacıyla göz önünde bulundurulmuştur. Engelli bireylerin erişimi sağlamak amacıyla sesli yönlendirme sistemleri, görsel erişim için uygun ışıklandırma, dokunsal işaret levhaları ile merdiven, rampa ve yol erişim sürekliliğinin sağlanması değerlendirilmiştir. Bu standartlara uygun yapılan tasarımlar herkes için erişilebilirliği mümkün kılacak ve sürdürülebilirliği destekleyecektir.

Baş edebilirlik, afetlere karşı güvenli toplanma alanlarının parklar ve meydanlar gibi açık alanların peyzaj tasarımına stratejik bir şekilde dahil edilmesi, afet sırasında insanların güvenli bir bölgeye yönlendirilmesi açısından önemlidir. Dolayısıyla proje planlama kararlarında; deprem sonrası ihtiyaç duyulabilecek, su, enerji ve barınma gibi temel gereksinimlerin karşılanabileceği, kaynakların etkin bir şekilde kullanılabilirdiği ve afetlere karşı dirençli bir çevrenin oluşturulmasını destekleyecek alanlar tasarıma entegre edilmelidir. Proje kapsamında; güvenli alan olarak belirlenmesi gereken toplanma alanları, yeşil altyapı çözümleri ve bitki tür seçimlerinin erozyon ve yangına dayanıklılığı üzerinden değerlendirilmiştir. Bu unsurlar, afetlere karşı daha dayanıklı, sürdürülebilir ve güvenli yaşam alanlarının oluşturulmasına katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

Akıllı uygulamalar kentsel dönüşüm projelerinin temel unsurları arasında akıllı çevre, akıllı ulaşım, akıllı enerji çözümleri ve sürdürülebilir peyzaj tasarımları yer almaktadır. İnsan yaşamını kolaylaştıran bu uygulamalar, çevresel sürdürülebilirliğe önemli katkılar sağlamaktadır. Akıllı atık yönetimi, yağmur suyu depolama sistemleri ve akıllı sulama gibi çözümler, enerji ve su verimliliğini desteklemektedir. Yeşil binalar, yeşil çatılar ve yenilenebilir enerji sistemleri, kentsel dönüşüm projelerinin daha yenilikçi ve sürdürülebilir hale gelmesini sağlamaktadır. Bu bağlamda, proje kapsamında akıllı atık toplama sistemleri, atık su yönetimi, akıllı sulama ve yağmur suyu yönetimi sistemleri; akıllı sayaçlar, dikey bahçeler, otopark yönetimi ve akıllı durak sistemleri ile yeşil binalar, yeşil çatılar, yeşil altyapı çözümleri ve yenilenebilir enerji sistemleri detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir. Bu unsurlar, kentsel dönüşüm projelerinde çevresel sürdürülebilirliği artırmayı ve yaşam kalitesini yükseltmeyi hedeflemektedir.

Yönetişim bakım ve kontrol kentsel dönüşüm projelerinde paydaş katılımları ve halkın katılımı, proje başarısını etkileyen faktörlerdendir. Proje sürecinde, paydaşlar ve halkın katılımı değerlendirilmiştir. Güvenlik açısından, kullanılan kentsel donatı elemanlarının standartlara uygunluğu, kamera sistemlerinin entegrasyonu, uzaktan erişim ve kontrol sistemleri, yangın algılama sistemlerinin etkinliği gibi unsurlar, proje kararlarında dikkate alınan önemli bileşenlerdendir. Ayrıca, ilgili yönetimler tarafından yürütülen bakım çalışmaları ve yönetim hizmetleri, alanın sağlıklı bir şekilde sürdürülebilirliğini sağlamak açısından

kritik bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda, projenin uzun vadeli sürdürülebilirliğini destekleyecek bakım çalışmaları ve peyzaj mimarlığı varlığı değerlendirilmiştir.

Sosyal yapı ve yaşanılabilirlik kriteri, toplumun değişen ihtiyaçlarına yönelik taleplerini dikkate alarak, dönüşümün sadece fiziksel değil, sosyal yaşamın da sürece dahil edilmesi gerektiğini vurgulamak amacıyla belirlenmiştir. Bu bağlamda, dönüşüm sürecinde kimlik yapısı, alan kullanımları, erişilebilirlik ve başedebilirlik kriterlerinin bir araya gelerek oluşturduğu bütüncül bir yaklaşım benimsenmiştir. Yaşam kalitesini artırmaya yönelik kararlar, kentsel kimlik analizi, fonksiyon tercihleri, erişilebilirlik, yeşil alan kullanım standartları, afet çözüm politikaları gibi unsurlarla desteklenmiştir. Tüm kullanıcı grupları için işlevsel alanların oluşturulması, bu kriterlerin bir bütün olarak uygulanmasıyla sağlanacak ve kentsel yaşamın kalitesini artıracaktır.

Sürdürülebilirlik Kentsel dönüşüm süreçlerinin hızlı gelişimi, sosyal, çevresel ve ekonomik bozulmalara yol açmaktadır. Bu olumsuz etkileri en aza indirmek için sürdürülebilir çözümler geliştirilmesi önemlidir. Kaynakların korunması, ekolojik kararlar, enerji verimliliği, suyun etkin kullanımı, atık yönetimi, geri dönüştürülebilir malzeme kullanımı ve akıllı sistemlerin entegrasyonu gibi unsurlar çerçevesinde projeler değerlendirilecektir. Kapsayıcı bir sürdürülebilirlik yaklaşımını destekleyen, akıllı uygulamalar, yönetim, bakım ve kontrol mekanizmalarının projelere dahil edilmesi, kentsel dönüşüm süreçlerinin sürdürülebilirliği artırarak projelere yenilikçi katkılar sağlayacaktır.

İstanbul'un Kirazlıtepe ve Locamahal bölgeleri, inceleme alanı olarak seçilmiştir. 1. derece deprem bölgesinde yer alan bu çalışma alanları, geçmişte yoğun gecekondan alanlarının bulunması ve özellikle Zeytinburnu ilçe genelinde hızlı bir dönüşüm sürecinin yaşanması nedeniyle, bölgelerdeki değişimi anlamak adına bir fırsat olarak değerlendirilmiştir. İstanbul'un Kirazlıtepe ve Locamahal bölgeleri, inceleme alanı olarak seçilmiştir. 1. derece deprem bölgesinde yer alan bu çalışma alanları, geçmişte yoğun gecekondan alanlarının bulunması ve özellikle Zeytinburnu ilçe genelinde hızlı bir dönüşüm sürecinin yaşanması nedeniyle bölgelerdeki değişimi anlamak adına önemli bir fırsat sunmaktadır. Ayrıca, iki bölgenin alan kullanımı ve mekânsal organizasyon açısından sergilediği farklılıklar, dönüşüm projelerinin karşılaştırmalı olarak analiz edilmesine olanak tanımaktadır. Üsküdar Kirazlıtepe Kentsel Dönüşüm Projesi ve Zeytinburnu Locamahal Kentsel Dönüşüm Projesi, belirlenen kentsel dönüşüm projeleri değerlendirme kriterleri üzerinden kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Bu inceleme süresince, her iki proje, kentsel kimlik, arazi kullanımı, erişilebilirlik, başedebilirlik, akıllı uygulamalar, yönetim bakım ve kontrol, sosyal yapı ve yaşanılabilirlik ve sürdürülebilirlik temel başlıkları altında değerlendirilmiş ve başlıkları destekleyen alt başlıklarla somut bir biçimde analiz edilmiştir. Yapılan analiz sonuçlarının kullanılan değerlendirme ölçütlerine göre standartlara uygunluğu, 3194 sayılı İmar Kanunu, Mekânsal Planlar Yapım Yönetmeliği ve Türk Standardı Enstitüsü 12576 kapsamında değerlendirilmiştir.

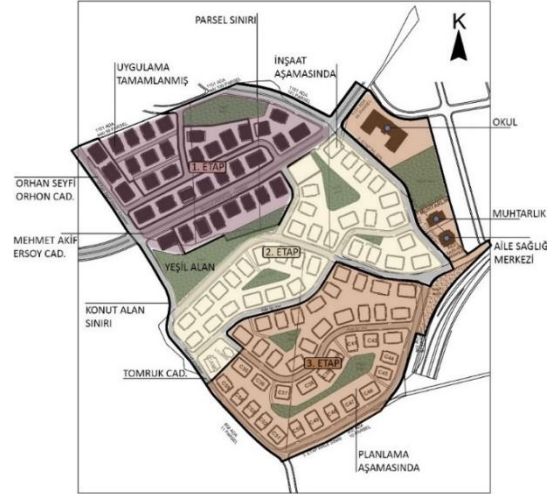
3.3. Üsküdar Kirazlıtepe Kentsel Dönüşüm Projesi

İncelenen kentsel dönüşüm proje alanı İstanbul'un Üsküdar İlçesi'nde, Kirazlıtepe Mehmet Akif Ersoy, Küplüce ve Ferah mahallesi sınırları içinde yer almaktadır. Kuzeyinde Çengelköy Mahallesi, kuzeydoğusunda Güzeltepe Mahallesi, güneyinde Küplüce Mahallesi, güneydoğusunda Ferah Mahallesi, batısında Beylerbeyi Mahallesi, doğusunda Mehmet Akif Ersoy mahallelisi bulunmaktadır (Yontan, 2021).



Şekil 1: Proje alanı konumu (Google Earth, 2024)

Üsküdar Kirazlıtepe Kentsel Dönüşüm Projesi, 2020 yılının sonunda tamamlanması planlanan proje, Covid-19 pandemisinden kaynaklı gecikmeler nedeniyle 1. Etap, 2021 yılı ağustos ayında mülk sahiplerine teslim edilmiştir. Projenin 2. Etabı ise 2024 yılı aralık ayında tamamlanmış olup, 3. Etap çalışmalarına devam edilmektedir. Toplamda 180.000 m²'lik alana sahip proje, 1. etapta 29.908 m² konut alanı ve 7.232 m² yeşil alan sunmaktadır. Proje, Üsküdar Belediyesi, Toplu Konut İdaresi Başkanlığı, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı ile yerel halkın katkılarıyla yürütülmektedir. 3 etaplık projede, 2+1 ve 3+1 tipi toplam 504 konut yer almakta ve 143 bloktan oluşmaktadır. Kentsel dönüşüm sürecinde 566 bina ve 1.595 bağımsız birim yer değiştirilmiştir. Proje, sağlıklılaştırma, yeniden geliştirme ve temizleme gibi dönüşüm türlerini içermektedir. Toplam maliyeti 440 milyon TL olarak belirlenen projede, 147 ticari birim, bir cami, iki lojman, 2500 kapalı otopark, bir eğitim binası, bir sağlık ocağı ve bir sosyal tesis binası da yer almaktadır. Proje, 6306 sayılı Kentsel Dönüşüm Kanunu ve diğer ilgili yasalar çerçevesinde hayata geçirilmektedir.



Şekil 2: Alan etap sınırları (Yazar tarafından hazırlanmıştır)

Kirazlıtepe Kentsel Dönüşüm Projesi, alanın topoğrafyadaki eğim zorluklarına rağmen, tasarım kararları açısından uyumlu ve kademeli çözümlerle ele alınmıştır. Dönüşüm öncesinde, kötü yaşam koşulları, gecekonduların yoğunluğu ve altyapı sorunlarıyla tanımlanan bölge, dönüşüm sonrasında altyapı düzenlemeleri, sokak yenileme çalışmaları ve güvenli yapıların inşasıyla fiziksel olarak modern bir görünüme kavuşmuştur. Ancak, dönüşüm sonrası yoğun beton yapılaşmaların hâkim olduğu yeni doku, bölgenin geleneksel mahalle kimliğini kaybetmesine neden olmuş, bu durum fiziksel ve sosyal uyum açısından uyumsuz olarak değerlendirilmiştir. Proje kapsamında sosyal donatı alanları, ticari yapılar, eğitim kurumları, sağlık tesisleri ve yeşil alanlar bütüncül olarak ele alınmış olsa da fonksiyonlara erişilebilirlik açısından bazı noktalar standartlara uygunluk açısından yetersiz kalmıştır. Peyzaj tasarımında iklime uygun tür seçimleri yapılmış olmakla birlikte, bitki çeşitliliği ve sayısı yetersiz olarak değerlendirilmiş, sert ve yumuşak zeminler arasındaki dengenin gözetilmemesi ise niteliksiz yeşil alan boşluklarının oluşmasına neden olmuştur. Bahçe sulama sisteminde yağmurlama sulama yönteminin tercih edilmesi olumlu bir adım olarak değerlendirilirken, enerji verimliliği, atık yönetimi, akıllı teknolojiler ve yeşil uygulamalar gibi yenilikçi çözümlerin projeye dahil edilmemesi çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli bir eksiklik olarak öne çıkmıştır. Yeşil alanların sınırlılığı ve sosyal alanların yeterince etkin kullanılamaması, kullanıcıların sosyal etkileşim ve rekreatif ihtiyaçlarını karşılamakta yetersiz kalmıştır. Sonuç olarak, Kirazlıtepe Kentsel Dönüşüm Projesi, fiziksel dönüşüm hedeflerini büyük ölçüde karşılasa da sosyal ve çevresel sürdürülebilirlik boyutlarında iyileştirilmesi gereken birçok noktayı barındırmaktadır.

3.4. Zeytinburnu Locamahal Kentsel Dönüşüm Projesi

Çalışma alanı İstanbul'un Zeytinburnu İlçesi Sümer Mahalle sınırı içinde yer almaktadır. Kazlıçeşme, Veliefendi, Yeşiltepe ve Nuripaşa mahallerine sınırları olan, Prof. Dr. Turan Güneş Caddesi, 215 Sokak ve

Şehit Er Davut Baş Sokak hatları üzerinde bulunan bir konumda yer almaktadır. Konumu itibarıyla sahile, Veliefendi Hipodromu'na ve Çırpıcı Millet Bahçesi'ne yürüme mesafesindedir. (Google Earth, 2023) E-5 Otoyolu'na olan yakınlığı, Marmaray ve Avrasya Tüneli gibi önemli ulaşım hatlarına olan yürüme mesafesi, otobüs, metrobüs, minibüs gibi diğer ulaşım alternatiflerinin büyük bir avantaj sağlamaktadır.



Şekil 3: Proje alanı konumu (Google Earth, 2024)

Zeytinburnu Locamahal Kentsel Dönüşüm Projesi, 2017 ile 2021 yılları arasında tamamlanmıştır. Proje alanı toplamda 233.000 m² inşaat alanına sahip olup, 36.000 m²'lik bir arsa üzerine inşa edilmiştir. Bu alanın 10.000 m²'si peyzaj alanı olarak ayrılmıştır. Proje, Zeytinburnu Belediyesi, KİPTAŞ A.Ş. ve yerel halkın iş birliğiyle gerçekleştirilmiştir. 20 blok konut ve ticari alanlardan oluşan proje, 3 etap halinde tamamlanmıştır. Konut tipleri 2+1, 3+1 ve 4+1 olarak planlanmış olup, kentsel dönüşüm türleri arasında sağlıklılaştırma, yeniden geliştirme ve temizleme yer almaktadır. Projenin toplam maliyeti 450.000.000 TL olarak belirlenmiş, ayrıca 1 adet ticari merkez (6 adet dükkân), 71 adet dükkân ve sosyal tesis imkanları da projeye dahil edilmiştir. Proje kapsamında, 650 metre uzunluğunda yürüyüş ve bisiklet parkuru, yeşil alanlar, kelebek bahçesi, hobi bahçeleri, su bahçeleri, süs havuzları, çocuk oyun alanı, basketbol sahası, kapalı otopark, oturma ve dinlenme alanları fonksiyonel olarak tasarlanmıştır. Ek olarak kapalı havuz, fitness salonu, sauna, hamam, pilates, yoga ve buhar odası gibi sosyal tesis imkanları projeye dahil edilmiştir.



Şekil 4: Vaziyet planı (KİPTAŞ A.Ş. Kentsel Dönüşüm Müdürlüğü)

Locamahal Kentsel Dönüşüm Projesi, İstanbul'un merkezi bir noktasında yer alan, çevresel ve sosyal açıdan önemli bir dönüşüm alanı olarak öne çıkmaktadır. Proje alanının toplu taşıma, eğitim ve ticaret merkezlerine yürüme mesafesinde bulunması, erişilebilirlik açısından önemli bir avantaj sağlamaktadır. Dönüşüm öncesinde ise alan, eski ve sağlıklı yapıların varlığıyla birlikte, birinci derece deprem bölgesinde yer alması nedeniyle riskli alan olarak ilan edilmiştir. Bu bağlamda, bölgede sağlıklılaştırma, temizleme ve kentsel yenileme çalışmaları başlatılmıştır. Projenin tamamlanmasının ardından, yeni oluşan doku, güvenli yapılar ve artan yaşam kalitesi açısından olumlu bir gelişme olarak değerlendirilmektedir. Ancak, yüksek katlı binaların kent silüetini bozması, geleneksel mimariden uzaklaşılması ve yerel kimlik kaybı gibi olumsuz etkiler de gözlemlenmiştir. Tüm bu etkiler, kentsel dönüşüm projelerinin sadece fiziksel iyileştirme ile sınırlı kalmayıp, toplumsal ve kültürel boyutlarının da dikkate alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

3.5. Bulgular

Araştırma kapsamında, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı ile İstanbul Teknik Üniversitesi iş birliğiyle hazırlanan Kentsel Dönüşüm Projeleri Tasarım Kriterleri ve Konut Alanlarının Dönüşümüne Yönelik İlke ve Kriterler temel alınmıştır. Bu kriterlerin seçilmesindeki başlıca nedenler; kentsel dönüşüm projeleri için ulusal ölçekte standartlar ve rehber ilkeler olarak belirlenmeleri, uygulama süreçlerine yön vermeleri ve peyzaj mimarlığı disipliniyle uyumlu, çok yönlü değerlendirme olanakları sunmalarıdır. Bu bağlamda, seçilen kriterler kentsel dönüşüm projelerine peyzaj mimarlığı perspektifinden kapsamlı bir analiz yapma imkânı sağlamaktadır. Kriterler, kentsel dönüşüm ve peyzaj mimarlığını yaşanabilir ve sürdürülebilirlik boyutlarıyla ele alınarak, kentsel dönüşüm projeleri için bir değerlendirme sistemi geliştirilmiştir. Bu süreç, temel ve alt kriterlerin belirlenmesiyle detaylandırılmış ve bir kriter tablosu oluşturulmaktadır. Tablo; kentsel kimlik, arazi kullanımı, erişilebilirlik, başedebilirlik, akıllı uygulamalar, yönetim, bakım ve kontrol, sosyal yapı ve yaşanabilirlik, sürdürülebilirlik gibi temel başlıklar altında, değerlendirme içeriği ve ölçütleri ile oluşturulmaktadır.

Kentsel Kimlik: Her iki projede de bölgenin tarihi, kültürel ve doğal yapısından kopuk, bağımsız bir konut alanı oluşturulmuş olup, bu durum karakter ve imaj açısından yetersiz bulunmuştur. Fiziksel, sosyal ve kültürel değerlendirmeler kapsamında kimlik oluşturma ve projelerin yerel özellikleri yansıtmada konularında eksiklikler gözlemlenmiştir. Bu durum, kentsel dönüşüm projelerinin kentin mevcut değerlerini koruma ve geliştirme açısından yetersiz kaldığını göstermektedir.

Arazi kullanımı: Proje alanlarındaki konut yoğunluğu ve yeşil alanların eksikliği, kentsel dönüşüm projelerinin hedefleriyle çelişen bir durum yaratmaktadır. Aktivite çeşitliliği açısından her iki projede de çocuk oyun alanları ve spor alanları yer almakta, ancak fitness alanı yalnızca Locamahal projesinde bulunmuştur. Projeler, yeşil alan yoksunluğu, nitelsiz alan kullanımları, yoğun betonlaşma ve arazi kullanımlarının dengesizliği ile dikkat çekmektedir. Kullanılan bitki seçimlerinin su ihtiyacının az olması olumlu bir etki sağlasa da yeşil alan miktarlarının her iki projede de standartların altında kalması, açık alan planlamasında yeşil altyapıya verilen önemin düşük olduğunu göstermektedir.

Erişilebilirlik: Fiziksel erişilebilirlik açısından, Kirazlıtepe projesinde bisiklet aksının olmaması, sınırlı erişim ve merdiven ile rampa uygulamalarının standart dışı kullanımı, erişimi kısıtlamıştır. Hizmet alanlarına erişim mesafesi değerlendirildiğinde, Locamahal projesinde eğitim, ibadet ve sosyal etkinlik alanları proje kapsamı dışında olsa da bu alanlar yakın çevredeki yürünebilir mesafededir. Kirazlıtepe’de ise eğitim ve dini alanlar proje kapsamında yer almaktadır. Bu açıdan Locamahal projesi, Kirazlıtepe’ye kıyasla daha erişilebilir olarak değerlendirilmiştir.

Başedebilirlik: Her iki projede de toplanma alanları ve yeşil altyapı çözümleri bakımından eksiklikler bulunmaktadır. Peyzaj kapsamında dayanıklı bitki türlerinin seçimi her iki projede de uygulanmış olsa da başedebilirlik parametreleri göz önünde bulundurularak bir tasarım kararı alınmamıştır. Bu durum, projelerde kullanıcıların acil durumlar için güvenli ve rahat bir şekilde toplanabileceği alanların ve çevresel sürdürülebilirliği destekleyen yeşil altyapı çözümlerinin yetersiz olduğunu göstermektedir.

Akıllı uygulamalar: Akıllı çevre, akıllı ulaşım ve akıllı yapılar kategorilerinde her iki projede de belirgin bir uygulama olmadığı gözlemlenmiştir. Dikey bahçeler yalnızca Kirazlıtepe projesinde yer alırken, diğer tüm alt kriterlerde projeler yetersiz olarak değerlendirilmiştir. Ortak güvenlik kameraları ve yangın algılama sistemleri her iki projede de bulunmaktadır, ancak yenilenebilir enerji sistemleri ve yeşil çatılar gibi sürdürülebilir akıllı çözümlerle ilgili herhangi bir tasarım kararı alınmamıştır.

Yönetişim bakım ve kontrol: Kirazlıtepe projesinde halkın katılımı sağlanırken, Locamahal projesinde halkın katılımı sürece dahil edilmemiştir. Halkın kentsel dönüşüm süreçlerine katılımı önemli olup, kullanıcıların ihtiyaç ve beklentilerinin dikkate alınması gereklidir. Kirazlıtepe’de halkın katılımı sürece dahil edilmesine rağmen, süreçte önemli bir değişiklik yaşanmamış ve TOKİ kapsamında projelere entegre

edilen fonksiyon seçimleri uygulanmıştır. Her iki projede de peyzaj bakım çalışmaları, bakım maliyetleri ve peyzaj mimarı personeli açısından eksiklikler tespit edilmiştir.

Sosyal yapı ve yaşanılabilirlik: Her iki proje de kapsayıcı tasarım açısından eksiklikler içermektedir. Engellilere yönelik fonksiyonların kullanımı, yaş gruplarına yönelik ayırım yapılmayan çocuk oyun alanları gibi kriterler yeterince karşılanmamıştır. Locamahal projesinde, sağlıklı ve engelli bireyler için rampa ve asansörler bulunurken, Kirazlıtepe'ye göre daha yaşanılabilir ve kapsayıcı bir özellik göstermektedir.

Sürdürülebilirlik: Her iki projede de yağmur suyu yönetimi, geri dönüştürülebilir malzeme seçimi ve geçirgen yüzeylerin kullanımı gibi sürdürülebilirlik kriterlerinin göz önünde bulundurulmadığı görülmüştür. Su ögesi kullanımı ve bitkisel kompozisyon varlığı, Locamahal projesinde daha iyi bir performans sergileyen unsurlar olarak değerlendirilebilir. Ancak genel olarak, sürdürülebilirlik kavramı projelerde uygulamalara entegre edilmemiştir. Bu bağlamda, kentsel dönüşüm projelerinin çeşitli boyutları detaylı bir şekilde ele alınarak, peyzaj değerlerinin dönüşüm projelerine entegrasyonu sağlandığında, kentlerin sürdürülebilirlik, erişilebilirlik ve yaşanabilirlik açısından daha sağlıklı bir gelişim gösterebileceği sonucuna varılmıştır. Bu, yalnızca çevresel değil, sosyal ve ekonomik sürdürülebilirlik açısından da kentlerin daha iyi bir yaşam kalitesine ulaşmasını sağlayacaktır.

Peyzaj tasarımı, kentsel kimlik, erişilebilirlik, sürdürülebilirlik ve toplumsal etkileşim gibi unsurlarını bir araya getirerek yaşam kalitesini artıran ve çevresel duyarlılığı destekleyen alanlar oluşturulmasında önemli bir rol oynar. Bu doğrultuda sürdürülebilir ve yaşanılabilir kentler yaratılmasına yönelik önemli yaklaşımlar sunulmuştur.

Aşağıda oluşturulan değerlendirme tablosu, Kirazlıtepe ve Locamahal kentsel dönüşüm projelerinin belirlenen kentsel kriterler çerçevesinde karşılaştırılmasını içermektedir. Değerlendirme ölçütü, her bir kriter için 0-1 puanlaması ve yeterli- yeterli değil olarak belirlenmiştir. Değerlendirme sürecinde, kentsel kimlik, arazi kullanımı, erişilebilirlik, başedebilirlik, akıllı uygulamalar, yönetim bakım ve kontrol, sosyal yapı ve yaşanılabilirlik, sürdürülebilirlik başlıkları altında belirlenen temel kriterler ve alt kriterlerden oluşturulmuştur. Bu alt kriterlerden yeşil alan miktarı, sosyal ve kamusal alan erişimi, erişilebilirlik standartları, akıllı şehir teknolojileri, peyzaj tasarımı ve sürdürülebilir uygulamalar gibi önemli faktörler karşılaştırmalı olarak ele alınmış, her iki projenin güçlü ve zayıf yönleri belirlenmiştir. Sonuçlar, projelerin kent yaşamına sunduğu katkıyı değerlendirmeye yönelik bir çerçeve sunmaktadır. Çizelge 1'de tanımlanan 'Yeterlilik' düzeyine dair değerlendirmeler; arazi kullanımı, 3194 Sayılı İmar Kanunu'nun Plan Yapımına Ait Esasları ile 26147 sayılı Otopark Yönetmeliği, kentsel donatı elemanlarına ilişkin standartlar, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Erişilebilirlik Kılavuzu ile Türk Standardı TS 12576 doğrultusunda; erişilebilirlik kriteri ise Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Mekânsal Planlar Yapım Yönetmeliği ve Erişilebilirlik Kılavuzu esas alınarak değerlendirilmiştir.

Çizelge 1: Kentsel dönüşüm projeleri değerlendirme kriterleri sonuç tablosu (Yazar tarafından hazırlanmıştır)

Temel kriterler	Alt kriterler	Değerlendirme içeriği	Kirazlıtepe kentsel dönüşüm projesi Değerlendirme sistemi	Locamahal kentsel dönüşüm projesi Değerlendirme sistemi	Kirazlıtepe	Locamahal
Kentsel kimlik	Karakter ve İmaj	Fiziksel sosyal ve kültürel değerlendirme	Yok	Yok	0	0
Arazi kullanımı	Aktivite çeşitliliği	Çocuk oyun alanı	Var	Var	1	1
		Spor alanı (Basketbol sahası)	Var	Var	1	1
		Açık alan Fitness alanı	Yok	Var	0	1
		Yeşil alan miktarı	Yeterli değil	Yeterli değil	0	0
		Otopark kullanım alanı	Yeterli	Yeterli	1	1
	Kentsel donatı elemanları	Çöp kutusu	Var	Var	1	1
		Yönlendirme tabelaları	Var	Var	1	1
		Aydınlatma elemanları	Yeterli	Yeterli	1	1
		Pergola ve oturma elemanları	Var	Var	1	1
		Merdiven ve rampalar	Yeterli değil	Yeterli değil	0	0
Erişilebilirlik	Fiziksel erişilebilirlik	Bisiklet aksı kullanımı	Yok	Var	0	1
		Yolların standartlara uygunluğu	Yeterli değil	Yeterli değil	0	0
		Merdiven kullanımı ve standartlara uygunluğu	Yeterli değil	Merdiven kullanımı yoktur.	0	0
		Rampa kullanımı	Yeterli değil	Yeterli değil	0	0
	Hizmet alanlarına erişim mesafesi	Eğitim hizmetlerine erişim	Yeterli	Yeterli	1	1
		İbadet alanına erişim	Yeterli	Yeterli	1	1
		Toplu taşıma erişim mesafesi	Yeterli	Yeterli	1	1
	Rekreasyon alanlarına erişim	Yeşil alan erişimi	Yeterli değil	Yeterli	0	1
		Sosyal etkinlik alanlarına erişimi	Yeterli değil	Yeterli	0	1
		Ticari alanlara erişim	Var	Var	1	1

	Engelsiz erişim	Sesli yönlendirme tabelaları	Yok	Yok	0	0
		Görsel erişim	Yok	Yok	0	0
		Dokunsal işaret levhaları	Yok	Yok	0	0
		Merdiven, rampa ve yol erişilebilirliği	Yok	Yok	0	0
		Engelsiz yürünebilirlik	Yeterli değil	Yeterli değil	0	0
Baş edebilirlik	Açık alan planlanması	Toplanma alanı	Yok	Var	0	1
		Açık alanların ve parkların toplanma alanı belirlenmesi	Yok	Var	0	1
	Yeşil alt yapı çözümleri	Temel gereksinimler için alan tasarımı	Yok	Yok	0	0
	Afet riskine karşı duyarlı bitki seçimi	Dayanıklı tür seçimi	Var	Var	1	1
Akıllı uygulamalar	Akıllı çevre	Atık yönetimi	Yok	Yok	0	0
		Su yönetimi	Yok	Yok	0	0
		Dikey bahçeler	Var	Yok	1	0
	Akıllı ulaşım	Otopark yönetimi	Yok	Yok	0	0
		Akıllı durak	Yok	Yok	0	0
	Akıllı yapılar	Yeşil binalar	Yok	Yok	0	0
		Yeşil çatılar	Yok	Yok	0	0
		Yenilenebilir enerji sistemleri	Yok	Yok	0	0
	Akıllı güvenlik	Güvenlik kameraları	Var	Var	1	1
		Uzaktan erişim ve kontrol sistemi	Var	Var	1	1
		Yangın algılama	Var	Var	1	1
	Akıllı enerji	Güneş enerjili entegre sistemler	Yok	Yok	0	0
		Yeşil altyapı sistemleri	Yok	Yok	0	0
Yönetişim bakım ve kontrol	Proje paydaş katılımı	Halkın katılımı	Var	Yok	1	0
	Güvenlik	Site güvenliği (Giriş-Çıkış)	Yok	Var	0	1
	Peyzaj bakım çalışmaları ve bütüncül planlama yaklaşımı	Peyzaj bakım çalışmaları	Var	Var	0	0
		Yönetim hizmeti (işbirlikler)	Var	Var	1	1
		Peyzaj mimarı personeli (Yönetimi bünyesinde)	Yok	Yok	0	0
Sosyal yapı ve yaşanılabilirlik	Kapsayıcı tasarım	Engellileri bireylere yönelik fonksiyon kullanımı	Yok	Yok	0	0

		Sağlıklı bireyler için kullanım alanları	Var	Var	0	1
		Çocuk oyun alanları yaş grubu ayrımı	Yok	Yok	0	0
Sürdürülebilirlik	Su ögesi kullanımı Yağmur suyu ve atık su yönetimi	Su ögesi	Yok	Var	0	1
		Yağmur suyu depolama alanı	Yok	Yok	0	0
		Gri atık su dönüşümü	Yok	Yok	0	0
	Malzeme seçimleri	Geri dönüştürülebilir malzeme seçimi	Yok	Yok	0	0
		Geçirgen yüzeyler	Yok	Yok	0	0
	Peyzaj tasarımın estetik ve işlevsel kullanımı	Bitkisel kompozisyon	Yok	Yok	0	0
		Kişi başına düşen yeşil alan metrekaresi	Yeterli değil	Yeterli değil	0	0
		Yerel bitki türlerinin kullanımı	Yok	Yok	0	0
Toplam Sonuç					20	26
Değerlendirme ölçütü (0-1, yeterli- yeterli değil)						

Kirazlıtepe ve Locamahal projeleri, peyzaj değerlerinin dönüşüm projelerine entegrasyonu açısından farklı değerlendirme parametrelerine göre analiz edilmiştir. Kirazlıtepe projesi, 20 parametre ile olumlu bir değerlendirme alırken, Locamahal projesi 26 parametre ile daha yüksek bir başarı göstermektedir. Her iki proje için de değerlendirme kriterlerinin dahil edilmesine ilişkin önemli hususlar ortaya konulmuştur. Kirazlıtepe projesi, sosyal etkileşim alanları ve erişilebilirlik açısından zayıf kalırken, Locamahal projesi bu alanlarda daha başarılı sonuçlar elde etmiştir. Bu, Locamahal projesinin kullanıcı odaklı tasarım yaklaşımının ve toplumsal etkileşim alanlarının daha fazla ön planda tutulduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, her iki projede de sürdürülebilirlik, atık yönetimi ve yeşil alan kullanımı gibi çevresel ve ekolojik açıdan kritik unsurlar açısından eksiklikler gözlemlenmiştir. Bu eksiklikler, projelerin sürdürülebilir kalkınma ve ekolojik dengeyi sağlama açısından zayıf noktaları olarak öne çıkmaktadır. Projelerin gelecekteki gelişim süreçlerinde bu unsurlara daha fazla dikkat edilmesi gerektiği, özellikle yeşil alanların daha etkin kullanılmasının ve çevresel etkilerin minimuma indirilmesinin büyük önem taşıdığı söylenebilir.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Kentsel dönüşüm, kentlerin sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda çevresel, sosyal ve fiziksel açıdan bütüncül bir şekilde dönüştürülmesini ifade eden kompleks bir süreçtir. Dünya genelinde bu süreç, Sanayi Devrimi, savaşlar, göçler, doğal afetler ve değişen toplumsal ihtiyaçlar gibi dinamiklere bağlı olarak

şekillenmiştir. Türkiye’de ise süreç, özellikle gecekondulaşma ve deprem riskine karşı alınan önlemlerle hız kazanmış; ancak bu hızlı gelişim, kontrolsüz büyüme, plansız kentleşme ve çevresel bozulma gibi sorunları beraberinde getirmiştir. Türkiye’deki kentsel dönüşüm projeleri genellikle fiziksel iyileşme ve gelişmeye odaklanmış, çevresel ve sosyal sürdürülebilirlik ile yaşam kalitesini artırma hedefleri çoğu zaman geri planda kalmıştır. Dünya genelindeki uygulamalarda, ekolojik tabanlı kentsel dönüşüm projelerinin enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik gibi temalar üzerinden şekillendiği görülmektedir. Bu projelerde, doğal kaynakların etkin kullanımı, çevresel etkilerin azaltılması ve sürdürülebilir yaşam alanlarının oluşturulması temel hedefler arasında yer almaktadır. Türkiye’de ise, çevresel ve sosyal sürdürülebilirliği önceliklendiren yaklaşımlar genellikle geri planda kalmış, kentsel dönüşüm projeleri daha çok fiziksel iyileştirme ve yenileme odaklı bir bakış açısıyla ele alınmıştır. Bu durum, çevresel ve sosyal değerlerin projelere etkin bir şekilde entegre edilmesinin gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Kentsel dönüşüm projelerinde kentlerin sürdürülebilirliğini sağlamak ve yaşam kalitesini artırmak açısından peyzaj mimarlığının önemini vurgulamak, araştırmanın temel amacını oluşturmaktadır. Kentsel dönüşüm uygulamaları bağlamında alınan planlama ve tasarım kararlarında, peyzaj varlıklarının değerlendirilmesine yönelik kriterlerin belirlenmesi ve bu kriterlerin uygulamalara entegre edilmesi gerekliliği ön plana çıkmıştır. Araştırma sürecinde geliştirilen değerlendirme sistemi, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Kentsel Dönüşüm Projeleri Tasarım Kriterleri ile Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, İstanbul Teknik Üniversitesi iş birliği ile hazırlanan Kentsel Dönüşüm Uygulamalarında Planlama İlke ve Kriterleri çalışmalarını temel alarak oluşturulmuştur. Bu bağlamda, Üsküdar Kirazlıtepe ve Locamahal kentsel dönüşüm projeleri, belirlenen kriterler doğrultusunda analiz edilmiş ve peyzaj tasarım yaklaşımları, kriterlere uygunluk açısından detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Kirazlıtepe ve Locamahal projelerinde yapılan incelemeler, her iki projede de tasarım açısından çeşitli eksikliklerin bulunduğunu ortaya koymuştur. Özellikle yaşanılabilirlik, sürdürülebilirlik ve erişilebilirlik gibi temel ilkelerin projelere yeterince entegre edilemediği tespit edilmiştir. Analiz sonuçları, bu kentsel dönüşüm projelerinde peyzaj değerlerinin geri planda kaldığını, çevresel ile sosyal sürdürülebilirlik açısından daha bütüncül bir yaklaşımın gerekli olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda, proje alanlarına özgü ekolojik ve sosyal ihtiyaçların doğru bir şekilde analiz edilmesi, sürdürülebilir tasarım açısından büyük önem taşımaktadır. Yeşil altyapı sistemlerinin (yağmur bahçeleri, geçirgen yüzeyler, doğal bitki türlerinin kullanımı vb.) projelere entegre edilmesi hem ekolojik dengeyi gözeten hem de kullanıcı odaklı yaşam alanlarının oluşturulmasına katkı sunacaktır.

Kentsel kimlik: Projeye halkın katılımı sağlanmalı, yerel halkın ihtiyaç ve beklentileri göz önünde bulundurularak tasarım süreci şekillendirilmelidir. Alanın tarihi ve kültürel özellikleri ile peyzaj öğeleri ön plana çıkarılmalı, bu unsurlar tasarımın temel öğeleri olarak entegre edilmelidir. Yerel malzemelerin

kullanımıyla geleneksel mimari ve formlar oluşturulmalı, bölgenin kimliği ile uyumlu, estetik ve fonksiyonel yapılar inşa edilmelidir. Sosyal etkileşimi güçlendiren, yeşil alanlar, fonksiyonel alanlar ve kamusal alanlar tasarıma dahil edilerek, toplumsal bağların güçlendirilmelidir.

Arazi kullanımı: Yeşil alan miktarı artırılarak, kullanıcılar için hobi bahçeleri ve tarımsal faaliyetlerin yürütülebileceği alanlar tasarlanmalıdır. Bu bahçeler, belirli kurallar ve sınırlar dahilinde kullanıma sunulmalı ve kontrol altında tutulmalıdır. Otopark alanları yeterli olsa da bisiklet park alanları ve elektrikli araç şarj istasyonları eklenerek seçenekler artırılmalıdır. Çocuk oyun alanları, engelliler için de erişilebilir şekilde entegre edilmeli ve farklı yaş gruplarına uygun olarak belirlenmelidir. Güvenli, eğitici ve doğal malzemelerle oyun alanları tasarlanmalıdır. Bu tasarımlar, tüm kullanıcıların ihtiyaçlarını karşılayacak, sosyal etkileşimi artıracak ve sürdürülebilir yaşam koşullarını destekler nitelikte olmalıdır.

Erişilebilirlik: Konut ve çevresi, kullanıcının erişimine uygun şekilde tasarlanmalıdır. Kirazlıtepe özelinde yaya yollarının sürekliliği sağlanmalı ve standartlara uygun düzenlemeler yapılmalıdır. Mevcut akslara entegre bisiklet yolları, elektrikli araç şarj istasyonları ve yürüyüş yolları gibi alternatif imkanların dahil edilmesiyle, çevre dostu, sağlıklı ulaşım seçenekleri sunulmalıdır. Her iki proje kapsamında, Engelli bireyler için, rampa ve yol erişimi standartlara uygun bir şekilde tasarlanmalı, otopark alanlarında engelliler için özel park yerleri ayrılmalıdır. Bu düzenlemeler dahilinde herkes için erişilebilir ve daha kapsayıcı bir yaşam alanı oluşturulması sağlanmalıdır.

Baş edebilirlik: Parklar, yeşil alanlar ve ortak alanlar, olası afetlere karşı dönüştürülebilir nitelikte ve esnek kullanım imkânları sunacak şekilde planlanmalıdır. Geçici barınma alanı olarak kullanılabilecek açık geniş yeşil alanlar oluşturulmalı ve geçirgen yüzey malzemeleri tercih edilmelidir. Yangın riskine karşı dayanıklı bitki türleri tercih edilmeli ve peyzajda yangına dayanıklı malzemeler tercih edilmelidir. Heyelan riskine karşı kök yapısı güçlü bitkiler seçilmelidir. Bu tür çözümler, yeşil altyapının gücünü ortaya koyarak çevresel risklerin azaltılmasına katkı sağlayacaktır.

Akıllı uygulamalar: Standart plastik çöp konteynerleri yerine, atık yönetimi süreçlerinin daha etkin hale getirilebilmesi için geri dönüşüm sistemleriyle birlikte bir atık yönetimi planlı hazırlanmalıdır. Bu süreçte, alanda geri dönüşüm alanları oluşturulup, atıkların doğru bir şekilde ayrışması sağlanmalı, kompost alanları oluşturulmalıdır. Organik atıklar, doğal gübre olarak yeşil alanlarda kullanılabilir. Bu yaklaşım, atıkların sebep olduğu çevresel sorunların etkileri azaltılarak her konut projesi için önemli bir katkı sağlayacaktır. Ek olarak, güneş enerjisiyle çalışan aydınlatma sistemleri dahil edilmesiyle, yenilikçi, sürdürülebilir ve enerji tasarruflu çözümler sunulabilir.

Yönetişim bakım ve kontrol: Yerel halkın projelere katılımı teşvik edilmeli, peyzaj sürdürülebilirliğini artıran eğitim programları dahil edilerek halkın sürdürülebilir uygulamalara karşı bilinçlendirilmesi sağlanmalıdır. Proje özelinde kapsamlı finansman planlamaları yapılmalı ve kentsel dönüşüm süreci şeffaf

bir şekilde yürütülmelidir. Proje sonrası yönetsel sürdürülebilirliğin sağlanması için uygun bütçe koşullarının oluşturulmalı ve peyzaj mimarı ile düzenli bir bakım modeli geliştirilmelidir. Bu yaklaşımlar, projelerde uzun vadeli peyzaj sürdürülebilirliğini sağlayarak çevresel, sosyal ve ekonomik açıdan sağlıklı yaşam alanlarının oluşmasına katkı sağlayacaktır.

Sosyal yapı ve yaşanılabilirlik: Sosyal yapı ve yaşanılabilirlik özelliklerini artıran kapsayıcı ve eşitlikçi bir yaklaşım benimsenmelidir. Engelli bireyler de dahil olmak üzere tüm kullanıcıların kolaylıkla erişebileceği alanlar tasarlanmalıdır. Bu kapsamda, sürdürülebilir altyapılar ve fonksiyon seçimleri ile kullanıcı etkileşimi artıracak nitelik planlanmalar yapılmalıdır. Örneğin; tematik bahçeler, hobi bahçeleri gibi sosyal alanlar tasarlanarak yaşam koşullarını destekleyerek kullanıcılara çeşitli imkanlar sunacaktır.

Sürdürülebilirlik: Projelerde yağmur suyu yönetimi, geri dönüştürülebilir malzeme seçimi ve geçirgen yüzeylerin kullanımına yönelik sürdürülebilirlik kriterleri yeterince değerlendirilmemiş ve iyileştirmeler gereklidir. Bu bağlamda, yağmur suyu yönetimini geliştirmek amacıyla doğal göletler ve yağmur bahçeleri tasarıma dahil edilmelidir. Yağmur suyu ve gri suyun depolanması için sistemler kurulmalı ve su bahçe sulaması olarak kullanılmalıdır. Malzeme seçiminde çevre dostu, geri dönüştürülebilir ve uzun ömürlü malzemeler, örneğin doğal taş ve ahşap tercih edilmeli, geçirgen yüzeyler artırılmalıdır. İnşaat ve peyzaj uygulamalarından kaynaklanan atıklar ayrıştırılmalı ve geri dönüşüm süreçlerine dahil edilmelidir. Sıfır atık politikası kapsamında atıklar kompost hale getirilerek yeşil alanlarda gübre olarak kullanılabilir. Peyzaj tasarımında, su tüketimini azaltmak için yerel ve kurakçıl bitkiler tercih edilmeli, yeşil koridorlarla ekosistemi destekleyecek bitkisel bağlar oluşturulmalıdır. Çim alanlar yerine daha az su ve bakım gerektiren yonca gibi yer örtücüleri kullanılabilir. Çatı bahçeleri, kentsel ısı ada etkisini azaltarak, fauna ve florada çeşitliliği destekleyecektir.

Peyzaj tasarım projesi açısından; yeşil alanların varlığı ve alan kullanımlarının bütüncül çözülmesi tasarımı işlevsel ve estetik açıdan zenginleştirmiştir. Fonksiyon çeşitliliği ile farklı renk ve özelliklerdeki donatı elemanlarının tercih edilmesi, alanın dinamik bir yapıya kavuşmasını sağlarken sosyal etkileşimi destekler nitelikte olmuştur. Su yönetimi açısından yağmurlama sisteminin tercih edilmesi doğru bir yaklaşım olarak değerlendirilse de yağmur suyu hasadı gibi yenilikçi ve sürdürülebilir uygulamaların projeye dahil edilmemesi, projenin çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşılmasını kısıtlamıştır. Benzer şekilde, enerji verimliliği, akıllı teknolojiler ve yeşil bina uygulamalarının yeterince benimsenmemesi, çevresel sürdürülebilirlik açısından eksikliklere neden olmuştur. Yeşil alan tasarımı, bireylerin fiziksel ihtiyaçlarını karşılayan aktivite alanları sunarken, tematik bahçeler ise psikolojik anlamda stres azaltıcı ve huzur verici ortamların oluşmasına olanak sağlamıştır. Proje kapsamında değerlendirilen barınak alanı, tasarım kriterleri açısından yetersiz bulunmuş olsa da hayvanlar için yaşam alanı oluşturulması fikri, insanlar ve hayvanlar arasında uyumlu ve olumlu bir etkileşim sağlayan bir yaşam alanı sunma hedefini ortaya koymuştur. Bu

durum, peyzaj tasarım projelerinde sürdürülebilirlik, işlevsellik ve estetik unsurların bütüncül bir yaklaşımla ele alınmasının önemini bir kez daha vurgulamaktadır. Kirazlıtepe ve Locamahal kentsel dönüşüm projelerinin karşılaştırılması, belirlenen kentsel dönüşüm projeleri değerlendirme ölçütleri kapsamında yapılmıştır. Bu karşılaştırma, her iki projenin belirlenen kriterler doğrultusunda ne ölçüde başarılı olduğunu ve hangi alanlarda iyileştirme yapılması gerektiğini ortaya koymaktadır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kentsel Tasarım Ana Bilim Dalı'nda hazırlanan “Kentsel Dönüşüm Uygulamalarının Peyzaj Mimarlığı Çerçevesinde Örnekler Üzerinden Değerlendirilmesi” başlıklı yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

YAZARLARIN KATKILARI

Y.K: Kavramsallaştırma, yöntem, araştırma, kaynaklar, yazı yazma, orijinal taslak hazırlama

M.G: Yöntem, araştırma, kaynaklar, gözden geçirme ve düzenleme

T.K: Doğrulama, orijinal taslak hazırlama, gözden geçirme ve düzenleme

KAYNAKLAR

- Austin, G. (2013). Case Study and Sustainability Assessment of Bo01, Malmö, Sweden. *Journal of Green Building*, 8(3), 34-50.
- Bayram, P. (2017). 19. Yüzyıl Osmanlı Devleti'nde Kentleşme, Yönetimsel Reformlar ile Osmanlı Aydınlarının Kent Üzerine İzlenimlerine Dayalı Karşılaştırmalı Bir İnceleme. *Lefke Avrupa Ülkesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 8(2).
- Cesur, B. (2017). Kentsel Dönüşüm Uygulamalarının Peyzaj Mimarlığı Açısından Araştırılması Isparta Örneği. *T.C Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Peyzaj Mimarlığı Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Isparta*.
- Çakır, E. (2023). 21. Yüzyılda Kentsel Dönüşüm ve Yeni Eğilimler. *Meriç Uluslararası Sosyal ve Stratejik Araştırmalar Dergisi*, 7(18).
- Demiröz Kıray, Z. (2014). Türkiye'de Peyzaj Mimarlığı Mesleği ve Uygulamalarında Niteliğin Yükseltilmesine Yönelik bir Model Önerisi. *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı Peyzaj Mimarlığı Programı Doktora Tezi, İstanbul*.
- Iwamura, K. (2005). Fukasawa Symbiotic Housing Complex – A Model Social Housing Project, Tokyo, Japan: *Rebuilding for a Sustainable Future*, 43-47.
- Keskin, P. (2019). Diana Balmori'nın bir Peyzaj Manifestosu Üzerine İncelemeler ve Türkiye'de Peyzaj Mimarlığının Geleceği. *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Ankara*.

- Köktürk, E., & Köktürk, E. (2007). Türkiye’de Kentsel Dönüşüm ve Almanya Deneyimi, Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası. *Kocaeli Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü Arazi Yönetimi Anabilim Dalı, İzmit.*
- Ocakçı, M., Türk, Ş., & Terzi, M. (2017). *Kentsel Dönüşüm Uygulamalarında Planlama İlke ve Kriterleri*. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.
- Öz, A. (2009). Kuzey Ankara Kentsel Dönüşüm Projesinin Peyzaj Mimarlığı Açısından İrdelenmesi . *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Ankara.*
- Shin, J.-H., & Lee, I.-K. (2006). Cheong Gye Cheon restoration in Seoul, Korea. *Civil Engineering*, 159(11), 162–170.
- Smith, N. (2002). New Globalism, New Urbanism: Gentrification as Global Urban Strategy. *Antipode*, 34(3), 427-450.
- Taşçı, H. (2023). Kentsel Dönüşümün Mekansal Hafıza Açısından Değerlendirilmesi. *Dicle Üniversitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü Dergisi* (32).
- Torun, M. (2022). 6306 Sayılı Afet Yasağı Kapsamındaki Kentsel Dönüşüm Alanlarında Planlar Aracılığıyla Müdahale Biçimleri Sivas Örneği. *T.C Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Şehir ve Bölge Planlama Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Kayseri.*
- Triggs, T., McAndrew, C., & Choukeir, J. (2011). ‘Telling your Story’: People and the Aylesbury Estate. *University of the Arts London, UK. Akama, Y. RMIT University, Australia.*
- Yenice, M. S. (2014). Türkiye'nin Kentsel Dönüşümün Mekansal Hafıza Açısından Değerlendirilmesi. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 16(1).
- Yontan, H. (2021). Kentsel Dönüşümün Sosyal Boyutunun Araştırılması Kirazlıtepe Mahallesi Örneği. *T.C İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.*
- Google Earth. (2024). *Üsküdar Kirazlıtepe Mahallesi görüntüsü*. Erişim tarihi: 12 Nisan 2024, <https://www.google.com/earth/about/>
- Google Earth. (2024). *Locamahal Veliefendi görüntüsü*. Erişim tarihi: 6 Ekim 2024, <https://earth.google.com/web/search/Locamahal,+Veliefendi>

Bir Gama Spektrometresinde Farklı Sintilatör ve Ana Yükseltici Kullanımının Dedeksiyon Performansına Etkisinin Araştırılması

Buket CANBAZ ÖZTÜRK^{1*}, Cüneyt ÇELİKTAŞ¹

¹Fizik Bölümü, Fen Fakültesi, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye

Geliş: 14.05.2025, Kabul: 31.05.2025, Yayınlanma: 22.06.2025

ÖZ

Bu çalışmada, hızlı cevap süresine ve yüksek ışık verimine sahip CsI(Tl) sintilasyon kristali, yeni nesil bir fotoçoğaltıcı tüpe montajlanarak yeni bir radyasyon dedektör sistemi tasarlanmıştır. Söz konusu dedektör, gama spektroskopisi uygulamalarında kullanılmak üzere bir spektrometre sistemine entegre edilmiştir. Dedeksiyon performansının karşılaştırmalı analizini gerçekleştirmek amacıyla, NaI(Tl) sintilasyon dedektörü de aynı spektrometre altyapısında ve aynı fiziksel ortam koşullarında test edilmiştir. Deneysel çalışmalarda, farklı enerjilerde gama fotonları yayan iki farklı standart radyasyon kaynağı, (Cs-137 ve Co-60) kullanılarak her iki dedektörün net enerji spektrumları elde edilmiştir. Spektral çözünürlükleri optimize etmek amacıyla, iki farklı ana yükseltici modeli (ORTEC 451 ve 485) tasarlanan spektrometre sisteminde kullanılmış ve bu yükselticilerin enerji spektrumu üzerindeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen spektrumlar, enerji çözünürlüğü ve dedeksiyon verimliliği gibi temel nicelikler açısından karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, 451 model ana yükseltici ve CsI(Tl) kristalli kullanılarak oluşturulan spektrometrenin, özellikle yüksek sayım oranı gerektiren uygulamalarda alternatif bir çözüm potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Gama ışını dedeksiyonu; CsI(Tl) sintilatörü; Enerji spektrumu.

Investigation of the Effect of Using Different Scintillators and Main Amplifiers on Detection Performance in a Gamma Spectrometer

ABSTRACT

In this study, a novel radiation detector system was designed by coupling a CsI(Tl) scintillation crystal—characterized by its fast response time and high light yield—with a next-generation photomultiplier tube. The proposed detector was integrated into a spectrometer system for applications in gamma-ray spectroscopy. To conduct a comparative analysis of detection performance, a NaI(Tl) scintillation detector was also tested within the same spectrometric setup and under identical physical environmental conditions. In the experimental phase, two standard radioactive sources (Cs-137 and Co-60), which emit gamma photons at different energies, were used to obtain the net energy spectra of both detectors. To optimize spectral resolution, two different main amplifier models (ORTEC 451 and ORTEC 485) were employed in the spectrometer system, and the effects of these amplifiers on the resulting energy spectra were analyzed. The acquired spectra were compared in terms of key parameters such as energy resolution and detection efficiency. The results demonstrated that the spectrometer system incorporating the ORTEC 451 main amplifier and the CsI(Tl) crystal offers a viable alternative, particularly for applications requiring high count rates.

Keywords: Gamma-ray detection; CsI(Tl) scintillator; Energy spectrum.

1. GİRİŞ

Dedektör türü, gözlemlenmek istenen parçacıkların cinsine, bu parçacıkların enerjisine ve dedektörün kullanılacağı ortama bağlı olarak belirlenir. Bu nedenle, parçacıkların varlığını ve özelliklerini görünür kılabilen süreçlerin ve araçların geliştirilmesi büyük bir gereklilik arz etmektedir. Işıma (radyasyon) detektörlerinin, ışıltama (sintilasyon) kristalleri kullanılarak geliştirilmesi; dedeksiyon verimliliğinin, tepki süresinin ve doz ile enerji ölçümündeki doğruluğun artırılmasına olanak sağlarken, aynı zamanda üretim sürecinin basitleştirilmesi ve maliyetlerin azaltılması yönünde önemli avantajlar sunmaktadır (Pereira, Filho, Lopes, Berretta, & Cardenas, 2015).

Gama spektroskopisi, nükleer bilim ve radyasyon tespiti alanlarında temel bir ölçüm tekniği olup, çevresel radyasyon izleme, nükleer güvenlik, tıbbi görüntüleme ve reaktör izleme gibi birçok uygulama alanında kritik rol oynamaktadır (Santomé, Sanjurjo-Sánchez, & Alves, 2025). Bir gama spektrometresinin performansı; enerji çözünürlüğü, dedeksiyon verimliliği, yanıt süresi ve sinyal kararlılığı gibi dedektör sisteminin temel özelliklerine bağlıdır. Bu bağlamda, sintilasyon dedektörleri; geniş enerji aralığında çalışabilmeleri, maliyet-etkinlikleri ve yapısal basitlikleri nedeniyle yaygın olarak tercih edilmektedir (Parker et al., 2024).

Sentetik bir kristal olan Talyum katkılı Sezyum İyodür (CsI(Tl)) kristalinin ışıltama davranışına ilişkin temel fiziksel özellikleri hakkında kayda değer sayıda akademik çalışma yayımlanmıştır (Mouhti et al., 2025; Tariwong et al., 2025; Yang et al., 2025). Bu konudaki bazı çalışmalar Kaufman ve arkadaşları (Kaufman, Hadley, & Hersh, 1970), Dietrich ve Murray (Dietrich & Murray, 1972), Heath ve arkadaşları (Heath, Hofstadter, & Hughes, 1979) tarafından özetlenmiştir. İnorganik kristallerdeki ışıltama süreçlerinin genel özellikleri ise 1964 yılında Birks (Birks, 1964) tarafından tanımlanmıştır. Son yıllarda ağır iyon nükleer fiziği ve yüksek enerjili astrofizik alanlarında, darbe şekli ayırt etme (pulse shape discrimination) yeteneği nedeniyle CsI(Tl) kristaline olan ilgi artmıştır. CsI(Tl) kristallerinin bu alanlarda kullanılabilirliğini artırmak için, gama radyasyonu, beta radyasyonu, alfa parçacıkları ve nötronlara karşı ışıltama yanıtlarının detaylı biçimde incelenmesi gereklidir.

CsI(Tl) kristali, yüksek ışık verimi, mekanik dayanıklılığı ve hızlı yanıt süresi gibi avantajları sayesinde, özellikle yüksek sayım oranı gerektiren uygulamalarda dikkat çeken bir sintilatör malzemedir. Yeni nesil bir fotoçoğaltıcı tüp (FÇT) olan HAMAMATSU R1828-01 ile eşleştirildiğinde, bu kristal, gelişmiş bir radyasyon dedeksiyon sisteminin temel bileşeni hâline gelebilir. Bununla birlikte, bu tür bir sistemin performansının geleneksel dedektör yapılandırmalarıyla, örneğin yaygın biçimde kullanılan NaI(Tl) kristali ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi önem arz etmektedir.

Bu çalışmada temel olarak; i) hızlı cevap süresine sahip CsI(Tl) sintilatörünün yeni nesil fotoçoğaltıcı tüpe montajlanması sonucunda oluşturulan yeni dedektörden elde edilecek sinyallerde genlik, puls genişliği, yükselme zamanı vb. gibi temel büyüklüklerin incelenmesi, ii) yeni tasarlanan dedektör ile ölçülen bu temel büyüklüklerin, standart olarak gama radyasyonu ölçümü işlemlerinde kullanılan NaI(Tl) dedektörü ile alınacak sonuçlarla karşılaştırılması, iii) her iki tip dedektör için spektral çözünürlükleri optimize etmek amacıyla, iki farklı ana yükseltici modeli (ORTEC Model 485 ve 451) tasarlanan spektrometre sistemine entegre edilerek bu yükselticilerin enerji spektrumu üzerindeki etkilerinin incelenmesi, iv) meydana getirilen yeni dedektörle NaI(Tl) dedektörüne göre daha düşük elektronik gürültü ve daha iyi çözünürlüğe sahip, hata payı daha az olan deneysel sonuçlar ve net spektrumların elde edilmesi amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bir gama spektrometresinde farklı sintilatör ve ana yükseltici kullanımının dedeksiyon performansına etkisinin araştırıldığı bu çalışmada ilk olarak, 2"×2" boyutunda CsI(Tl) sintilasyon kristalinin (Epic-Crystal Co., Ltd.), 2" çapındaki pencereye sahip HAMAMATSU marka ve R1828-01 model fotoçoğaltıcı tüpe (FÇT) montajlanması ile yeni bir dedektör oluşturulmuştur. Bilindiği gibi, bir sintilasyon kristali kendi üzerinden bir gama fotonu geçtiğinde bu fotonun enerjisine bağlı şiddette bir ışık pırlıtsı (sintilasyon fotonları) oluşturur. Bu sintilasyon fotonları FÇT vasıtasıyla elektrik sinyallerine dönüştürülür. Bu şekilde kristal üzerine düşen gama radyasyonun enerjisi belirlenmiş olur. Söz konusu fotoçoğaltıcı tüpün, fotoelektron yükseltme katsayısı yani kazancı 2×10^7 olup, bu yeni nesil FÇT ve CsI(Tl) sintilasyon kristali ile oldukça iyi çözünürlük değerleri elde edilmesi amaçlanmıştır. Sintilasyon kristalinde üretilen fotonların minimum kayıpla tüp penceresine iletilmesini sağlayabilmek amacıyla kristal ile tüp penceresi arasına SILICONE TECHNOLOGY marka ve LS-3252 model optik jel sürülmüştür. Bu üç malzeme birbiriyle birleştirildikten sonra meydana gelen dedektör dış ortamdan tüp içine ışık girmesini önlemek maksadıyla da siyah bant ile kuşatılmıştır. Böylece inceleme altındaki CsI(Tl) sintilasyon kristalinin HAMAMATSU R1828-01 model fotoçoğaltıcı tüpe montajı mekanik ve optik olarak uyumlu bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Montaj yapılmadan önce tüp, kristal ve optik jel malzemeleri Şekil 1'de sunulan fotoğrafta görülebilirler.



Şekil 1: CsI(Tl) sintilasyon dedektörünü meydana getiren fotoçoğaltıcı tüp, kristal ve optik jel malzemelerinin görünümü.

Daha sonra karşılaştırma yapmak amacıyla, 3"×3" boyutunda NaI(Tl) kristaline sahip BICRON marka (Model: 3143, Seri: G-705) sintilasyon dedektörü (Şekil 2) de referans olarak kullanılmıştır. Dedektörlerde kullanılan sintilasyon kristallerinin özellikleri karşılaştırmalı olarak Çizelge 1’de verilmiştir.

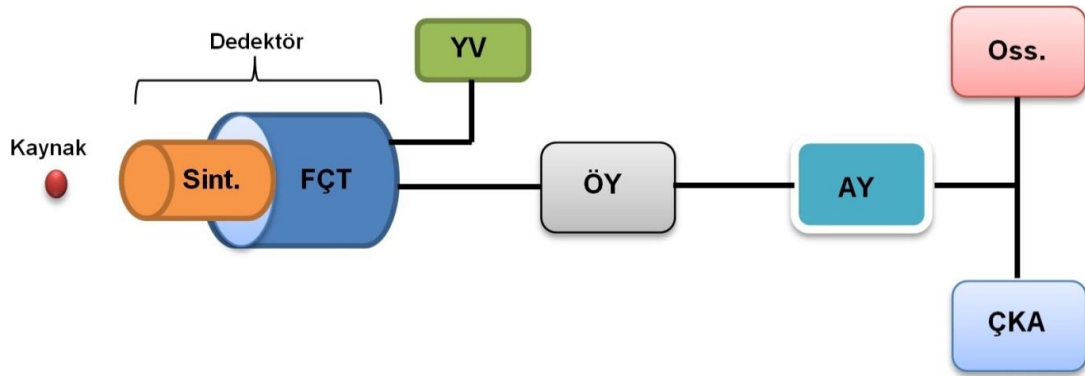


Şekil 2: Karşılaştırma amacıyla kullanılan NaI(Tl) sintilasyon dedektörünün fotoğrafı.

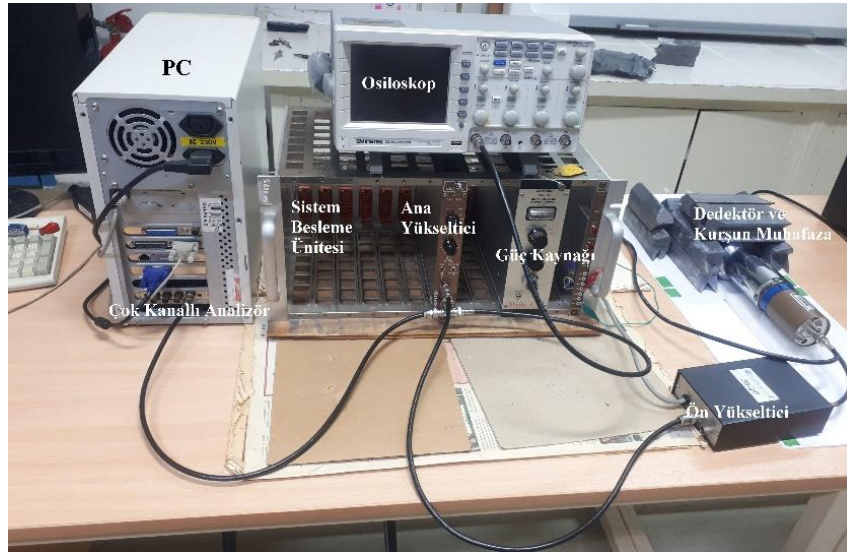
Çizelge 1: Kullanılan CsI(Tl) kristalinin özellikleri ve NaI(Tl) kristali ile karşılaştırması.

Parametreler	CsI(Tl) (http1)	NaI(Tl) (http2)
Yoğunluk (g/cm ³)	4,51	3,67
Erime Noktası (K)	894	924
Termal Genleşme Katsayısı (K ⁻¹)	54×10 ⁻⁶	47,4×10 ⁻⁶
Sertlik (Mho)	2	2
Higroskopik	Biraz	Evet
Maksimum Emisyon Dalga Boyu (nm)	550	420
Maksimum Emisyonda Kırılma İndeksi	1,79	1,85
Birincil Bozunma Süresi (ns)	1000	250
Işık Verimi (foton/keV)	52-56	38

Her iki sintilasyon dedektörü de aynı spektrometre altyapısı içerisinde, aynı çevresel koşullar altında gama spektrometresi için kalibrasyon kaynağı olarak kullanılan Cs-137 ve Co-60 standart radyasyon kaynakları kullanılarak test edilmiştir. Cs-137 kaynağının yarı ömrü ~30 yıl, aktivitesi 5 μCi , Co-60 kaynağının yarı ömrü ~5,3 yıl ve aktivitesi ise ~0,17 μCi 'dir. Dedektörler spektrometreye yerleştirilirken ortamdaki doğal radyasyondan minimum miktarda etkilenmelerini sağlamak için bu dedektörlerin etrafları kurşun külçelerle kaplanmıştır. Test edilen gama spektrometre sisteminin diğer elektronik ekipmanı, ORTEC marka 456 ve 556 model yüksek voltaj kaynakları, ORTEC Model 113 ön yükseltici, ORTEC Model 485 ve 451 ana yükselticiler, GW Instek marka ve GDS 2204 model osiloskop ve bir adet masaüstü bilgisayara montajlanmış ORTEC Model TRUMP 8k model çok kanallı analizör (ÇKA) cihazlarından oluşmaktadır. Çalışmada kullanılan spektrometrenin devre şeması Şekil 3'te, fotoğrafı ise Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 3: Tasarlanan dedektörün test edileceği spektrometrenin basit devre şeması (Sint.: sintilatör, FÇT: fotoçoğaltıcı tüp, YV: yüksek voltaj kaynağı, ÖY: ön yükseltici, AY: ana yükseltici, Oss.: osiloskop, ÇKA: çok kanallı analizör).



Şekil 4: Şekil 3'te devre şeması verilen spektrometrenin fotoğrafı.

Dedektörlere, ihtiyaç duyulan besleme voltajı yüksek voltaj kaynağı (YV) tarafından uygulanmıştır. Dedektörler, kaynaktan gelen gama fotonları enerjilerine bağlı olarak farklı genliklerde sinyaller üretirler. Bu sinyaller, empedans uyumunu sağlamak, elektronik gürültüden arındırmak ve genliklerini yükseltmek amacıyla sırasıyla ön yükseltici ve ana yükselticiye gönderilirler. Çalışmanın diğer amacı olan farklı ana yükseltici kullanımının bir gama spektrometresinin dedeksiyon performansına etkisini incelemek amacıyla, söz konusu dedektörler spektrometrede ayrı ayrı kullanılmış olup, her dedektöre özel ön yükseltici ve iki farklı model ana yükseltici (ORTEC Model 485 ve 451) için kazanç değerleri de ayrı ayrı belirlenmiştir. Ana yükseltici çıkışı, sinyallerin takip edilebilmesi için osiloskopa, bu sinyallerin oluşturduğu enerji spektrumunun elde edilebilmesi için de çok kanallı analizöre gönderilmiştir. ÇKA, her bir puls yüksekliğine veya parçacık enerjisine karşılık gelen sayım sayısını kaydetmektedir.

Çalışmada en iyi performans sonucuna ulaşabilmek düşüncesiyle her bir dedektör için iki farklı radyasyon kaynağı ve iki farklı model ana yükseltici kullanılmış ve bu ana yükselticilerin sonuca olan etkileri karşılaştırılmak suretiyle özellikle CsI(Tl) dedektörüne uygun optimum spektrometre belirlenmeye çalışılmıştır.

Yukarıda da belirtildiği gibi; dedektörlerden alınan sinyaller, iki farklı analog ana yükseltici modeli ile işlenmiştir (ORTEC Model 485 ve Model 451). Bu yükselticiler, sinyal şekillendirme ve kazanç ayarlama özellikleri bakımından farklı tasarım parametrelerine sahiptir. Her bir yükseltici, hem CsI(Tl) hem de NaI(Tl) dedektörleriyle ayrı ayrı kullanılarak, dört farklı deneysel konfigürasyon oluşturulmuştur. Böylece yükseltici modelinin ve dedektör tipinin spektral performansa etkisi sistematik biçimde analiz edilebilmiştir. Bu sistematik yaklaşım sayesinde hem dedektör malzemesinin hem de sinyal işleme bileşenlerinin spektroskopik performansa etkisi detaylı biçimde değerlendirilmiştir.

3. SONUÇLAR

İki farklı sintilatör ve iki farklı ana yükseltici kullanılarak elde edilen gama spektrometresinin performansının değerlendirildiği bu çalışmada, iki farklı radyasyon kaynağı için elde edilen spektrumlar, o spektrumun elde edildiği ana yükseltici çıkışının osiloskop görüntüleri ve temel sinyal parametre değerleri (sinyal yükselme zamanı, düşme zamanı ve sinyal genişliği) karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

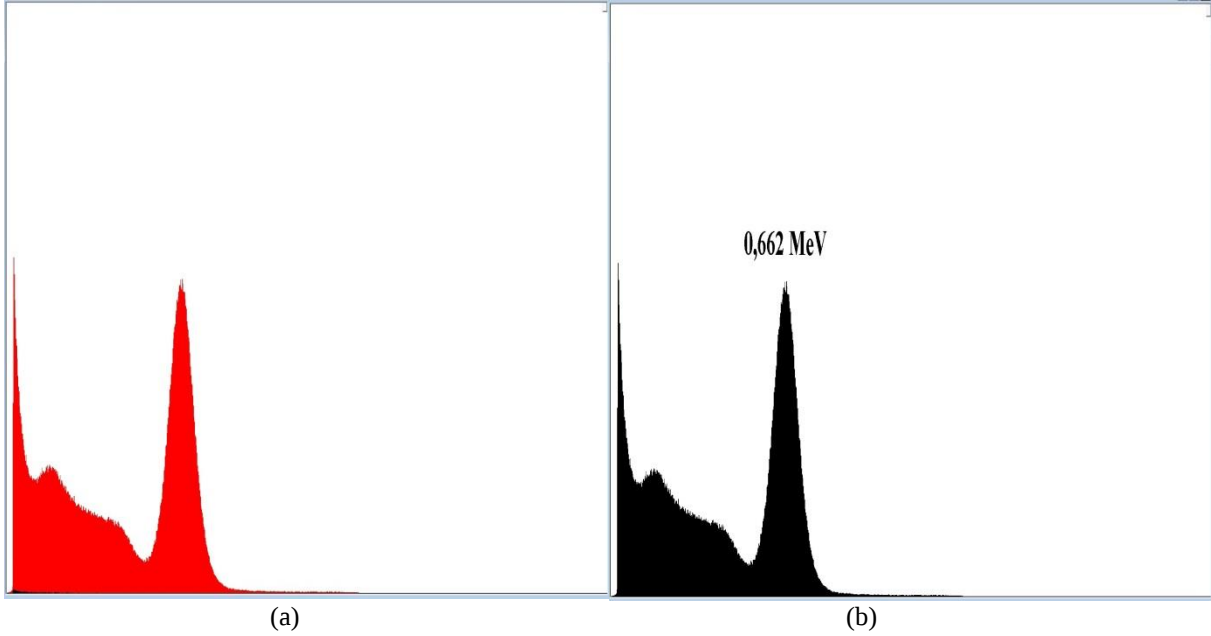
Bir radyasyon dedektörü ortamda hiçbir radyasyon kaynağı yokken bile sayım kaydeder. Tabii fon olarak adlandırdığımız bu ortam radyasyonunun kaynağını çok yüksek oranda uzaydan atmosfere giren kozmik ışınlar meydana getirir. Bu tabii fon değeri düşük sayım hızları veya kısa süreli ölçümlerde önemli olmakla birlikte, yüksek sayım hızları veya uzun süreli radyasyon ölçümlerinde ise küçük etkiye sahiptir. Çalışmada yapılan ölçümlerde tabii fonun alınan spektrumlara ne derecede etki ettiğini görmek amacıyla her

ölçümde tabii fon değeri kaydedilmiş ve radyasyon kaynağı var iken alınan ölçümlerden tabii fon sayımları çıkarılmıştır. Bu şekilde daha net bir kaynak spektrumu elde edilmeye çalışılmıştır.

Verilen tüm deneysel spektrum şekillerinde, her bir gama radyasyon kaynağı için tabii fon, tabii fon çıkarılmadan önceki kaynak spektrumu ve tabii fon çıkarıldıktan sonra elde edilen net spektrumlar gösterilmiştir. Bu spektrum sonuçları Model 451 ve Model 485 ana yükselticileri kullanılarak ayrı ayrı kaydedilmişlerdir. Ek olarak, her şeklin altında ilgili dedektörün enerji çözünürlüğü verilmiş ve bu çözünürlük değerleri tabii fondan çıkarılmış net enerji spektrumları dikkate alınarak hesaplanmıştır. Enerji çözünürlüğü, bir dedeksiyon sisteminin performansını etkileyen önemli bir faktördür. Bu, enerji spektrumundaki bir tepe noktasının maksimumunun yarısına karşılık gelen genişlik (FWHM) tarafından belirlenir. Bir dedektörün enerji çözünürlüğü, FWHM değerine karşılık gelen tepe noktasının yani maksimum sayımın kanal sayısına bölünmesiyle tanımlanır (Knoll, 1999; Leo, 1987; Tsoulfanidis, 1995). Hesaplamalar yapılırken; Cs-137 kaynağı için 0,662 MeV enerjili gama piki, Co-60 kaynağı için ise 1,33 MeV enerjili pik tam belirgin elde edilemediğinden değerlendirmelerde 1,17 MeV enerjili gama piki kullanılmıştır. Düşük enerji çözünürlüğü değeri daha iyi dedeksiyon performansını ifade etmektedir. Ayrıca, aşağıdaki gösterilen tüm deneysel spektrum şekilleri ÇKA'nın yazılımı tarafından verilen ekran görüntüsünün bire bir aynısıdır. Sonuçları en doğal halleriyle paylaşabilmek düşüncesiyle ÇKA'nın ekranı aynen buraya yansıtılmıştır. Aşağıda verilen tüm spektrum görüntülerinde; yatay eksen kanal numarasını, düşey eksen de her kanal numarasına düşen sayım sayısını vermektedir.

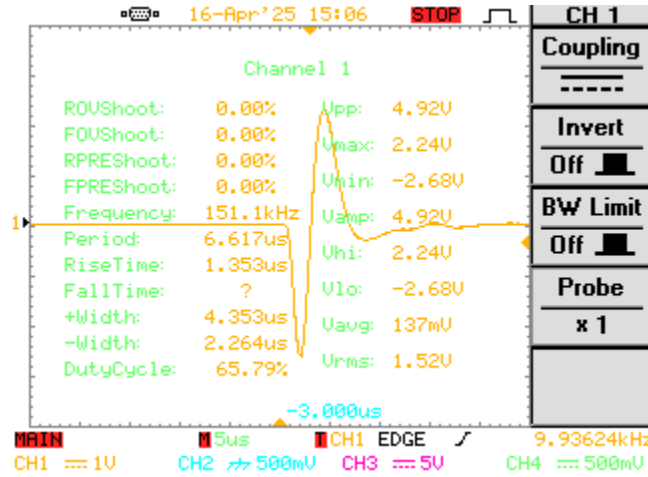
3.1. CsI(Tl) dedektörü ile gama spektrometresi

CsI(Tl) dedeksiyon sistemi ile elde edilen Cs-137 gama radyasyon kaynağı için tabii fon, tabii fon çıkarılmadan önceki kaynak spektrumu ve tabii fon çıkarıldıktan sonra elde edilen net spektrumlar ORTEC Model 485 ve Model 451 ana yükselticileri için ayrı ayrı kaydedilmiş ve sırasıyla Şekil 5 ve 7'de gösterilmiştir.



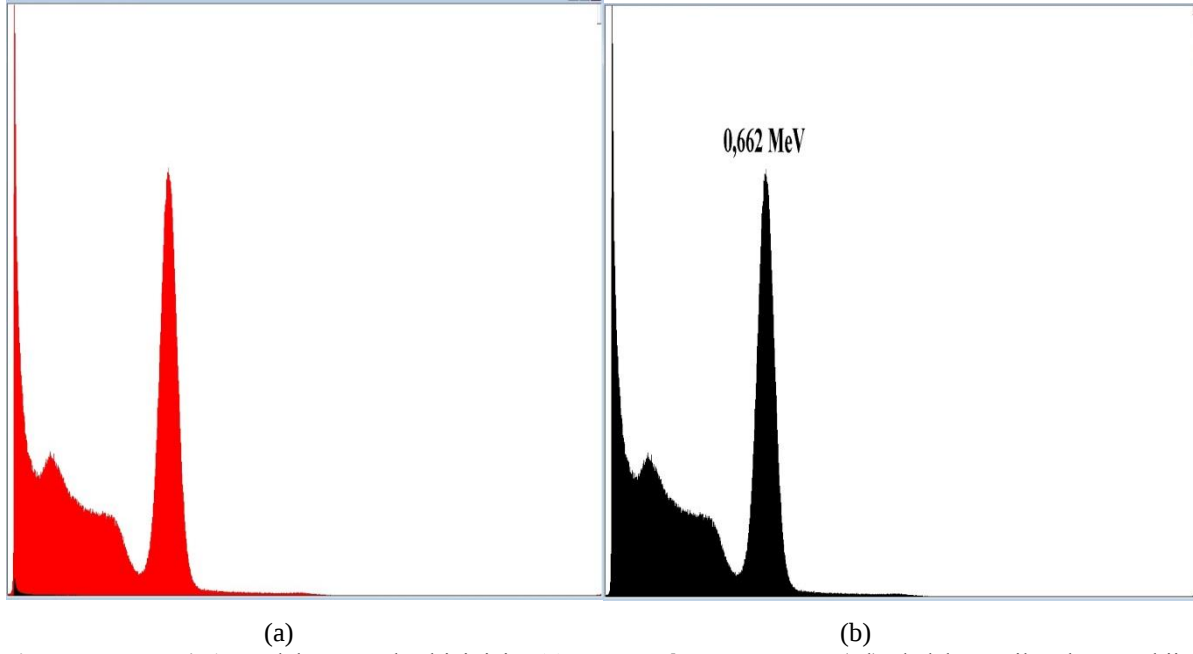
Şekil 5: ORTEC 485 model ana yükseltici için (a) Cs-137 kaynağının CsI(Tl) dedektörü ile alınan tabii fon çıkarılmadan önceki spektrumu (kırmızı) ve tabii fon spektrumu (siyah), (b) tabii fon çıkarılmış net spektrum (Enerji çözünürlüğü: %16,49).

Çok kanallı analizörde yukarıdaki gibi enerji spektrumları oluşturulan ana yükseltici sinyal çıkışlarının osiloskoptaki şekli ve bu sinyal için ölçülen çeşitli parametre değerleri de Şekil 6’da gösterilmiştir.



Şekil 6: Cs-137 kaynağı ve CsI(Tl) dedektörü kullanılarak 485 model ana yükseltici çıkışının osiloskoptaki şekli.

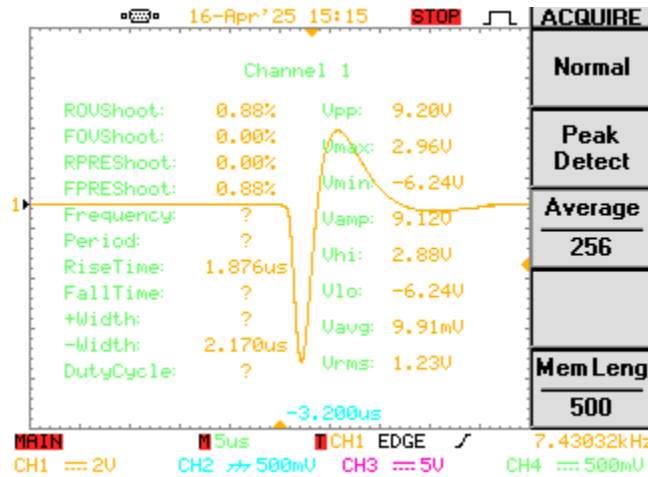
Şekil 7’de Cs-137 kaynağının ORTEC Model 451 ana yükseltici ile alınan tabii fon, kaynak ve tabii fondan çıkarılmış net kaynak spektrumları gösterilmiştir.



Şekil 7: ORTEC 451 model ana yükseltici için (a) Cs-137 kaynağının CsI(Tl) dedektörü ile alınan tabii fon çıkarılmadan önceki spektrumu (kırmızı) ve tabii fon spektrumu (siyah), (b) tabii fon çıkarılmış net spektrum (Enerji çözünürlüğü: %12,23).

Şekil 5 (a)'da ve Şekil 7 (a)'da siyah renk ile gösterilen tabii fon spektrumunun kaynak spektrumuna göre ayırt edilemeyecek kadar az sayım verdiği görülmektedir. Bunun nedeni, kullanılan Cs-137 kaynağının aktivitesinin Co-60 kaynağına göre daha yüksek olmasıdır.

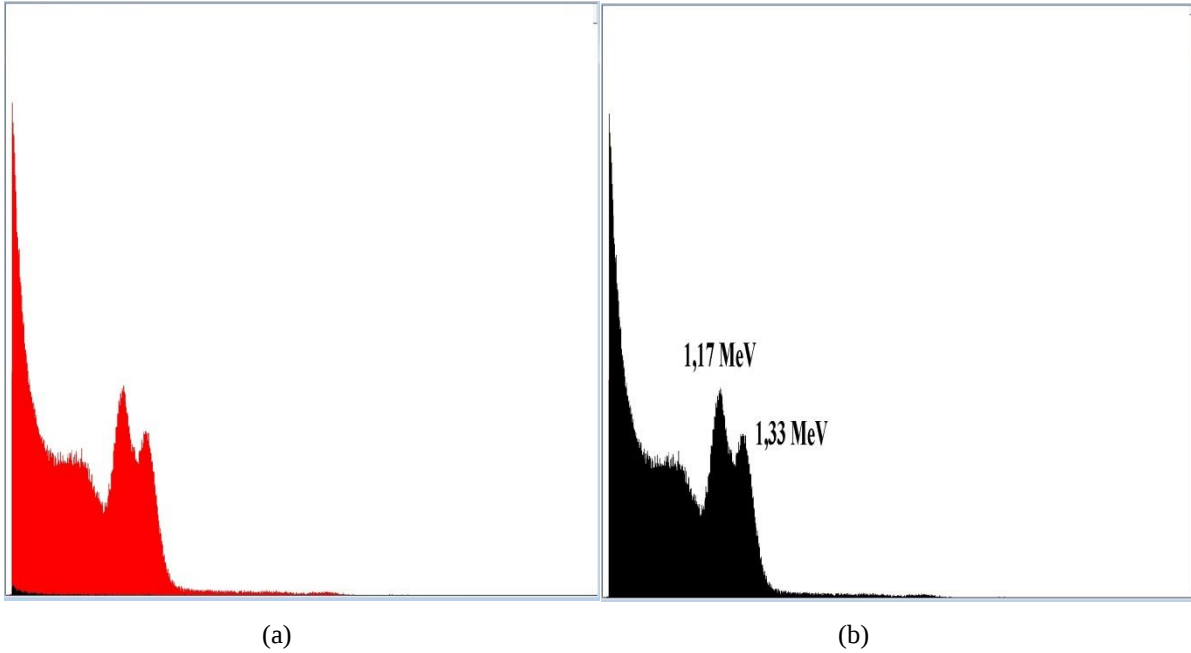
Şekil 8'de CsI(Tl) dedektörü ve ORTEC 451 model ana yükseltici ile Cs-137 kaynağının enerji spektrumunu veren ana yükseltici çıkış sinyal şekli ve ilgili parametreler verilmiştir.



Şekil 8: Cs-137 kaynağı ve CsI(Tl) dedektörü kullanılarak 451 model ana yükseltici çıkışının osiloskoptaki şekli.

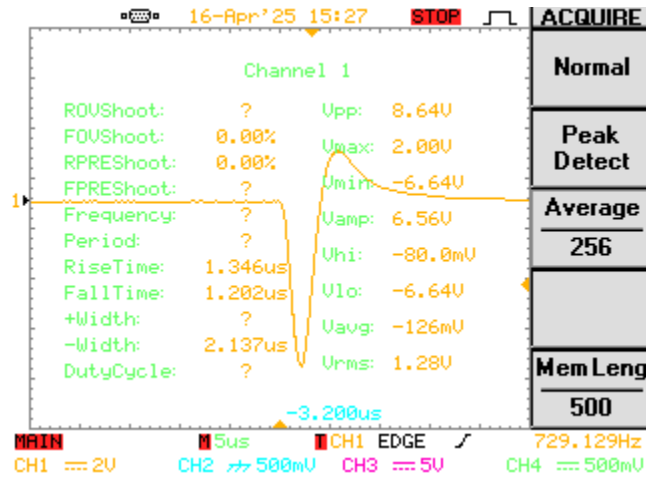
Şekil 6 ve 8 karşılaştırılırsa; fotopik tepe noktaları aynı kanal numarasına denk gelecek şekilde spektrumlar ayarlandığında, başka bir deyişle, her iki yükselticinin kazanç değerleri birbiri ile aynı seviyeye getirildiğinde, 451 model ana yükseltici çıkış genliğinin (V_{amp}) 485 model cihaza göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu nedenle 451 model ana yükseltici çıkış sinyali için yükselme zamanı (Rise time) değeri de doğal olarak büyük çıkmıştır. Bu durum 451 model ana yükselticinin bir üstünlüğünü ortaya çıkarmıştır. Şekil 5 ve 7 karşılaştırıldığında ise, 451 model ana yükseltici üzerinden alınan sonuçların daha düşük çözünürlüğe sahip olduğu görülmüştür, bu da istenen bir özelliktir.

Co-60 kaynağının ORTEC Model 485 ana yükseltici ile alınan tabii fon, kaynak ve tabii fondan çıkarılmış net kaynak spektrumları da Şekil 9’da verilmiştir.



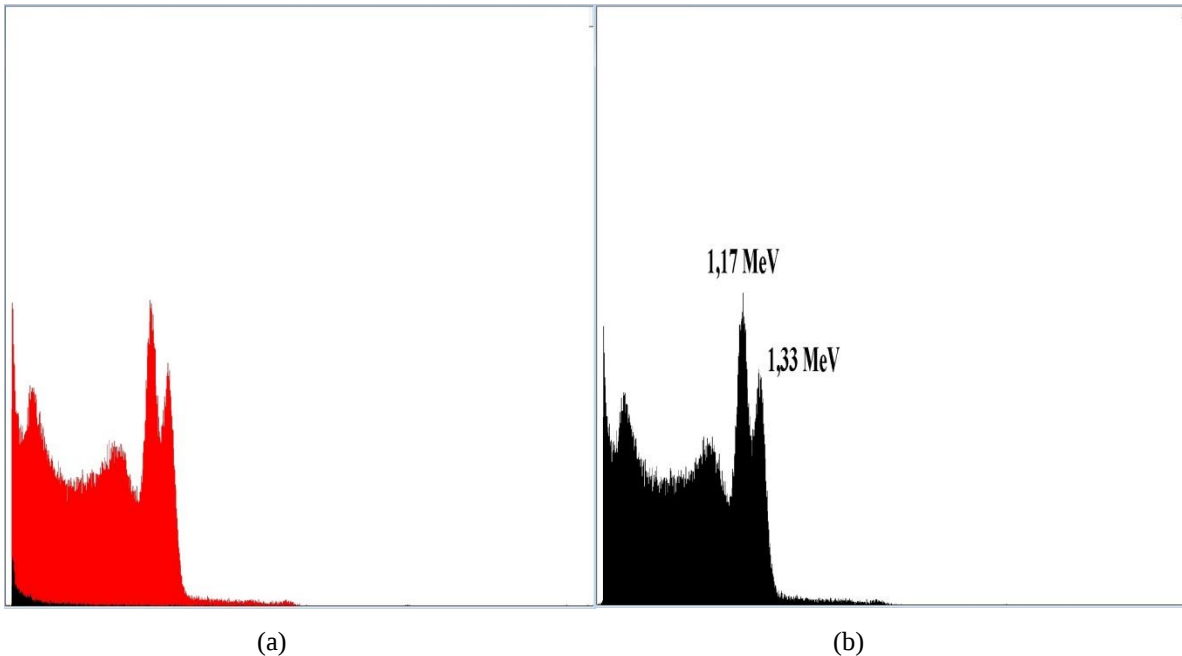
Şekil 9: ORTEC 485 model ana yükseltici için (a) Co-60 kaynağının CsI(Tl) dedektörü ile alınan tabii fon çıkarılmadan önceki spektrumu (kırmızı) ve tabii fon spektrumu (siyah), (b) tabii fon çıkarılmış net spektrum (Enerji çözünürlüğü: %23,53).

CsI(Tl) dedektörü ve ORTEC 485 model ana yükseltici ile Co-60 kaynağının enerji spektrumu Şekil 9’u veren ana yükseltici çıkış sinyal şekli ve ölçülen parametre değerleri de Şekil 10’da verilmiştir.



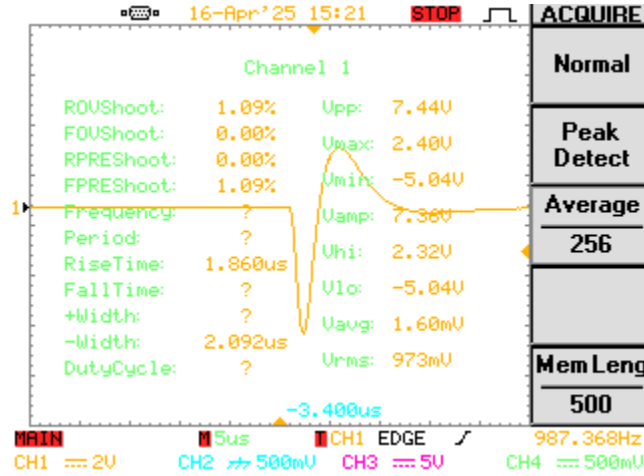
Şekil 10: Co-60 kaynağı ve CsI(Tl) dedektörü kullanılarak 485 model ana yükseltici çıkışının osiloskoptaki şekli.

Şekil 11 ise Co-60 kaynağının ORTEC Model 451 ana yükseltici ile alınan tabii fon, kaynak ve tabii fondan çıkarılmış net kaynak spektrumlarını göstermektedir. Şekil 9 (a) ve Şekil 11 (a)'da yer alan kaynak spektrumlarının daha uzun zamanda kaydedilmesi sebebiyle tabii fon spektrumları küçük sayımlar vermiştir.



Şekil 11: ORTEC 451 model ana yükseltici için (a) Co-60 kaynağının CsI(Tl) dedektörü ile alınan tabii fon çıkarılmadan önceki spektrumu (kırmızı) ve tabii fon spektrumu (siyah), (b) tabii fon çıkarılmış net spektrum (Enerji çözünürlüğü: %11,81).

CsI(Tl) dedektörü ve ORTEC 451 model ana yükseltici ile çok kanallı analizörde Şekil 11'deki Co-60 kaynağının enerji spektrumlarını oluşturan ana yükseltici sinyal çıkışının osiloskoptaki şekli ve bu sinyal için ölçülen parametreler Şekil 12'de verilmiştir.

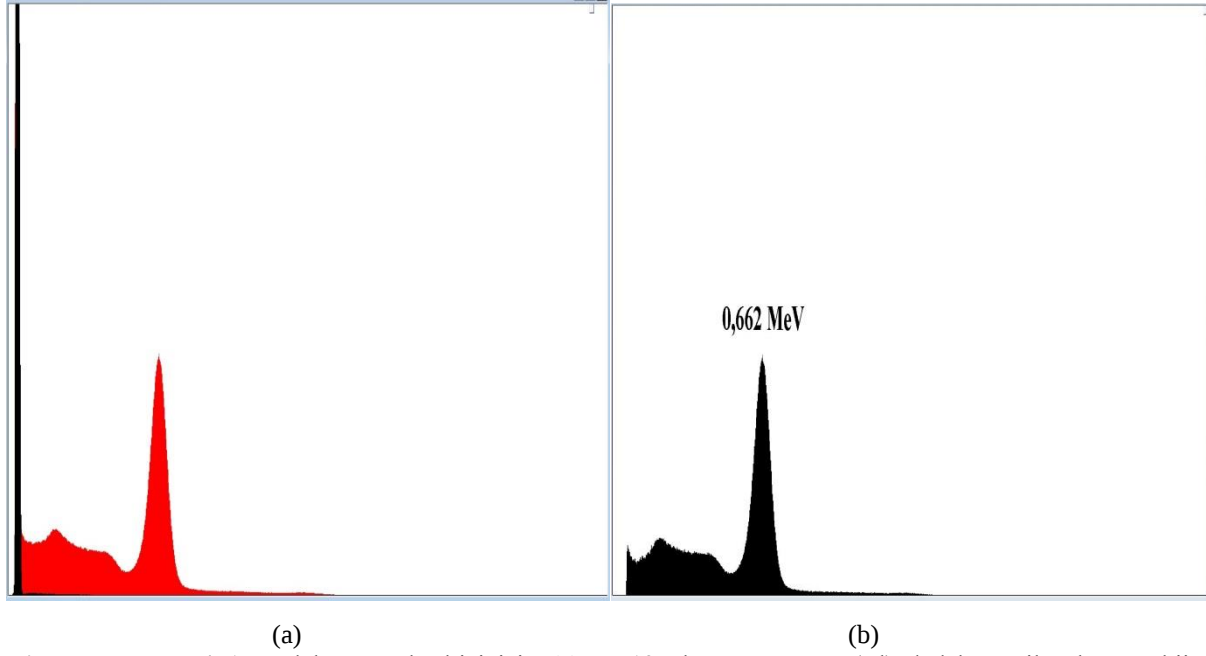


Şekil 12: Co-60 kaynağı ve CsI(Tl) dedektörü kullanılarak 451 model ana yükseltici çıkışının osiloskoptaki şekli.

Şekil 10 ve 12'deki veriler incelendiğinde; yukarıda da belirtilmiş olduğu gibi, genlik değerinin yükselmesiyle yükselme zamanında da artış görülmüştür. Şekil 11b'den görüldüğü üzere, 451 model ana yükseltici kullanılarak elde edilen kaynak spektrumundaki 1,17 MeV pikinin enerji çözünürlüğünün daha iyi çıkması da bu yorumumuzu kuvvetlendirmiştir.

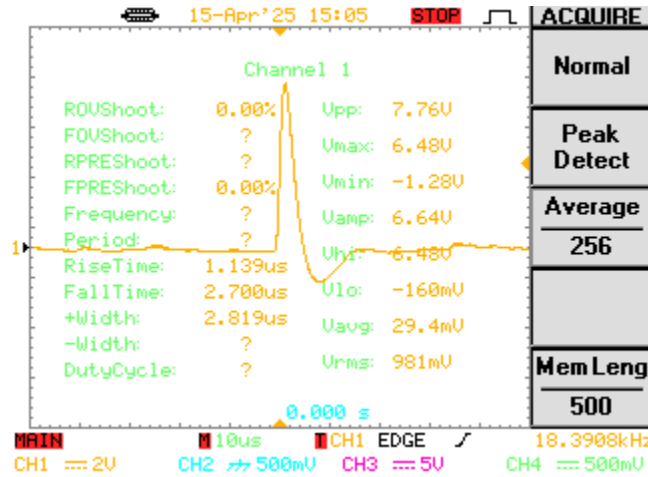
3.2. NaI(Tl) dedektörü ile gama spektrometresi

NaI(Tl) dedeksiyon sistemi ile elde edilen, Cs-137 gama radyasyon kaynağı için tabii fon, tabii fon çıkarılmadan önceki kaynak spektrumu ve tabii fon çıkarıldıktan sonra elde edilen net spektrumlar ORTEC Model 451 ve Model 485 ana yükselticileri için ayrı ayrı kaydedilmiş ve sırasıyla Şekil 13 ve 15'te gösterilmiştir.



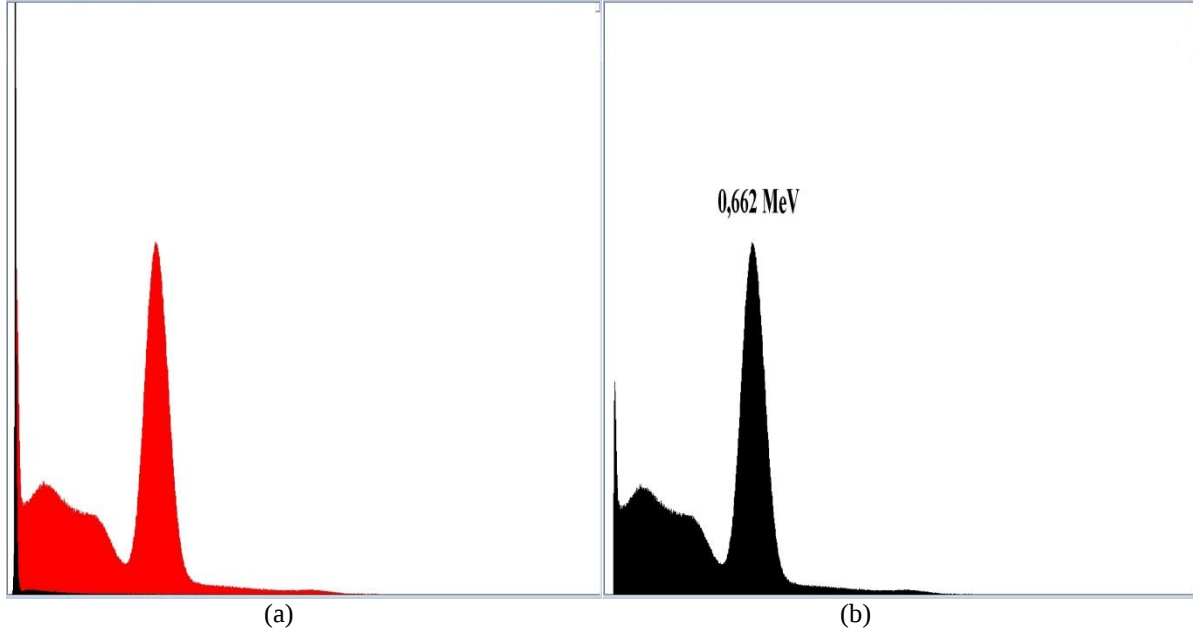
Şekil 13: ORTEC 451 model ana yükseltici için (a) Cs-137 kaynağının NaI(Tl) dedektörü ile alınan tabii fon çıkarılmadan önceki spektrumu (kırmızı) ve tabii fon spektrumu (siyah), (b) tabii fon çıkarılmış net spektrum (Enerji çözünürlüğü: %12,40).

Çok kanallı analizörde yukarıdaki gibi enerji spektrumları oluşturulan ana yükseltici sinyal çıkışlarının osiloskoptaki şekli ve bu sinyal için ölçülen çeşitli parametre değerleri de Şekil 14’te gösterilmiştir.



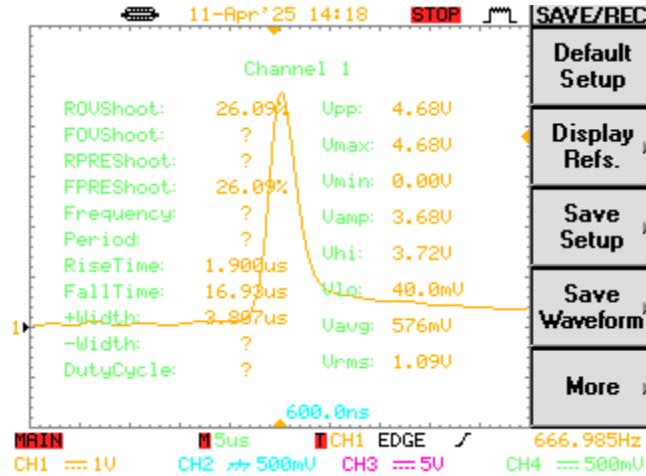
Şekil 14: Cs-137 kaynağı ve NaI(Tl) dedektörü kullanılarak 451 model ana yükseltici çıkışının osiloskoptaki şekli.

Benzer şekilde, aynı kaynak için ORTEC Model 485 ana yükseltici ile alınan tabii fon, kaynak ve tabii fon çıkarılmış net kaynak spektrumları da Şekil 15’te verilmiştir.



Şekil 15: ORTEC 485 model ana yükseltici için (a) Cs-137 kaynağının NaI(Tl) dedektörü ile alınan tabii fon çıkarılmadan önceki spektrumu (kırmızı) ve tabii fon spektrumu (siyah), (b) tabii fon çıkarılmış net spektrum (Enerji çözünürlüğü: %18,35).

Şekil 15'teki enerji spektrumunu veren ana yükseltici çıkış sinyali Şekil 16'de yer almaktadır.

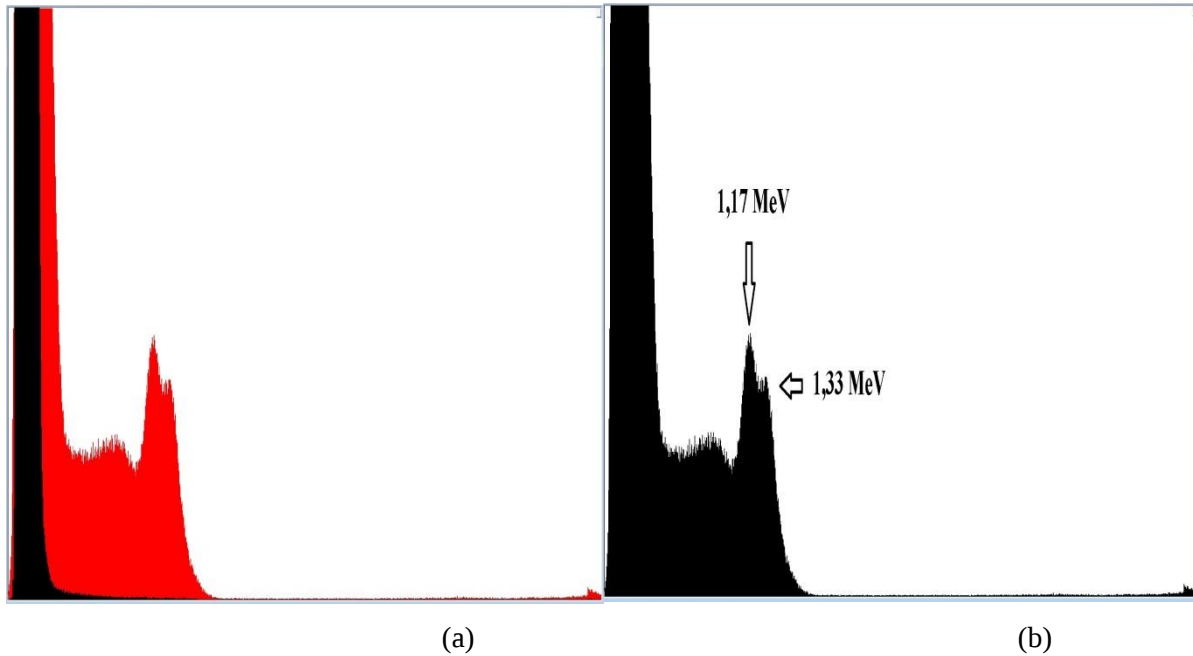


Şekil 16: Cs-137 kaynağı ve NaI(Tl) dedektörü kullanılarak 485 model ana yükseltici çıkışının osiloskoptaki şekli.

Aynı kaynak ve aynı dedektör için osiloskop sonuçları karşılaştırıldığında; Şekil 14 ve Şekil 16 birlikte değerlendirildiğinde; 451 model ana yükseltici çıkış genliğinin (V_{amp}) 485 model ana yükseltici çıkış genliğinden daha büyük olmasına rağmen 485 model cihaza göre daha düşük sinyal yükselme zamanı (Rise Time), sinyal düşme zamanı (Fall Time) ve daha düşük sinyal/puls genişliği (Width) değerleri vermesi, Cs-137 kaynağı için 451 model ana yükseltici ile kullanılan NaI(Tl) dedektöründen daha verimli sonuçlar elde

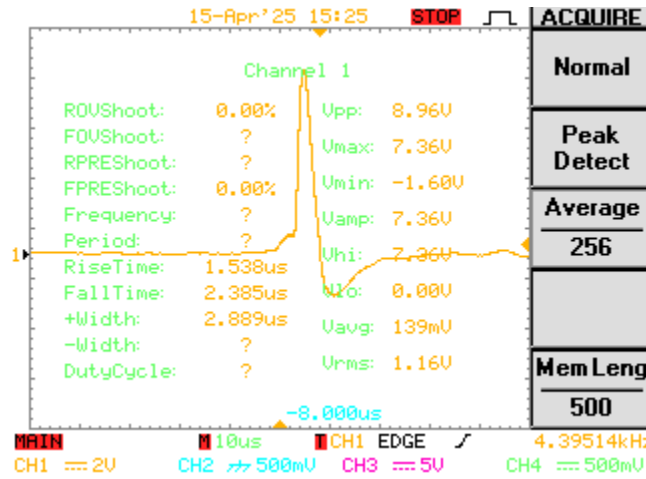
edildiği yorumunu ortaya çıkarmıştır. Benzer şekilde, enerji çözünürlük değerinin de 451 model ana yükseltici ile daha düşük çıkması bu yorumu destekler niteliktedir. Enerji çözünürlüğünün de küçük olması yukarıda da belirtildiği gibi aranan bir özelliktir. Bunun yanı sıra, deneylerimizden elde edilen 0,662 MeV piklerinin literatüre göre (http3) daha uzun çıkması da deney sonuçlarımızın güvenilirliğini artırmıştır.

Şekil 17’de Co-60 gama radyasyon kaynağı için tabii fon, tabii fon çıkarılmadan önceki kaynak spektrumu ve tabii fon çıkarıldıktan sonra elde edilen net spektrum gösterilmiştir. Bu spektrum sonuçları iki farklı ana yükseltici ile ayrı ayrı kaydedilmişlerdir. Buna göre; ORTEC Model 451 ana yükseltici ile alınan tabii fon, kaynak ve tabii fondan çıkarılmış net kaynak spektrumları Şekil 17’de gösterilmiştir.



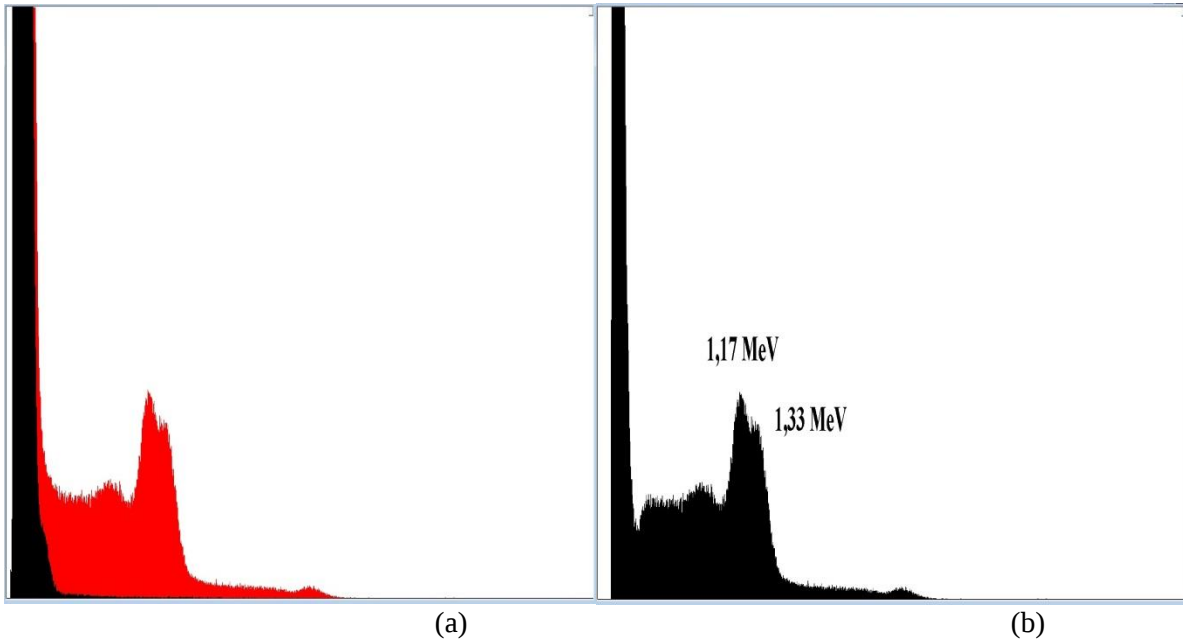
Şekil 17: ORTEC 451 model ana yükseltici için (a) Co-60 kaynağının NaI(Tl) dedektörü ile alınan tabii fon çıkarılmadan önceki spektrumu (kırmızı) ve tabii fon spektrumu (siyah), (b) tabii fon çıkarılmış net spektrum (1,17 MeV enerjili pik için enerji çözünürlüğü: %15,08).

Şekil 17’deki enerji spektrumu için ana yükseltici çıkış sinyal şekli Şekil 18’de verilmiştir.



Şekil 18: Co-60 kaynağı ve NaI(Tl) dedektörü kullanılarak 451 model ana yükseltici çıkışının osiloskoptaki şekli.

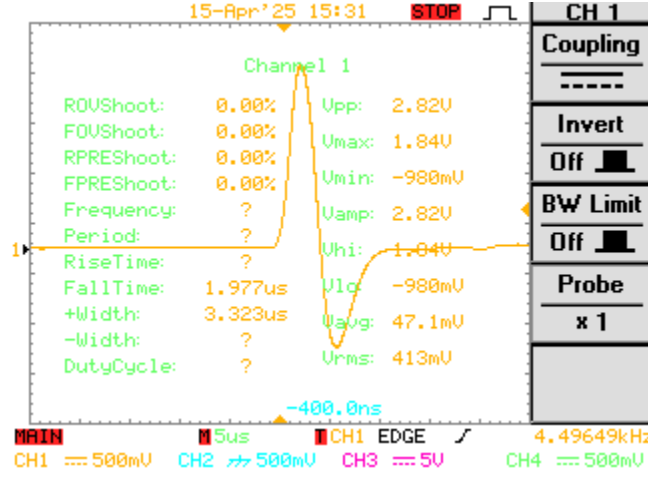
Co-60 kaynağının ORTEC Model 485 ana yükseltici ile alınan tabii fon, kaynak ve tabii fondan çıkarılmış net kaynak spektrumları da Şekil 19’da gösterilmiştir.



Şekil 19: ORTEC 485 model ana yükseltici için (a) Co-60 kaynağının NaI(Tl) dedektörü ile alınan tabii fon çıkarılmadan önceki spektrumu (kırmızı) ve tabii fon spektrumu (siyah), (b) tabii fon çıkarılmış net spektrum (1,17 MeV enerjili pik için enerji çözünürlüğü: %17,81).

Şekil 17 ve 19’da verilen spektrumların sol kenarlarında yukarıdan aşağıya doğru yer alan şeritler dedektör tarafından üretilen elektronik gürültüyü göstermektedir. Bu bantlara az da olsa tabii fonun da katkısı bulunmaktadır.

Şekil 19'daki spektrumun kaydedildiği ana yükseltici çıkışındaki sinyal için osiloskopta Şekil 20'de yer alan veriler elde edilmiştir.



Şekil 20: Co-60 kaynağı ve NaI(Tl) dedektörü kullanılarak 485 model ana yükseltici çıkışının osiloskoptaki şekli.

Çizelge 2’de, bu çalışmada sistematik olarak incelenen farklı dedektör ve yükseltici kombinasyonlarına göre elde edilen enerji çözünürlükleri verilmiştir. Bu değerler karşılaştırıldıklarında; CsI(Tl) kristali ile tasarlanan dedeksiyon sisteminin enerji çözünürlüğü daha iyi olduğu görülmüştür. Çizelge 1’de de gösterildiği gibi, CsI(Tl) kristali NaI(Tl) kristaline göre daha düşük fotoelektron verimine sahip olmasına rağmen [NaI(Tl) kristalinin fotoelektron veriminin %45’i], NaI(Tl) kristalinden ortalama %54 oranında daha fazla ışık verimine sahiptir. Yani kristal, kendi içinde birim enerji başına daha çok foton salınımı meydana getirmektedir. Bu nedenle elde ettiğimiz sonuçlar beklentilerimiz doğrultusundadır.

Çizelge 2: Dedektör ve yükseltici kombinasyonlarına göre elde edilen enerji çözünürlükleri.

Dedektörde kullanılan kristal tipi	Ana yükseltici modeli	Enerji çözünürlük değeri (%)	
		Cs-137 (662 keV)	Co-60 (1173 keV)
CsI(Tl)	Model 451	12,23	11,81
CsI(Tl)	Model 485	16,49	23,53
NaI(Tl)	Model 451	12,40	15,08
NaI(Tl)	Model 485	18,35	17,81

Bu çalışmada elde edilen Co-60 kaynağının spektrumları ile literatür spektrumu (<http3>) karşılaştırıldığında; çalışmamızda kullanılan NaI(Tl) ve CsI(Tl) dedektörlerinin her ikisinin de kaynak spektrumunun 1,33 MeV enerji değerine karşılık gelen pikini ayırt etmekte zorlandığı görülmüştür. Bu durumun kaynağın aktivitesinin çok düşük olmasından ve laboratuvarımızda kullandığımız NaI(Tl) sintilasyon dedektörümüzün yaşlanma sebebiyle de yeterli ayırma gücüne sahip olamamasından kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.

Elde edilen spektrumlar 1,17 MeV enerjili pik üzerinden değerlendirilecek olursa; Şekil 17 ve 19’da verilen spektrumlarda Şekil 17’de sol kısımda yer alan gürültü bandının biraz daha kalın olduğu görülmektedir. Bu da aktivitenin düşük olması sebebiyle 451 model ana yükselticisinin kazanç değerinin biraz daha yüksek seçilmesinden ileri gelmiştir. Fakat, pik şekillerinin ise genel olarak birbirine benzediği görülmüştür.

Şekil 18 ve 20’de gösterilen osiloskop şekilleri incelendiğinde; Şekil 18’de yer alan sinyal parametrelerinin genel olarak Şekil 20’de verilen parametrelerden daha büyük olmasının nedeni 451 model ana yükselticinin kazancının yüksek olması olarak yorumlanmıştır. Buna rağmen 1,17 MeV piki için hesaplanan enerji çözünürlüğünün 451 model ana yükseltici için daha küçük çıkması bu yorumumuzu desteklemiştir.

Şekil 17 ve 19, Şekil 9 ve 11 ile karşılaştırıldıklarında; genel olarak CsI(Tl) kristalli dedektörün Co-60 kaynak spektrumlarında 1,17 ve 1,33 MeV piklerini birbirlerinden daha iyi bir şekilde ayırabildiği, bunun ötesinde; Model 451 tip ana yükseltici ile bu pikleri daha da başarılı bir şekilde birbirinden ayırdığı ve Co-60 kaynağının NaI(Tl) dedektörü için literatürde verilen gama spektrumuna (<http3>) daha yakın bir sonuç verdiği görülmüştür.

4. TARTIŞMA

Bu çalışmada, hızlı cevap süresine sahip CsI(Tl) sintilasyon kristalinin yeni nesil bir fotoçoğaltıcı tüpe (HAMAMATSU R1828-01) montajlanması suretiyle yeni bir dedektör yapılmış ve bu dedektörü kullanan bir spektrometre oluşturulmuştur. Bir NaI(Tl) sintilasyon dedektörü (BICRON Model: 3143) de aynı spektrometrede CsI(Tl) dedektörü yerine kullanılmıştır. Bu iki spektrometre ile deneysel net kaynak spektrumlarının elde edilmesine çalışılmıştır. Bu iki dedektör arasında daha iyi performans karşılaştırması yapabilmek amacıyla iki farklı gama radyasyon kaynağı (Cs-137 ve Co-60) kullanılmıştır. Enerji çözünürlüğü en iyi olan enerji spektrumunu elde etmek amacıyla, iki farklı ana yükseltici modeli (Model 451 ve Model 485) tasarlanan spektrometrede denenmiş, bazı temel elektronik veriler, enerji spektrumları ve bu spektrumlardan yararlanarak belirlenen enerji çözünürlüğü sonuçları birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

Çalışmada deneyler yapılırken, her iki dedektörle alınan sonuçlar aynı fiziksel ortam koşullarında (sıcaklık, nem, basınç, ışık vb.) gerçekleştirilmiştir. Böylelikle, dış fiziksel ortamın deney sonuçlarına herhangi bir etkisinin olmamasına gayret edilmiştir.

Co-60 kaynağı ile alınan sonuçların gürültü açısından her iki dedektör için literatürden farklı olmasının nedeni, deneylerimizde kullandığımız Co-60 kaynağımızın aktivitesinin çok düşük olmasıdır. Aktivite düşük olunca, ana yükselticinin kazanç değerleri artırılmak zorunda kalmıştır. Bu durum, elektronik gürültü sinyallerinin de güçlendirilmesine ve böylece kaynak spektrumundaki gürültü bandının genişlemesine neden olmuştur. Bundan dolayı, kaynaktan gelen gama fotonlarının oluşturacağı sinyallerin

elektronik gürültü sinyallerinden ayırt edilebilmesi güçleşmiştir. Bu da spektrometrenin dedeksiyon verimine olumsuz etki etmiştir. Buradan hareketle, kullanılan gama kaynağının aktivite şiddetinin de çok düşük değerde olmaması gerektiği sonucuna varılmıştır. Ancak, düşük aktiviteler durumu söz konusu ise gürültü bandını azaltabilmek için spektrometreye elektronik gürültü filtresi gibi çeşitli elektronik devrelerin de eklenebileceği sonucu çıkarılmıştır.

Şekil 17 ve 19, Şekil 9 ve 11’de verilen spektrumlar ile karşılaştırıldıklarında; CsI(Tl) dedektörünün düşük aktiviteli kaynak spektrumlarında daha düşük gürültü bandına sahip olduğu görülmüştür. Bu sonuç, elektronik gürültü açısından CsI(Tl) kristalinin NaI(Tl) kristaline göre bir üstünlüğünü ortaya koymuştur.

Edinilen bulgular genel olarak değerlendirildiğinde; CsI(Tl) sintilasyon kristali ile elde edilen sonuçların NaI(Tl) kristaline göre daha iyi olduğu söylenebilir. Şöyle ki; osiloskop ölçümlerinde genel olarak CsI(Tl) kristalli dedektörün elektronik ölçümleri NaI(Tl) kristalli dedektörünkinden daha iyi değerlerdedir. Benzer şekilde, CsI(Tl) dedektöründen alınan gama spektrumlarının literatürde verilen spektrumlara daha iyi uyum sağladığı, hatta NaI(Tl) detektörüne göre daha düşük enerji çözünürlük değerlerine sahip olduğu da belirlenmiştir. Küçük enerji çözünürlüğü her zaman aranan bir özellik olup, bu değer dedektörün daha hassas enerji ayırma gücüne sahip olduğunu gösterir. Ek olarak, kullanılan CsI(Tl) kristali 2"×2" boyutunda, laboratuvarımızdaki NaI(Tl) sintilasyon dedektörünün NaI(Tl) kristali ise 3"×3" boyutuna sahiptir. CsI(Tl) kristalinin NaI(Tl) kristaline göre daha küçük boyutta olmasına rağmen daha iyi sonuçlar vermesi, bu kristalin gama radyasyon ölçümü için iyi bir alternatif olacağı görüşünü kuvvetlendirmiştir. Elde edilen sonuçlar, CsI(Tl) kristalinin sağlık başta olmak üzere her türlü eğitim, öğretim, araştırma, tetkik, izleme, kontrol ve güvenlik gibi alanlarda da başarılı şekilde kullanılabileceği yorumunu getirmiştir. Bunun yanı sıra, en iyi sistem performansını elde edebilmek amacıyla kullanılan spektrometrede farklı iki tip ana yükseltici denenerek de deneyler yapılmıştır. Buna göre; en iyi çözünürlük için önerilecek olan spektrometre bileşenleri ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Yukarıda verilen deneysel sonuçlar ışığında; 451 model spektroskopisi ana yükseltici kullanılarak oluşturulan spektrometrenin en iyi dedeksiyon performansı sergilediği belirlenmiştir.

Her iki radyoaktif kaynak için aynı dedektörden alınan sinyal şekilleri kendi aralarında karşılaştırıldığında; kullanılan ana yükseltici tipinin okunan temel sinyal büyüklükleri üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Bu durum, ana yükseltici seçiminin özellikle sinyal şekillendirilmesi açısından radyasyon spektrometrelerinde önemli bir role sahip olduğunu ortaya koymuştur. Aynı karşılaştırma CsI(Tl) dedektörü için yapıldığında ise CsI(Tl) dedektörünün spektrometrik sonuçlar bakımından mevcut NaI(Tl) detektörümüze göre çok daha iyi sonuçlar verdiği yorumuna ulaştırmıştır. Ek olarak, spektrometrede kullanılan kaynağın aktivitesinin,

dedektörün cinsinin ve devredeki ana yükseltici tipinin de sonuç üzerinde ne kadar etkili bu çalışma ile gösterilmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Ege Üniversitesi Aliye Üster Vakfı tarafından desteklenmiştir.

YAZARLARIN KATKILARI

B.C.Ö.: Yöntem, araştırma, kaynaklar, yazı yazma - orijinal taslak hazırlama.

C.Ç.: Kavramsallaştırma, yöntem, araştırma, doğrulama, kaynaklar, yazı yazma- gözden geçirme ve düzenleme.

KAYNAKLAR

- Birks, J. B. (1964). *The theory and practice of scintillation counting*. (D. W. Fry, L. Costrell, & K. Kandiah, Eds.). Pergamon Press Oxford.
- Dietrich, H. B., & Murray, R. B. (1972). Kinetics of the diffusion of self-trapped holes in alkali halide scintillators. *Journal of Luminescence*, 5, 155–170.
- Heath, R. L., Hofstadter, R., & Hughes, E. B. (1979). Inorganic scintillators. A review of techniques and applications. *Nuclear Instruments and Methods*, 162, 431–476. [https://doi.org/10.1016/0029-554X\(79\)90728-6](https://doi.org/10.1016/0029-554X(79)90728-6)
- http1: (Erişim Tarihi: 13/05/2025). <http://tr.kinheng-crystal.com/csitl-scintillator-csitl-crystal-csitl-scintillation-crystal-product/>.
- http2: (Erişim Tarihi: 13/05/2025). <http://tr.kinheng-crystal.com/naitl-scintillator-naitl-crystal-naitl-scintillation-crystal-product/>.
- http3: (Erişim Tarihi: 13/05/2025). <https://www.scientificlib.com/en/Spectroscopy/GammaRaySpectroscopy.html>.
- Kaufman, R. G., Hadley, W. B., & Hersh, H. N. (1970). The scintillation mechanism in thallium doped alkali halides. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 17, 82–87.
- Knoll, G. F. (1999). *Radiation Detection and Measurement*. John Wiley and Sons Inc., U.S.A.
- Leo, W. R. (1987). *Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, Germany.
- Mouhti, I., McFee, J. E., Drissi El-Bouzaidi, M., El Qars, J., Ouacha, E. H., Assakrar, M., & Bellioua, M. (2025). Experimental validation of absolute full energy peak efficiency and energy resolution of NaI(Tl), CsI(Tl), BGO, YAP(Ce) and CeBr₃ scintillation detectors modeled with Monte Carlo codes. *Radiation Physics and Chemistry*, 231, 112603. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2025.112603>.
- Parker, A. J., Bandala, M., Croft, S., Crouch, L., Dunphy, R. D., Hutchinson, D., ... Joyce, M. J. (2024). Enrichment measurement by passive γ -ray spectrometry of uranium dioxide fuel pellets using a europium-doped, strontium iodide scintillator. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A*:

Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 1062. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2024.169191>.

- Pereira, M. C. C., Filho, T. M., Lopes, V. M., Berretta, J. R., & Cardenas, J. P. N. (2015). Scintillation response of CsI:Tl crystal under neutron, gamma, alpha particles and beta excitations. In *International Nuclear Atlantic Conference*, SP, Brasil.
- Santomé, A. C. H., Sanjurjo-Sánchez, J., & Alves, C. (2025). Use of hand-held gamma-ray spectrometry to assess decay of granite ashlar in historical buildings of NW Spain (Barbanza, Galicia). *Journal of Cultural Heritage*, 71, 20–29. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2024.10.019>
- Tariwong, Y., Kim, H. J., Quang, N. D., Khan, A., Daniel, D. J., Limsuwan, P., ... Kaewkhao, J. (2025). Ca co-doped CsI(Tl) crystal scintillator for γ - and X-ray detecting applications. *Radiation Physics and Chemistry*, 226, 112241. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2024.112241>
- Tsoufanidis, N. (1995). *Measurements and Detection of Radiation* (2nd ed.). Taylor & Francis: London, UK.
- Yang, H., Lai, Z., Wang, W., Qi, H., Wang, S., Chen, J., Qin, J., Zhang, H., Fang, Z., Xu, H., Xu, R., & Zhu, Y. (2025). Growth of high-quality, large-size CsI and CsI(Tl) scintillator single crystals via continuous-mass transport process method. *Optical Materials*, 164, 117065. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2025.117065>

İstanbul, Kumköy – Kısırkaya Arası Kıyı Kesimi Yamaç Stabilitesi Değerlendirilmesi

Erkan BOZKURTOĞLU^{1*}, Gökhan ŞANS¹, Yunus Emre EROĞLU², Emre ORKAN²

¹Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Maden Fakültesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

²Jeoloji Mühendisi, İstanbul, Türkiye

Geliş: 09.04.2025, Kabul: 23.05.2025, Yayınlanma: 22.06.2025

ÖZ

Jeolojik ve geometrik özellikler yamaçların stabilitesi için önemli girdilerdir. Bu çalışmada, İstanbul ili Avrupa yakasının kuzeyinde bulunan Kumköy-Kısırkaya arasının stabilite açısından değerlendirmesi yapılmıştır. Orman ve yerleşim alanlarının iç içe olduğu bölgede irili ufaklı ve hareket hızı az olan kütle hareketleri yaygın bulunmakta ise de aktif heyelanların geliştiği alanlar da bulunmaktadır. Bu alanlar; Mimar Sinan Üniversitesi Araştırma Merkezi ile Beyazköşk Evleri Sitesi arası, Boğaziçi Üniversitesi Sarıyer Kampüs alanı ile çevresi ve Karanlıkdere sol sahil kesimidir. Çalışmada stabilite hesapları aktif heyelan alanları arasında kalan kesimde 4 profil boyunca gerçekleştirilmiştir. Arazide gözlenen dairesel ve dairesel olmayan kayma yüzeyleri nedeniyle Bishop ve Janbu yöntemleri ile yapılan analizler, tamamen kuru ve mevcut yeraltısu durumuna göre statik ve dinamik durum için yapılmıştır. Kuru ve statik durum ile yeraltısuyu içeren statik durum için güvenlik katsayısı tüm kesitlerde 1'den büyük iken kuru ve dinamik durumda 3 kesitte güvenlik katsayısı 1'den küçük, yeraltısuyu içeren dinamik durumda tüm kesitlerde 1'den küçüktür.

Anahtar Kelimeler: Kumköy-Kısırkaya; Kütle Hareketi; Heyelan; Yamaç Stabilitesi; Limit Denge.

Slope Stability Assessment of the Coastal Section Between Kumköy-Kısırkaya, Istanbul

ABSTRACT

Geological and geometric factors play a crucial role in slope stability. This study evaluates the stability of the coastal section between Kumköy and Kısırkaya, in northern Istanbul. The region, where residential and forested areas coexist, experiences widespread small-scale, slow-moving mass movements, along with active landslides. Key landslide-prone areas include the section between Mimar Sinan University Research Center and Beyazköşk Evleri, Boğaziçi University Sarıyer Campus and its surroundings, and the left bank of Karanlıkdere. Stability analyses were conducted along four profiles within the active landslide zone using the Bishop and Janbu methods, considering both circular and non-circular failure surfaces. Calculations were performed under static and dynamic conditions for dry and groundwater-influenced scenarios. The safety factor exceeded 1 in all profiles for dry-static and groundwater-influenced static conditions. However, in dry-dynamic conditions, three profiles had safety factors below 1, while all profiles had values below 1 in groundwater-influenced dynamic conditions.

Keywords: Kumköy-Kısırkaya; Mass Movement; Landslide; Slope Stability; Limit Equilibrium.

1. GİRİŞ

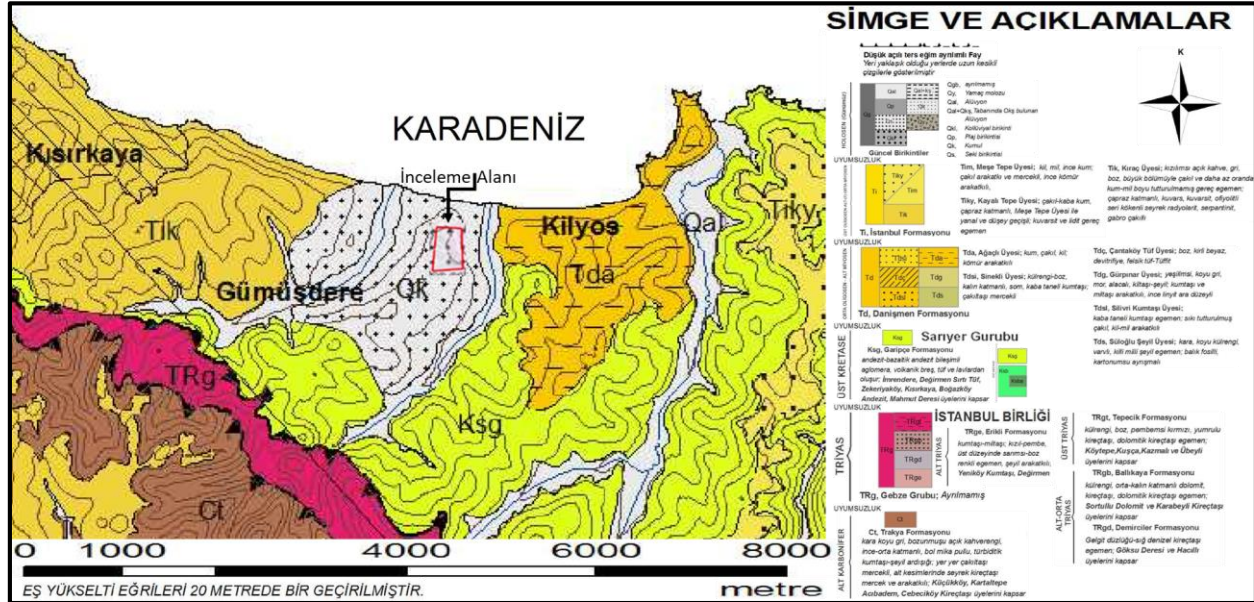
Afetler, bir topluluğun kendi kaynaklarıyla baş a çıkamayacağı can ve mal kaybına, çevresel zararlara ve sosyal, ekonomik faaliyetlerin durmasına yol aç an olaylardır. Doğa olayları, dünyanın kendi dinamik süreçlerinin bir parçasıdır ancak kayıplara neden olduğ unda afete dönüşür. Afetlere karşı dirençli bir kent yaşamı için toplum bilincinin artırılması ve bilimsel kriterlere dayalı çevresel ve mekânsal planlamalarla güvenli yapılaş manın sağ lanması gereklidir. Bu çalış mada, İstanbul ilinde gerek doğal gerekse hatalı kentleşmeden kaynaklanan ve çoğ unlukla afete dönüş en olaylardan biri olan heyelanlı alanlarda görülen yerleş im alanlarından biri olan Kumköy-Kısırkaya arasındaki kıyı kesiminde bilinen mevcut heyelanlı alanların arasında kalan kesimin stabilite analizi yapılmıştır. Zemin ortamlarda sürdürülen stabilite analizleri, zemin kütlesinin dış kuvvetler altında kayma-çökme eğilimini değ erlendirmek ve güvenlik durumunu belirlemek için uygulanan mühendislik hesaplamalarıdır. Bu analizler; özellikle ş evler, dolgu yapıları, barajlar ve kazılar gibi mühendislik yapılarının güvenliği için elzemdir. Baş lıca stabilite analiz yöntemleri; limit denge analizleri, sayısal yöntemler ve mukavemet azaltma yöntemleridir. Limit denge analizinde, zemindeki kayma yüzeyi belirlenerek bu yüzey boyunca dengenin sağ lanıp sağ lanmadığı irdelenir. Bu amaçla genellikle, dairesel kayma yüzeyleri için Bishop Yöntemi, dairesel ve dairesel olmayan kayma yüzeyleri için Janbu, Morgenstern-Price ve Spencer yöntemleri kullanılır. Sayısal yöntemler ise zemin içindeki gerilme, deformasyon ve akış ları hesaplamak için kullanılan sonlu elemanlar yöntemi (FEM) ile zemin içindeki gerilme ve akış ları modellemek için kullanılan sonlu farklar yöntemi (FDM) dir. Mukavemet azaltma yönteminde ise zeminin kesme dayanım değ eri azaltılarak güvenlik katsayısı hesaplanır. Bu analizler, statik ve dinamik (deprem) koş ulları altında gerçekleştirilerek mühendislik projelerinde güvenli tasarım sağ lanır. Kumköy – Kısırkaya arası kıyı kesim ile Gümüşdere mahallesini kapsayan alanda orman örtüsü ile yerleş im alanları iç içe olup söz konusu alanda heyelan ve akma türü kütle hareketleri gözlenmektedir. Tutturulmamış ve/veya az tutturulmuş malzemede gözlenen kayma ve akma türü hareketlerin çoğ u mevcut orman örtüsü ile önlenmiş se de yapılaş ma alanlarının bazılarında jeoteknik önlemlerin yetersizliği nedeniyle heyelanlı alanlar bulunmaktadır. Bölgedeki etkin heyelan alanları Ayvat Bendi Tabiat Parkı ile Kısırkaya Terme Plajı doğ rultulu (yaklaş ık K10D gidiş li) vadiyi drene eden Karanlık Dere heyelan alanı (derenin sol sahilinde yaygın alanlar kaplar), Mimar Sinan Üniversitesi Araş tırma Merkezi ile Beyazköş k Evleri Sitesi arasındaki alan ve Boğ azici Üniversitesi Sarıyer Kampüs alanının çevresindeki alanlardır. Bu alanların dışında ise bölgede dağ ınık olarak gözlenen küçük çapta kaymalar bulunur. Bu çalış mada sunulan stabilite analizleri, Mimar Sinan Üniversitesi Araş tırma Merkezi ve Beyazköş k Evleri Sitesi arasındaki alan ile Boğ azici Üniversitesi Sarıyer Kampüs alanı ve çevresindeki alanın arasında kalan kesimde gerçekleştirilmiştir. Söz konusu alanda 4 tane hesap kesiti alınmış ve hesaplamalar kuru durum ile bölgenin mevcut yeraltısuyu seviyelerine göre statik ve dinamik durum için

yapılmıştır. Kayma yüzeyleri arazide dairesel ve dairesel olmayan kayma düzlemleri şeklinde geliştiği için stabilite analizleri limit denge yönteminde Bishop ve Janbu çözümleri ile yapılmıştır. Çözümler; söz konusu alanda güvenlik sayısının (G_s) sadece kuru ortam ve mevcut yeraltı suyu düzeyinde (YAS) yalnız statik durum için 1’den büyük olduğunu göstermiştir. Bu şartlardan kuru ortam için Bishop yöntemi ile belirlenen güvenlik sayıları 1.928 – 3.077 arasında Janbu yöntemi ile belirlenen güvenlik sayıları ise 1.786 – 2.701 arasında değişirken mevcut YAS durumunda Bishop yöntemi ile belirlenen güvenlik sayıları 1.164 – 1.955 arasında, Janbu yöntemi ile belirlenen güvenlik sayıları 1.057 – 1.688 arasında değişir. Kuru ortam dinamik durum analizinde ise güvenlik sayısı sadece bir kesitte 1’den büyük olup bu kesitte Bishop yöntemi ile bulunan değer 1.122, Janbu yöntemi ile bulunan değer ise 1.010 dur. Diğer kesitlerde ise $G_s < 1$ dir. Mevcut YAS seviyesi dinamik durum analizinde ise tüm kesitlerde $G_s < 1$ dir. Arazi gözlemleri ve hesaplama kesitleri, Kumköy – Kısırkaya arasındaki kıyı kesimde mevcut heyelan alanları arasında bulunan kesimde heyelan gelişiminin kritik koşullara yaklaştığını ve zemini oluşturan litolojik birimin özellikleri nedeniyle, her ne kadar çalışma alanı henüz stabil durumda olarak değerlendirilirse de zaman içinde güvenlik sayısı değerinin azalıp alanın labil duruma yaklaşarak kritik dengeye ulaşacağını göstermektedir.

2. İNCELEME ALANININ JEOMORFOLOJİSİ ve JEOLJİSİ

İstanbul ili Karadeniz kıyı kesimi, Sarıyer ilçe alanı KB’sında olan çalışma alanı Marmara Bölgesi’nin Çatalca Bölümü’ndedir. İstanbul Boğazı tarafından kesintiye uğratılmış büyük ve geniş bir yarımada olan Çatalca Yarımadasının inceleme alanındaki görünümü hemen hemen deniz seviyesine kadar aşındırılmış ve ortalama 150 – 200 m yükseklikler içeren peneplenleşmiş bir platodur. Bu plato, çalışma alanının B sınırı olan Karanlık dere, D sınırı olan Küçükçavak Dere ve doğudan batıya doğru bu iki derenin arasında bulunan Tatlısu Dere ile Gümüş Dere tarafından yaklaşık KD’ya akışla Karadeniz’e drene edilmektedir. Arazi eğimleri $< \%3$ ile $> \%70$ arasında değişmekte olup özellikle kıyı kesimde yüksek eğimli alanlar yoğundur. Kara içine doğru gidildikçe artan yükseltilere karşın azalan arazi eğimleri ile karşılaşmaktadır. Çalışma alanı ve çevresinde temel kayayı İstanbul Birliğinin Alt Karbonifer yaşlı Trakya formasyonu (Ct) oluşturur. İnce, orta katmanlı bol mika içerikli türbiditik kumtaşı-şeyl aralanması olan temel kayanın üzerine İstanbul Birliğinin Triyas yaşlı Gebze grubu kayaçları (TRg) şaryaj gelişimine bağlı olarak uyumsuzluk ile yer alır. Taban seviyesi kumtaşı-silttaşı olan (TRge; Erikli formasyonu) ve üst seviyelere doğru sırasıyla; gelgit düzlüğü ve sığ denizel kireçtaşı kayaları (TRgd; Demirciler formasyonu), orta-kalın katmanlı dolomit-dolomitik kireçtaşı-kireçtaşı (TRgb; Ballıkaya formasyonu), yumrulu kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşı (TRgt) içeren Gebze grubunun üzerinde Üst Kretase yaşlı Sarıyer grubunun andezit-bazaltik bileşimli anglomera, volkanik breş, tuf ve lavlardan oluşma Garipçe formasyonu (Ksg) bulunur. Garipçe formasyonu ise Orta Oligosen-Alt Miyosen yaşlı Danişmen formasyonunun kömür ara katkılı kum, çakıl, kil seviyelerini içeren

Ağaçlı üyesince (Tda) uyumsuzlukla üzerlenir. Danişmen formasyonu üzerinde Üst Oligosen-Orta Miyosen yaşlı İstanbul formasyonunun baskın litolojisi kum ve silt daneleri olan ve kuvars, kuvarsit, radyolarit, ofiyolit, gabro çakılları içeren Kıraç üyesi (Tik) ile kuvarsit ve lidit egemen çakıl ve kaba kumlar içeren Kayalı Tepe üyesi (Tiky) uyumsuz olarak yerleşmiştir. İstanbul formasyonu üzerinde uyumsuz olarak bulunan Holosen yaşlı güncel birikintiler (Qg) stratigrafik istifin üst katmanını oluşturmuştur (Şekil 1) (Özgül, 2011).



Şekil 1: İnceleme alanı ve çevresinin jeoloji haritası (Özgül, 2011).

3. İNCELEME ALANININ MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ ÖZELLİKLERİ

Çalışma alanı ve çevresindeki jeolojik oluşumu (bakınız Şekil 1) içinde kütle hareketi amaçlı inceleme alanı Gümüşdere ile Kilyos arasında kalan bir alanda gerçekleştirilmiştir (Şekil 2). Kayma, akma, düşme, devrilme, yayılma ve birleşik (Varnes, 1978) olmak üzere değişik kütle hareketlerinin gözlemlendiği bölgede [İBB, 2020] kütle hareketleri başlıca heyelanlar (zemin ortamlar) ve kaya şev duraysızlıkları (kaya ortamlar) şeklinde iki grupta toplanabilir. Kumköy – Kısırkaya arası bölgede kıyı kesiminde kalan alanında mevcut heyelanlar baskın kütle hareket türü olup bu çalışmada mevcut kütle hareket yüzeylerinin arasında kalan ve arazi gözlemleri ile de dengede olduğu görülen kesimin geleceğe yönelik duraysızlık gelişiminin oluşup oluşmayacağı araştırılmıştır. Stabilite analizlerinin gerçekleştirildiği alan ve çevresinde yayılım sunan Ksg (Sarıyer grubu, Garipçe formasyonu), Tda (Danişmen formasyonu, Ağaçlı üyesi) ve Qg (Holosen yaşlı güncel birikintiler) jeolojik formasyon ve birimlerin arazideki görünüşleri Şekil 2’de gösterilmiştir. Kilyos ile Kısırkaya arasındaki sahil kesimde kalan bu alanın çevresinde gelişmiş heyelanlar Şekil 3’de gösterilmiştir.



Şekil 2: Stabilité analizlerinin yapıldığı alan (kırmızı çizgili) ile çevresindeki jeolojik birimlerin görünümü.



Şekil 3: Stabilité analizlerinin yapıldığı alan (kırmızı çizgili) ile çevresindeki heyelanlar [MTA, 2025].

İnceleme alanı içinde yeraltı su düzeyi (statik su seviyesi) ender olarak 2 m'den az olup genellikle 2 – 4 m arasında değişir (Çağır Ltd, 2009). Yatay tabakalanmanın egemen olduğu bölgede kohezyonsuz ve kohezyonlu zeminlerin stratigrafik ilişki içinde sergilediği birliktelik yanı sıra jeolojik genç birimi oluşturan Holosen yaşlı güncel birikintiler (Qg) ve kuvarsit ile lidit egemen çakıl – kaba kumları içeren (Tiky) kodlu birim içine süzülen suyun stratigrafik alt birimler olan ve baskın litolojisi kum ile silt danelerinden oluşan (Tik) kodlu birim ile kum, çakıl, kil seviyelerini içeren (Tda) kodlu birimle arazideki ara kesit yüzeylerinde heyelan şeklinde kütle hareketleri oluşmuştur (Şekil 3). Kütle hareketlerinin gerçekleştiği alanlar arasında kalan ve Holosen yaşlı güncel birikintileri (Qg) içeren kesimde 4 adet profil üzerinde stabilité analizleri yapılmıştır. Tasarım parametrelerini belirlemek içinse 2 nokta stabilité profillerinin dışında 1 nokta ise stabilité profillerinin içinde olacak şekilde 3 farklı noktada elek analizi, fiziksel özellikler ve kıvam özellikleri deneyleri yapılmıştır. Ortamda; çakıl oranı: %0.13 – %1.38, kum oranı: %43.09 – %60.09 ve incelerin oranı: %38.53 – %56.68 arasında değişmektedir. Plastik limit değeri PL = %21 – %23.5, Likit limit değeri LL = %46 – %59.5 arasında olan ortamın birleştirilmiş zemin sınıflamasında (USCS) (ASTM

(2006) zemin sınıfı SC ve CH dır. Ortamın dane birim hacim ağırlık değeri $\gamma_s = 24.91 \text{ kN/m}^3 - 25.60 \text{ kN/m}^3$ arasında değişmektedir.

Zemin örneklerinin alındığı derinliklerdeki efektif gerilme değerlerinden hareketle hızlı yüklenme koşulunda örneğin plastisite indis değerine (I_p) bağlı olarak kohezyonun (c) derinliğe bağlı değeri Skempton (1954 ve 1957) (Denklem 1), efektif içsel sürtünme açısı değeri ise Kenney (1959) (Denklem 2) ve Mayne (1980) (Denklem 3) tarafından önerilen eşitlikler ile hesaplanmıştır.

$$\frac{c_u}{\sigma_{v,0}} = 0.11 + 0.37I_p \quad (1)$$

$$\sin\phi' = 0.82 - 0.24\log I_p \quad (2)$$

$$\sin\phi' = 0.656 - 0.409\left(\frac{I_p}{LL}\right) \quad (3)$$

Yukarıda verilen eşitlikler ile ortamın drenajsız kohezyon değerinin $c_u = 19.905 \text{ kN/m}^2 - 22.306 \text{ kN/m}^2$, efektif içsel sürtünme açısı değerinin $\phi' = 23.039^\circ - 29.258^\circ$ arasında değişeceği belirlenmiştir. Ortalama değerler ise $c = 20.680 \text{ kN/m}^2$ ve $\phi' = 26.485^\circ$ dir. Zemin örneklerinin alındığı derinliklerde yavaş yüklenme durumunda efektif içsel sürtünme açısının değeri ise Skempton ve Bishop (1967) (Eşitlik 4) tarafından önerilen eşitlik ile hesaplanmış ve $\phi' = 14.367^\circ - 19.737^\circ$ arasında değişeceği belirlenmiştir. Ortalama değeri $\phi' = 16.222^\circ$ dir

$$\frac{c}{\sigma'_z} = \frac{\sin\phi'}{1+\sin\phi'} \quad (4)$$

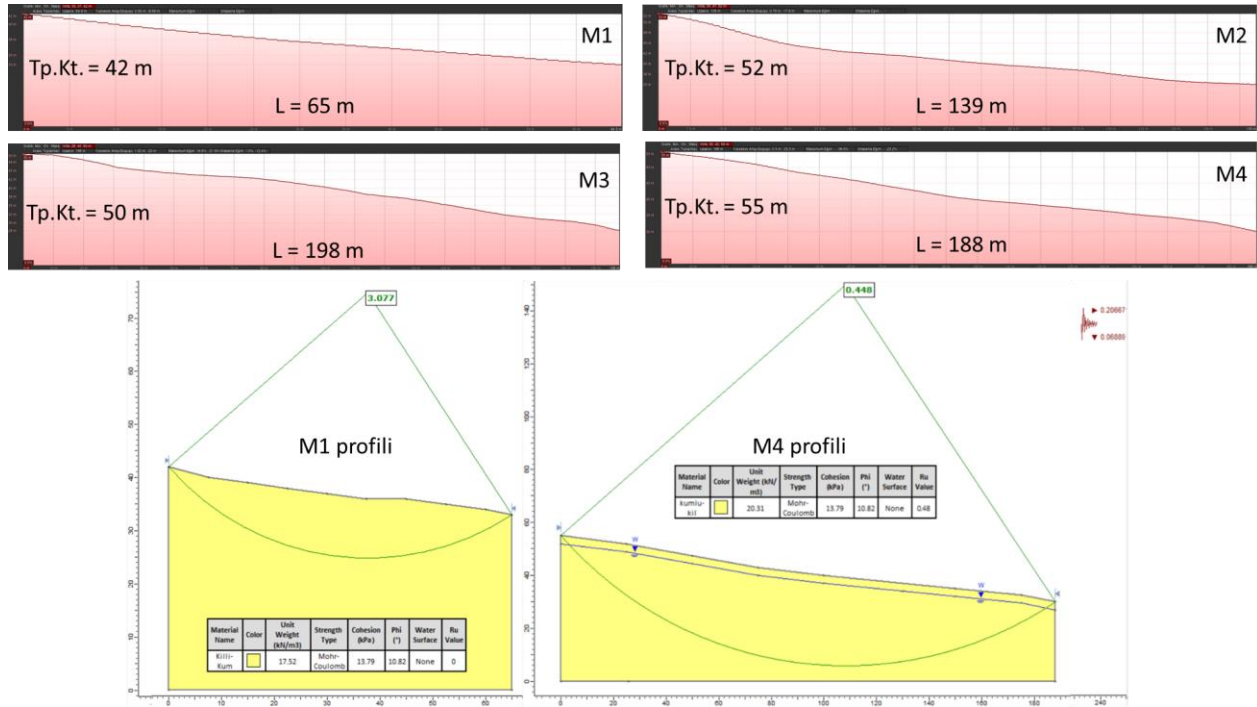
Tüm bu veriler sonucunda yerel zemin sınıfının ZE olduğu belirlenmiştir.

4. YAMAÇ STABİLİTE ANALİZLERİ

Stabilite analiz kesitlerinde tasarım parametre değerlerini tanımlarken kişisel mülkiyetler nedeniyle arazinin geniş kesiminden örnekleme yapılamadığı için yukarıda hesaplanan değerler 1/3 oranında azaltılmış ve yamaç stabilite analizleri gerçekleştirilmiştir. Yamaç içerisindeki efektif gerilmenin bir göstergesi olan ve gözenek su basıncı oranı olarak tanımlanan R_u değeri hesaplanmış ve $R_u = 0.483$ değeri analizlerde kullanılmıştır. Deprem yükleri için PGA değeri AFAD, Türkiye Deprem Tehlikesi Haritası web sitesinde (<https://www.afad.gov.tr/turkiye-deprem-tehlike-haritasi>) bulunan ilgili alan üzerinden (<https://tdth.afad.gov.tr/>) E-devlet uygulaması ile ulaşılan interaktif uygulamada (<https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/main.xhtml>) yapılan sorgulama sonucu $PGA = 0.238g$ olarak elde edilmiştir. Bölgenin genel stratigrafisi dikkate alınarak Midorikawa (1987) tarafından önerilen ve sığ odaklı depremler etkisinde kalan kayalık ile sert zeminler (rock or firm soil) için geçerli olan eşitlikle yüzey kaya ortamını temsil edecek sismik katsayı (k_h) değeri hesaplanmıştır.

$$k_h = \frac{1}{3} \sqrt[3]{PGA} \quad (PGA > 0.2g \text{ ise; Eğer } PGA < 0.2g \text{ ise } K_h = PGA \text{ alınır}) \quad (5)$$

Stabilite analiz kesitlerinde dinamik durum için yüzey kaya ortamını temsil edecek sismik katsayı değerleri (5) nolu eşitlik ile $k_h = 0.2067$ ve bu değerden hareketle $k_v = (1/3)k_h = 0.069$ olarak hesaplanmıştır. Analizler; RocScience yazılımının (İTÜ lisanslı) Slide2 modülü ile Şekil 3 ile gösterilen alan içinde kayma yüzeyine dik alınan ve kayma yüzeyini bir uçtan diğer uca tarayan ve mevcut topografik durumu yansıtan 4 hat için yapılmıştır (Şekil 4).



Şekil 4: Stabilite analiz profilleri ve maksimum – minimum güvenlik sayısı.

5. BULGULAR

Analizler ile belirlenen güvenlik sayıları Bishop ve Janbu yöntemleri ile sorgulanmış ve statik şartta arazi yeraltı su seviyesinin çok derinde olması durumunda (kuru durum) güvenlik sayılarının Bishop yöntemi ile 1.928 – 3.077 arasında ve Janbu yöntemi ile de 1.786 – 2.701 arasında değişeceği anlaşılmıştır. Arazi yeraltı su seviyesi dikkate alınarak yapılan analizler güvenlik sayısının Bishop yöntemi ile 1.164 – 1.955 arasında ve Janbu yöntemi ile de 1.057 – 1.688 arasında değişeceğini göstermiştir. Bu durumda, güvenlik sayısı %36.5 ile %41 arasında azalacaktır. Dinamik şartta elde edilen güvenlik sayıları; yeraltı su seviyesinin çok derinde olması durumunda Bishop yöntemi ile 0.808 – 1.122 arasında, Janbu yöntemi ile 0.758 – 1.010 arasında değişecektir. Arazi yeraltı su seviyesi dikkate alınarak yapılan analizler ise dinamik durumda güvenlik sayılarının 0.483 – 0.729 (Bishop yöntemi) veya 0.448 – 0.645 (Janbu yöntemi) arasında

değişeceğini göstermiştir. Stabilité analizleri yapılan alanın D-KD'su ve B-KB'sı doğrultuları boyunca kütle hareketleri gelişmiştir (Şekil 3). Arazi gözlemleri ve hesaplama kesitleri, Kumköy – Kısırkaya arasındaki kıyı kesimde gelişmiş mevcut kütle hareket (heyelan) alanının arasında kalan ve stabilité analizlerinin de gerçekleştirildiği arazi parçasının bulunduğu alanda kütle hareketi (heyelan gelişimi) açısından duraylılığın kritik koşullara yaklaştığını göstermiştir. Zemin profilini oluşturan litolojik birimlerin özellikleri, geometrisi, yeraltı su durumu, sürşarj yükleri vb. nedenlerle her ne kadar stabilité analizlerinin yapıldığı alan statik durumda henüz duraylı olarak değerlendirilebilir ise de statik durumda iken zaman içinde güvenlik sayısı değeri azalacak ve söz konusu alan labil duruma yaklaşarak kritik dengeye ulaşacaktır. Süreci, dinamik etki hızlandıracaktır. Bu durumda; D-KD ve B-KB doğrultularındaki kayma yüzeyleri birleşerek Kumköy – Terme Plajı (Kısırkaya) arasındaki kesim D-B uzanımlı ana heyelan yüzeyini oluşturacaktır.

6. SONUÇ

Bu çalışmada Kumköy – Terme Plajı (Kısırkaya) arasında D-KD ile B-KB doğrultularınca gelişmiş kütle hareketleri arasında kalan kesimin stabilité açısından duraylılığı araştırılmıştır. Bu amaçla, stabilité analizlerinin yapıldığı alanda stabilité analizleri ortamın tamamen kuru ve yeraltısuyu içermesi (mevcut durum) koşullarına göre gözenek su basıncı oranı da dikkate alınarak ele alınmıştır. Hesaplamalar, ortamın drenaj ve susuzlaştırma gibi önlemler ile kuru halde (yeraltı su seviyesi çok derinde) kalmasının sağlanması durumunda bile dinamik koşullar etkisinde duraylılığını kaybedeceğini göstermiştir. Güvenlik sayısının, zemin profilinin kuru ve yeraltısuyu içermesi durumunda labil durum (denge durumu) için güvenlik sayısı değeri olan $G_{S_{labil}} = 1$ değerinden ~%25 – %50 oranında az olacağının belirlenmesi bu kesimdeki kayma gerilmelerinin artan etkisi sonucu kıyı kesimde Kumköy – Kısırkaya arasındaki stabil alanda da kütle hareketlerinin oluşacağını ve oluşan kayma yüzeyinin D-KD ile B-KB doğrultularınca gelişmiş kütle hareketleri ile birleşerek Kumköy – Terme Plajı (Kısırkaya) arasındaki kıyı kesimini kapsayan büyük bir heyelan alanının şekilleneceğini göstermektedir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

YAZARLARIN KATKILARI

Bu çalışma lisans bitirme çalışması olarak hazırlanmıştır.

E.B. ve G.Ş.: Çalışmanın adımlarını yönlendirmiş ve denetlemiştir.

Y.E.E. ve E.O.: Çalışmanın arazi, laboratuvar, büro kısımlarını sürdürmüştür.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, İTÜ MJKM Laboratuvarları'nda gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda destek için Sn. Yüksel İLGAR' a teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı (AFAD). (2025). Türkiye Deprem Tehlike Haritaları. Erişim adresi: <https://tdth.afad.gov.tr/>
- American Standards for Testing Materials (ASTM). (2006). Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System). D 2487-06. 12.
- Çağıl Mühendislik Müşavirlik Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti. (2009). İstanbul ili Sarıyer ilçesi, Kısırkaya – Gümüşdere Bölgesi Jeolojik ve Jeoteknik Etüt Raporu. İstanbul Büyükşehir Belediyesi.
- İBB (2020). Eyüpsultan-Sarıyer Heyelan Farkındalık Kitapçığı. 93. İstanbul.
- Kenney T.C. (1959). Discussion on "Geotechnical Properties of Glacial Lake Clays", Proc. ASCE, (85), SM3, 67-79.
- Mayne, P.W. (1980). Cam-clay Predictions of Undrained Strength. Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, vol:106 GT11, Proc. Paper 15816, November. 1219-1242.
- Midorikawa, S. (1987). Prediction of Iseismic Map in the Kanto Plain Due to Hypothetical Earthquake. Journal of Structural Engineering, 33B, 43-48.
- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA). (2025). Yerbilimleri Harita Görüntüleyici. Erişim adresi: <https://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx>
- Özgül, N. (2011). İstanbul İl Alanının Jeolojisi. İBB, Deprem Risk Yönetimi ve Kentsel İyileştirme Daire Başkanlığı, Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü, İstanbul.
- RocScience Slide2. (2025). 2D Limit Equilibrium Analysis for Slopes. V. 9.038 64bit. Toronto, Canada.
- Skempton A.W. (1954). Discussion: Sensitivity of clays and the c/p ratio in normally consolidated clays. Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Separate 478: 19-22.
- Skempton, A.W. (1957) Discussion: Further data on the c/p ratio in normally consolidated clays. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, 7: 305-307.
- Skempton A.W. and Bishop A. W. (1967). Zemin Mekaniği Ders Notları. çev. Vahit Kumbasar, İTÜ Matbaası. 115. İstanbul.
- Varnes, D.J. (1978). Slope Movement Types and Processes. In Landslides: Analysis and Control. Edited by R. L. Schuster and R. J. Krizek. Transportation Research Board, National Academy of Science, Washington. Special Report 176, Chapter 2, 11-33.

Farklı Zemin Sınıfları İçin Tasarlanan Örnek Çelik Binaların 2007 ve 2019 Türk Deprem Yönetmeliklerine Göre Karşılaştırılması

Mahsuni KAYA^{1*}, Burak ÖZŞAHİN²

¹Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli, Türkiye

²Mimarlık Bölümü, Mimarlık Fakültesi, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli, Türkiye

Geliş: 17.02.2025, Kabul: 12.06.2025, Yayınlanma: 27.06.2025

ÖZ

Türkiye dünyanın etkin deprem kuşaklarından birinin üzerinde bulunmaktadır. Türkiye’de geçmişte birçok yıkıcı deprem yaşandığı gibi gelecekte de yıkıcı depremlerin yaşanması kaçınılmazdır. Türkiye’de bina tasarımında uzun yıllardan beri kullanılmakta olan Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik DBYBHY 2007 (DBYBHY 2007) 2019 yılında yürürlükten kaldırılmış yerini Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2019 (TBDY 2019)’a bırakmıştır. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2019 ile birlikte diğer bina türlerinde olduğu gibi çelik bina taşıyıcı sistemlerinin tasarımına ilişkin eski yönetmelik ve standartlara göre yeni kural değişiklikleri yürürlüğe girmiştir.

Bu çalışmada Türkiye’de DBYBHY 2007’den TBDY 2019’a geçişin çelik bina tasarımına etkilerini çelik örnek bina modelleri üzerinden irdelemek için Türkiye’de yaygın kullanıma sahip çelik binaları temsil edebilecek iki çelik bina modeli seçilmiştir. Seçilen örnek çelik bina modellerinin tasarımları ve yapısal analizleri DBYBHY 2007 ve TBDY 2019’a göre farklı yerel sınıfları için yapılmıştır. Yapısal analiz sonuçlarına göre, DBYBHY 2007’den TBDY 2019’a geçişin çelik bina tasarımı üzerindeki etkileri ortaya konmaya çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çelik Bina; Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği; Çelik Bina Tasarımı

Comparison of Example Steel Buildings Examples Designed for Different Soil Classes According to 2007 and 2019 Turkish Earthquake Regulations

ABSTRACT

Türkiye is located on one of the world's active earthquake zones. As many devastating earthquakes have occurred in Türkiye in the past, devastating earthquakes will inevitably happen in the future. The Turkish Building Earthquake Code 2007 (TBEC 2007), used in building design in Türkiye for many years, was abolished in 2019 and replaced by the Turkish Building Earthquake Code 2019 (TBEC 2019). With the Turkish Building Earthquake Code 2019, new rule changes have entered into force compared to the old regulations and standards regarding the design of steel building structural systems as in other building types.

In this study, to examine the effects of the transition from TBEC 2007 to TBEC 2019 on steel building design in Türkiye through steel building models, two steel buildings that could represent steel buildings with widespread use in Türkiye, were selected. The design and structural analyses of the selected steel building models were made for different site classes according to TBEC 2007 and TBEC 2019. According to the structural analysis results, the effects of the transition from TBEC 2007 to TBEC 2019 on steel building design were tried to be revealed.

Keywords: Steel Structures; Turkish Building Earthquake Code; Design of Steel Structures

1. GİRİŞ

Türkiye bulunduğu konum itibarıyla dünyanın önemli deprem kuşaklarından birinin üzerinde bulunmaktadır. Türkiye'nin bulunduğu coğrafyada geçmişte birçok yıkıcı deprem yaşanmış olup, gelecekte de bu tür yıkıcı depremlerin yaşanması kaçınılmazdır. Türkiye'de nüfusun büyük çoğunluğu, sanayi tesislerinin ve barajların neredeyse tamamı aktif deprem kuşağındadır (AFAD, 2024).

Tüm dünyada depreme dayanıklı yapı tasarımı, ülkelerin kendi koşullarına göre hazırlanan yapı ve deprem yönetmelikleri ile sağlanmaya çalışılmaktadır. Yapı tasarım standartları ve deprem yönetmelikleri, deprem ve yapı mühendisliği ile bilim ve teknolojiadaki gelişmeler ve yapı sektörünün ihtiyaçları göz önüne alınarak zaman içinde revize edilmekte veya yenilenmektedir (Özşahin, 2021a). Türkiye'de de benzer şekilde 2007 yılından beri kullanılmakta olan Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007 (DBYBHY 2007) yürürlükten kaldırılmış, yerine Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2019 (TBDY 2019) kullanılmaya başlanmıştır (Seyrek, 2020; Özşahin, 2021a).

TBDY 2019 ile birlikte 1996 tarihli Deprem Bölgeleri Haritası da yürürlükten kalkmış, yerine Türkiye Deprem Tehlikeleri Haritası 2019 (TDTH 2019) kullanılmaya başlanmıştır (TBDY 2019; DBYBHY 2007). TBDY 2019 yönetmeliği ile birlikte bina taşıyıcı sistemlerinin tasarımına ilişkin DBYBHY 2007 yönetmeliğine göre yeni kural değişiklikleri yürürlüğe girmiştir. TBDY 2019'da diğer bina türlerinde olduğu gibi çelik binaların deprem hesabında kullanılan parametreler ve tasarım esaslarında önemli değişiklikler olmuştur (Çelik, 2019; Öz, 2018; Zorlu ve Akbaş, 2017; Aydın ve Günaydın, 2017; Irgaç, 2019; Serin, 2019; Katmer, 2019).

Türkiye'de çelik yapıların tasarımında uzun yıllardan beri kullanılmakta olan TS 648 Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları standardı zaman içinde güncelliğini kaybederek sektörün ihtiyaçlarını karşıyamaz hale gelmiştir. İnşaat mühendisliği açısından birçok konuyu hiç kapsamayan, birçok konuyu ise yeterince açık işlemeyen eski yönetmelik, tasarımcıları çoğu kez yabancı ülke yönetmeliklerini kullanarak çelik yapı tasarımı yapmaya zorlamıştır. Bu sebeple 2016 yılında TS 648 standardı yürürlükten kaldırılmış, yerine Çelik Yapıların Tasarım Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik 2016 (ÇYTHYEY 2016) kullanılmaya başlanmıştır. ÇYTHYEY 2016 yönetmeliği 2018 yılında revizyona uğramıştır (ÇYTHYEY 2018). Son yıllarda yürürlüğe giren tasarım ve deprem yönetmelikleri sayesinde inşaat mühendisliği alanında birçok konu açıklığa kavuşturulmuştur. Özellikle çelik yapılar alanında yürürlüğe giren ÇYTHYEY 2018 ve TBDY 2019, çelik binaların tasarımına yönelik önemli yenilik ve değişiklikler getirmiştir (Çelik, 2019; İçen, 2023).

Bu çalışmada Türkiye'de DBYBHY 2007'den TBDY 2019'a geçişin çelik bina tasarımına etkilerini örnek çelik bina modelleri üzerinden irdelemek için Türkiye'de yaygın olarak kullanılan çelik binaları temsil

edebilecek örnek bir çelik sanayi binası modeli ile örnek bir çelik ofis binası modeli seçilerek, TBDY 2019 ve DBYBHY 2007'ye göre farklı yerel zemin sınıfları için tasarımları ayrı ayrı yapılmış ve hesap sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu amaçla çalışmada seçilen örnek çelik bina modellerinin bina ağırlıkları, deprem yükleri, bina doğal titreşim periyotları, göreceli kat ötelemeleri, ikinci mertebe etkileri, taşıyıcı sistem iç kuvvetleri (N, T ve M), çelik taşıyıcı sistem kesitleri, çelik taşıyıcı sistem metrajları TBDY 2019 ve DBYBHY 2007 yönetmelikleri için hesaplanarak birbiriyle karşılaştırılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

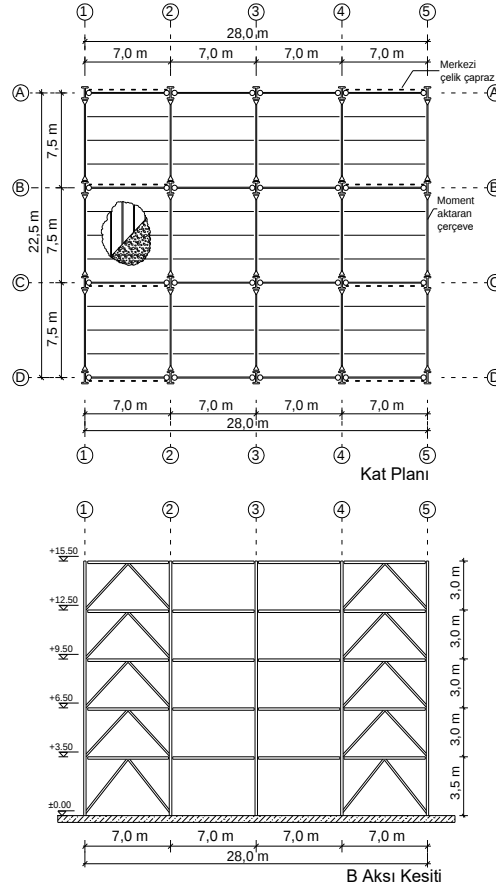
Çalışmada DBYBHY 2007'den TBDY 2019'a geçişin çelik bina tasarımı üzerindeki etkilerini irdelemek amacıyla tek katlı tek açıklıklı dolu gövdeli çatı makaslı çelik sanayi binası ve beş katlı çelik çerçeve taşıyıcı sistemli ofis binası seçilerek, TBDY 2019 ve DBYBHY 2007'ye göre farklı yerel zemin sınıfları için tasarımları ve yapısal analizleri İdeStatik ve Sap 2000 programlarıyla yapılmıştır.

Lisansüstü tez çalışmasından üretilen bu çalışmada örnek çelik bina modellerinin analiz sonuçlarının tamamının verilmesi çalışmanın sayfa sayısını çok arttıracak için örnek çelik sanayi binası modellerinin yapısal analiz sonuçları verilmemiş, sadece örnek çelik ofis binası modellerinin yapısal analiz sonuçları verilmiştir. Çalışmanın sonuçlar bölümünde incelenen tüm çelik bina türleri için elde edilen sonuçlara yer verilmiştir. Örnek çelik sanayi binası modellerinin yapısal analiz sonuçlarına ve her iki yönetmelik için yapısal analiz sonuçlarının karşılaştırılmasına (Kaya, 2024) kaynağından ulaşılabilir.

2.1. Örnek çelik binaların geometrik bilgileri

Çalışmada incelenen çelik sanayi binası modelinde açıklıklar makaslara paralel yönde 20,0 m ve makaslara dik yönde 7,0 m'dir. Çelik sanayi binası modeli makaslara paralel yönde bir açıklıklı, makaslara dik yönde dokuz açıklıklı olup, bina yüksekliği 9,0 m'dir. Çelik sanayi binası modelinin plan boyutları 20,0m×63,0m'dir. Çelik sanayi binası modelinde makasa paralel yönde 6,0 m açıklık ve 4,0 m yüksekliğe sahip bir ara kat bulunmaktadır. Çelik sanayi binası modelinde ara kat üzerindeki döşeme, çelik-betonarme kompozit döşemedir.

Çelik çerçeve taşıyıcı sistemli bina modeli zemin kat ve 4 normal kattan oluşan 5 katlı bir ofis binasıdır. Çelik ofis binası modeli x yönünde 4 açıklıklı ve y yönünde 3 açıklıklı olup, bina açıklıkları x yönünde 7,0 m ve y yönünde 7,5 m'dir. Örnek çelik ofis binası modelinin kat yükseklikleri zemin katta 3,50 m ve normal katlarda 3,0 m olup, bina yüksekliği 15,50 m'dir. Örnek çelik ofis binası modelinin kat döşemeleri çelik-betonarme kompozit döşemedir. Bu ölçülere bağlı olarak çalışmada incelenen çelik ofis binası modelinin



Şekil 2: Çelik çerçeve taşıyıcı sistemli ofis binasının plan ve kesiti (ölçeksizdir) (Kaya, 2024)

Çizelge 1: Tekirdağ Çorlu’da incelenen bölgenin deprem parametreleri

DD	YZS	PGA (g)	PGV (cm/s)	S _s (-)	S ₁ (-)	S _{ds} (-)	S _{d1} (-)	T _A (s)	T _B (s)	T _L (s)
DD2	ZA	0,327	19,991	0,787	0,214	0,630	0,171	0,054	0,272	6,0
	ZB	0,327	19,991	0,787	0,214	0,708	0,171	0,048	0,242	6,0
	ZC	0,327	19,991	0,787	0,214	0,994	0,321	0,068	0,340	6,0
	ZD	0,327	19,991	0,787	0,214	0,933	0,465	0,100	0,498	6,0
	ZE	0,327	19,991	0,787	0,214	1,000	0,691	0,138	0,691	6,0
DD3	ZA	0,112	7,484	0,264	0,082	0,211	0,066	0,062	0,311	6,0
	ZB	0,112	7,484	0,264	0,082	0,238	0,066	0,055	0,276	6,0
	ZC	0,112	7,484	0,264	0,082	0,343	0,123	0,072	0,358	6,0
	ZD	0,112	7,484	0,264	0,082	0,419	0,197	0,094	0,449	6,0
	ZE	0,112	7,484	0,264	0,082	0,623	0,344	0,111	0,553	6,0

Çalışmada incelenen bölgenin zemin etüdü değerleri bulunmadığı için örnek çelik bina modellerinin TBDY 2019’a göre tasarımları ZA, ZB, ZC, ZD ve ZE yerel zemin sınıfları için ayrı ayrı yapılmıştır. Örnek çelik bina modellerinin TBDY 2019’a göre tasarımında zemin taşıma güçleri ZA, ZB, ZC, ZD ve ZE zemin sınıfları için sırasıyla 300, 250, 200, 150, 100 kN/m² alınmıştır. Benzer şekilde örnek çelik bina modellerinin

DBYBHY 2007’ye göre tasarımları Z1, Z2, Z3 ve Z4 yerel zemin sınıfları için ayrı ayrı yapılmıştır. Örnek çelik bina modellerinin DBYBHY 2007’ye göre tasarımında zemin taşıma güçleri Z1, Z2, Z3 ve Z4 yerel zemin sınıfları için sırasıyla 300, 200, 150, 100 kN/m² alınmıştır. Literatürdeki birçok çalışmada olduğu gibi TBDY 2019 ve DBYBHY 2007 için analiz sonuçlarının karşılaştırılmasında TBDY 2019’da tanımlanan ZA, ZB, ZC, ZD ve ZE yerel zemin sınıflarının DBYBHY 2007’deki karşılığının sırasıyla Z1, Z1, Z2, Z3 ve Z4 olduğu kabul edilmiştir (Özşahin, 2021a; Özşahin, 2021b; Kaya, 2024; Polat, 2024).

2.3. Taşıyıcı Sistem Bilgileri

Örnek çelik bina modellerinin doğrusal analizleri Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik 2018’de belirtilen yük ve dayanım katsayıları ile tasarım (YDKT) hükümlerine göre yapılmıştır. Tüm yapısal elemanlar S235 yapısal çeliği kalitesinde Avrupa çelik profilleri kullanılarak boyutlandırılmıştır. Çalışmada incelenen çelik bina modelleri için kompozit döşeme tasarımı yapılmıştır. Çalışmada TBDY 2019 ve DBYBHY 2007’ye göre tasarımı yapılan örnek çelik bina modellerinin tasarım parametreleri Çizelge 2 ve Çizelge 3’te verilmiştir.

Çizelge 2: Örnek çelik sanayi binası modelinin tasarım parametreleri

Parametre	DBYBHY 2007	TBDY 2019
Bina Türü	Çelik Sanayi Binası	
Kat Adedi	1 Katlı	
Kat Yüksekliği (h_{kat})	7,50 m	
Bina Yüksekliği (H_N)	9,00 m	
Bina Boyutları	20,00 m x 63,00 m	
Kiriş Kesit Türü	IPE (makas kirişi ve stabilite kirişlerinde)	
Kolon Kesit Türü	HEB (ana taşıyıcı kolonlarda ve rüzgâr kolonlarında)	
Çatı Kaplaması/Aşık	Trapez oluklu levha/UPN	
Çapraz Kesit Türü	Boru Kesit (Çatı ve duvar çaprazlarında)	
Birleşim Türü	X doğrultusunda (Makas doğrultusunda) Rijit Birleşim Y doğrultusunda (Makasa dik doğrultuda) Mafsallı Birleşim	
Çelik Malzeme Sınıfı	S235	
Betonarme Malzeme Sınıfı	C25/B420C	
Bina Önem Katsayısı (I)	1	
Deprem Yüğü Eksantrisitesi	%5	
Haraketli Yük Katılım Katsayısı (n)	0,30	
Deprem Yer Hareket Düzeyi (DD)	-	DD2
Etkin Yer İvme Katsayısı (A_0)	$A_0=0,20g$ (Tekirdağ/Çorlu)	TDTH 2019’dan okunmuştur.
Bina Kullanım Sınıfı (BKS)	-	BKS=3
Deprem Tasarım Sınıfı (DTS)	-	S_{DS} ’e bağlı olarak değişiyor.
Bina Yükseklik Sınıfı (BYS)	-	7
Çizelge 2 devam ediyor.		
Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı: R_x	8 (Süneklik Düzeyi Yüksek)	8 (Süneklik Düzeyi Yüksek)
R_y	5 (Süneklik Düzeyi Yüksek)	5 (Süneklik Düzeyi Yüksek)
Dayanım Fazlalığı Katsayısı D_x	-	3 (Süneklik Düzeyi Yüksek)
D_y	-	2 (Süneklik Düzeyi Yüksek)
Yerel Zemin Sınıfı	Z1, Z2, Z3 ve Z4	ZA, ZB, ZC, ZD ve ZE

Çizelge 3: Örnek çelik ofis binası modelinin tasarım parametreleri

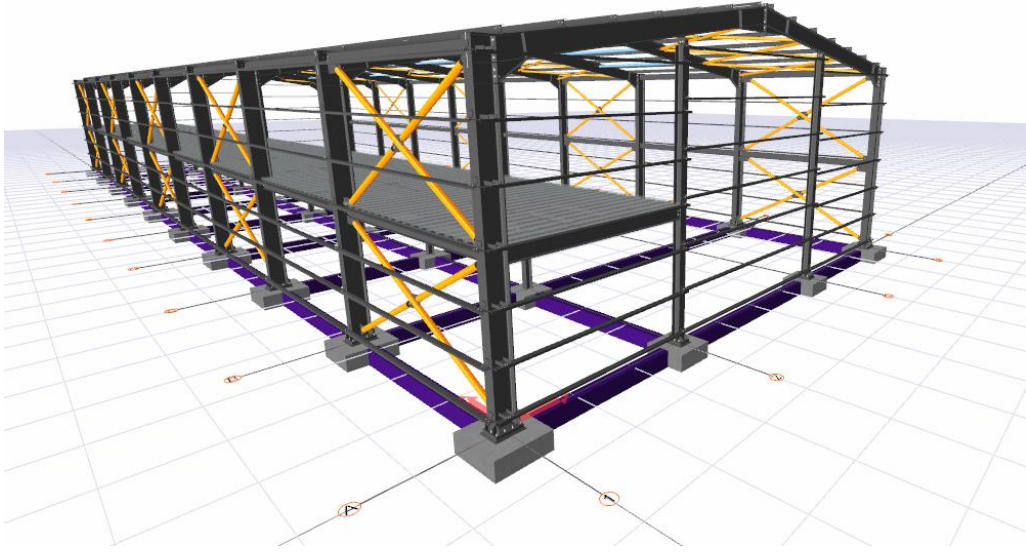
Parametre	DBYBHY 2007	TBDY 2019
Bina Türü	Çelik Ofis Binası	
Kat Adedi	5 Katlı (Zemin Kat + 4 Normal Kat)	
Kat Yüksekliği (h_{kat})	Zemin Kat 3,50 m, diğer katlar 3,00	
Bina Yüksekliği (H_N)	15,50 m	
Bina Boyutları	28,00 m x 22,50 m	
Kiriş Kesit Türü	IPE (makas kirişi ve stabilite kirişlerinde)	
Kolon Kesit Türü	HEB, HEM, HD	
Çatı Kaplaması/Aşık	Trapez oluklu levha/UPN	
Çapraz Kesit Türü	Boru Kesit (Çatı ve duvar çaprazlarında)	
Birleşim Türü	X doğrultusunda mafsallı birleşim Y doğrultusunda rijit birleşim	
Çelik Malzeme Sınıfı	S235	
Betonarme Malzeme Sınıfı	C25/B420C	
Bina Önem Katsayısı (I)	1	
Deprem Yüğü Eksantrisitesi	%5	
Haraketli Yüğü Katılım Katsayısı (n)	0,30	
Deprem Yer Hareket Düzeyi (DD)	-	DD2
Etkin Yer İvme Katsayısı (A_0)	$A_0=0,20g$ (Tekirdağ/Çorlu)	TDTH 2019'dan okunmuştur.
Bina Kullanım Sınıfı (BKS)	-	BKS=3
Deprem Tasarım Sınıfı (DTS)	-	S_{DS} 'e bağlı olarak değişiyor.
Bina Yükseklik Sınıfı (BYS)	-	6
Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı: Rx	5 (Süneklik Düzeyi Yüksek)	5 (Süneklik Düzeyi Yüksek)
Ry	8 (Süneklik Düzeyi Yüksek)	8 (Süneklik Düzeyi Yüksek)
Dayanım Fazlalığı Katsayısı Dx	-	2 (Süneklik Düzeyi Yüksek)
Dy	-	3 (Süneklik Düzeyi Yüksek)
Yerel Zemin Sınıfı	Z1, Z2, Z3 ve Z4	ZA, ZB, ZC, ZD ve ZE

3. ÖRNEK ÇELİK BİNA MODELLERİNİN ANALİZ SONUÇLARININ TBDY 2019 ve DBYBHY 2007 için KARŞILAŞTIRILMASI

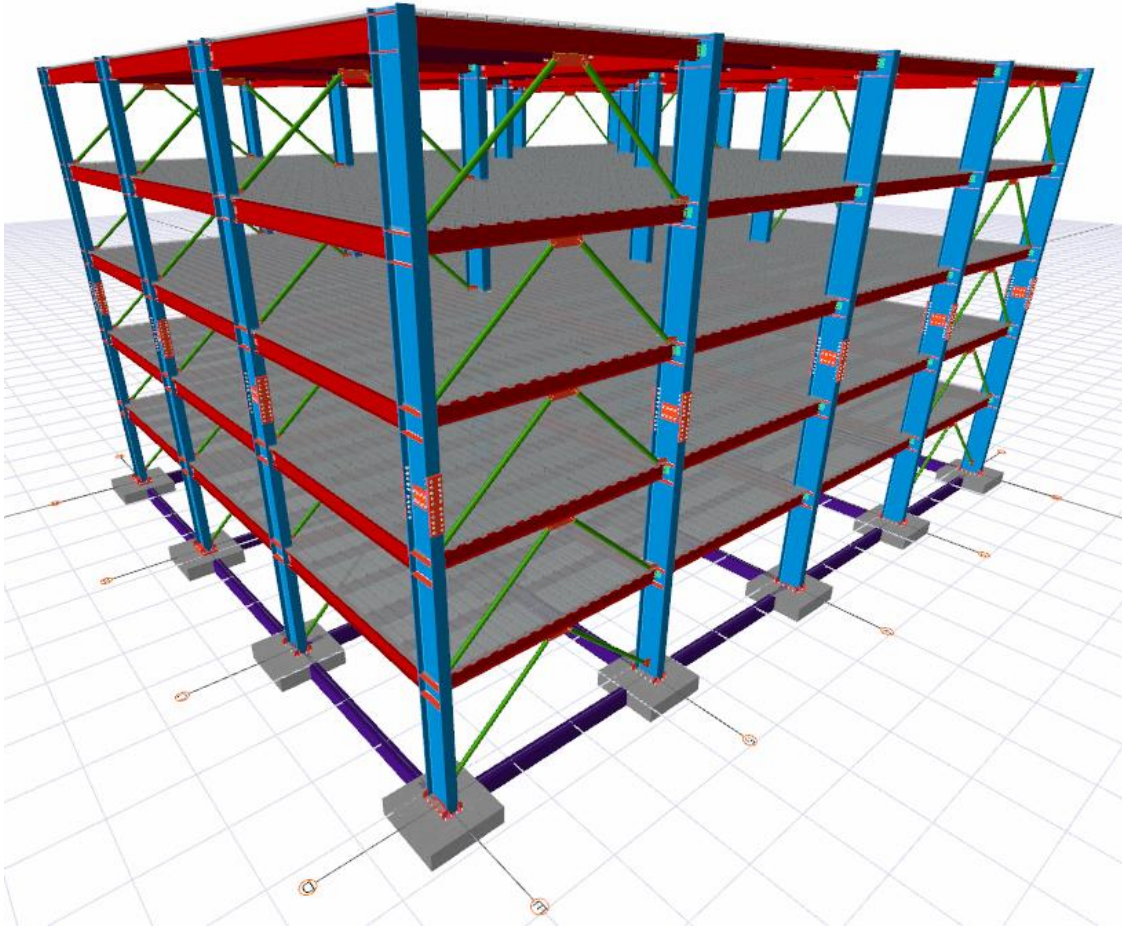
Örnek çelik bina modellerinin DBYBHY 2007 ve TBDY 2019 yönetmeliklerine göre farklı yerel zemin sınıfları için yapısal analiz sonuçlarına göre bulunan bina ağırlıkları, bina doğal titreşim periyodları, deprem yükleri, görelî kat ötelemeleri, ikinci mertebe etkileri, kiriş ve kolon iç kuvvetleri ile çelik taşıyıcı sistem kesitlerinin karşılaştırılması bu bölümde verilmiştir.

Çalışmada ayrıca örnek çelik bina modellerinin taşıyıcı sistem eleman metrajları ve kaba yapım maliyetleri de hesaplanarak birbiriyle karşılaştırılmıştır.

Çalışmada incelenen çelik sanayi binası örneğinin İdeCad Statik modeli Şekil 3'te, çelik ofis binası örneğinin İdeCad Statik modeli Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 3: Örnek çelik sanayi binası İdeCad Statik modeli (Kaya, 2024)

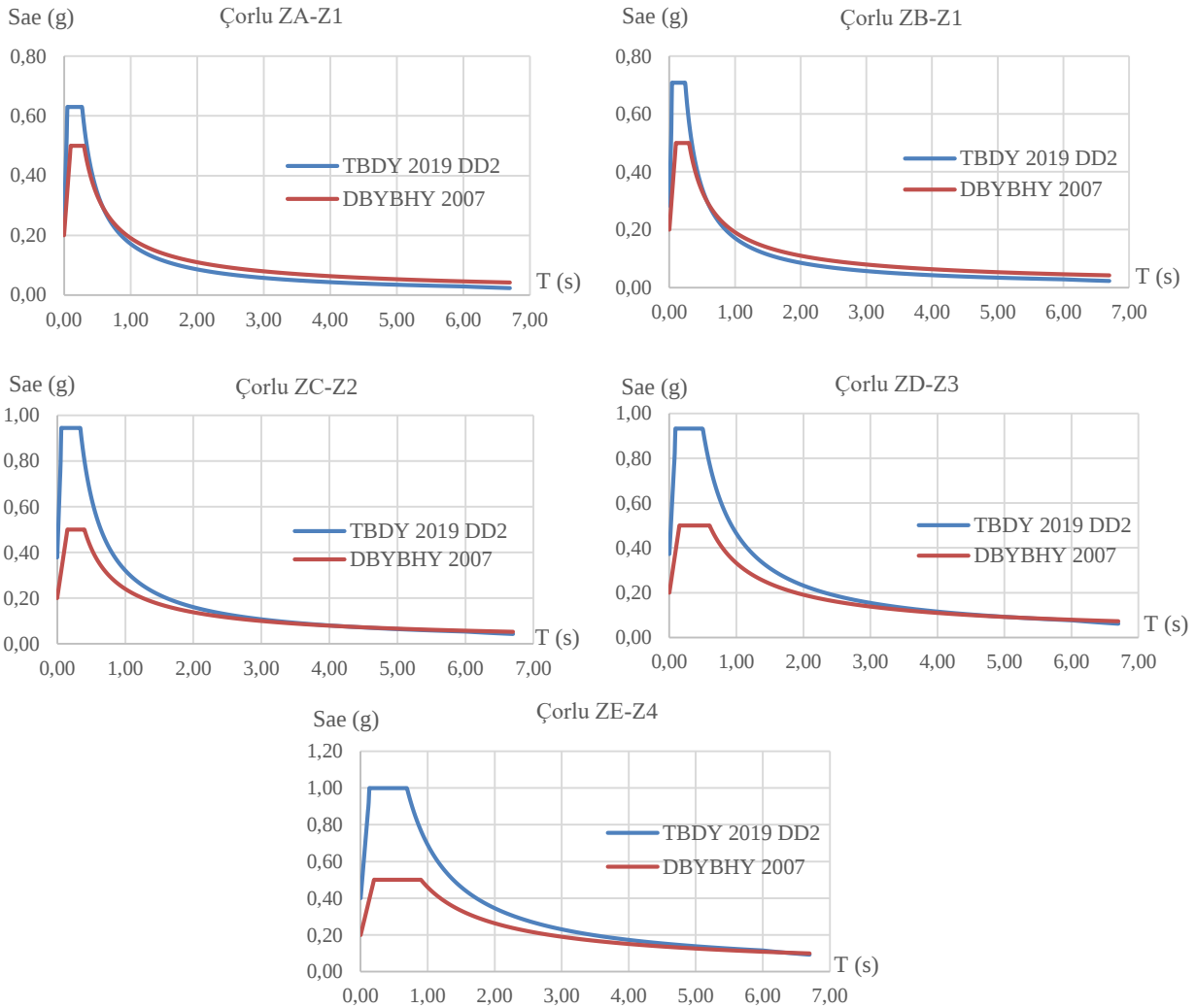


Şekil 4: Örnek çelik ofis binası İdeCad Statik modeli (Kaya, 2024)

3.1. Örnek Çelik Ofis Binası Modelinin TBDY 2019 ve DBYBHY 2007 Farklı Yerel Zemin Sınıfları için Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

3.1.1 Örnek Çelik Ofis Binası Modelinin TBDY 2019 ve DBYBHY 2007 Farklı Yerel Zemin Sınıfları için İvme Spektrumlarının Karşılaştırılması

Çalışma kapsamında incelenen Tekirdağ İli Çorlu İlçesi'nin DBYBHY 2007 ve TBDY 2019 yönetmeliklerine göre yatay tasarım ivme spektrumları bu bölümde karşılaştırılmıştır. DBYBHY 2007 ve 1996 tarihli deprem bölgeleri haritasına göre Tekirdağ İli Çorlu İlçesi 3. derece deprem bölgesindedir. Tasarım ivme spektrumları, spektral ivme değerleri ve zemin hakim periyodları DBYBHY 2007'de tanımlanan yerel zemin sınıfları (Z1-Z4) ile TBDY 2019'da tanımlanan yerel zemin sınıfları (ZA-ZE) ve DD2 deprem yer hareketi düzeyleri için ayrı ayrı elde edilerek karşılaştırılmıştır (Şekil 5).



Şekil 5: Tekirdağ'ın Çorlu İlçesinin DBYBHY 2007 ve TBDY 2019 yatay tasarım spektrumlarının karşılaştırılması

Özşahin (2021b) çalışmasına benzer şekilde, Tekirdağ'ın Çorlu ilçesinin DD2 deprem yer hareketi düzeyi için oluşturulan Şekil 5'te verilen yatay tasarım spektrum eğrileri incelendiğinde, TBDY 2019'a göre belirlenen spektral ivme değerlerinin tüm zemin sınıfları için DBYBHY 2007 spektral ivme değerlerinden büyük olduğu görülmektedir. TBDY 2019'da yerel zemin sınıfları ZA'dan ZE'ye doğru gidildikçe spektral ivme değerleri büyümekte ve DBYBHY 2007 için bulunan spektral ivme değerleri ile arasındaki fark artmaktadır.

Şekil 5'te verilen yatay tasarım spektrum eğrilerinden görüldüğü üzere, ZA-Z1 ve ZB-Z1 zemin sınıflarında $T=0,60$ s'den daha küçük periyot değerleri için TBDY 2019 spektral ivme değerleri DBYBHY 2007 spektral ivme değerlerinden büyük olup, $T=0,60$ s'den büyük periyotlar için TBDY 2019 spektral ivme değerleri DBYBHY 2007 spektral ivme değerlerinden küçüktür. Diğer yerel zemin sınıflarında $T=4,0$ s'den büyük periyotlar için DBYBHY 2007 ve TBDY 2019 spektral ivme değerleri birbirine eşit değerler almakta, periyodun $4,0$ s'den büyük olduğu bölgede iki deprem yönetmeliğinin yatay spektrum eğrileri çakışmaktadır.

3.1.2. Örnek Çelik Ofis Binası Modellerinin Bina Ağırlıklarının TBDY 2019 ve DBYBHY 2007 Farklı Yerel Zemin Sınıfları için Karşılaştırılması

Yapısal analizleri farklı yerel zemin sınıfları için yapılan örnek çelik ofis binası modellerinin toplam bina ağırlıklarının iki deprem yönetmeliği için değişimi Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4: Örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019 ve DBYBHY 2007 farklı yerel zemin sınıfları için bina ağırlıkları (ton)

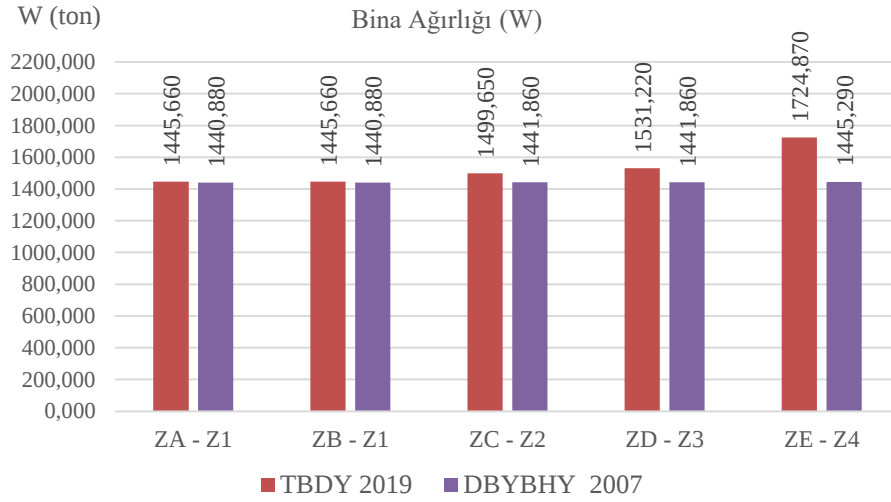
Yerel Zemin Sınıfı		Bina Ağırlığı (ton)		$W_{TBDY2019}/W_{DBYBHY2007}$
TBDY 2019	DBYBHY 2007	TBDY 2019	DBYBHY 2007	
ZA	Z1	1445,660	1440,880	1,003
ZB	Z1	1445,660	1440,880	1,003
ZC	Z2	1499,650	1441,860	1,040
ZD	Z3	1531,220	1441,860	1,062
ZE	Z4	1724,870	1445,290	1,193

Örnek çelik ofis binası modellerinin ağırlıklarının TBDY 2019 ve DBYBHY 2007'deki farklı yerel zemin sınıflarına göre değişimi Şekil 6'da gösterilmiştir.

Örnek çelik ofis binası modellerinin ağırlıklarının verildiği Çizelge 4 incelendiğinde, TBDY 2019'a göre tasarımda tüm yerel zemin sınıfları için bulunan bina ağırlıklarının DBYBHY 2007'e göre tasarım için bulunan bina ağırlıklarından fazla olduğu görülmektedir.

DBYBHY 2007 yapısal analiz sonuçlarına göre örnek çelik ofis binası modellerine etki eden deprem yükleri yerel zemin sınıfı türüne göre değişmekte, sağlam yerel zemin sınıfı Z1'den zayıf yerel zemin sınıfı Z4'e

gidildikçe deprem yükleri artmaktadır. TBDY 2019 yapısal analiz sonuçlarına göre örnek çelik ofis binası modellerine etki eden deprem yükleri farklı yerel zemin sınıfları için değişmekte, sağlam yerel zemin sınıfı ZA'dan zayıf yerel zemin sınıfı ZE'ye gidildikçe deprem yükleri artmaktadır (Çizelge 7).



Şekil 6: Örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019 ve DBYBHY 2007'deki farklı zemin sınıfları için bina ağırlıkları

Her iki yönetmelikte de deprem yüklerindeki artış ile birlikte taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan iç kuvvetler, bu iç kuvvetleri karşılayacak taşıyıcı eleman kesitleri büyümekte ve büyüyen kesitler ile birlikte bina ağırlıkları sağlam yerel zemin sınıflarından zayıf yerel zemin sınıflarına doğru gidildikçe artmaktadır (Çizelge 4 ve Şekil 6).

3.1.3. Örnek Çelik Ofis Binası Modellerinin Bina Doğal Titreşim Periyotlarının TBDY 2019 ve DBYBHY 2007 Farklı Yerel Zemin Sınıfları için Karşılaştırılması

Çalışma kapsamında yapısal analizleri farklı yerel zemin sınıfları için yapılan örnek çelik ofis binası modellerinin x ve y yönü doğal titreşim periyotları sırasıyla Çizelge 5 ve Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 5: Örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019 ve DBYBHY 2007 farklı yerel zemin sınıfları için x yönü doğal titreşim periyotları (s)

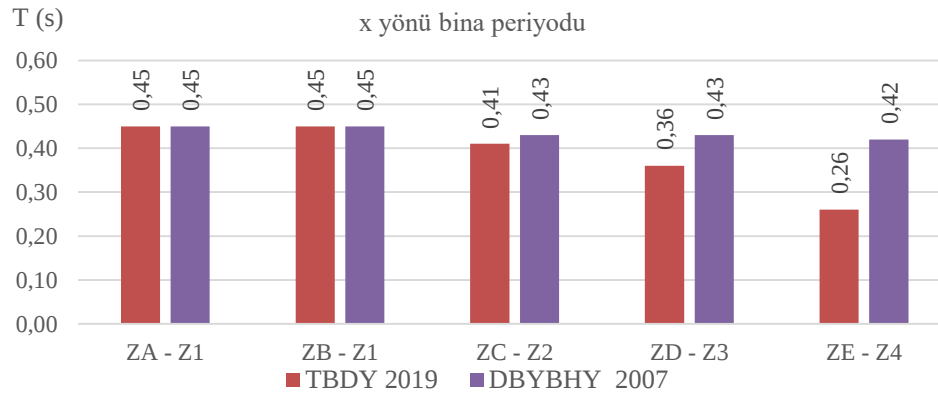
Yerel Zemin Sınıfı		Bina doğal titreşim periyodu (s)		$T_{TBDY2019}/T_{DBYBHY2007}$
TBDY 2019	DBYBHY 2007	TBDY 2019	DBYBHY 2007	
ZA	Z1	0,45	0,45	1,000
ZB	Z1	0,45	0,45	1,000
ZC	Z2	0,41	0,43	0,953
ZD	Z3	0,36	0,43	0,837
ZE	Z4	0,26	0,42	0,619

Çizelge 6: Örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019 ve DBYBHY 2007 farklı yerel zemin sınıfları için y yönü doğal titreşim periyodları (s)

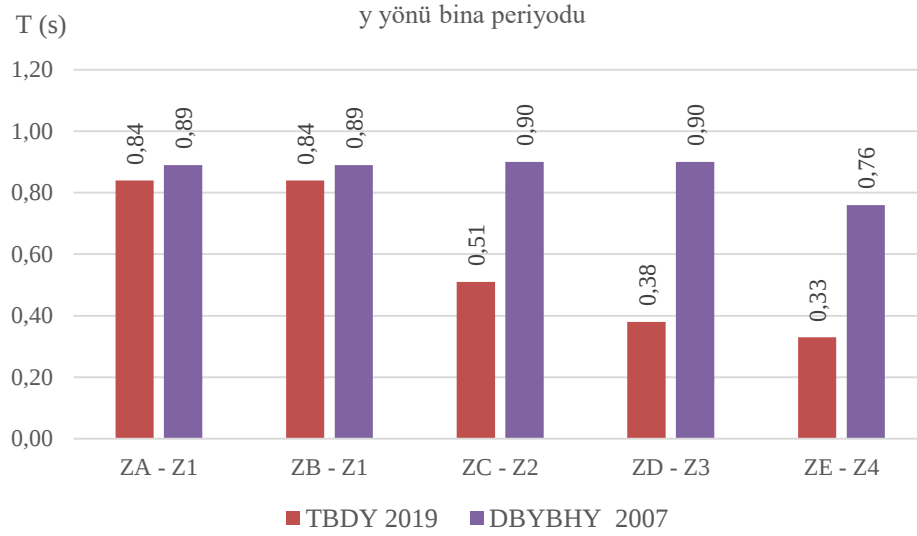
Yerel Zemin Sınıfı		Bina doğal titreşim periyodu (s)		$T_{TBDY2019}/T_{DBYBHY2007}$
TBDY 2019	DBYBHY 2007	TBDY 2019	DBYBHY 2007	
ZA	Z1	0,84	0,89	0,944
ZB	Z1	0,84	0,89	0,944
ZC	Z2	0,51	0,90	0,566
ZD	Z3	0,38	0,90	0,422
ZE	Z4	0,33	0,76	0,434

Örnek çelik ofis binası modellerinin x yönünde bina periyodlarının TBDY 2019 ve DBYBHY 2007'deki farklı yerel zemin sınıfları için değişimi Şekil 7'de, y yönünde bina periyodlarının TBDY 2019 ve DBYBHY 2007'deki farklı yerel zemin sınıfları için değişimi Şekil 8'de verilmiştir.

Çalışmada incelenen örnek çelik ofis binası modelinin boyutları ve ataletleri x ve y yönünde birbirinden farklı olduğu için her iki doğrultu için bina periyodları birbirinden farklı değerler almaktadır. Örnek çelik ofis binası modellerinin tüm yerel zemin sınıflarında DBYBHY 2007 ve TBDY 2019 yönetmelikleri için hesaplanan y yönü bina periyodları, x yönü bina periyodlarından büyüktür. Örnek çelik ofis binası modellerinin x yönünde TBDY 2019 ZA, ZB yerel zemin sınıfları için bina periyodları, DBYBHY 2007 Z1, Z2 bina periyodlarına eşit iken, ZC yerel zemin sınıfından ZE yerel zemin sınıfına doğru gidildikçe TBDY 2019 x yönü bina periyodları azalmakta, DBYBHY 2007 bina periyodlarından küçük değerler almaktadır. TBDY 2019'e göre tasarımda, ZC yerel zemin sınıfından ZE yerel zemin sınıfına doğru gidildikçe artan yatay yükler etkisinde taşıma gücü güvenliğini sağlamak için bina modelinin rijitliği arttırıldığı için bina periyod değerleri azalmaktadır. DBYBHY 2007'ye göre tasarımda, Z2 yerel zemin sınıfından Z4'e doğru gidildikçe artan yükler etkisinde taşıma gücü güvenliğini sağlamak için bina modelinin rijitliği arttırılmış fakat rijitlik artışı TBDY 2019'a göre daha az olduğu için bina periyodlarındaki değişim TBDY 2019'daki kadar belirgin değildir.



Şekil 7: Örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019 ve DBYBHY 2007'deki farklı yerel zemin sınıfları için x yönü bina periyodlarının değişimi



Şekil 8: Örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019 ve DBYBHY 2007’deki farklı yerel zemin sınıfları için y yönü bina periyodlarının değişimi

Örnek çelik ofis binası modellerinin y yönünde tüm yerel zemin sınıflarında TBDY 2019 için hesaplanan bina periyodları, DBYBHY 2007 için hesaplanan bina periyodlarından küçüktür. TBDY 2019’a göre tasarımda sağlam yerel zemin sınıfı ZA’dan zayıf zemin sınıfı ZE’ye gidildikçe, y yönü bina periyod değerleri azalmakta, periyodlardaki bu değişim ZC sınıfından sonra bina rijitliği artışından dolayı daha belirgin olmaktadır. TBDY 2019 yönetmeliği tasarım sonuçlarına benzer şekilde DBYBHY 2007 için yapılan tasarımda sağlam yerel zemin sınıfından zayıf yerel zemin sınıfına gidildikçe bina periyodları azalmaktadır (Çizelge 5-6 ve Şekil 7-8).

3.1.4. Örnek Çelik Ofis Binası Modellerinin Deprem Kuvvetlerinin TBDY 2019 ve DBYBHY 2007 Farklı Yerel Zemin Sınıfları için Karşılaştırılması

Çalışma kapsamında yapısal analizleri farklı yerel zemin sınıfları için yapılan örnek çelik ofis binası modellerine x ve y yönünde etki eden deprem kuvvetleri sırasıyla Çizelge 7 ve Çizelge 8’de verilmiştir.

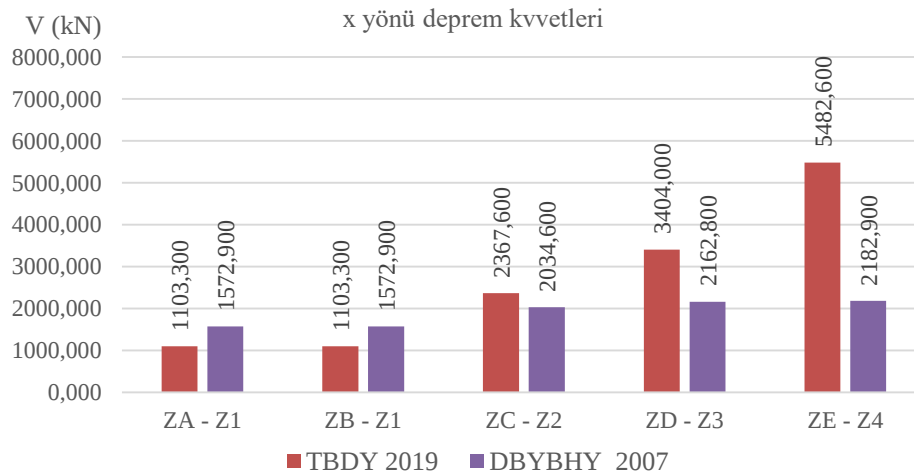
Çizelge 7: Örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019 ve DBYBHY 2007 farklı yerel zemin sınıfları için x yönü deprem kuvvetleri (kN)

Yerel Zemin Sınıfı		Binaya etkiyen deprem kuvvetleri (kN)		$V_{ETBDY2019}/V_{EDBYBHY2007}$
TBDY 2019	DBYBHY 2007	TBDY 2019	DBYBHY 2007	
ZA	Z1	1103,300	1572,900	0,701
ZB	Z1	1103,300	1572,900	0,701
ZC	Z2	2367,600	2034,600	1,163
ZD	Z3	3404,000	2162,800	1,574
ZE	Z4	5482,600	2182,900	2,512

Çizelge 8: Örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019 ve DBYBHY 2007 farklı yerel zemin sınıfları için y yönü deprem kuvvetleri (kN)

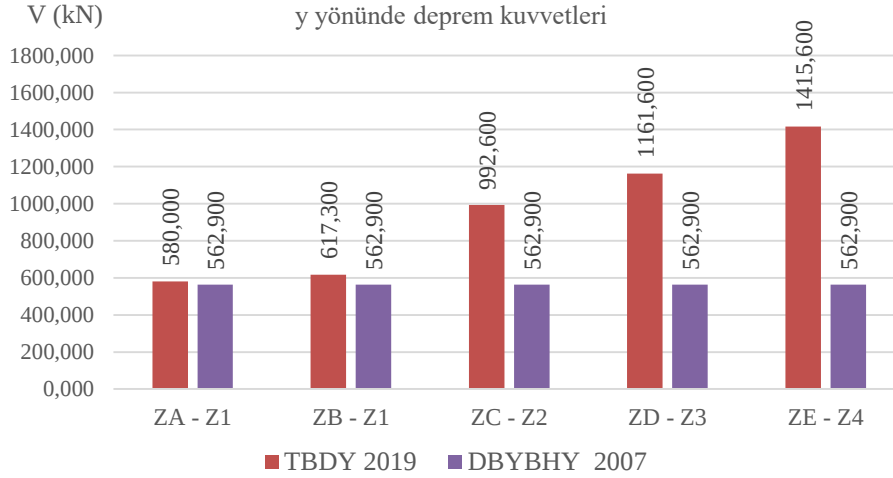
Yerel Zemin Sınıfı		Binaya etkiyen deprem kuvvetleri (kN)		$VE_{TBDY2019}/VE_{DBYBHY2007}$
TBDY 2019	DBYBHY 2007	TBDY 2019	DBYBHY 2007	
ZA	Z1	366,300	568,000	0,645
ZB	Z1	409,600	568,000	0,721
ZC	Z2	1170,100	708,700	1,651
ZD	Z3	2085,900	980,200	2,128
ZE	Z4	3207,200	1364,300	2,351

Örnek çelik ofis binası modellerine x yönünde etki eden deprem kuvvetlerinin TBDY 2019 ve DBYBHY 2007'deki farklı yerel zemin sınıfları için değişimi Şekil 9'da, y yönünde etki eden deprem kuvvetlerinin TBDY 2019 ve DBYBHY 2007'deki farklı yerel zemin sınıfları için değişimi Şekil 10'da verilmiştir. Örnek çelik ofis binası modellerine x ve y yönünde etki eden deprem kuvvetlerinin verildiği Çizelge 7-8 incelendiğinde, her iki yönetmelik için x yönündeki deprem yükleri, y yönündeki deprem yüklerinden büyüktür. Çalışmada x yönünde örnek çelik ofis binası modellerine etki eden deprem yüklerinin, TBDY 2019 ZA, ZB yerel zemin sınıflarında DBYBHY 2007 Z1 yerel zemin sınıfı deprem kuvvetlerinden küçük olduğu, diğer yerel zemin sınıflarında TBDY 2019 deprem kuvvetlerinin DBYBHY 2007 deprem kuvvetlerinden büyük olduğu görülmektedir (Çizelge 7 ve Şekil 9). Zorlu ve Akbaş (2017) ile Irgaç (2019) çalışmalarında olduğu gibi y yönünde TBDY 2019'a göre hesap edilen deprem yükleri tüm yerel zemin sınıfları için DBYBHY 2007 için hesap edilen yüklerden büyüktür. (Çizelge 8 ve Şekil 9). Bu durumun başlıca nedeni, Şekil 5'te gösterildiği üzere TBDY 2019'da binalara etkiyecek spektral ivme değerlerinin yerel deprem ve zemin koşullarına bağlı olarak Türkiye'nin her bölgesi için ayrı ayrı belirlenmesi neticesinde ivme değerlerinin artmış olmasıdır (Zorlu ve Akbaş, 2017).



Şekil 9: Örnek çelik ofis binası modellerine x yönünde etki eden deprem kuvvetlerinin TBDY 2019 ve DBYBHY 2007 için değişimi

TBDY 2019 deprem kuvvetleri ile DBYBHY 2007 deprem kuvvetlerinin değişiminin verildiği Çizelge 7 ve Çizelge 8 incelendiğinde TBDY 2019 ve DBYBHY 2007 için örnek çelik ofis binası modellerine x ve y yönünde etki eden deprem kuvvetlerinin yerel zemin sınıfı türüne göre değiştiği, zemin kötüleştikçe deprem yüklerinin arttığı görülmektedir. TBDY 2019 için yapılan tasarımda yerel zemin sınıfı türüne göre deprem yüklerindeki değişim, DBYBHY 2007’ye göre daha belirgindir.



Şekil 10: Örnek çelik ofis binası modellerine y yönünde etki eden deprem kuvvetlerinin TBDY 2019 ve DBYBHY 2007 için değişimi

3.1.5. Örnek Çelik Ofis Binası Modellerinin Göreli Kat Ötelemesi Değerlerinin TBDY 2019 ve DBYBHY 2007 Farklı Yerel Zemin Sınıfları için Karşılaştırılması

DBYBHY 2007’de etkin göreli kat ötelemesi sınırı ($\delta_{i,max}/h_i$) $\leq 0,002$ iken; TBDY 2019’da göreli kat ötelemesi sınır değeri olarak bina taşıyıcı elemanları ile ikincil elemanlar olan duvarlar ve cephe kaplamaları ara yüzünde esnek derz veya esnek bağlantı detayı olup olmamasına göre iki farklı sınır değeri verilmiştir.

Esnek derz detayı kullanılmaması durumunda; $\lambda(\delta_{i,max}/h_i) \leq 0,008\kappa$, esnek derz detayı kullanılması durumunda; $\lambda(\delta_{i,max}/h_i) \leq 0,016\kappa$ olmaktadır.

Yukarıdaki ifadelerde λ katsayısı binanın gözönüne alınan deprem doğrultusundaki hakim titreşim periyodu için DD3 deprem yer hareketine ait elastik tasarım spektral ivme değerinin DD2 deprem yer hareketine ait spektral ivme değerine oranı ($\lambda = S_{ae}(T)^{DD3}/S_{ae}(T)^{DD2}$) olarak ifade edilmektedir.

TBDY 2019’in bu yaklaşımı ile her bina ve her doğrultu için deprem ve taşıyıcı sistem özelliklerine bağlı olarak farklı göreli kat ötelemesi ve sınır değerleri uygulanacaktır (Zorlu ve Akbaş, 2017).

Örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019 ZA ve DBYBHY 2007 Z1 yerel zemin sınıfı için göreli kat ötelemesi değerleri ve göreli kat ötelemesi değerlerinin değişimi x yönü için Çizelge 9’da, y yönü için Çizelge 10’da verilmiştir.

Çizelge 9: Örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019 ZA ve DBYBHY 2007 Z1 yerel zemin sınıfları için x yönü göreli kat ötelemesi değerleri

Yerel Zemin Sınıfı	x yönü göreli kat ötelemesi değerleri				
Kat No	TBDY 2019		DBYBHY 2007		TBDY 2019
	$\lambda \delta_{i,max}/h$	$\lambda_{sınır}=0,008\kappa$	$\delta_{i,max}/h$	$(\delta_{i,max}/h)_{sınır}$	DBYBHY 2007
4. Normal Kat	0,00044	0,004	0,00131	0,020	0,336
3. Normal Kat	0,00067	0,004	0,00214	0,020	0,313
2. Normal Kat	0,00094	0,004	0,00314	0,020	0,299
1. Normal Kat	0,00095	0,004	0,00314	0,020	0,303
Zemin Kat	0,00086	0,004	0,00294	0,020	0,293

Çizelge 10: Örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019 ZA ve DBYBHY 2007 Z1 yerel zemin sınıfları için y yönü göreli kat ötelemesi değerleri

Yerel Zemin Sınıfı	y yönü göreli kat ötelemesi değerleri				
Kat No	TBDY 2019		DBYBHY 2007		TBDY 2019
	$\lambda \delta_{i,max}/h$	$\lambda_{sınır}=0,008\kappa$	$\delta_{i,max}/h$	$(\delta_{i,max}/h)_{sınır}$	DBYBHY 2007
4. Normal Kat	0,00105	0,004	0,00371	0,020	0,283
3. Normal Kat	0,00139	0,004	0,00564	0,020	0,246
2. Normal Kat	0,00168	0,004	0,00723	0,020	0,232
1. Normal Kat	0,00166	0,004	0,00719	0,020	0,231
Zemin Kat	0,00101	0,004	0,00459	0,020	0,220

Örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019 ZA ve DBYBHY 2007 Z1 yerel zemin sınıfları için x ve y yönünde hesaplanan göreli kat ötelemesi değerlerinin verildiği Çizelge 9 ve Çizelge 10 incelendiğinde DBYBHY 2007 ve TBDY 2019 yönetmeliklerinde göreli kat ötelemesi için verilen sınır koşullarının rahatlıkla sağlandığı görülmektedir. Örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019 ZA yerel zemin sınıfı için hesaplanan göreli kat ötelemesi değerleri her iki deprem yönünde de DBYBHY 2007 Z1 yerel zemin sınıfı için hesaplanan göreli kat ötelemesi değerlerinden küçüktür.

Örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019 ZB ve DBYBHY 2007 Z1 yerel zemin sınıfı için göreli kat ötelemesi değerleri ve göreli kat ötelemesi değerlerinin değişimi x yönü için Çizelge 11’de, y yönü için Çizelge 12’de verilmiştir.

Çizelge 11: Örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019 ZB ve DBYBHY 2007 Z1 yerel zemin sınıfları için x yönü göreli kat ötelemesi değerleri

Yerel Zemin Sınıfı	x yönü göreli kat ötelemesi değerleri				
Kat No	TBDY 2019		DBYBHY 2007		TBDY 2019
	$\lambda \delta_{i,max}/h$	$\lambda_{sınır}=0,008\kappa$	$\delta_{i,max}/h$	$(\delta_{i,max}/h)_{sınır}$	DBYBHY 2007
4. Normal Kat	0,00045	0,004	0,00131	0,020	0,344
3. Normal Kat	0,00068	0,004	0,00214	0,020	0,318
2. Normal Kat	0,00094	0,004	0,00314	0,020	0,299
1. Normal Kat	0,00095	0,004	0,00314	0,020	0,303
Zemin Kat	0,00086	0,004	0,00294	0,020	0,293

Çizelge 12: Örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019 ZB ve DBYBHY 2007 Z1 yerel zemin sınıfları için y yönü göreli kat ötelemesi değerleri

Yerel Zemin Sınıfı	y yönü göreli kat ötelemesi değerleri				
Kat No	TBDY 2019		DBYBHY 2007		TBDY 2019
	$\lambda \delta_{i,max}/h$	$\lambda_{sınır}=0,008\kappa$	$\delta_{i,max}/h$	$(\delta_{i,max}/h)_{sınır}$	DBYBHY 2007
4. Normal Kat	0,00113	0,004	0,00371	0,020	0,305
3. Normal Kat	0,00148	0,004	0,00564	0,020	0,262
2. Normal Kat	0,00179	0,004	0,00723	0,020	0,248
1. Normal Kat	0,00176	0,004	0,00719	0,020	0,245
Zemin Kat	0,00108	0,004	0,00459	0,020	0,235

Örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019 ZB ve DBYBHY 2007 Z1 yerel zemin sınıfları için x ve y yönünde hesaplanan göreli kat ötelemesi değerlerinin verildiği Çizelge 11 ve Çizelge 12 incelendiğinde DBYBHY 2007 ve TBDY 2019 yönetmeliklerinde göreli kat ötelemesi için verilen sınır koşullarının rahatlıkla sağlandığı görülmektedir. Örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019 ZB yerel zemin sınıfı için hesaplanan göreli kat ötelemesi değerleri her iki deprem yönünde de DBYBHY 2007 Z1 yerel zemin sınıfı için hesaplanan göreli kat ötelemesi değerlerinden küçüktür.

Örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019 ZC ve DBYBHY 2007 Z2 yerel zemin sınıfı için göreli kat ötelemesi değerleri ve göreli kat ötelemesi değerlerinin değişimi x yönü için Çizelge 13'te, y yönü için Çizelge 14'te verilmiştir.

Çizelge 13: Örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019 ZC ve DBYBHY 2007 Z2 yerel zemin sınıfları için x yönü göreli kat ötelemesi değerleri

Yerel Zemin Sınıfı	x yönü göreli kat ötelemesi değerleri				
Kat No	TBDY 2019		DBYBHY 2007		TBDY 2019
	$\lambda \delta_{i,max}/h$	$\lambda_{sınır}=0,008\kappa$	$\delta_{i,max}/h$	$(\delta_{i,max}/h)_{sınır}$	DBYBHY 2007
4. Normal Kat	0,00065	0,004	0,00158	0,020	0,411
3. Normal Kat	0,00104	0,004	0,00255	0,020	0,408
2. Normal Kat	0,00139	0,004	0,00376	0,020	0,370
1. Normal Kat	0,00153	0,004	0,00374	0,020	0,409
Zemin Kat	0,00153	0,004	0,00352	0,020	0,435

Çizelge 14: Örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019 ZC ve DBYBHY 2007 Z2 yerel zemin sınıfları için y yönü göreli kat ötelemesi değerleri

Yerel Zemin Sınıfı	y yönü göreli kat ötelemesi değerleri				
Kat No	TBDY 2019		DBYBHY 2007		TBDY 2019
	$\lambda \delta_{i,max}/h$	$\lambda_{sınır}=0,008\kappa$	$\delta_{i,max}/h$	$(\delta_{i,max}/h)_{sınır}$	DBYBHY 2007
4. Normal Kat	0,00150	0,004	0,00465	0,020	0,323
3. Normal Kat	0,00182	0,004	0,00715	0,020	0,255
2. Normal Kat	0,00204	0,004	0,00934	0,020	0,218
1. Normal Kat	0,00185	0,004	0,00939	0,020	0,197
Zemin Kat	0,00103	0,004	0,00598	0,020	0,172

Örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019 ZC ve DBYBHY 2007 Z2 yerel zemin sınıfları için x ve y yönünde hesaplanan görel kat ötelemesi değerlerinin verildiği Çizelge 13 ve Çizelge 14 incelendiğinde DBYBHY 2007 ve TBDY 2019 yönetmeliklerinde görel kat ötelemesi için verilen sınır koşullarının rahatlıkla sağlandığı görülmektedir. Örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019 ZC yerel zemin sınıfı için hesaplanan görel kat ötelemesi değerleri her iki deprem yönünde de DBYBHY 2007 Z2 yerel zemin sınıfı için hesaplanan görel kat ötelemesi değerlerinden küçüktür.

Örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019 ZD ve DBYBHY 2007 Z3 yerel zemin sınıfı için görel kat ötelemesi değerleri ve görel kat ötelemesi değerlerinin değişimi x yönü için Çizelge 15'te, y yönü için Çizelge 16'da verilmiştir.

Çizelge 15: Örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019 ZD ve DBYBHY 2007 Z3 yerel zemin sınıfları için x yönü görel kat ötelemesi değerleri

Yerel Zemin Sınıfı	x yönü görel kat ötelemesi değerleri				
Kat No	TBDY 2019		DBYBHY 2007		TBDY 2019
	$\lambda \delta_{i,max}/h$	$\lambda_{sınır}=0,008\kappa$	$\delta_{i,max}/h$	$(\delta_{i,max}/h)_{sınır}$	DBYBHY 2007
4. Normal Kat	0,00077	0,004	0,00168	0,020	0,458
3. Normal Kat	0,00131	0,004	0,00271	0,020	0,483
2. Normal Kat	0,00184	0,004	0,00400	0,020	0,460
1. Normal Kat	0,00198	0,004	0,00398	0,020	0,497
Zemin Kat	0,00207	0,004	0,00373	0,020	0,555

Çizelge 16: Örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019 ZD ve DBYBHY 2007 Z3 yerel zemin sınıfları için y yönü görel kat ötelemesi değerleri

Yerel Zemin Sınıfı	y yönü görel kat ötelemesi değerleri				
Kat No	TBDY 2019		DBYBHY 2007		TBDY 2019
	$\lambda \delta_{i,max}/h$	$\lambda_{sınır}=0,008\kappa$	$\delta_{i,max}/h$	$(\delta_{i,max}/h)_{sınır}$	DBYBHY 2007
4. Normal Kat	0,00129	0,004	0,00647	0,020	0,199
3. Normal Kat	0,00189	0,004	0,01050	0,020	0,180
2. Normal Kat	0,00249	0,004	0,01329	0,020	0,187
1. Normal Kat	0,00237	0,004	0,01336	0,020	0,177
Zemin Kat	0,00151	0,004	0,00835	0,020	0,181

Örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019 ZD ve DBYBHY 2007 Z3 yerel zemin sınıfları için x ve y yönünde hesaplanan görel kat ötelemesi değerlerinin verildiği Çizelge 15 ve Çizelge 16 incelendiğinde DBYBHY 2007 ve TBDY 2019 yönetmeliklerinde görel kat ötelemesi için verilen sınır koşullarının rahatlıkla sağlandığı görülmektedir. Örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019 ZC yerel zemin sınıfı için hesaplanan görel kat ötelemesi değerleri her iki deprem yönünde de DBYBHY 2007 Z3 yerel zemin sınıfı için hesaplanan görel kat ötelemesi değerlerinden küçüktür.

Örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019 ZE ve DBYBHY 2007 Z4 yerel zemin sınıfı için görelî kat ötelemesi değerleri ve görelî kat ötelemesi değerlerinin değişimi x yönü için Çizelge 17’de, y yönü için Çizelge 18’de verilmiştir.

Çizelge 17: Örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019 ZE ve DBYBHY 2007 Z4 yerel zemin sınıfları için x yönü görelî kat ötelemesi değerleri

Yerel Zemin Sınıfı	x yönü görelî kat ötelemesi değerleri				
Kat No	TBDY 2019		DBYBHY 2007		TBDY 2019
	$\lambda\delta_{i,max}/h$	$\lambda_{sınır}=0,008\kappa$	$\delta_{i,max}/h$	$(\delta_{i,max}/h)_{sınır}$	DBYBHY 2007
4. Normal Kat	0,00093	0,004	0,00159	0,020	0,585
3. Normal Kat	0,00166	0,004	0,00258	0,020	0,643
2. Normal Kat	0,00217	0,004	0,00377	0,020	0,576
1. Normal Kat	0,00226	0,004	0,00386	0,020	0,585
Zemin Kat	0,00192	0,004	0,00367	0,020	0,523

Çizelge 18: Örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019 ZE ve DBYBHY 2007 Z4 yerel zemin sınıfları için y yönü görelî kat ötelemesi değerleri

Yerel Zemin Sınıfı	y yönü görelî kat ötelemesi değerleri				
Kat No	TBDY 2019		DBYBHY 2007		TBDY 2019
	$\lambda\delta_{i,max}/h$	$\lambda_{sınır}=0,008\kappa$	$\delta_{i,max}/h$	$(\delta_{i,max}/h)_{sınır}$	DBYBHY 2007
4. Normal Kat	0,00198	0,004	0,00855	0,020	0,232
3. Normal Kat	0,00299	0,004	0,01155	0,020	0,259
2. Normal Kat	0,00362	0,004	0,01396	0,020	0,259
1. Normal Kat	0,00331	0,004	0,01315	0,020	0,252
Zemin Kat	0,00201	0,004	0,00724	0,020	0,278

Örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019 ZE ve DBYBHY 2007 Z4 yerel zemin sınıfları için x ve y yönünde hesaplanan görelî kat ötelemesi değerlerinin verildiği Çizelge 17 ve Çizelge 18 incelendiğinde DBYBHY 2007 ve TBDY 2019 yönetmeliklerinde görelî kat ötelemesi için verilen sınır koşullarının rahatlıkla sağlandığı görülmektedir. Örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019 ZE yerel zemin sınıfı için hesaplan görelî kat ötelemesi değerleri her iki deprem yönünde de DBYBHY 2007 Z4 yerel zemin sınıfı için hesaplan görelî kat ötelemesi değerlerinden küçüktür.

Örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019 için x ve y yönünde hesaplanan görelî kat ötelemesi değerleri DBYBHY 2007 ve TBDY 2019 yönetmeliklerindeki farklı yerel zemin sınıfları için farklı değerler almaktadır. Örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019’daki tüm yerel zemin sınıfları için x ve y yönünde hesaplanan görelî kat ötelemesi değerleri, DBYBHY 2007’deki tüm yerel zemin sınıfları için hesaplanan değerlerden küçüktür.

TBDY 2019 ve DYBYHY 2007 için hesaplanan görelî kat ötelemesi değerleri arasındaki fark, iki deprem yönetmeliğine göre tasarımda bina ağırlıklarının, katlara etki eden deprem yüklerinin, taşıyıcı sistem

kesitlerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. TBDY 2019 ve DBYBHY 2007 yönetmelikleri için hesaplanan görelî kat ötelemesi değerleri arasındaki farkın fazla olması, TBDY 2019'a göre görelî kat ötelemesi hesabı yapılırken hesaplanan öteleme değerinin birden küçük olan λ katsayısı ile çarpılmasından kaynaklanmaktadır.

3.1.6. Örnek Çelik Ofis Binası Modellerinin İkinci Mertebe Etkilerinin TBDY 2019 ve DBYBHY 2007 Farklı Yerel Zemin Sınıfları İçin Karşılaştırılması

TBDY 2019'a göre bina tasarımındaki bir yenilik ikinci mertebe etki gösterge değerlendirilmesidir.

DBYBHY 2007'de ikinci mertebe gösterge değerinin (θ_i) herhangi bir katta ($\theta_i = \frac{(\Delta_i)_{ort} \sum_{j=1}^N W_j}{V_{i,h_i}} \leq 0,12$)

koşulunu sağlanmaması durumunda taşıyıcı sistemin rijitliğinin yeterli oranda artırılması şart koşulmuştur.

TBDY 2019'da ise dayanım fazlalığı katsayısı (D), taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) ve taşıyıcı sistem histerik davranış katsayısına ($C_h=1$) bağlı olarak belirlenen ikinci mertebe sınır değeri ($\theta_i \leq 0,12D/C_h.R$) değiştirilmiştir. TBDY 2019'da ikinci mertebe gösterge değerinin (θ_i) herhangi bir katta ($\theta_i =$

$\frac{(\Delta_i)_{ort} \sum_{k=1}^N W_k}{V_{i,h_i}} \leq 0,12 \frac{D}{C_h.R}$) koşulunu sağlanmaması durumunda, taşıyıcı sistem rijitliğinin artırılması

seçeneğine alternatif olarak, göz önüne alınan deprem doğrultusundaki tüm iç kuvvetler İkinci Mertebe Büyütme Katsayısı ($\beta_{II}=0,88+C_h.R.\theta_{II,max}/D \geq 1$) ile artırılarak hesap yapılabileceği belirtilmektedir.

Çalışma kapsamında yapısal analizleri farklı yerel zemin sınıfları için yapılan örnek çelik ofis binası modellerinin x yönü için ikinci mertebe etki gösterge değerlerinin değişimi Çizelge 19'da, y yönü için ikinci mertebe etki gösterge değerlerinin değişimi Çizelge 20'de verilmiştir.

Çizelge 19: Örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019 ve DBYBHY 2007 farklı yerel zemin sınıfları için x yönü ikinci mertebe etki gösterge değerleri

Yerel Zemin Sınıfı		x yönü ikinci mertebe etki gösterge değerleri				
TBDY 2019	DBYBHY 2007	TBDY 2019		DBYBHY 2007		TBDY 2019
		θ_i	$\theta_{i,sınır}=0,12D/C_h.R$	θ_i	$\theta_{i,sınır}=0,12$	DBYBHY 2007
ZA	Z1	0,0039	0,045	0,0021	0,120	1,857
ZB	Z1	0,0036	0,045	0,0021	0,120	1,714
ZC	Z2	0,0029	0,045	0,0021	0,120	1,381
ZD	Z3	0,0025	0,045	0,0021	0,120	1,190
ZE	Z4	0,0023	0,045	0,0021	0,120	1,095

Çizelge 19 ve Çizelge 20 incelendiğinde örnek çelik ofis binası modellerinin x ve y yönü için ikinci mertebe etki gösterge değerlerinin DBYBHY 2007 ve TBDY 2019 yönetmeliklerinde verilen sınır koşulları sağladığı görülmektedir.

Örnek çelik ofis binası modellerinin DBYBHY 2007'ye göre x ve y yönünde hesaplan ikinci mertebeye etki gösterge değerleri tüm yerel zemin sınıfları için aynı olup, tek bir değer olmaktadır. Örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019'a göre x ve y yönünde hesaplanan ikinci mertebeye etki gösterge değerleri farklı yerel zemin sınıfları için farklı değerler almaktadır.

Çizelge 20: Örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019 ve DBYBHY 2007 farklı yerel zemin sınıfları için y yönü ikinci mertebeye etki gösterge değerleri

Yerel Zemin Sınıfı		y yönü ikinci mertebeye etki gösterge değerleri				
TBDY 2019	DBYBHY 2007	TBDY 2019		DBYBHY 2007		TBDY 2019
		θ_i	$\theta_{i,smr}=0,12D/C_h.R$	θ_i	$\theta_{i,smr}=0,12$	DBYBHY 2007
ZA	Z1	0,0019	0,048	0,0006	0,120	3,167
ZB	Z1	0,0019	0,048	0,0006	0,120	3,167
ZC	Z2	0,0018	0,048	0,0006	0,120	3,000
ZD	Z3	0,0019	0,048	0,0006	0,120	3,167
ZE	Z4	0,0020	0,048	0,0006	0,120	3,333

Örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019 için x yönünde hesaplanan ikinci mertebeye etki gösterge değerleri tüm yerel zemin sınıflarında DBYBHY 2007 için hesaplanan ikinci mertebeye etki gösterge değerlerinden büyüktür (Çizelge 19).

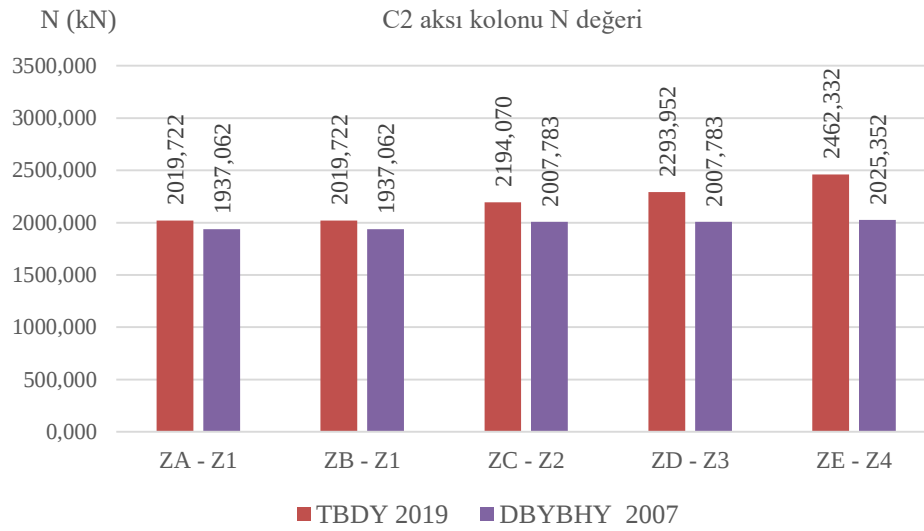
Benzer şekilde örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019 için y yönünde hesaplanan ikinci mertebeye etki gösterge değerleri tüm yerel zemin sınıflarında DBYBHY 2007 için hesaplanan ikinci mertebeye etki gösterge değerlerinden büyüktür (Çizelge 20). TBDY 2019 ve DBYBHY 2007 için hesaplanan ikinci mertebeye etki gösterge değerleri arasındaki fark, iki farklı yönetmelik için yapılan tasarımda bina ağırlıklarının, katlara etki eden deprem yüklerinin ve taşıyıcı sistem kesitlerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır.

3.1.7. Örnek Çelik Ofis Binası Modellerinin Taşıyıcı Sistem Elemanlarının İç Kuvvetlerinin TBDY 2019 ve DBYBHY 2007 Farklı Yerel Zemin Sınıfları için Karşılaştırılması

Çalışma kapsamında yapısal analizleri TBDY 2019 ve DBYBHY 2007'deki farklı yerel zemin sınıfları için yapılan örnek çelik ofis binası modellerinin taşıyıcı sistem elemanlarından zemin kattaki C2 aksı kolonunun çelik tasarımında kullanılan yükleme birleşimi için normal kuvvet (N) değerleri, kesme kuvveti değerleri (T) ve eğilme momenti (M) değerleri sırasıyla Çizelge 21-23'te verilmiştir. C2 aksı kolonunun çelik tasarımında kullanılan yükleme birleşimi için Çizelge 21-23'te verilen iç kuvvetlerinin TBDY 2019 ve DBYBHY 2007 için değişimleri Şekil 11-13'de verilmiştir.

Çizelge 21: Örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019 ve DBYBHY 2007 farklı yerel zemin sınıfları için zemin kat C2 aksı kolonunun normal kuvvet değerleri (kN)

Yerel Zemin Sınıfı		Zemin kat C2 aksı kolonunun normal kuvvet değerleri (kN)		
TBDY 2019	DBYBHY 2007	TBDY 2019	DBYBHY 2007	$N_{TBDY2019}/N_{DBYBHY2007}$
ZA	Z1	2019,722	1937,062	1,043
ZB	Z1	2019,722	1937,062	1,043
ZC	Z2	2194,070	2007,783	1,093
ZD	Z3	2293,952	2007,783	1,143
ZE	Z4	2462,332	2025,352	1,216



Şekil 11: Örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019 ve DBYBHY 2007 farklı yerel zemin sınıfları için zemin kat C2 aksı kolonunun normal kuvvet değerlerinin değişimi

Örnek çelik ofis binası modellerinin zemin kat C2 aksı kolonuna etkiyen eksenel normal kuvvet değerlerinin TBDY 2019 ve DBYBHY 2007 yönetmeliklerine göre değişimini gösteren Çizelge 21 ile Şekil 11 incelendiğinde, TBDY 2019 yönetmeliği için bulunan normal kuvvet değerleri tüm yerel zemin sınıfları için DBYBHY 2007 yönetmeliği için bulunan değerlerden büyüktür.

DBYBHY 2007 için yapısal analiz sonucu zemin kat C2 aksı kolonuna etki eden eksenel normal kuvvet değerleri, farklı yerel zemin sınıfları için örnek çelik ofis binası modeline farklı deprem kuvvetlerinin etkimesi ve düşey taşıyıcı kesitlerinin değişmesi sebebiyle farklı yerel zemin sınıfları için farklı değerler almaktadır. DBYBHY 2007’de sağlam yerel zemin sınıfı Z1’den zayıf yerel zemin sınıfı Z4’e doğru gidildikçe kolon eksenel normal kuvvetleri artmaktadır.

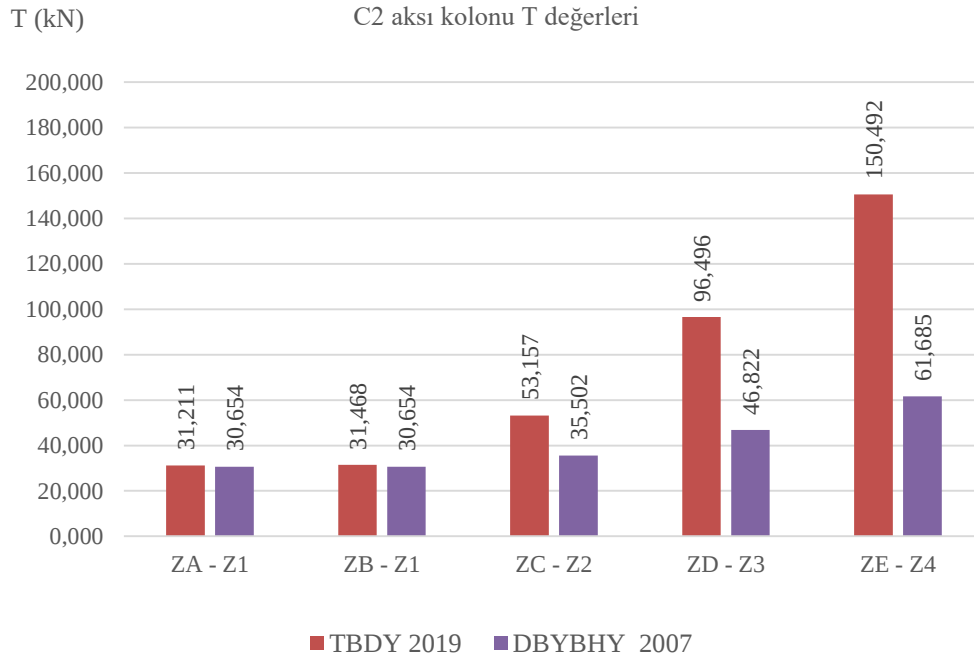
TBDY 2019’da artan deprem yüklerinin etkisiyle düşey taşıyıcı kesitlerinin büyümesi ve TBDY 2019’da dikkate alınan düşey deprem etkisi ($E_d^{(Z)} = (2/3)S_{DS}.G$) sebebiyle normal kuvvet değerleri farklı yerel zemin

sınıfları için farklı değerler almakta ve DBYBHY 2007 için hesap sonucu bulunan normal kuvvet değerlerinden büyük olmaktadır. TBDY 2019’a göre tasarımda sağlam yerel zemin sınıfı ZA’dan zayıf yerel zemin sınıfı ZE’ye gidildikçe deprem yükündeki artış ile birlikte kolon eksenel normal kuvvetleri artmaktadır. TBDY 2019’a göre tasarımda yerel zemin sınıfının değişmesi ile kolon normal kuvvetlerinde meydana gelen değişim DBYBHY 2007’ye oranla oldukça fazladır.

Çizelge 22: Örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019 ve DBYBHY 2007 farklı yerel zemin sınıfları için zemin kat C2 aksı kolonunun kesme kuvveti değerleri (kN)

Yerel Zemin Sınıfı		Zemin kat C2 aksı kolonunun kesme kuvveti değerleri (kN)		
TBDY 2019	DBYBHY 2007	TBDY 2019	DBYBHY 2007	$T_{TBDY2019}/T_{DBYBHY 2007}$
ZA	Z1	31,211	30,654	1,018
ZB	Z1	31,468	30,654	1,027
ZC	Z2	53,157	35,502	1,497
ZD	Z3	96,496	46,822	2,061
ZE	Z4	150,492	61,685	2,440

Örnek çelik ofis binası modellerinin zemin kat C2 aksı kolonuna etkiyen kesme kuvveti değerlerinin farklı yerel zemin sınıfları için TBDY 2019 ve DBYBHY 2007 yönetmeliklerine göre değişimini gösteren Çizelge 22 ile Şekil 12 incelendiğinde, TBDY 2019 yönetmeliği için kesme kuvveti değerlerinin tüm yerel zemin sınıfları için DBYBHY 2007 yönetmeliği için bulunan değerlerden büyük olduğu görülmektedir.



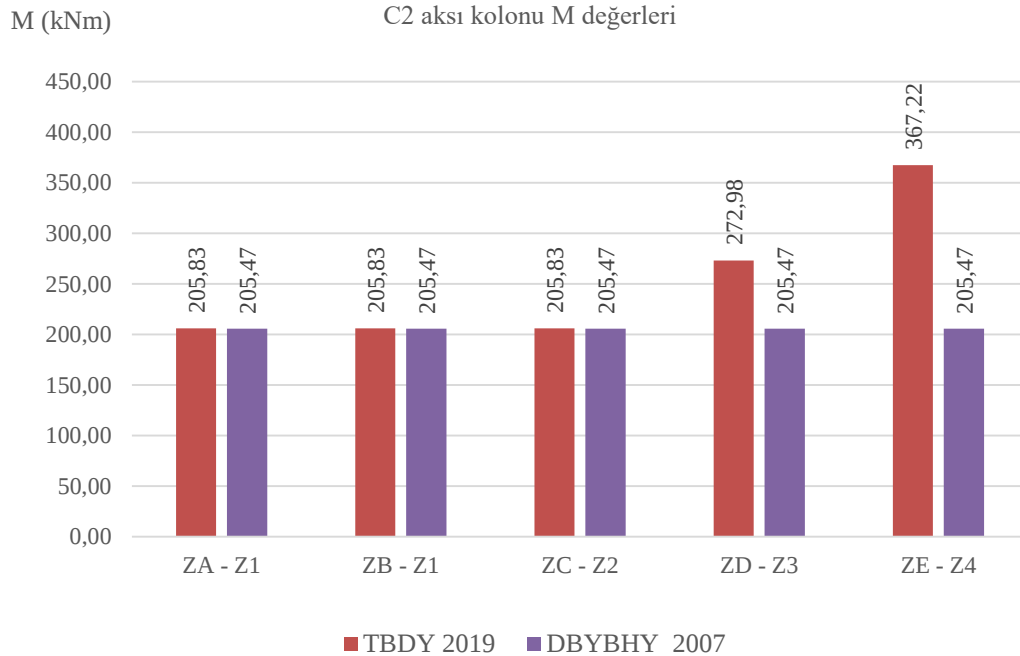
Şekil 12: Örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019 ve DBYBHY 2007 farklı yerel zemin sınıfları için zemin kat C2 aksı kolonunun kesme kuvveti değerlerinin değişimi

DBYBHY 2007 analiz sonuçlarına göre zemin kat C2 aksı kolonuna etki eden kesme kuvvetleri, örnek çelik ofis binası modellerine farklı yerel zemin sınıfları için farklı deprem kuvvetlerinin etkimesi sebebiyle farklı değerler almaktadır. DBYBHY 2007’de sağlam yerel zemin sınıfı Z1’den zayıf yerel zemin sınıfı Z4’e doğru gidildikçe kolon kesme kuvvetleri artmaktadır.

TBDY 2019’da da benzer şekilde farklı yerel zemin sınıfları için örnek çelik ofis binası modellerine farklı deprem yüklerinin etkimesinden dolayı kesme kuvvetleri farklı değerler almaktadır. TBDY 2019’da sağlam yerel zemin sınıfı olan ZA’dan zayıf yerel zemin sınıfı ZE’ye doğru gidildikçe kolon kesme kuvveti değerleri artarken, zayıf yerel zemin sınıflarındaki (ZD ve ZE) artış daha belirgindir.

Çizelge 23: Örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019 ve DBYBHY 2007 farklı yerel zemin sınıfları için zemin kat C2 aksı kolonunun eğilme momentleri (kNm)

Yerel Zemin Sınıfı		Zemin Kat C2 aksı kolonunun eğilme momentleri (kNm)		
TBDY 2019	DBYBHY 2007	TBDY 2019	DBYBHY 2007	$M_{TBDY2019}/M_{DBYBHY2007}$
ZA	Z1	205,83	205,47	1,002
ZB	Z1	205,83	205,47	1,002
ZC	Z2	205,83	205,47	1,002
ZD	Z3	272,98	205,47	1,329
ZE	Z4	367,22	205,47	1,787



Şekil 13: Örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019 ve DBYBHY 2007 farklı yerel zemin sınıfları için zemin kat C2 aksı kolonunun eğilme momentleri değerlerinin değişimi

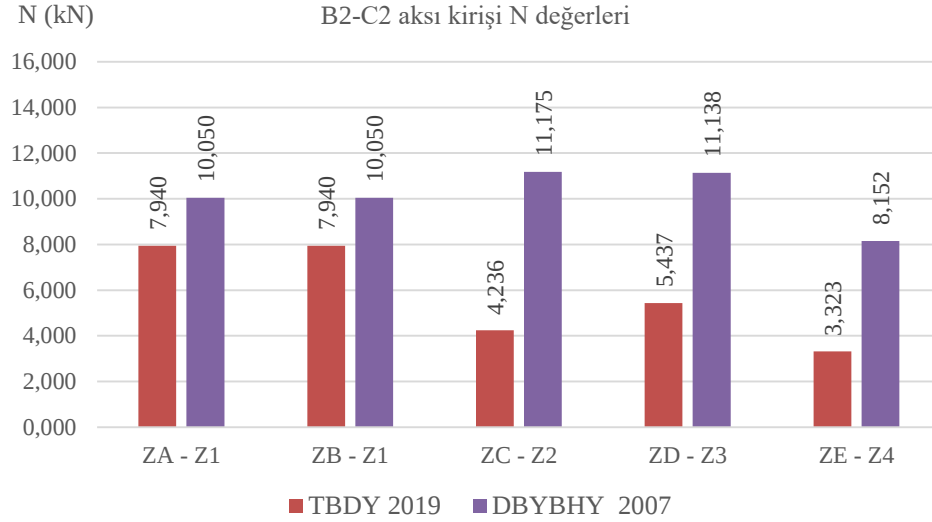
Örnek çelik ofis binası modellerinin zemin kat C2 aksı kolonuna etki eden eğilme momentlerinin farklı yerel zemin sınıfları için TBDY 2019 ve DBYBHY 2007 yönetmeliklerine göre değişimini gösteren Çizelge 23 ile Şekil 13 incelendiğinde, TBDY 2019 yönetmeliği için eğilme momenti değerlerinin tüm yerel zemin sınıfları için DBYBHY 2007 yönetmeliği için bulunan eğilme momenti değerlerden büyük olduğu görülmektedir. DBYBHY 2007 analiz sonuçlarına göre zemin kat C2 aksı kolonuna etki eden eğilme momentleri tüm yerel zemin sınıflarında birbirine eşit olup, tek bir değer olmaktadır.

TBDY 2019’da ise farklı yerel zemin sınıfları için örnek çelik ofis binası modellerine farklı deprem yüklerinin etkimesi ve kolon en kesitlerinin değişmesinden dolayı eğilme momentleri farklı yerel zemin sınıfları için farklı değerler almaktadır. TBDY 2019’da sağlam yerel zemin sınıfı olan ZA’dan zayıf yerel zemin sınıfı ZE’ye doğru gidildikçe kolon eğilme momentleri artarken, zayıf zemin sınıflarındaki (ZD ve ZE) artış daha belirgindir.

Çalışma kapsamında yapısal analizleri TBDY 2019 ve DBYBHY 2007’deki farklı yerel zemin sınıfları için yapılan örnek çelik ofis binası modellerinin taşıyıcı sistem elemanlarından zemin kat B2-C2 aksı kirişinin çelik tasarımında kullanılan yükleme birleşimi için normal kuvvet (N) değerleri, kesme kuvveti değerleri (T) ve eğilme momenti (M) değerleri sırasıyla Çizelge 24-26’da verilmiştir. Zemin kat B2-C2 aksı kirişinin çelik tasarımında kullanılan yükleme birleşimi için Çizelge 24-26’da verilen iç kuvvetlerin TBDY 2019 ve DBYBHY 2007 için değişimleri Şekil 14-17’de verilmiştir.

Çizelge 24: Örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019 ve DBYBHY 2007 farklı yerel zemin sınıfları için zemin kat B2-C2 aksı kirişinin normal kuvvet değerleri (kN)

Yerel Zemin Sınıfı		Zemin kat B2-C2 aksı kirişinin normal kuvvet değerleri (kN)		
TBDY 2019	DBYBHY 2007	TBDY 2019	DBYBHY 2007	$N_{TBDY2019}/N_{DBYBHY2007}$
ZA	Z1	7,940	10,050	0,790
ZB	Z1	7,940	10,050	0,790
ZC	Z2	4,236	11,175	0,379
ZD	Z3	5,437	11,138	0,488
ZE	Z4	3,323	8,152	0,408



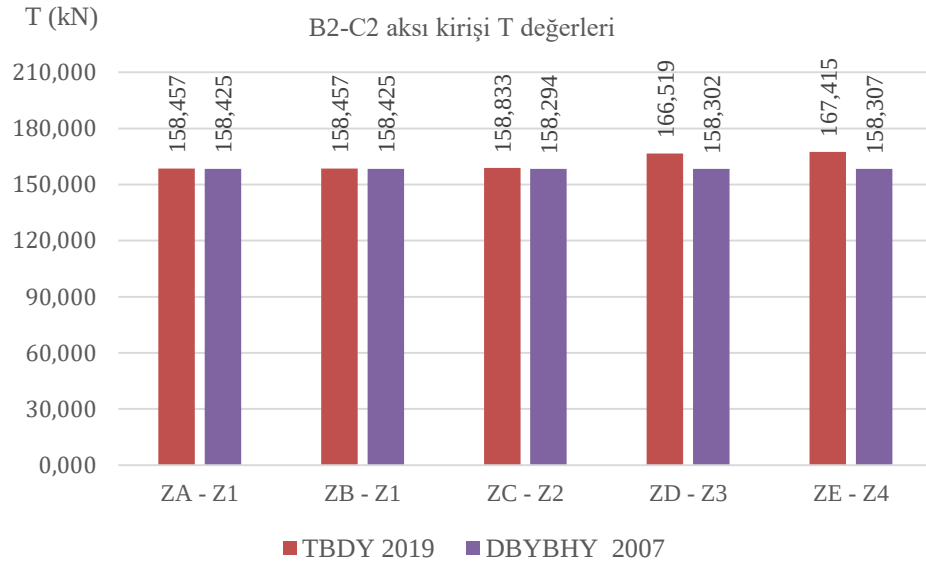
Şekil 14: Örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019 ve DBYBHY 2007 farklı yerel zemin sınıfları için zemin kat B2-C2 aksı kirişinin normal kuvvet değerlerinin değişimi

Örnek çelik ofis binası modellerinin zemin kat C2-B2 aksı kirişine etkileyen normal kuvvetlerin TBDY 2019 ve DBYBHY 2007 yönetmeliklerine göre değişimini gösteren Çizelge 24 ile Şekil 14 incelendiğinde, TBDY 2019 ve DBYBHY 2007 yönetmeliklerinin her ikisinde de beklenildiği gibi birbirine oldukça yakın ve ihmal edilebilecek kadar küçük değerler aldıkları görülmektedir.

Çalışmada çelik ofis binası modellerinde beklenildiği gibi normal kuvvet değerlerinin oldukça küçük olması ve kiriş tasarım açısından bu değerlerin anlamlı bir etkiye sahip olmaması sebebiyle iki farklı deprem yönetmeliği için normal kuvvetlerin değişiminin irdelenmesi anlamlı değildir.

Çizelge 25: Örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019 ve DBYBHY 2007 farklı yerel zemin sınıfları için zemin kat B2-C2 aksı kirişinin kesme kuvveti değerleri (kN)

Yerel Zemin Sınıfı		Zemin kat B2-C2 aksı kirişinin kesme kuvveti değerleri (kN)		
TBDY 2019	DBYBHY 2007	TBDY 2019	DBYBHY 2007	$T_{TBDY2019}/T_{DBYBHY2007}$
ZA	Z1	158,457	158,425	1,000
ZB	Z1	158,457	158,425	1,000
ZC	Z2	158,833	158,294	1,003
ZD	Z3	166,519	158,302	1,052
ZE	Z4	167,415	158,307	1,058



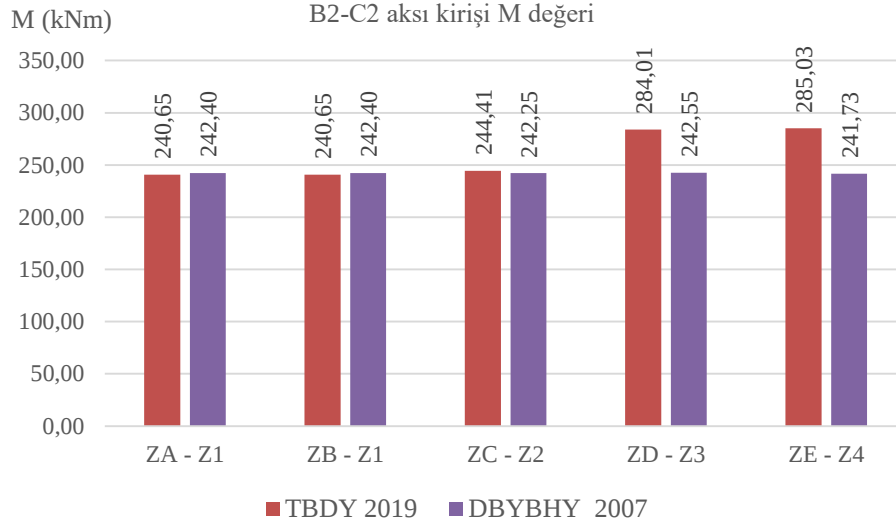
Şekil 15: Örnek çelik ofis binası modellerinin TB DY 2019 ve DBYBHY 2007 farklı yerel zemin sınıfları için zemin kat B2-C2 aksı kirişinin kesme kuvveti değerlerinin değişimi

Örnek çelik ofis binası modellerinin zemin kat B2-C2 aksı kirişine etkiyen kesme kuvveti değerlerinin farklı yerel zemin sınıfları için TB DY 2019 ve DBYBHY 2007 yönetmeliklerine göre değişimini gösteren Çizelge 25 ile Şekil 15 incelendiğinde, TB DY 2019 yönetmeliği için kesme kuvvetlerinin tüm yerel zemin sınıfları için DBYBHY 2007 yönetmeliği için bulunan kesme kuvvetlerine oldukça yakın değerler aldığı görülmektedir. DBYBHY 2007 analiz sonuçlarına göre zemin kat B2-C2 aksı kirişine etki eden kesme kuvvetleri tüm yerel zemin sınıflarında neredeyse birbirine eşit değerler almaktadır.

TB DY 2019 analiz sonuçlarına göre örnek çelik ofis binası modellerine farklı yerel zemin sınıfları için farklı deprem kuvvetlerinin etkimesinden dolayı kesme kuvvetleri farklı yerel zemin sınıfları için farklı değerler almaktadır. TB DY 2019'a göre analizde sağlam yerel zemin sınıfı ZA'dan zayıf yerel zemin sınıfı ZE'ye gidildikçe giriş kesme kuvveti değerleri artmaktadır.

Çizelge 26: Örnek çelik ofis binası modellerinin TB DY 2019 ve DBYBHY 2007 farklı yerel zemin sınıfları için zemin kat B2-C2 aksı kirişinin eğilme momentleri (kNm)

Yerel Zemin Sınıfı		Zemin kat B2-C2 aksı kirişinin eğilme momentleri (kNm)					
TBDY 2019	DBYBHY 2007	TBDY 2019		DBYBHY 2007		$M_{TBDY2019}/M_{DBYBHY 2007}$	
		Mesnet	Açıklık	Mesnet	Açıklık	Mesnet	Açıklık
ZA	Z1	240,65	118,22	242,40	118,11	0,992	1,000
ZB	Z1	240,65	118,22	242,40	118,11	0,992	1,000
ZC	Z2	244,41	118,64	242,25	118,11	1,009	1,004
ZD	Z3	284,01	122,80	242,55	118,37	1,171	1,037
ZE	Z4	285,03	123,54	241,73	121,78	1,179	1,014



Şekil 16: Örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019 ve DBYBHY 2007 farklı yerel zemin sınıfları için zemin kat B2-C2 aksı kirişinin mesnet momenti değerlerinin değişimi

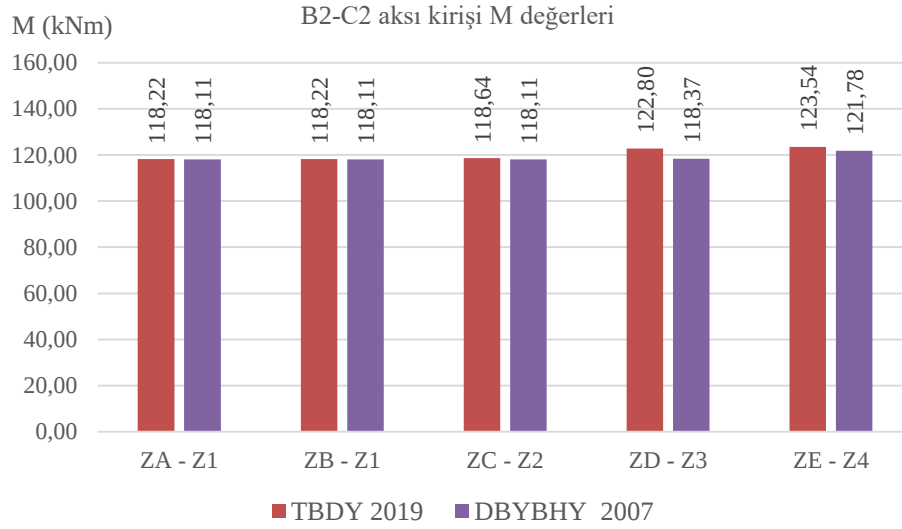
Örnek çelik ofis binası modellerinin zemin kat B2-C2 aksı kirişine etki eden mesnet ve açıklık momentlerinin farklı yerel zemin sınıfları için TBDY 2019 ve DBYBHY 2007 yönetmeliklerine göre değişimini gösteren Çizelge 26 ile Şekil 16-17 incelendiğinde, TBDY 2019 ve DBYBHY 2007 yönetmelikleri için mesnet momenti değerlerinin tüm yerel zemin sınıfları için DBYBHY 2007 yönetmeliği için bulunan mesnet momenti değerlerden büyük olduğu görülmektedir.

DBYBHY 2007 analiz sonuçlarına göre zemin kat B2-C2 aksı kirişine etki eden mesnet ve açıklık momentleri tüm yerel zemin sınıflarında birbirine eşit olup, tek bir değer olmaktadır.

TBDY 2019'a göre tasarımda ise farklı yerel zemin sınıfları için örnek çelik ofis binası modeline farklı deprem yüklerinin etkimesi ve kolon en kesitlerinin değişmesinden dolayı mesnet ve açıklık momentleri, farklı yerel zemin sınıfları için farklı değerler almaktadır.

TBDY 2019'a göre tasarımda düşey taşıyıcı eleman rijitliklerinin artmasından dolayı DBYBHY 2007'ye göre kiriş mesnet momentlerinin arttığı, açıklık momentlerinin azaldığı görülmektedir. TBDY 2019'da sağlam yerel zemin sınıfı ZA'dan zayıf yerel zemin sınıfı ZE'ye gidildikçe kolon rijitlik artışlarından dolayı kiriş mesnet momentleri artarken, açıklık momentleri azalmaktadır.

Şekil 17 incelendiğinde TBDY 2019 ve DBYBHY 2007'ye göre tasarımda zemin kat B2-C2 aksı kirişinin açıklık momentlerinin tüm yerel zemin sınıflarında birbirlerine oldukça yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 17: Örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019 ve DBYBHY 2007 farklı yerel zemin sınıfları için zemin kat B2-C2 aksı kirişinin açıklık momentlerinin değişimi

3.1.8. Örnek Çelik Ofis Binası Modellerinin Çelik Taşıyıcı Sistem Elemanlarının TBDY 2019 ve DBYBHY 2007 Farklı Yerel Zemin Sınıfları İçin Karşılaştırılması

Örnek çelik ofis binası modellerinde kompozit döşeme ile kompozit döşeme kiriş kesitleri, TBDY 2019 ve DBYBHY 2007'deki farklı yerel zemin sınıfları için yapılan tasarımda değişmemektedir.

Çalışma kapsamında tasarımları farklı yerel zemin sınıfları için yapılan örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019 ile DBYBHY 2007 için kolon kesitlerinin değişimi Çizelge 27'de, çelik çaprazlar yönündeki kiriş kesitlerinin değişimi Çizelge 28'de, çelik çaprazlara dik yöndeki kiriş kesitlerinin değişimi Çizelge 29'da ve çelik çapraz kesitlerinin değişimi Çizelge 30'da verilmiştir.

Çizelge 27: Örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019 ve DBYBHY 2007 farklı yerel zemin sınıfları için çelik kolon kesitlerinin değişimi

Yerel Zemin Sınıfı	Kolon Kesitleri				
	Zemin Kat	1. Kat	2. Kat	3. Kat	4. Kat
TBDY 2019 ZA	HE 450B	HE 450B	HE 450B	HE 450B	HE 450B
DBYBHY 2007 Z1	HE 400B	HE 400B	HE 400B	HE 400B	HE 400B
TBDY 2019 ZB	HE 450B	HE 450B	HE 450B	HE 450B	HE 450B
DBYBHY 2007 Z1	HE 400B	HE 400B	HE 400B	HE 400B	HE 400B
TBDY 2019 ZC	HE 800M	HE 800M	HE 800M	HE 800M	HE 800M
DBYBHY 2007 Z2	HE 400B	HE 400B	HE 400B	HE 400B	HE 400B
TBDY 2019 ZD	HE 800M	HE 800M	HE 800M	HE 800M	HE 800M
DBYBHY 2007 Z3	HE 400B	HE 400B	HE 400B	HE 400B	HE 400B
TBDY 2019 ZE	HD 400×1086	HD 400×1086	HD 400×1086	HD 400×818	HD 400×818
DBYBHY 2007 Z4	HE 550B	HE 550B	HE 550B	HE 550B	HE 550B

Örnek çelik ofis binası modellerinin kolon kesitlerinin TBDY 2019 ile DBYBHY 2007'deki farklı yerel zemin sınıfları için değişiminin verildiği Çizelge 27 incelendiğinde, DBYBHY 2007'ye göre tasarımda Z1, Z2 ve Z3 yerel zemin sınıflarında kolon kesitleri değişmezken Z4 yerel zemin sınıfında kolon kesitleri artmıştır. TBDY 2019'a göre tasarımda ZA, ZB yerel zemin sınıflarında kolon kesitleri değişmezken, ZC ve ZD yerel zemin sınıflarında kolon kesitleri artmış, ZE yerel zemin sınıfında ise kolon kesitlerinde ciddi artış olmuştur. Örnek çelik ofis binası modellerinde tüm yerel zemin sınıfları için TBDY 2019'a göre taşıma gücü güvenliği için gerekli kolon kesitleri, DBYBHY 2007 için gerekli kolon kesitlerinden büyüktür. İncelenen örnek çelik ofis binası modelleri için DBYBHY 2007 ve TBDY 2019'a göre tasarımda sağlam yerel zemin sınıfından zayıf yerel zemin sınıflarına gidildikçe kolon kesitleri büyümekte, TBDY 2019'a göre tasarımda kolon kesitlerindeki değişim/artış daha fazla olmaktadır.

Çizelge 28: Örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019 ve DBYBHY 2007 farklı yerel zemin sınıfları için çapraz yönünde kiriş kesitlerinin değişimi

Yerel Zemin Sınıfı	Çapraz Yönü Kiriş Kesitleri				
	Zemin Kat	1. Kat	2. Kat	3. Kat	4. Kat
TBDY 2019 ZA	IPE 360	IPE 360	IPE 360	IPE 360	IPE 360
DBYBHY 2007 Z1	IPE 360	IPE 360	IPE 360	IPE 360	IPE 360
TBDY 2019 ZB	IPE 360	IPE 360	IPE 360	IPE 360	IPE 360
DBYBHY 2007 Z1	IPE 360	IPE 360	IPE 360	IPE 360	IPE 360
TBDY 2019 ZC	IPE 360	IPE 360	IPE 360	IPE 360	IPE 360
DBYBHY 2007 Z2	IPE 360	IPE 360	IPE 360	IPE 360	IPE 360
TBDY 2019 ZD	IPE 400	IPE 400	IPE 400	IPE 400	IPE 400
DBYBHY 2007 Z3	IPE 360	IPE 360	IPE 360	IPE 360	IPE 360
TBDY 2019 ZE	IPE 400	IPE 400	IPE 400	IPE 400	IPE 400
DBYBHY 2007 Z4	IPE 360	IPE 360	IPE 360	IPE 360	IPE 360

Örnek çelik ofis binası modellerinin kiriş kesitlerinin TBDY 2019 ile DBYBHY 2007'deki farklı yerel zemin sınıfları için değişiminin verildiği Çizelge 28 incelendiğinde çelik çaprazlar yönündeki kirişler için DBYBHY 2007'ye göre tasarımda tüm yerel zemin sınıflarında kiriş kesitleri değişmemektedir. TBDY 2019'a göre tasarımda ZA, ZB ve ZC yerel zemin sınıflarında kiriş kesitleri değişmezken, ZD ve ZE yerel zemin sınıflarında kiriş kesitleri artmaktadır. Örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019'a göre tasarımda ZD ve ZE yerel zemin sınıflarında taşıma gücü güvenliği için gerekli çelik çaprazlar yönündeki kiriş kesitleri, DBYBHY 2007 için gerekli kesitlerinden büyüktür.

Çizelge 29: Örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019 ve DBYBHY 2007 farklı yerel zemin sınıfları için çaprazlara dik yönde kiriş kesitlerinin değişimi

Yerel Zemin Sınıfı	Çapraz Dik Yönde Kiriş Kesitleri				
	Zemin Kat	1. Kat	2. Kat	3. Kat	4. Kat
TBDY 2019 ZA	IPE 400	IPE 400	IPE 400	IPE 400	IPE 400
DBYBHY 2007 Z1	IPE 400	IPE 400	IPE 400	IPE 400	IPE 400
TBDY 2019 ZB	IPE 400	IPE 400	IPE 400	IPE 400	IPE 400
DBYBHY 2007 Z1	IPE 400	IPE 400	IPE 400	IPE 400	IPE 400
TBDY 2019 ZC	IPE 450	IPE 450	IPE 450	IPE 450	IPE 450
DBYBHY 2007 Z2	IPE 400	IPE 400	IPE 400	IPE 400	IPE 400
TBDY 2019 ZD	IPE 600	IPE 600	IPE 600	IPE 600	IPE 600
DBYBHY 2007 Z3	IPE 400	IPE 400	IPE 400	IPE 400	IPE 400
TBDY 2019 ZE	IPE 600	IPE 600	IPE 600	IPE 600	IPE 600
DBYBHY 2007 Z4	IPE 400	IPE 400	IPE 400	IPE 400	IPE 400

Örnek çelik ofis binası modellerinin kiriş kesitlerinin TBDY 2019 ile DBYBHY 2007'deki farklı yerel zemin sınıfları için değişiminin verildiği Çizelge 29 incelendiğinde çelik çaprazlara dik yöndeki kirişler için DBYBHY 2007'ye göre tasarımda tüm yerel zemin sınıfları için kiriş kesitleri değişmemektedir. TBDY 2019'a göre tasarımda ZA ve ZB yerel zemin sınıflarında kiriş kesitleri değişmezken, ZC, ZD ve ZE yerel zemin sınıfları için kiriş kesitleri artmaktadır.

Örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019'a göre tasarımda ZC, ZD ve ZE yerel zemin sınıfları için çelik çaprazlara dik yöndeki kiriş kesitleri, DBYBHY 2007 için gerekli kesitlerinden büyüktür.

Örnek çelik ofis binası modellerinde tüm yerel zemin sınıfları için TBDY 2019'a göre tasarım için gerekli kiriş kesitleri, sağlam yerel zemin sınıflarında DBYBHY 2007 için gerekli kiriş kesitleri ile aynı iken sağlam yerel zemin sınıflarından zayıf yerel zemin sınıflarına gidildikçe gerekli kiriş kesitleri artmaktadır.

Örnek çelik ofis binası modellerinin çapraz eleman kesitlerinin TBDY 2019 ile DBYBHY 2007'deki farklı yerel zemin sınıfları için değişiminin verildiği Çizelge 30 incelendiğinde DBYBHY 2007'ye göre tasarımda tüm yerel zemin sınıflarında çapraz eleman kesitleri değişmemektedir. TBDY 2019'a göre tasarımda ZA, ZB ve ZC yerel zemin sınıflarında çapraz eleman kesitleri değişmezken, ZD ve ZE yerel zemin sınıflarında çapraz eleman kesitlerinde artış olmaktadır.

Örnek çelik ofis binası modellerinde TBDY 2019'a göre tasarımda ZD ve ZE yerel zemin sınıfları için gerekli çapraz eleman kesitleri, DBYBHY 2007 için gerekli çapraz eleman kesitlerinden büyüktür.

Çizelge 30: Örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019 ve DBYBHY 2007 farklı yerel zemin sınıfları için çelik çapraz eleman kesitlerinin değişimi

Yerel Zemin Sınıfı	Çapraza Dik Yönde Kiriş Kesitleri				
	Zemin Kat	1. Kat	2. Kat	3. Kat	4. Kat
TBDY 2019 ZA	CHS 127×5	CHS 127×5	CHS 127×5	CHS 127×5	CHS 127×5
DBYBHY 2007 Z1	CHS 127×5	CHS 127×5	CHS 127×5	CHS 127×5	CHS 127×5
TBDY 2019 ZB	CHS 127×5	CHS 127×5	CHS 127×5	CHS 127×5	CHS 127×5
DBYBHY 2007 Z1	CHS 127×5	CHS 127×5	CHS 127×5	CHS 127×5	CHS 127×5
TBDY 2019 ZC	CHS 127×5	CHS 127×5	CHS 127×5	CHS 127×5	CHS 127×5
DBYBHY 2007 Z2	CHS 127×5	CHS 127×5	CHS 127×5	CHS 127×5	CHS 127×5
TBDY 2019 ZD	CHS 127×6,3	CHS 127×6,3	CHS 127×6,3	CHS 127×6,3	CHS 127×6,3
DBYBHY 2007 Z3	CHS 127×5	CHS 127×5	CHS 127×5	CHS 127×5	CHS 127×5
TBDY 2019 ZE	CHS 133×6,3	CHS 133×6,3	CHS 133×6,3	CHS 127×6,3	CHS 133×6,3
DBYBHY 2007 Z4	CHS 127×5	CHS 127×5	CHS 127×5	CHS 127×5	CHS 127×5

Tasarım sonuçlarına göre taşıyıcı sistem kesitlerini belirleyen faktörler; binalara etkiyen deprem yükleri, deprem yüklerinin neden olduğu yatay ötelemeler, enkesit (kompaktlık) sınırları ve taşıyıcı sistem iç kuvvetlerdir (Serin 2019). Serin (2019) ile Zorlu ve Akbaş (2017) çalışmalara benzer şekilde örnek çelik ofis binası analiz sonuçlarına göre, TBDY 2019’a göre spektral ivme katsayıları, deprem kuvvetleri, iç kuvvetler DBYBHY 2007’ye göre daha büyük olduğu için TBDY 2019’a göre tasarımda taşıma gücü güvenliğini sağlamak için gerekli kolon, kiriş ve çapraz kesitleri, DBYBHY 2007 için gerekli kesitlerden daha büyük olmaktadır.

DBYBHY 2007 ve TBDY 2019 yapısal analiz sonuçlarına göre örnek çelik ofis binası modellerinin x ve y yönü deprem kuvvetlerinin zemin sınıfına göre değiştiği, zemin kötüleştikçe deprem yükünün arttığı görülmektedir. Zemin sınıfındaki kötüleşme ile deprem yüklerindeki değişim/artış TBDY 2019’da DBYBHY 2007’ye göre daha belirgindir (Çizelge 7). DBYBHY 2007 ve TBDY 2019’a göre tasarımda artan deprem yükleri ile birlikte taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan kesit tesirleri, kesit boyutlarındaki değişim, ZA yerel zemin sınıfından ZE yerel zemin sınıfına gidildikçe artmaktadır. TBDY 2019’da zemin sınıfındaki değişim ile taşıyıcı sistem kesit boyutlarındaki değişimin DBYBHY 2007’ye göre daha belirgin olduğu görülmektedir (Çizelge 27-30).

Zorlu ve Akbaş (2017) çalışmalarına benzer şekilde TBDY 2019’da sismik elemanların enkesit narinlik oranı koşulları, DBYBHY 2007’ye göre elverişsiz yönde değişmiştir. Çalışma kapsamında incelenen örnek çelik ofis binası modellerinde çapraz elemanlar ile kolon ve kiriş elemanları için narinlik oranı uygulama sınırlarının DBYBHY 2007’ye göre elverişsiz yönde değiştiği görülmüştür.

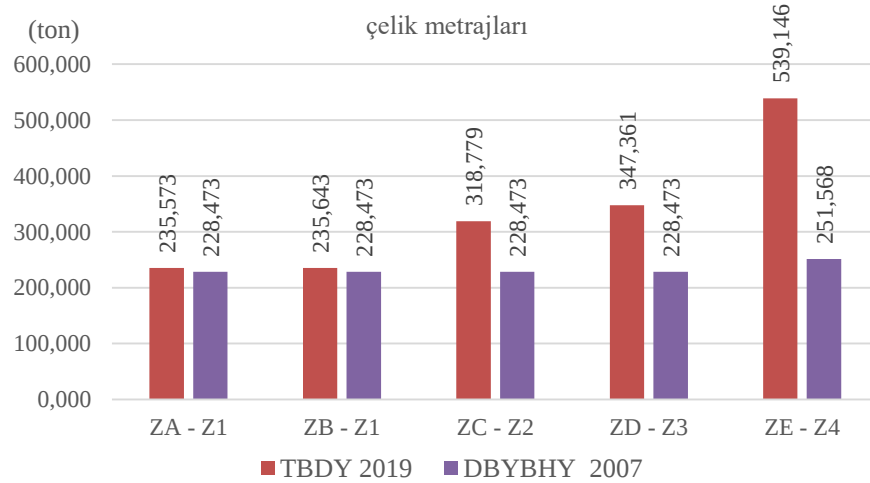
3.1.9. Örnek Çelik Ofis Binası Modellerinin Taşıyıcı Sistem Metrajlarının TBDY 2019 ve DBYBHY 2007 Farklı Yerel Zemin Sınıfları için Karşılaştırılması

Çalışma kapsamında yapısal analizleri farklı yerel zemin sınıfları için yapılan örnek çelik ofis binası modellerinin çelik taşıyıcı sistem metrajlarının karşılaştırması Çizelge 31’de verilmiştir.

Çizelge 31: Örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019 ve DBYBHY 2007 farklı yerel zemin sınıfları için taşıyıcı sistem metrajları (ton)

Yerel Zemin Sınıfı		Taşıyıcı Sistem Metrajı (ton)		
TBDY 2019	DBYBHY 2007	TBDY 2019	DBYBHY 2007	TBDY 2019 DBYBHY 2007
ZA	Z1	235,573	228,473	1,031
ZB	Z1	235,643	228,473	1,031
ZC	Z2	318,779	228,473	1,395
ZD	Z3	347,361	228,473	1,520
ZE	Z4	539,146	251,568	2,143

Örnek çelik ofis binası modellerinin farklı yerel zemin sınıfları için çelik taşıyıcı sistem eleman metrajlarının TBDY 2019 ve DBYBHY 2007’ye göre değişimi ve karşılaştırılması Şekil 18’de verilmiştir.



Şekil 18: Örnek çelik ofis binası modellerinin farklı yerel zemin sınıfları için çelik taşıyıcı sistem metrajlarının TBDY 2019 ve DBYBHY 2007’ye göre değişimi

Örnek çelik ofis binası modellerinin yapısal analiz sonuçlarına göre, TBDY 2019’a göre spektral ivme katsayıları, deprem kuvvetleri, iç kuvvetler DBYBHY 2007’ye göre daha büyük olduğu için TBDY 2019’a göre tasarımda taşıma gücü güvenliğini sağlamak için gerekli kesitler (kolon, çapraz vb.) DBYBHY 2007 için gerekli kesitlerden daha büyük olmaktadır. Örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019

yönetmeliğine göre tasarımında taşıyıcı sistem iç kuvvetlerini karşılayacak kesitler, DBYBHY 2007 için gerekli kesitlerden büyük olduğundan, tüm yerel zemin sınıflarında TBDY 2019 çelik taşıyıcı sistem metrajları DBYBHY 2007'den daha fazla olmaktadır (Çizelge 31 ve Şekil 18).

TBDY 2019 yönetmeliğine göre tasarım için çelik taşıyıcı sistem metrajları sağlam yerel zemin sınıfı ZA'dan zayıf zemin sınıfı ZE'ye doğru gidildikçe artmakta, TBDY 2019 ile DBYBHY 2007 çelik taşıyıcı sistem metrajları arasındaki fark zayıf zeminlerde (ZD ve ZE) daha da artmaktadır.

3.1.10. Örnek Çelik Ofis Binası Modellerinin Çelik Taşıyıcı Sistem Maliyetlerinin TBDY 2019 ve DBYBHY 2007 Farklı Yerel Zemin Sınıfları için Karşılaştırılması

Çalışmada farklı yerel zemin sınıfları için TBDY 2019 ve DBYBHY 2007'ye göre tasarımları yapılan çelik bina modellerinin çelik taşıyıcı sistem yapım maliyetleri hesaplanarak karşılaştırılmıştır. Çelik taşıyıcı sistem yapım maliyet hesaplarında farklı taşıyıcı sisteme sahip sanayi ve ofis binalarındaki ortak imalatlar yerine farklı imalatlar dikkate alınmıştır. Böylece örnek çelik bina modelleri üzerinden DBYBHY 2007'den TBDY 2019'a geçişin çelik taşıyıcı sistem maliyetleri üzerindeki etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Örnek çelik sanayi ve ofis binası modellerinin çelik taşıyıcı sistem maliyet hesaplarında dikkate alınan imalat kalemleri özet olarak Çizelge 32'de verilmiştir. Örnek çelik bina modellerinin kaba yapım maliyet hesaplarında T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı 2024 İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları'ndan yararlanılmıştır.

Çizelge 32: Çelik taşıyıcı sistem maliyet hesabında dikkate alınan imalatlar ve birim fiyatları

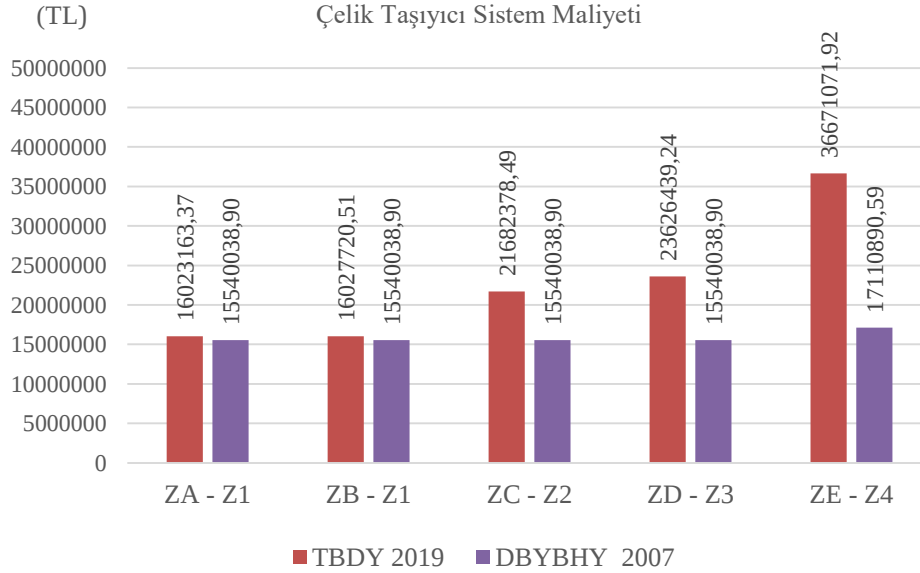
Poz Numarası	Tanımı	Birimi	Birim Fiyatı (TL)
15.165.1001	Her türlü profil demirlerin münferit veya birleşik olarak hazırlanması ve yerine tespit edilmesi	ton	57.634,23
15.540.1113	Demir yüzeylere iki kat solvent bazlı epoksi boya yapılması	m ²	246,10
15.100.1004	1 ton her cins betonarme demiri, profil ve lama demiri ile sacların taşıtlara yükleme, boşaltma ve istifi	ton	107,75
19.100.1113	Mobil vinç'in 1 saatlik ücreti	sa	861,96

Çalışma kapsamında yapısal analizleri farklı yerel zemin sınıfları için yapılan örnek çelik ofis binası modellerinin çelik taşıyıcı sistem maliyetlerinin karşılaştırması Çizelge 33'te verilmiştir.

Çizelge 33: Örnek çelik ofis binası modellerinin TBDY 2019 ve DBYBHY 2007 farklı yerel zemin sınıfları için çelik taşıyıcı sistem maliyetleri

Yerel Zemin Sınıfı		Çelik Taşıyıcı Sistem Maliyetleri (TL)		
TBDY 2019	DBYBHY 2007	TBDY 2019	DBYBHY 2007	TBDY 2019 DBYBHY 2007
ZA	Z1	16.023.163,37	15.540.038,90	1,031
ZB	Z1	16.027.720,51	15.540.038,90	1,031
ZC	Z2	21.682.378,49	15.540.038,90	1,395
ZD	Z3	23.626.439,24	15.540.038,90	1,520
ZE	Z4	36.671.071,92	17.110.890,59	2,143

Örnek çelik ofis binası modellerinin farklı yerel zemin sınıfları için çelik taşıyıcı sistem eleman kaba yapım maliyetlerinin TBDY 2019 ve DBYBHY 2007'ye göre değişimi ve karşılaştırılması Şekil 19'da verilmiştir.



Şekil 19: Örnek çelik ofis binası modellerinin farklı yerel zemin sınıfları için çelik taşıyıcı sistem maliyetlerinin TBDY 2019 ve DBYBHY 2007'ye göre değişimi

Örnek çelik ofis binası modellerinin yapısal analiz sonuçlarına göre, TBDY 2019 yönetmeliğine göre tasarım için gerekli kesitler DBYBHY 2007 için gerekli kesitlerden büyük olduğundan, tüm yerel zemin sınıflarında TBDY 2019 çelik taşıyıcı sistem kaba yapım maliyetleri DBYBHY 2007'den daha fazla olmaktadır (Çizelge 33 ve Şekil 19).

TBDY 2019 için çelik taşıyıcı sistem kaba yapım maliyetleri sağlam yerel zemin sınıfı ZA'dan zayıf yerel zemin sınıfı ZE'ye doğru gidildikçe artmakta, TBDY 2019 ile DBYBHY 2007 yönetmelikleri için kaba yapım maliyetleri arasındaki fark kötü zeminlerde (ZD ve ZE) daha da belirginleşmektedir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada Türkiye’de yürürlükten kaldırılan deprem yönetmeliği DBYBHY 2007’den mevcut deprem yönetmeliği TBDY 2019’a geçişin çelik bina tasarımına etkilerini örnek çelik bina modelleri üzerinden irdelemek için Türkiye’de yaygın kullanıma sahip çelik binaları temsil edebilecek tek katlı bir çelik sanayi binası modeli ile 5 katlı bir çelik ofis binası modeli seçilmiştir. Seçilen örnek çelik bina modellerinin tasarımları ve yapısal analizleri DBYBHY 2007 ve TBDY 2019’a göre farklı yerel sınıfları için yapılmıştır.

Bu amaçla çalışmada örnek çelik bina modellerinin DBYBHY 2007 ve TBDY 2019 yönetmeliklere göre farklı yerel zemin sınıfları için bulunan bina ağırlıkları, deprem yükleri, bina doğal titreşim periyodları, bina görelî kat ötelemeleri, ikinci mertebe etkileri, kiriş ve kolon iç kuvvetleri (N, T ve M), taşıyıcı sistem eleman kesitleri, çelik taşıyıcı sistem metrajları için analiz sonuçları birbiriyle karşılaştırılmıştır.

Ayrıca örnek çelik bina modellerinin taşıyıcı sistem elemanlarının DBYBHY 2007 ve TBDY 2019 deprem yönetmelikleri için tasarım sonuçlarına göre çelik taşıyıcı sistem kaba yapım maliyetleri birbiriyle karşılaştırılmıştır.

Çalışmada yürürlükten kaldırılan deprem yönetmeliği DBYBHY 2007 ve mevcut deprem yönetmeliği TBDY 2019’a göre farklı yerel zemin sınıfları için örnek çelik bina modellerinin yapısal analiz sonuçlarının karşılaştırılmasından aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

Çalışma kapsamında incelenen Tekirdağ İli Çorlu İlçesi DBYBHY 2007 ve 1996 tarihli Deprem Bölgeleri Haritası’na göre 3. derece deprem bölgesindedir. TBDY 2019 ve Türkiye Deprem Tehlike Haritaları 2019 (TDTH 2019) yürürlüğe girmesi ile birlikte deprem bölgeleri kavramı tamamen ortadan kalkmıştır. TBDY 2019 ile birlikte deprem tehlikesi tanımında esaslı bir değişikliğe gidilmiş, spektral ivme değerleri yerel deprem ve zemin koşullarını temsil eden değişkenlere bağlı olarak belirlenmektedir. Tekirdağ’ın Çorlu İlçesi’nin DD2 deprem yer hareketi düzeyi için oluşturulan yatay tasarım spektrum eğrileri incelendiğinde, TBDY 2019’a göre belirlenen spektral ivme değerlerinin tüm yerel zemin sınıfları için DBYBHY 2007’nin spektral ivme değerlerinden büyük olduğu görülmüştür. Yerel zemin sınıfları ZA’dan ZE’ye doğru gittikçe TBDY 2019’a göre belirlenen spektral ivme değerleri büyümekte ve DBYBHY 2007’ye göre belirlenen spektral ivme değerleri ile arasındaki farklar artmaktadır.

Çalışmada incelenen örnek çelik sanayi binası ve örnek çelik ofis binası modelleri için TBDY 2019’a göre hesaplanan tasarım spektral değerleri için bulunan eşdeğer deprem yüklerinin, DBYBHY 2007 için bulunan deprem yüklerine kıyasla daha büyük olduğu görülmektedir. Örnek çelik bina modellerinin yapısal analiz sonuçlarına göre spektral değerlerdeki ve eşdeğer deprem yükü değerlerindeki artışın zayıf zeminlerde sağlam zeminlere göre daha fazla olduğu görülmektedir. TBDY 2019’da deprem yükü hesabında zemin

etkisi kavramı, DBYBHY 2007'ye göre daha gerçekçi yansıtıldığı için sağlam zeminden zayıf zemine doğru gidildikçe eşdeğer deprem yükündeki artış (değişim) miktarı TBDY 2019 yönetmeliğinde DBYBHY 2007 yönetmeliğine göre daha fazladır. TBDY 2019'da yerel zemin sınıfları arasındaki deprem yükü değişimi, DBYBHY 2007'ye kıyasla daha belirgindir.

İncelenen örnek çelik bina modellerinde TBDY 2019'a göre deprem yüklerinin DBYBHY 2007'ye göre daha büyük olması, taşıyıcı sistem elemanlarının iç kuvvetlerinin artmasına sebep olmuştur. Bu durum TBDY 2019'a göre yapılan bina tasarımı artan iç kuvvetleri karşılayacak taşıyıcı sistem eleman kesitlerinin büyümesine sebep olmuştur. Örnek çelik bina modellerinin TBDY 2019'a göre tasarım için gerekli taşıyıcı sistem kesitleri, DBYBHY 2007'ye göre tasarım için gerekli kesitlerden büyük olup, kesitlerdeki değişim sağlam zeminlerden zayıf zeminlere gidildikçe artmaktadır.

Taşıyıcı sistem kesitlerinin büyümesi, TBDY 2019'a göre yapılan tasarımda bina ağırlıklarının ve taşıyıcı sistem metrajlarının, DBYBHY 2007'ye göre daha fazla olmasına sebep olmuştur. İncelenen tüm çelik bina türlerinde TBDY 2019 için hesap sonucu bulunan iç kuvvetler, taşıyıcı sistem kesitleri, bina ağırlığı ve taşıyıcı sistem metrajlarının DBYBHY 2007'ye göre değişiminin (artışın) zayıf zeminlerde (ZD ve ZE) daha fazla olduğu görülmüştür.

Örnek çelik sanayi binası modelleri az katlı basit bina modelleri oldukları için farklı deprem yönetmelikleri için bulunan bina periyodları birbirine oldukça yakın değerler almaktadır. Örnek çelik ofis binası modellerinin her iki deprem yönetmeliği için tasarımında sağlam yerel zemin sınıflarından zayıf yerel zemin sınıflarına gidildikçe artan deprem yüklerini karşılamak için bina rijitliğinin artması sonucu bina periyodları düşmüştür. TBDY 2019'a göre örnek çelik ofis binası tasarımında yerel zemin sınıfları için bina periyodlarındaki değişim, DBYBHY 2007'ye göre daha belirgindir.

Örnek çelik bina modellerinin TBDY 2019'daki tüm yerel zemin sınıfları için x ve y yönü için hesaplanan göreceli kat öteleme değerleri, DBYBHY 2007'deki tüm yerel zemin sınıfları için hesaplanan değerlerden küçüktür.

Örnek çelik bina modellerinin TBDY 2019'daki tüm yerel zemin sınıfları için x ve y yönü için hesaplanan ikinci mertebe etki göstergesi değerleri, DBYBHY 2007'deki tüm yerel zemin sınıfları için hesaplanan değerlerden büyüktür.

Çalışmada incelenen bölgede zemin özelliklerinin çelik binalarının taşıyıcı sistem metrajlarını ve kaba yapı maliyetlerini etkilediği, TBDY 2019'a göre taşıyıcı sistem metraj ve kaba yapı maliyetlerinin DBYBHY 2007'ye göre fazla olduğu gözlenmiştir. Türkiye Deprem Tehlike Haritaları 2019'a göre sağlam yerel zemin sınıflarında çelik bina taşıyıcı sistem metrajlarının zayıf yerel zemin sınıflarına göre daha az

olduğu görülmüştür. Yapısal analiz ve metraj sonuçlarına göre tüm örnek çelik bina modellerinde ZA yerel zemin sınıfından ZE yerel zemin sınıfına gidildikçe kaba yapım maliyetlerinin arttığı gözlenmiştir.

DBYBHY 2007'den TBDY 2019'a geçiş ile örnek bina modellerinin kaba yapım maliyetleri ve taşıyıcı sistem kesitlerindeki değişim örnek çelik ofis bina modellerinde örnek çelik sanayi bina modellerine göre daha belirgindir.

Çalışmada incelenen tüm çelik bina modellerinde DBYBHY 2007'deki zayıf zeminler (Z3 ve Z4) için yapılan tasarımda taşıma gücü güvenliğini sağlayan taşıyıcı sistem kesitlerinin TBDY 2019'daki zayıf zeminler (ZD ve ZE) için taşıma gücü güvenliğini sağlamadığı görülmüştür.

Bu çalışmada seçilen örnek çelik bina modellerinin yapısal analiz sonuçlarına göre DBYBHY 2007'ye göre tasarımı yapılmış, zayıf zeminlerde bulunan mevcut bina stokunun deprem performanslarının gözden geçirilmesi gelecekte meydana gelmesi olası depremlerde can ve mal kayıplarının önlenmesi açısından yararlı olacaktır.

Not: Bu çalışma Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı "Farklı Zemin Sınıfları için Tasarlanan Örnek Çelik Binaların DBYBHY 2007 ve 2019 Türk Deprem Yönetmeliklerine Göre Karşılaştırılması" başlıklı yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

YAZARLARIN KATKILARI

B.Y.: Yöntem, yazılım, doğrulama, araştırma, kaynaklar, yazı yazma.

İ.Y.: Yöntem, yazılım, doğrulama, araştırma, kaynaklar, yazı yazma-gözden geçirme ve düzenleme.

KAYNAKLAR

- AFAD (2024). T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı İnternet Sitesi, Erişim adresi: <https://www.afad.gov.tr/> Erişim tarihi: 20.10.2024.
- Aydın, M. R. ve Günaydın, A. (2017). Çelik Yapılar Açısından Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Taslağına Bir Bakış, 4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Eskişehir.
- Çelik, S. V. (2019). Çelik konstrüksiyon sanayi yapılarının eski ve yeni yönetmeliklere göre karşılaştırmalı analizi (Yüksek Lisans). *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon
- Irgaç, F. (2019). Çok katlı çelik çerçeve türü bir taşıyıcı sistemde eski ve güncel yönetmelik uygulamalarının karşılaştırılması (Yüksek Lisans). *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- İçen, G. (2023). Örnek çelik sanayi yapılarının farklı paket programlarla tasarımlarının karşılaştırılması (Yüksek Lisans). *Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kırklareli.
- İdeCad Statik v10. İdecad Statik Paket Programı, *İdeYAPI*, İstanbul, Erişim adresi: <https://www.idecad.com.tr/index/>
- Katmer, İ. E. (2019). Çok katlı çelik bir yapının Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne göre tasarımının yapılması (Yüksek Lisans). *Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Mersin.
- Kaya, M. (2024). Farklı zemin sınıfları için tasarlanan örnek çelik binaların DBYBHY 2007 ve 2019 Türk deprem yönetmeliklerine göre karşılaştırılması. (Yüksek Lisans). *Kırklareli Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kırklareli.
- Öz, D. (2018). Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Kuralları doğrultusunda çelik yapıların tasarımı. (Yüksek Lisans). *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir
- Özşahin, B. (2021a). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2019'a göre Kırklareli için deprem yüklerinin değerlendirilmesi, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 9(2), 836-863. <https://doi.org/10.29130/dubited.768494>
- Özşahin, B. (2021b). Edirne İli Özelinde 2019 ve DBYBHY 2007 Türk Deprem Yönetmeliklerine Göre Yatay Tasarım İvme Spektrumlarının Değişiminin İncelenmesi. *Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences*, 7 (4), 590-608. DOI: 10.28979/jarnas.927688
- Polat, A. (2024). Çok katlı betonarme bir yapının 2019 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre tasarımı ve yürürlükten kaldırılan DBYBHY 2007 Deprem Yönetmeliği ile karşılaştırılması, (Yüksek Lisans Tezi, *Kırklareli Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü*). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- SAP 2000 V.22, Integrated Software for Structural Analysis and Design, *Computers and Structures Inc.*, California, USA.
- Serin, B. (2019). DBYBY-2007 ve TBDY-2019'a göre tasarlanmış merkezi çaprazlı çelik çerçevelerin sismik davranışlarının karşılaştırılması. (Yüksek Lisans). *Manisa Celal Bayer Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Manisa.
- Seyrek, E. (2020). Yeni Türkiye sismik tehlike haritasının Ege Bölgesi için değerlendirilmesi, *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(1):414-423. <https://doi:10.28948/ngumuh.617268>.
- Zorlu, M. ve Akbaş, B. (2017). Yeni Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne Göre Çelik Yapı Tasarımı, Uluslararası Katılımlı 7. Çelik Yapılar Sempozyumu, Gaziantep.
- ÇYTHY 2018 (2018). *Çelik Yapıların Tasarım ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik*, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara. Erişim adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2019/02/20190215M1-4.htm>

- DBYBHY 2007 (2007). *Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik*, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara.
- TBDY 2019 (2019). *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*, T.C Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara. Erişim adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2019/03/20190318M1-2-1.pdf>
- T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (2024). *İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları 2024*, Erişim adresi: <https://yfk.csb.gov.tr/birim-fiyatlar-i-100468>
- TDTH 2019, Türkiye Deprem Tehlike Haritaları interaktif web uygulaması, Erişim adresi: <https://tdth.afad.gov.tr/> Erişim tarihi:14.10.2022
- TS 500 (2000). *Betonarme Yapıların Tasarımı ve Yapım Kuralları*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara. Erişim adresi: <https://www.tse.org.tr/>
- TS 648 (1982). *Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara. Erişim adresi: <https://www.tse.org.tr/>

Kronik Bel Ağrılı Hastalarda Uygulanan Fizik Tedavi Modaliteleri

Selin ÖZDEN^{1*}, Serpil AKÖZCAN PEHLİVANOĞLU¹

¹Fizik Bölümü, Fen Edebiyat Fakültesi, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli, Türkiye

Geliş: 10.04.2025, Kabul: 13.06.2025, Yayınlanma: 27.06.2025

ÖZ

Bel ağrısı, birçok kişiyi yaşamlarının bir döneminde sosyal yaşamını, iş hayatını ve yaşam kalitesini olumsuz olarak etkileyen yaygın bir durumdur. Kronik bel ağrısı, 12 hafta veya daha uzun süren ve bel ağrısı vakalarının yaklaşık %20'sini oluşturan kalıcı ağrı olarak tanımlanmaktadır. Kronik bel ağrılı hastaların tedavi süreci ilaç tedavisi, cerrahi tedavi, egzersiz, fizyoterapi ve alternatif tedaviler olmak üzere çeşitli müdahaleleri kapsamaktadır. Uygulanan müdahalelerde ağrının hafifletilmesi, kas spazmının azaltılması, hastanın aktiviteye teşvik edilmesi, ağrı ile başa çıkma stratejilerinin oluşturulması ve fonksiyonel durumun iyileştirilmesi amaçlanmaktadır. Kişinin birçok günlük yaşam aktivitesini ve fiziksel fonksiyonunu olumsuz yönde etkileyen kronik bel ağrısında, fizik tedavi ve rehabilitasyon sıklıkla tercih edilen bir tedavi seçeneğidir. Transkutanöz elektriksel sinir stimülasyonu (TENS), lazer terapisi, traksiyon, ultrason, egzersiz, masaj, sıcak ve soğuk paketler gibi fizik tedavi modaliteleri kronik ağrının azaltılması ve fonksiyonun iyileştirilmesi için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, kronik bel ağrılı hastalarda uygulanan TENS, lazer terapisi, traksiyon, ultrason ve egzersiz modaliteleri hakkında genel bir bakış açısı sunulması ve modalitelerin etkinlikleri ile ilgili yapılan araştırmalar hakkında bilgi verilmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kronik bel ağrısı; Fizik tedavi modaliteleri; Fizyoterapi; TENS

Physiotherapy Modalities Applied in Patients with Chronic Low Back Pain

ABSTRACT

Low back pain is a common condition that negatively affects many people's social life, work life and quality of life at some point in their lives. Chronic low back pain is defined as persistent pain that lasts for 12 weeks or more and accounts for about 20% of cases of low back pain. The treatment process of patients with chronic low back pain includes various interventions including drug therapy, surgical treatment, exercise, physiotherapy and alternative therapies. The interventions aim to alleviate pain, reduce muscle spasm, encourage the patient to activity, create coping strategies for pain and improve functional status. Physical therapy and rehabilitation is a frequently preferred treatment option for chronic low back pain, which negatively affects many daily life activities and physical functions of the person. Physical therapy modalities such as transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS), laser therapy, traction, ultrasound, exercise, massage, hot and cold packs are widely used to reduce chronic pain and improve function. In this study, it was aimed to provide an overview of TENS, laser therapy, traction, ultrasound and exercise modalities applied in patients with chronic low back pain and to provide information about the research on the effectiveness of modalities.

Keywords: Chronic low back pain; Physical therapy modalities; Physiotherapy; TENS

1. GİRİŞ

Bel ağrısı, dünya çapında geniş kitleleri etkileyen ve yaşam kalitesi üzerinde önemli zararlı etkileri olan yaygın bir kas-iskelet sistemi sorunudur. Bel ağrısı, yetişkinlerin %50-%80'ini yaşamlarının bir döneminde etkilemektedir (Descarreaux vd., 2002; Phillips vd., 2003; Koldaş Doğan vd., 2008). Bel ağrısı yaşayan vakaların yaklaşık %5-%10'unda kronik bel ağrısı gelişmektedir (Meucci vd., 2015). Bel semptomları olan bir hastayı değerlendirirken, patolojik değişiklikler ve görüntüleme sonuçları arasındaki zayıf ilişki nedeniyle ilk değerlendirmede hastaların %85 kadarına kesin bir tanı konulamamaktadır (Deyo vd., 1992). Bu nedenle, bel ağrısının türünü teşhis etmek için bel ağrısının etyolojisine dair kanıt aramak gerekmektedir. Semptomların süresi, bel ağrısı türünü teşhis etmek için önemli bir kriterdir ((Urits vd., 2019). Bel ağrısı; akut (<6 hafta süreli), subakut (6-12 hafta süreli) veya kronik bel ağrısı (>12 hafta süreli) grubuna ayrılmaktadır (Koldaş Doğan vd., 2008; Wheeler, 1995; Morris vd., 2020; Urits vd., 2019). Bel ağrısının tedavisinde erken dönemde ağrının kontrol altına alınması ve kronikleşmesinin önüne geçilmesi amaçlanmalıdır (Polat, 2017).

Kronik olmayan hastaların çoğunda 6 hafta veya daha kısa sürede ağrı görülürken, hastaların %10-%40'ında 6 haftadan uzun süren semptomlar gelişmektedir (Atlas ve Deyo, 2001; Urits vd., 2019). Kronik bel ağrısı dünya genelinde nüfusun %23'ünü etkilemektedir (Will vd., 2018; Balagué vd., 2012). Kronik bel ağrısı günlük yaşamı ve iş hayatını etkileyen, tanı ve tedavide yüksek maliyetlere yol açabilen önemli bir sağlık problemidir. Kronik bel ağrısı sürecinde hastalar ağrıya ek olarak, fiziksel engeller ve psikolojik sıkıntılar yaşamaktadırlar (Bogduk, 2004). Bel ağrılı hastaların değerlendirilmesinde hastanın cinsiyeti, yaşı, mesleği, bel ağrısının nasıl ve ne zaman başladığı, analjezik kullanımı, idrar kontrolünün kaybı, ağrı şiddetini etkileyen faktörler sorgulanmalıdır (Polat, 2017). Bel ağrısına yol açabilecek çeşitli patolojiler bulunmaktadır. Bunlar; kas-iskelet sistemi kökenli bel ağrıları, yansıyan ağrılar ve psikojenik bel ağrısı olarak sınıflandırılmaktadır (Polat, 2017). İskelet-kas sistemi kökenli bel ağrıları; dejeneratif (osteoartrit/spondiloz, diskopati, spinal stenoz, spondilolistezis, faset eklem hastalıkları), inflamatuvar hastalıklar (ankilozan spondilit, diğer spondiloartropatiler), metabolik (osteoporoz, osteomalazi), infeksiyöz (brusella, tüberküloz, diğer patojenler), neoplastik (Benign, Malign), travmatik (fraktür, sprain, strain, dislokasyon, koksigodini), konjenital (skolyoz, spina bifida, spondilolizis/spondilolistezis, sakralizasyon/lumbalizasyon) patolojileridir (Polat, 2017; Güngürür ve Sarpel, 2022). Yansıyan bel ağrısı visseral hastalıklar (ürogenital sistem hastalıkları ve gastrointestinal sistem hastalıkları), vasküler hastalıklar (abdominal aort anevrizması ve renal arter embolisi), retroperitoneal kitleler, retroperitoneal fibrozis ve lenfoma) sonucunda açığa çıkabilmektedir (Polat, 2017; Güngürür ve Sarpel, 2022). Kronik bel ağrısının tedavisinde çeşitli yaklaşımlar bulunmaktadır. Kronik bel ağrısı tedavisi; farmakolojik tedavi, ameliyat, fizyoterapi ve alternatif tedaviler gibi bir dizi farklı müdahaleden oluşmaktadır (Brosseau vd., 2002).

Tedavide ağrıyı azaltıcı ve aktivite düzeylerini iyileştirici çözümler amaçlanmaktadır (Ökmen vd., 2017; Bekkering vd., 2003). Bel ağrısı semptomlarının azaltılması için farmakolojik tedaviler uygulanabilmektedir. Farmakolojik tedavide; NSAİİ (nonsteroidal antienflamatuvar ilaçlar), opioidler, asetaminofen, kas gevşeticileri gibi ilaçlar kullanılabilir (Yıldırım, 2016; Will vd., 2018; Polat, 2017). NSAİİ genellikle farmakolojik tedavide ilk olarak tercih edilen bir seçenektir ve kronik bel ağrısında kısa süreli rahatlama için etkilidir (Will vd., 2018).

Son zamanlarda bireyleri tedavi sürecine katılmayı teşvik edici aktif tedavi yöntemlerine öncelik verilmeye başlanmıştır. Bu yaklaşımın ağrı ve sakatlığı hafifletmesinin yanı sıra omurga hareketliliğini ve dayanıklılığını artırmada etkili olduğu iddia edilmektedir (Koldaş Doğan vd., 2008; Liddle vd., 2004). Kronik bel ağrısında fizik tedavi ve rehabilitasyon yaygın olarak tercih edilen bir tedavi seçeneğidir. Uluslararası kılavuzlarda, farmakolojik olmayan çözümler önerilmiş ve fizik tedavi yaklaşımları tavsiye edilmiştir (Australian Pain Society, 2021; Park ve Hughes, 2012). Kronikleşen bel ağrılarının tedavisi için fizyoterapi uygulamalarında ağrı ve fonksiyonda iyileşmenin sağlanması amacıyla çeşitli modaliteler kullanılmaktadır (Bahçacı vd., 2021). Fizik tedavi modalitelerinin etkinliğini araştıran ve bu konuda yapılan sistematik derlemeler kısıtlı sayıdadır (Chou ve Huffman, 2007; Yılmaz vd., 2015). Fizik tedavi modalitelerinin tek başına veya birlikte kullanımları, uygulama süreleri, egzersiz seçimleri gibi çeşitli faktörler tedavinin etkisini değiştirmektedir (Bahçacı vd., 2021). Bu çalışmada, kronik bel ağrılı hastalarda uygulanan fizik tedavi modaliteleri konusunda genel bir bakış açısı oluşturulması ve literatür bilgileri ışığında TENS, lazer terapisi, traksiyon, ultrason ve egzersiz modalitelerinin etkinlikleri ile ilgili bilgi verilmesi amaçlanmaktadır.

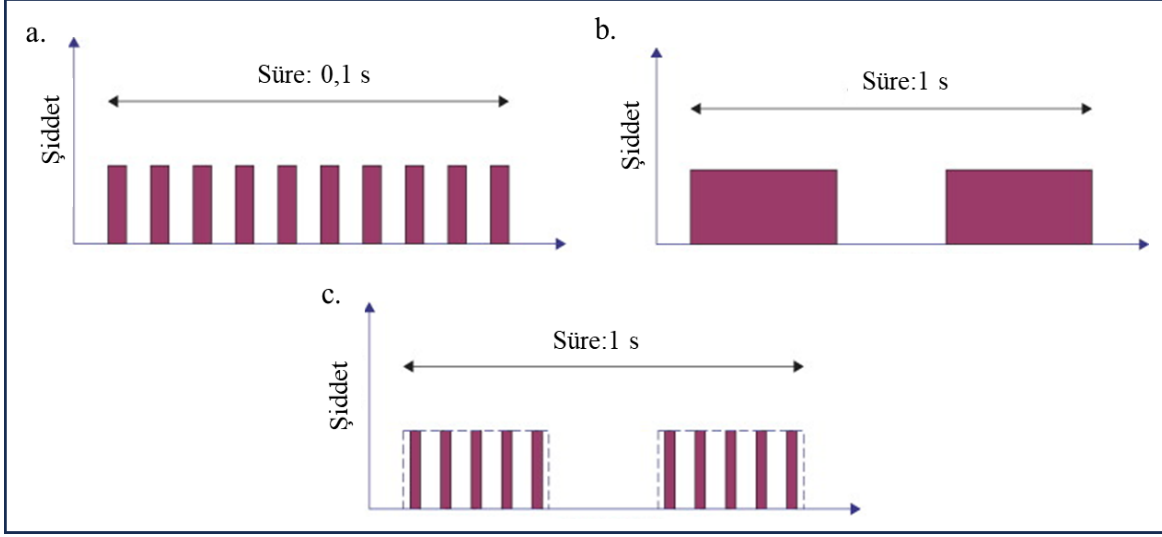
2. FİZİK TEDAVİ MODALİTELERİ

2.1. Transkutanöz Elektriksel Sinir Stimülasyonu (TENS)

TENS'in geliştirilmesi ve uygulanması 1965 yılında Melzack ve Wall tarafından ortaya atılan "Kapı Kontrol Teorisi"ne dayanmaktadır (Melzack ve Wall, 1965). TENS ilk olarak 1967 yılında Shealy tarafından kullanılmış ve ağrı gidermede tek başına yeterli olduğu tespit edilmiştir (Tuna, 2001). Elektrik stimülasyonu, ağrı kontrolü için multidisipliner rehabilitasyon programlarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Lehmann vd., 1986). Klinik uygulamalar, TENS'in nöropatik ve kas-iskelet kaynaklı akut ve kronik ağrılar için yararlı olduğunu göstermektedir. TENS; akut orofasiyal ağrı, ağrılı diş prosedürleri, kırıklar, akut bel ağrısı, lokalize kas ağrısı, kanser ve kansere bağlı ağrılar, inme sonrası omuz ağrısı, kronik tekrarlayan baş ağrısı ve kronik kas-iskelet sistemi ağrıları için kullanılabilir (Johnson, 2007).

TENS; kronik bel ağrılı hastalar için yaygın bir şekilde kullanılan, ciddi yan etkileri olan ilaç ve cerrahi yöntemlere alternatif noninvaziv bir tedavi yöntemidir. TENS, ağrı yönetimi için yaygın olarak kullanılmasına rağmen, etkinliğine ilişkin kanıtlar tartışmalıdır (Wu vd., 2018; Khadilkar vd., 2008). TENS uygulamasında, deri yüzeyindeki elektrotlar aracılığıyla kesikli akım verilmesiyle periferik sinirler elektriksel olarak uyarılarak ağrının azaltılması amaçlanmaktadır (Brosseau vd., 2002). Uygulamalarda yan etki olarak yalnızca cilt tahrişi görülebilmektedir (Buchmuller vd., 2012). TENS cihazları, taşınması ve mevcut ağrı yönetimi prosedürlerine entegre edilmesi kolay olan kompakt bir cihazdır (Binny vd., 2019). Uygulamalarda elektrot yerleşim yerleri elektroakupunktur ile benzerlik gösterse de, akım şekli ve elektrot tipi açısından farklılık göstermektedir (Tuna, 2001).

TENS tedavisinde frekans, akım şiddeti, dalga formu, atım süresi gibi çeşitli parametreler kullanılmaktadır. TENS ile elektriksel stimülasyonda, elektriksel uyarılar omurilik yolundaki siniri uyarırken akım şiddeti ve frekans değiştirilerek kas-iskelet sistemi ağrısının giderilmesi sağlanmaktadır (Dohnert vd., 2015). Uyarı tiplerine göre konvansiyonel TENS, Akupunktur benzeri TENS, kısa yoğun TENS, patlayıcı (burst) TENS ve modüle TENS olmak üzere çeşitleri bulunmaktadır (Tuna, 2001). Yaygın kullanılan uyarı tipleri Şekil 1’de gösterilmiştir. TENS uygulamalarında genellikle konvansiyonel ve akupunktur benzeri TENS kullanılmaktadır (Dias vd., 2021). Konvansiyonel TENS uygulamalarında atım süresi 150 µs’den daha az, frekans 80 Hz.’den daha yüksektir. Akupunktur benzeri TENS uygulamaları için ise atım süresi 150 µs’den daha yüksek, frekansı 10 Hz.’den daha düşüktür (Belanger, 2002). Genellikle kronik ağrıda konvansiyonel TENS tercih edilmektedir (Tuna, 2001). Konvansiyonel TENS ve Akupunktur benzeri TENS uygulamalarının karşılaştırıldığı çalışmalar mevcuttur. Akupunktur benzeri TENS ile tedavi edilen hastaların, konvansiyonel TENS ile tedavi edilen hastalara benzer şekilde yanıt verdiği gözlenen çalışmalar mevcuttur (Khadilkar vd., 2008). Ancak, yüksek frekanslı ve düşük frekanslı TENS uygulamaları arasında klinik etkinlik açısından anlamlı bir fark olup olmadığı belirsizdir (Belanger, 2002; Johnson vd., 1991; Khadilkar vd., 2005). Kronik bel ağrılı hastalara uygulanan akupunktur benzeri TENS tedavisi sonucunda met-enkefalin benzeri aktivite düzeyinde anlamlı bir yükselme bulunmuştur (Tuna, 2001).



Şekil 1: Tens uyarı tipleri **a.** Konvansiyonel TENS, **b.** Akupunktur benzeri TENS ve **c.** Patlayıcı (Burst) TENS (Sluka vd., 2009).

Günümüze kadar TENS'in etkinliğine ilişkin farklı sonuçlar bildirilmiştir. Çeşitli sonuçlara ulaşılmasının başlıca nedeni standartlaştırılmış bir tedavi protokolünün bulunmamasından kaynaklanmaktadır (Pivec vd., 2013). Van Tulder ve arkadaşları tarafından yapılan bir sistematik incelemede, randomize kontrollü çalışmalarda çelişkili sonuçlar bulunmuş ve kronik bel ağrılı hastalarda TENS'in faydasına dair kanıt olmadığı sonucuna varılmıştır (Van Tulder vd., 1999). Flowerdew ve Gadsby tarafından yapılan sistematik bir incelemede, kronik bel ağrısı tedavisinde TENS'in yararlılığına ilişkin sınırlı kanıt bulunmuş ve daha kesin, yüksek kaliteli, randomize kontrollü çalışmalara ihtiyaç olduğunu belirtilmiştir (Flowerdew ve Gadsby, 1997). Kronik bel ağrısı tedavisinde iki elektrot kullanılarak 100 Hz. frekans ve 60 µs atım süresi ile TENS uygulamasında diadinamik akımların kullanılmasının ağrının azalmasını ve fiziksel fonksiyonların iyileşmesini sağlayabileceği gösterilmiştir (Sayilir ve Yıldızgören, 2017). TENS tedavisi uygulanmayan kronik bel ağrılı hastalara kıyasla kullanan hastaların klinik ve ekonomik avantajlar sağladığı gözlenmiştir (Pivec vd., 2013). Yaşlı yetişkinlere 2-3 haftalık bir süre boyunca 4 seans 20'şer dakikalık yüksek frekanslı TENS uygulandığında genç bireylere benzer kronik bel ağrısı rahatlaması yaşandığı belirtilmiştir (Simon vd., 2015). Uygulamalarda endojen ağrı kontrol mekanizmaları tarafından indüklenen analjezik etkinin daha uzun stimülasyon süresinde (35 dakika), daha kısa bir stimülasyon süresine (10 dakika) göre daha uzun sürdüğü sonucuna varılmıştır (Tousignant-Laflamme vd., 2013). Egzersiz tedavisi ile TENS tedavisinin karşılaştırıldığı bir çalışmada, kronik bel ağrılı kadın hastalar için TENS tedavisinin egzersiz tedavisinden daha etkili olduğu gözlenmiştir (Alizade ve Ahmadizad, 2009). Kronik mekanik bel ağrısı olan hastaların tedavisinde enterferansiyel akım ve TENS uygulamalarını içeren fizyoterapi ve rehabilitasyon yaklaşımlarının, 20 seans tedavi sonunda ağrıyı azaltmada ve işlevselliği artırmada benzer etkilere sahip olduğu belirtilmiştir (Çolak vd., 2024; Dias vd., 202; Facci vd., 2011). Yüksek frekanslı (50-

100 Hz.), kısa akım geçiş süreli, dalga genişliği 200 µs ve hafif karıncalanma oluşturacak şiddette, haftada üç kez ve her gün 20 dakika toplamda 15 seans uygulanan konvansiyonel TENS tedavisinde düzelme istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (Demirdağ vd., 2011).

2.2. Lazer Tedavisi

Lazer tedavisi, son 40 yılda başta yumuşak doku yaralanmaları olmak üzere çeşitli ağrılı durumların tedavisinde güvenilir bir yöntem olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Karagül vd., 2024). Bu tedavi yöntemi, düşük seviyeli lazer ışığının cilt yüzeyine uygulanmasıdır. Bel ağrılı hastalar için tedavide tek başına veya için diğer tedavilerle birlikte kullanılabilir (Maher, 2004; Djavid vd., 2007; Koldaş Doğan vd., 2017; Vallone vd., 2014; Kotagiri vd., 2019; Yeum vd., 2021). Düşük yoğunluklu lazerler, 1970'li yıllardan sonra kas-iskelet sisteminin ağrılı hastalıklarında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Tuna, 2001). Son yıllarda, düşük seviyeli lazer tedavisi farklı kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarının neden olduğu ağrıyı hafifletmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Chen vd., 2015; Montes-Molina vd., 2012; Huang vd., 2015). Bir ışık kaynağı içeren ve bir tedavi yöntemi olan düşük seviyeli lazer tedavisi, termal etkiler olmaksızın fotokimyasal reaksiyonlar yoluyla etki etmektedir (Karagül vd., 2024). Bazı klinik çalışmaların sonuçları, düşük seviyeli lazer tedavisinin kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarında ağrıyı azaltma tedavisinde başarılı olabileceğini düşündürmektedir (Yousefi-Nooraie vd., 2008; Unlu vd., 2008; Gur vd., 2003).

Galyum-Alüminyum-Arsenit ve Helyum-Neon lazerler en yaygın kullanılan düşük seviyeli lazerlerdir (Koldaş Doğan vd., 2017). Tedavide lazer uygulamaları; stimülasyon tedavisi ve bölgesel ışınlama olarak iki şekilde yapılabilir. Stimülasyon tedavisinde, ince lazer ışını demeti ile belirli noktalar uyarılmaktadır. Bölgesel ışınlama tedavisi, bölgeler şeklinde uygulanan ve lokal ağrılı sendromlar için kullanılan bir tekniktir. Lazer tedavisinin etkinliği ve etki mekanizmasına ilişkin çalışmalar tartışmalıdır (Tuna, 2001). Kronik bel ağrılı hastalarda bel ağrısını hafifletmek için 650-980 nm dalga boylu düşük seviyeli lazer tedavisinin etkili bir yöntem olduğunu gösteren çalışmalar bulunmaktadır (Huang vd., 2015). Çalışmalar, lazer tedavilerinin kolajen üretimini ve DNA sentezini artırabildiğini ve hasarlı nörolojik doku fonksiyonunu iyileştirebildiğini göstermiştir (Ay vd., 2010; Karagül vd., 2024). Düşük seviyeli lazer tedavisinin subakut veya kronik bel ağrısı olan hastalarda ağrının azaltılmasında ve fonksiyonel iyileşmede orta derecede etkili olabileceği bildirilmiştir (Fast ve Floman, 1982).

Ortalama yaşları 53 olan 40 kronik bel ağrılı hasta üzerinde 3 hafta boyunca düşük seviyeli lazer tedavisi uygulanan bir çalışmada ağrı ve fonksiyonel kapasitede iyileşmeler görüldüğü belirtilmiştir (Ay vd., 2010). Kronik bel ağrılı hastalarında düşük seviyeli lazer tedavisi ve egzersiz tedavisinin beraber uygulandığı ve sadece egzersiz programının uygulandığı program sonuçlarının karşılaştırıldığı bir çalışmada, her iki

program gruplarında hem ağrı hem de fonksiyonel kapasitede iyileşme gözlenmiş ancak tedavi gruplarının arasında fark gözlenememiştir (Gur vd., 2003). Başka bir çalışmada ise kronik bel ağrısında, egzersizle birlikte uygulanan düşük seviyeli lazer tedavisinin, uzun vadede tek başına egzersize göre daha faydalı olduğu belirtilmiştir (Djavid vd., 2007). Farklı lazer özelliklerinin karşılaştırıldığı bir çalışmada, ağrının azaltılması yönünde bir fark gözlenememiş ancak Galyum-Alüminyum-Arsenit ve Helyum-Neon lazerlerin beraber kullanıldığı tedavide fonksiyonel kapasitede daha etkili olduğu görülmüştür. Lazerin dalga boyunun, lazerin yumuşak dokulara nüfuz etmesinde kritik bir rol oynadığı tespit edilmiştir (Koldaş Doğan vd., 2017). Bel ameliyatı sonrası düşük seviyeli lazer tedavisinin ağrı ve yaşam kalitesinde bozulma yaşayan hastalarda yararlı ve zararsız görüldüğü belirtilmiştir (Masoumipour vd., 2024). Akut ağrı için üç fizik tedavi modalitesinin etkinliğinin araştırıldığı bir çalışmada, üç hafta boyunca düşük seviyeli lazer tedavisi, ultrason veya traksiyon uygulanmıştır. Tüm tedavi gruplarında ağrı ve sakatlık skorlarında iyileşme bulunmuştur (Unlu vd., 2008). Kronik bel ağrılı hastalarda düşük seviyeli lazer tedavisi ile ek sıcak paket tedavisi uygulamasının ağrı ve fonksiyonel iyileşmede faydalı olduğu sonucuna varılmıştır (Ay, 2010). Düşük seviyeli lazer tedavisinin etkinliği üzerinde lazer dalga boyu, dozaj, enerji yoğunluğu ve frekans gibi çeşitli faktörler önemli rol oynamaktadır. Standart bir tedavi programı bulunmamaktadır. Lazer tedavisi, farklı tanılarda ve lazer parametrelerinde farklı etkinliğe sahip olabilmektedir (Ay, 2010).

Yüksek dalga boyları ile penetrasyon derinliği artmaktadır (Enwemeka, 2000). Düşük seviyeli lazer tedavisi ile karşılaştırıldığında, yüksek seviyeli lazer uygulaması üstün penetrasyon yeteneklerine sahiptir (Lu vd., 2021; Tache-Codreanu ve Trăistaru, 2024). Yakın zamanda, yüksek seviyeli lazer terapisinin bir çeşidi olan darbeli neodimyum katkılı itriyum alüminyum granat (Nd:YAG) lazer fizik tedavi alanına girmiştir. Bu lazer çeşidi 1.064 nm dalga boyu ile çalışarak büyük ve/veya derin eklemler gibi düşük seviyeli lazer ile ulaşılması zor alanları uyaramaktadır (Zati ve Valent, 2006; Alayat vd., 2014). Darbeli Nd:YAG lazer tedavisinin, kronik bel ağrılı hastaları için etkili bir fizik tedavi yöntemi olduğu, egzersizle beraber uygulandığında daha uzun süreli bir etkiye sahip olduğu ve etkilerinin üç aya kadar sürdüğü belirtilmiştir (Alayat vd., 2014). Sistematik bir derlemede, yüksek seviyeli lazer tedavisinde kronik bel ağrılı hastaların ağrı yoğunluğunun dördüncü haftada önemli ölçüde azaldığı ve hastaların on iki haftada anlamlı iyileşme gösterdiği sonucuna varılmıştır (Abdildin vd., 2023). Lazer tedavisi kısa vadede ağrıyı azaltsa da etkisi klinik açıdan kayda değer olamayacak kadar küçük görünmektedir. Lazerin uzun vadeli etkileri bilinmemektedir (Maher, 2004).

2.3. Traksiyon

Traksiyon, MÖ 1800'den beri omurga bozukluklarını tedavi etmek için kullanılmaktadır (Kumar, 1996; Gay ve Brault, 2008). 19. yüzyılda sırt ağrısı ve omurga tedavisinde traksiyon yatakları, traksiyon korseleri, traksiyon sandalyeleri teşvik edilmeye başlanmıştır (Gay ve Brault, 2008). 20. yüzyılın başlarında kronik bel ağrılı hastalar için yaygın bir tedavi haline gelmiştir (Alrwaily vd., 2018; Gay ve Brault, 2008). Traksiyon, birçok ülkede bel ağrılı hastalar için yaygın olarak kabul gören ve fizyoterapistler tarafından ek bir modalite olarak günümüzde kullanılmaya devam eden bir yöntemdir (Harte vd., 2005; Madson ve Hollman, 2015). Traksiyon tedavisi; masaj, egzersizler, elektroterapi veya sıcak paket uygulaması gibi diğer tekniklerle birleştirilerek hastaya özel olarak uygulanabilmektedir (Beurskens vd., 1995). Kronik bel ağrılı hastalarda 6 ay boyunca traksiyonun germe egzersizi ve kızılötesi radyasyon ile birlikte kullanımı sonucunda anlamlı iyileşme sağlandığı belirtilmiştir (Diab ve Moustafa, 2013). Sürekli veya aralıklı olarak uygulanabilen bu tedavi yönteminin manuel traksiyon, mekanik traksiyon, motorize (oto) traksiyon, yerçekimsel traksiyon, su altı (hidrolik) traksiyon gibi çeşitli türleri bulunmaktadır (Vanti vd., 2023). Traksiyon; hasta sırtüstü, yüzüstü, yan yatar veya dik ya da ters asılı pozisyonlar dahil olmak üzere çoğu pozisyondayken kullanılabilir (Gay ve Brault, 2008). Bel ağrılı hastalar için traksiyon masasının eğim derecesinin önemli olduğu, 60° eğim derecesinin sırtüstü pozisyona kıyasla ağrı ve omurga esnekliğinde iyileşme sağladığı gözlenmiştir (Kim vd., 2013). Bel ağrılı hastaların traksiyona olumlu yanıt verdiğini gösteren çalışmalar mevcuttur (Cai vd., 2009).

Klinik ortamda lomber traksiyonun yaygın kullanımına rağmen, çeşitli sistematik incelemeler lomber traksiyonun ağrı yoğunluğu ve fonksiyonel durum gibi klinik sonuçlar üzerinde çok az değeri olduğu veya hiç değeri olmadığı sonucuna varmıştır (Clarke vd., 2006; Clarke vd., 2007; Alrwaily vd., 2018). 2013 yılında yayınlanan sistematik bir incelemede, traksiyon tedavisinin tek başına veya diğer müdahalelerle birlikte akut ve kronik bel ağrılı hastalara uygulandığında, ağrı ve fonksiyonun klinik sonuçları üzerinde çok az etkisi olduğu veya hiç etkisi olmadığı belirtilmiştir. Bununla birlikte, etkinliği hakkında kesin bir sonuca varmak için yüksek kaliteli çalışmaların gerekli olduğu öne sürülmüştür (Wegner vd., 2013). 2018 yılında yapılan başka bir incelemede traksiyonun etkinliği hakkında daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulduğu ve standart traksiyon protokollerinin geliştirilmesi için optimum dozaj ve traksiyon parametrelerinin belirlenmesi gerektiği belirtilmiştir. Traksiyon dozajının ve parametrelerinin standartlaştırılmasıyla klinik açıdan daha anlamlı traksiyon uygulamaları yapılabilecektir (Alrwaily vd., 2018).

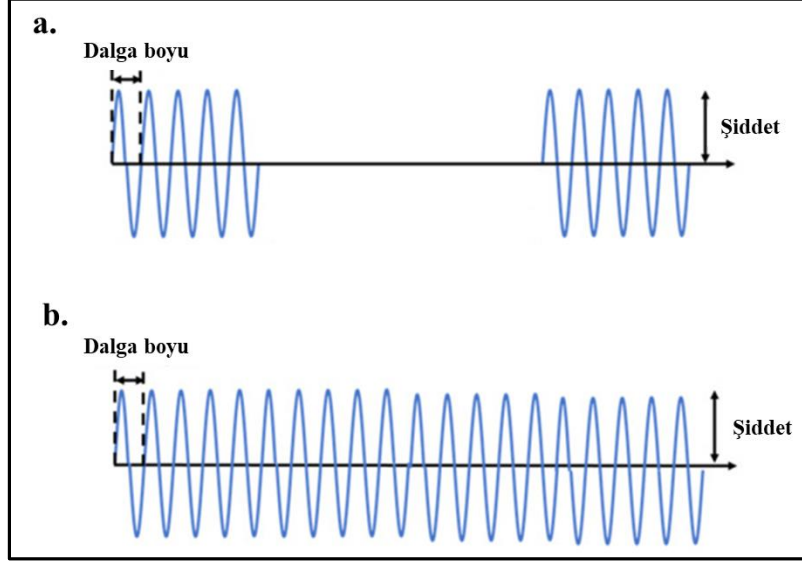
Traksiyon ile ilgili tartışmalı bulguların nedeninin; traksiyon kuvveti için kesin bir iletim sisteminin olmaması, standart tedavi protokolünün olmaması ve traksiyonun etkinliğini kanıtlayan az sayıda randomize kontrollü çalışma olabileceği öne sürülmüştür (Tadano vd., 2019). Kronik bel ağrılı 95 hasta üzerinde

yapılan bir çalışmada, titreşimli lomber traksiyon tedavisinin kronik bel ağrılı hastalarda ağrı yoğunluğu ve fonksiyonel durum açısından iyileşme sağlayabileceği ve titreşimli traksiyonun kullanılan bel ağrısı için daha etkili bir biyomekanik müdahale sağladığı belirtilmiştir (Tanabe vd., 2021). Manuel traksiyon, bir spinal sinir kökünün tahrişi veya sıkışmasından kaynaklanan semptomlar yaşayan hastalarda lumbosakral omurga ağrısını hafifletmek için etkili bir yaklaşım olarak önerilmektedir (Studnicki vd., 2024). Manuel traksiyonun ağrıyı hafifletmedeki potansiyel faydasına rağmen kullanımı yaygın değildir (Madson ve Hollman, 2015; Studnicki vd., 2024). Bazı çalışmalarda, 14 haftalık uygulamalarda traksiyon ile birlikte intervertebral diferansiyel dinamik tedavi ile başlangıç ölçümlerine göre anlamlı bir sonuç gösterdiği belirtilmiştir. Traksiyonun, nörolojik bulgu ve semptomları artırabilme riski bulunmaktadır. Bu nedenle sadece belirli seçilmiş hasta grubunda ve dikkatle uygulanması gerekmektedir (Yıldırım, 2016).

2.4. Ultrason

Ultrason, yüksek frekanslı (>20 kHz.) ses dalgası olarak tanımlanmaktadır. Ultrason cihazlarında, “piezoelektrik olay” adı verilen elektriksel etkileşimden yararlanılmaktadır. Ultrasonun terapötik etkisi termal ve termal olmayan şeklinde sınıflandırılmaktadır. Ultrasonik dalga, yumuşak dokudan geçerken uygulama bölgesindeki titreşime yol açmaktadır. Bu döngüsel dalgalar bir ortamda yayıldıklarında mekanik güçlere neden olmaktadır. Dokuda moleküller arasındaki titreşim hareketi sürtünme meydana getirerek ısı oluşumuna neden olmaktadır. Dokuda oluşan ısı artışı hücre metabolizmasını artırarak tedavi edici etkiler oluşturmaktadır. Ultrasonun termal olmayan etkisi ise mikro akım nedeniyle yumuşak doku iyileştirmesini kolaylaştırmaktadır (Ebadi vd., 2013; Robertson vd., 2006). Kronik olguların tedavisinde kesikli veya sürekli akım kullanılabilir (Tuna, 2001). Ultrason uygulamasında oluşan kesikli ve sürekli dalga formları Şekil 2’de gösterilmiştir. Düşük yoğunluklu ultrason 0,125 ile 3 W/cm² arasında, yüksek yoğunluklu ultrason 100 ile 10.000 W/cm² aralığında veya daha yüksek doz seviyesinde uygulanmaktadır (Chen vd., 2022; Hynynen, 2007).

Ultrason; genellikle bir tedavi paketinin parçası olarak veya fizyoterapi modaliteleri ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmektedir (Haile vd., 2021). Terapötik ultrason, fiziksel rehabilitasyon sırasında ağrıyı azaltmak ve iyileşmeyi hızlandırmak için egzersiz terapisi ile birlikte yaygın olarak kullanılmaktadır (Demchak vd., 2007). Ultrason tedavisinin analjezik etkisi doğrulanmış ve kronik bel ağrısı olan hastalarda fonksiyonel yetersizliğin iyileşmesine neden olduğu belirtilmiştir (Durmuş vd., 2010). Düşük yoğunluklu ultrason uygulaması; kas sıcaklığını ve kan akışını artırma, kan akışını sinir iletim hızını değiştirme ve olumsuz doku hasarı olasılığını azaltma özelliğine sahiptir (Tsang vd., 2008; Chen vd., 2022).



Şekil 2: a. Kesikli ultrason dalga formu ve **b.** Sürekli ultrason dalga formu gösterimi (Uddin vd., 2021).

Ultrason tedavisi kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarında ağrıyı azaltmada ve fonksiyonu artırmada yardımcı olmaktadır (Chen vd., 2022). Düşük yoğunluklu sürekli ultrasonun doku hasarına yol açabilecek duran dalgaların oluşumunu önleyerek daha uzun tedavi süresi (4 saate kadar) sağladığı belirtilmiştir (Daniels vd., 2018). 1,5 W/cm² veya 2,0 W/cm² yoğunlukta verilen sürekli 1 MHz. ultrasonun ağrıda azalma, eklem sertliğinde azalma ve doku iyileşmesinde önerilen teorik terapötik etkileri üretmeye yetecek derecede ısıtma kapasitesine sahip olduğu bildirilmiştir (Morrisette vd., 2004). Ultrason tedavisinin etkisinin diğer modalitelerle karşılaştırıldığı çalışmalar mevcuttur (Durmus vb., 2010). Düşük yoğunluklu ultrason tedavilerine kıyasla, kronik ağrı durumlarını azaltmak için lazer tedavisinin kullanımını destekleyen çalışmalar bulunmaktadır (Chen vd., 2022). Lazer tedavisi ve düşük yoğunluklu ultrason tedavisinin diğer tedavi yöntemleriyle birlikte kullanıldığında etkili olabileceği belirtilmiştir (Chen vd., 2022). Kas-iskelet sistemi rahatsızlıkları için terapötik ultrasonun etkinliği değişkenlik göstermektedir (Shanks vd., 2010). Kronik bel ağrısı olan hastalarda klinik kullanım için kanıt eksikliği bulunduğu belirtilmiştir (Koes vd., 2010; Haile vd., 2021).

3. SONUÇ

Fizik tedavi modaliteleri, kronik bel ağrılı hastaların yaşam kalitesini artırma, ağrı yönetimi ve fonksiyonun iyileştirilmesi için tercih edilen tedavi yöntemleridir. Transkutanöz elektriksel sinir stimülasyonu, lazer terapisi, ultrason, traksiyon ve egzersiz gibi fizik tedavi modaliteleri ağrı semptomlarını azaltmada etkin bir rol oynadığını ve hastalarda fonksiyonel becerilerde iyileşmeyi sağladığını gösteren çalışmalar bulunmaktadır. Bununla birlikte, bu modalitelerin etkisini destekleyen kanıt eksikliği devam etmektedir.

Fizik tedavi modalitelerinin kombine olarak uygulandığı tedavi programlarının ağrı azaltmada ve fonksiyonu artırmada daha etkili olduğunu gösteren çalışmalar bulunmaktadır. Kronik bel ağrısının azaltılmasında alınabilecek en iyi sonuçlar kişiye özel ve kontrollü yapılan tedavilerdir. Kronik bel ağrılı hastalarda uzun dönemli takip içeren ve modalitelerin birlikte kullanıldığı tedavi programları ile ilgili yapılacak çalışmalar, fizik tedavi modalitelerinin etkinliğinin anlaşılmasına katkıda bulunacak, elde edilecek sonuçlar tedavi prosedürlerini optimize etme konusunda önemli bilgiler sunacaktır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

TEŞEKKÜR

Bulunmamaktadır.

YAZARLARIN KATKILARI

S.Ö.: Literatür taraması, araştırma, kaynaklar, orijinal taslağın hazırlanması.

S.A.P.: Çalışma konusunun belirlenmesi, gözden geçirme ve orijinal taslağın hazırlanması.

KAYNAKLAR

- Abdildin, Y., Tapinova, K., Jyeniskhan, N., & Viderman, D. (2023). High-intensity laser therapy in low back pain management: A systematic review with meta-analysis. *Lasers in Medical Science*, 38(1), 166.
- Alayat, M. S. M., Atya, A. M., Ali, M. M. E., & Shosha, T. M. (2014). Long-term effect of high-intensity laser therapy in the treatment of patients with chronic low back pain: a randomized blinded placebo-controlled trial. *Lasers in medical science*, 29, 1065-1073.
- Alizade, M. H., & Ahmadizad, S. (2009). A comparison of exercise therapy and transcutaneous electrical nerve stimulation for the treatment of chronic low back pain. *World J. Sport Sci*, 2, 43-47.
- Alrwaily, M., Almutiri, M., & Schneider, M. (2018). Assessment of variability in traction interventions for patients with low back pain: a systematic review. *Chiropractic & manual therapies*, 26, 1-11.
- Atlas, S. J., & Deyo, R. A. (2001). Evaluating and managing acute low back pain in the primary care setting. *Journal of general internal medicine*, 16(2), 120-131.
- Australian Pain Society. (2021). Pain in residential aged care facilities: management strategies. Australian Pain Society.
- Ay, S., Doğan, Ş. K., & Evcik, D. (2010). Is low-level laser therapy effective in acute or chronic low back pain?. *Clinical rheumatology*, 29, 905-910.
- Bahçacı, U., Çolak, T. K., & Acar, G. (2021). Fizyoterapistlerin bel ağrısına yaklaşımları. *Journal of Exercise Therapy and Rehabilitation*, 8(2), 152-159.
- Balagué, F., Mannion, A. F., Pellisé, F., & Cedraschi, C. (2012). Non-specific low back pain. *The lancet*, 379(9814), 482-491.
- Bekkering, G. E., Hendriks, H. J. M., Koes, B. W., Oostendorp, R. A. B., Ostelo, R. W. J. G., Thomassen, J. M. C., & Van Tulder, M. W. (2003). Dutch physiotherapy guidelines for low back pain. *Physiotherapy*, 89(2), 82-96.

- Belanger AY. (2002). Evidence Based Guide to Therapeutic Physical Agents. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- Beurskens, A. J., de Vet, H. C., Van der Heijden, G. J., Knipschild, P. G., Köke, A. J., Lindeman, E., & Regtop, W. (1995). Efficacy of traction for non-specific low back pain: a randomised clinical trial. *The Lancet*, 346(8990), 1596-1600.
- Binny, J., Joshua Wong, N.L., Garga, S., Lin, C.W.C., Maher, C.G., McLachlan, A.J., Traeger, A.C., Machado, G.C. and Shaheed, C.A. (2019). Transcutaneous electric nerve stimulation (TENS) for acute low back pain: systematic review. *Scandinavian journal of pain*, 19(2), 225-233.
- Bogduk, N. (2004). Management of chronic low back pain. *Medical journal of Australia*, 180(2), 79-83.
- Brosseau, L., Milne, S., Robinson, V., Marchand, S., Shea, B., Wells, G., & Tugwell, P. (2002). Efficacy of the transcutaneous electrical nerve stimulation for the treatment of chronic low back pain: a meta-analysis. *Spine*, 27(6), 596-603.
- Buchmuller, A., Navez, M., Milletre-Bernardin, M., Pouplin, S., Presles, E., Lantéri-Minet, M., Tardy, B., Laurent, B., Camdessanché, J.P. and Lombotens Trial Group (2012). Value of TENS for relief of chronic low back pain with or without radicular pain. *European Journal of Pain*, 16(5), 656-665.
- Cai, C., Pua, Y. H., & Lim, K. C. (2009). A clinical prediction rule for classifying patients with low back pain who demonstrate short-term improvement with mechanical lumbar traction. *European spine journal*, 18, 554-561.
- Chen, J., Huang, Z., Ge, M., & Gao, M. (2015). Efficacy of low-level laser therapy in the treatment of TMD s: a meta-analysis of 14 randomised controlled trials. *Journal of oral rehabilitation*, 42(4), 291-299.
- Chen, F. R., Manzi, J. E., Mehta, N., Gulati, A., & Jones, M. (2022). A review of laser therapy and low-intensity ultrasound for chronic pain states. *Current Pain and Headache Reports*, 26(1), 57-63.
- Chou, R., & Huffman, L. H. (2007). Nonpharmacologic therapies for acute and chronic low back pain: a review of the evidence for an American Pain Society/American College of Physicians clinical practice guideline. *Annals of internal medicine*, 147(7), 492-504.
- Clarke, J., Van Tulder, M., Blomberg, S., De Vet, H., Van Der Heijden, G., & Bronfort, G. (2006). Traction for low back pain with or without sciatica: an updated systematic review within the framework of the Cochrane collaboration. *Spine*, 31(14), 1591-1599.
- Clarke, J. A., Van Tulder, M. W., Blomberg, S. E., de Vet, H. C., van der Heijden, G. J., Brønfort, G., & Bouter, L. M. (2007). Traction for low-back pain with or without sciatica. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, (2).
- Coşkun, G., & Can, F. (2012). Kronik bel ağrısında dinamik ve statik stabilizasyon egzersizlerinin ağrı ve fonksiyonel düzeye etkileri. *Fizyoterapi Rehabilitasyon*, 23(2), 65-72.
- Çolak, T. K., Sert, N., Sert, B., & Apti, A. (2024). The effect of interferential currents and tens on pain and functionality in patients with chronic mechanical low back pain.
- Daniels, S., Santiago, G., Cuchna, J., & Van Lunen, B. (2018). The effects of low-intensity therapeutic ultrasound on measurable outcomes: a critically appraised topic. *Journal of Sport Rehabilitation*, 27(4), 390-395.
- Demchak, T. J., Straub, S. J., & Johns, L. D. (2007). Ultrasound heating is curvilinear in nature and varies between transducers from the same manufacturer. *Journal of Sport Rehabilitation*, 16(2).
- Demirdağ, F., Ediz, L., Özgür, A., Tekeoğlu, İ. (2011). Kronik lomber disk hernili hastaların tedavisinde tens ile elektroakupunktur tedavisinin karşılaştırılması. *Van Tıp Dergisi*, 18(1), 15-19.
- Descarreaux, M., Normand, M. C., Laurencelle, L., Dugas, C. (2002). Evaluation of a specific home exercise program for low back pain. *Journal of manipulative and physiological therapeutics*, 25(8), 497-503.
- Deyo, R. A., Rainville, J., & Kent, D. L. (1992). What can the history and physical examination tell us about low back pain?. *Jama*, 268(6), 760-765.

- Diab, A. A. M., & Moustafa, I. M. (2013). The efficacy of lumbar extension traction for sagittal alignment in mechanical low back pain: a randomized trial. *Journal of back and musculoskeletal rehabilitation*, 26(2), 213-220.
- Dias, L. V., Cordeiro, M. A., de Sales, R. S., Dos Santos, M. M. B. R., Korelo, R. I., & Wojciechowski, A. S. (2021). Immediate analgesic effect of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) and interferential current (IFC) on chronic low back pain: Randomised placebo-controlled trial. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 27, 181-190.
- Djavid, G. E., Mehrdad, R., Ghasemi, M., Hasan-Zadeh, H., Sotoodeh-Manesh, A., & Pouryaghoub, G. (2007). In chronic low back pain, low level laser therapy combined with exercise is more beneficial than exercise alone in the long term: a randomised trial. *Australian journal of physiotherapy*, 53(3), 155-160.
- Dohnert, M. B., Bauer, J. P., & Pavão, T. S. (2015). Study of the effectiveness of interferential current as compared to transcutaneous electrical nerve stimulation in reducing chronic low back pain. *Revista Dor*, 16, 27-31.
- Durmuş, D., Akyol, Y., Cengiz, K., Terzi, T., & Canturk, F. (2010). Effects of therapeutic ultrasound on pain, disability, walking performance, quality of life, and depression in patients with chronic low back pain: a randomized, placebo controlled trial. *Turkish journal of rheumatology*, 25(2).
- Durmus, D., Durmaz, Y., & Canturk, F. (2010). Effects of therapeutic ultrasound and electrical stimulation program on pain, trunk muscle strength, disability, walking performance, quality of life, and depression in patients with low back pain: a randomized-controlled trial. *Rheumatology international*, 30, 901-910.
- Ebadi, S., Ansari, N. N., Naghdi, S., Fallah, E., Barzi, D. M., Jalaei, S., & Bagheri, H. (2013). A study of therapeutic ultrasound and exercise treatment for muscle fatigue in patients with chronic non specific low back pain: A preliminary report. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*, 26(2), 221-226.
- Enwemeka, C. S. (2000). Attenuation and penetration of visible 632.8 nm and invisible infra-red 904nm light in soft tissues. *Laser therapy*, 13(1), 95-101.
- Facci, L. M., Nowotny, J. P., Tormem, F., & Trevisani, V. F. M. (2011). Effects of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) and interferential currents (IFC) in patients with nonspecific chronic low back pain: randomized clinical trial. *Sao Paulo Medical Journal*, 129, 206-216.
- Fast, A., & Floman, Y. (1982). Conservative treatment of lumbar disc disease. *Harefuah*, 102(11), 495-498.
- Flowerdew MW, Gadsby JG. (1997). A review of the treatment of chronic low back pain with acupuncture-like transcutaneous electrical stimulation and transcutaneous electrical nerve stimulation. *Complement Ther Med*, 5, 193– 201.
- Gay, R. E., & Brault, J. S. (2008). Evidence-informed management of chronic low back pain with traction therapy. *The Spine Journal*, 8(1), 234-242.
- Güngür, Ş., & Sarpel, T. (2022). Bel ağrılarında tanı ve tedavi. *Çukurova Tıp Öğrenci Dergisi*, 2(2), 36-42.
- Gur, A., Karakoc, M., Cevik, R., Nas, K., Sarac, A. J., & Karakoc, M. (2003). Efficacy of low power laser therapy and exercise on pain and functions in chronic low back pain. *Lasers in surgery and medicine*, 32(3), 233-238.
- Haile, G., Hailemariam, T. T., & Haile, T. G. (2021). Effectiveness of ultrasound therapy on the management of chronic non-specific low back pain: A systematic review. *Journal of Pain Research*, 1251-1257.
- Harte, A. A., Gracey, J. H., & Baxter, G. D. (2005). Current use of lumbar traction in the management of low back pain: results of a survey of physiotherapists in the United Kingdom. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 86(6), 1164-1169.
- Huang, Z., Ma, J., Chen, J., Shen, B., Pei, F., & Kraus, V. B. (2015). The effectiveness of low-level laser therapy for nonspecific chronic low back pain: a systematic review and meta-analysis. *Arthritis research & therapy*, 17, 1-8.
- Hynnen, K. H. (2007). Fundamental principles of therapeutic ultrasound. In *MRI-guided focused ultrasound surgery* (pp. 16-35). CRC Press.

- Johnson, M. (2007). Transcutaneous electrical nerve stimulation: mechanisms, clinical application and evidence. *Reviews in pain*, 1(1), 7-11.
- Johnson, M. I., Ashton, C. H., & Thompson, J. W. (1991). An in-depth study of long-term users of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS). Implications for clinical use of TENS. *Pain*, 44(3), 221-229.
- Karagül, S., Kibar, S., Ay, S., Evcik, D., & Ergin, S. (2024). Comparison of the Effectiveness of TENS and Low-Level Laser Therapy Applied to the Sciatic Nerve Region in Chronic Lumbar Radiculopathy. *Journal of Lasers in Medical Sciences*, 15, e13.
- Khadilkar, A., Milne, S., Brosseau, L., Wells, G., Tugwell, P., Robinson, V., Shea, B., Saginur, M. (2005). Transcutaneous electrical nerve stimulation for the treatment of chronic low back pain: a systematic review. *Spine*, 30(23), 2657-2666.
- Khadilkar, A., Odebiyi, D. O., Brosseau, L., & Wells, G. A. (2008). Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) versus placebo for chronic low-back pain. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, (4).
- Kim, J. D., Oh, H. W., Lee, J. H., Cha, J. Y., Ko, I. G., & Jee, Y. S. (2013). The effect of inversion traction on pain sensation, lumbar flexibility and trunk muscles strength in patients with chronic low back pain. *Isokinetics and Exercise Science*, 21(3), 237-246.
- Koes, B. W., Van Tulder, M., Lin, C. W. C., Macedo, L. G., McAuley, J., & Maher, C. (2010). An updated overview of clinical guidelines for the management of non-specific low back pain in primary care. *European Spine Journal*, 19, 2075-2094.
- Koldaş Doğan, Ş., Sonel Tur, B., Kurtaiş, Y., & Atay, M. B. (2008). Comparison of three different approaches in the treatment of chronic low back pain. *Clinical rheumatology*, 27, 873-881.
- Koldaş Doğan, Ş., Ay, S., & Evcik, D. (2017). The effects of two different low level laser therapies in the treatment of patients with chronic low back pain: a double-blinded randomized clinical trial. *Journal of back and musculoskeletal rehabilitation*, 30(2), 235-240.
- Kotagiri, S., Mathur, N., Kumar, A., & Song, A. K. (2019). Effectiveness of lumbar stabilization exercises with laser therapy in patients with mechanical low back pain. *Int Arch Integr Med*, 6(9), 117-26.
- Kumar, K. (1996). Spinal deformity and axial traction. *Spine*, 21(5), 653-655.
- Lehmann, T. R., Russell, D. W., Spratt, K. F., Colby, H., Liu, Y. K., Fairchild, M. L., & Christensen, S. (1986). Efficacy of electroacupuncture and TENS in the rehabilitation of chronic low back pain patients. *Pain*, 26(3), 277-290.
- Liddle, S. D., Baxter, G. D., & Gracey, J. H. (2004). Exercise and chronic low back pain: what works?. *Pain*, 107(1-2), 176-190.
- Lu, Q., Yin, Z., Shen, X., Li, J., Su, P., Feng, M., ... & Shen, Y. (2021). Clinical effects of high-intensity laser therapy on patients with chronic refractory wounds: a randomised controlled trial. *BMJ open*, 11(7), e045866.
- Madson, T. J., & Hollman, J. H. (2015). Lumbar traction for managing low back pain: a survey of physical therapists in the United States. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 45(8), 586-595.
- Maher, C. G. (2004). Effective physical treatment for chronic low back pain. *Orthopedic Clinics*, 35(1), 57-64.
- Masoumipour, M., Barough, M. S., Jameie, S. B., Majdabadi, A., Hosseinitabatabaei, N., & Babakhani, B. (2024). Therapeutic effects of low-level laser therapy on pain and disability of patients with failed back surgery syndrome. *Indian Journal of Orthopaedics*, 58(4), 417-423.
- Melzack, R., & Wall, P. D. (1965). Pain Mechanisms: A New Theory: A gate control system modulates sensory input from the skin before it evokes pain perception and response. *Science*, 150(3699), 971-979.
- Meucci, R. D., Fassa, A. G., & Faria, N. M. X. (2015). Prevalence of chronic low back pain: systematic review. *Revista de saude publica*, 49, 73.

- Montes-Molina, R., Prieto-Baquero, A., Martínez-Rodríguez, M. E., Romojaro-Rodríguez, A. B., Gallego-Méndez, V., & Martínez-Ruiz, F. (2012). Interferential laser therapy in the treatment of shoulder pain and disability from musculoskeletal pathologies: a randomised comparative study. *Physiotherapy*, 98(2), 143-150.
- Morris, P., Ali, K., Merritt, M., Pelletier, J., & Macedo, L. G. (2020). A systematic review of the role of inflammatory biomarkers in acute, subacute and chronic non-specific low back pain. *BMC musculoskeletal disorders*, 21(1), 1-12.
- Morrisette, D. C., Brown, D., & Saladin, M. E. (2004). Temperature change in lumbar periarticular tissue with continuous ultrasound. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 34(12), 754-760.
- O'Sullivan, P. B. (2000). Lumbar segmental instability': clinical presentation and specific stabilizing exercise management. *Manual therapy*, 5(1), 2-12.
- Ökmen, B. M., Koyuncu, E., Uysal, B., & Özgirgin, N. (2017). The effects of the number of physical therapy sessions on pain, disability, and quality of life in patients with chronic low back pain. *Turkish journal of medical sciences*, 47(5), 1425-1431.
- Park, J., & Hughes, A. K. (2012). Nonpharmacological approaches to the management of chronic pain in community-dwelling older adults: A review of empirical evidence. *Journal of the American Geriatrics Society*, 60(3), 555-568.
- Phillips, K., Ch'ien, A. P., Norwood, B. R., & Smith, C. (2003). Chronic low back pain management in primary care. *The nurse practitioner*, 28(8), 26-31.
- Pivec, R., Stokes, M., Chitnis, A. S., Paulino, C. B., Harwin, S. F., & Mont, M. A. (2013). Clinical and economic impact of TENS in patients with chronic low back pain: analysis of a nationwide database. *Orthopedics*, 36(12), 922-928.
- Polat, M. (2017). Bel ağrısına yaklaşım: tanıdan tedaviye. *Klinik Tıp Aile Hekimliği*, 9(6).
- Robertson, V., Ward, A., Low, J., & Reed, A. (2006). *Electrotherapy explained: principles and practice*. Elsevier Health Sciences.
- Sluka, K. A., Smith, H. S., & Walsh, D. M. (2009). Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS): a review. *Neuromodulation*, 335-344.
- Sayilir, S., & Yildizgoren, M. T. (2017). The medium-term effects of diadynamic currents in chronic low back pain; TENS versus diadynamic currents: A randomised, follow-up study. *Complementary therapies in clinical practice*, 29, 16-19.
- Shanks, P., Curran, M., Fletcher, P., & Thompson, R. (2010). The effectiveness of therapeutic ultrasound for musculoskeletal conditions of the lower limb: A literature review. *The Foot*, 20(4), 133-139.
- Simon, C. B., Riley III, J. L., Fillingim, R. B., Bishop, M. D., & George, S. Z. (2015). Age group comparisons of TENS response among individuals with chronic axial low back pain. *The journal of pain*, 16(12), 1268-1279.
- Studnicki, R., Szymczyk, P., Adamczewski, T., Studzińska, K., Hansdorfer-Korzon, R., Silva, A. F., & Kawczyński, A. (2024). Manual traction is effective in alleviating lumbosacral spine pain: Evidence from a randomized controlled trial. *Heliyon*, 10(10).
- Tache-Codreanu, D. L., & Trăistaru, M. R. (2024). The Effectiveness of High Intensity Laser in Improving Motor Deficits in Patients with Lumbar Disc Herniation. *Life*, 14(10), 1302.
- Tadano, S., Tanabe, H., Arai, S., Fujino, K., Doi, T., & Akai, M. (2019). Lumbar mechanical traction: A biomechanical assessment of change at the lumbar spine. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 20, 1-12.
- Tanabe, H., Akai, M., Doi, T., Arai, S., Fujino, K., & Hayashi, K. (2021). Immediate effect of mechanical lumbar traction in patients with chronic low back pain: a crossover, repeated measures, randomized controlled trial. *Journal of Orthopaedic Science*, 26(6), 953-961.
- Tousignant-Laflamme, Y., Brochu, M., Dupuis-Michaud, C., Pagé, C., Popovic, D., & Simard, M. E. (2013). Duration of Analgesia Induced by Acupuncture-Like TENS on Experimental Heat Pain. *International Scholarly Research Notices*, 2013(1), 792383.

- Tsang, A., Von Korff, M., Lee, S., Alonso, J., Karam, E., Angermeyer, M. C., Borges, G. L. G., Bromet, E.J., De Girolamo, G., De Graaf, R., Gureje, O., Browne, A. O., Lepine, J. P., Haro, J. M., Levinson, D., Oakley, M. A., Posada-Villa, J., Seedat, S., Watanabe, M. (2008). Common chronic pain conditions in developed and developing countries: gender and age differences and comorbidity with depression-anxiety disorders. *The journal of pain*, 9(10), 883-891.
- Tuna, N. (2001). *Elektroterapi*. İstanbul: Nobel Tıp Kitap Evi, 2, 129-135.
- Uddin, S. M., Komatsu, D. E., Motyka, T., & Petterson, S. (2021). Low-intensity continuous ultrasound therapies—a systematic review of current state-of-the-art and future perspectives. *Journal of clinical medicine*, 10(12), 2698.
- Unlu, Z., Tasci, S., Tarhan, S., Pabuseu, Y., & Islak, S. (2008). Comparison of 3 physical therapy modalities for acute pain in lumbar disc herniation measured by clinical evaluation and magnetic resonance imaging. *Journal of manipulative and physiological therapeutics*, 31(3), 191-198.
- Urits, I., Burshtein, A., Sharma, M., Testa, L., Gold, P. A., Orhurhu, V., Viswanath, O., Jones, M. R., Sidransky, M. A., Kaye, A. D. (2019). Low back pain, a comprehensive review: pathophysiology, diagnosis, and treatment. *Current pain and headache reports*, 23, 1-10.
- Vallone, F., Benedicenti, S., Sorrenti, E., Schiavetti, I., Angiero, F. (2014). Effect of diode laser in the treatment of patients with nonspecific chronic low back pain: a randomized controlled trial. *Photomedicine and laser surgery*, 32(9), 490-494.
- Van Tulder, M., Koes, B. W., Assendelft, W. J. J., & Bouter, L. M. (1999). The effectiveness of conservative treatment of acute and chronic low back pain. EMGO-instituut.
- Vanti, C., Saccardo, K., Panizzolo, A., Turone, L., Guccione, A. A., & Pillastrini, P. (2023). The effects of the addition of mechanical traction to physical therapy on low back pain? A systematic review with meta-analysis. *Acta Orthopaedica et Traumatologica Turcica*, 57(1), 3.
- Wegner, I., Widyahening, I. S., Van Tulder, M. W., Blomberg, S. E., de Vet, H. C., Brønfort, G., Bouter, L. M., Van Der Heijden, G. J. (2013). Traction for low-back pain with or without sciatica. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, (8).
- Wheeler, A. H. (1995). Diagnosis and management of low back pain and sciatica. *American family physician*, 52(5), 1333-1341.
- Will, J. S., Bury, D. C., & Miller, J. A. (2018). Mechanical low back pain. *American family physician*, 98(7), 421-428.
- Wu, L. C., Weng, P. W., Chen, C. H., Huang, Y. Y., Tsuang, Y. H., & Chiang, C. J. (2018). Literature review and meta-analysis of transcutaneous electrical nerve stimulation in treating chronic back pain. *Regional Anesthesia & Pain Medicine*, 43(4), 425-433.
- Yeum, H., Hong, Y., & Nam, D. (2021). Effective low-level laser therapy including laser acupuncture treatment conditions for non-specific chronic low back pain: systematic review and meta-analysis. *Journal of Acupuncture Research*, 38(2), 85-95.
- Yıldırım, A. (2016). Kronik Diskojenik Bel Ağrıları ve Cerrahi Dışı Tedavi Yöntemleri: Güncelleme. *Dicle Medical Journal/Dicle Tıp Dergisi*, 43(1).
- Yılmaz, Ö., Eroglu, P. K., Yurdakul, F. G., Çimen, Y. G., Eser, F., Alhan, A., & Bodur, H. (2015). Comparing Physical Therapy Accompanying Exercise with Only Exercise Treatments in Patients with Chronic Mechanical Low Back Pain. *Turk Osteoporoz Dergisi*, 21(2).
- Yousefi-Nooraie, R., Schonstein, E., Heidari, K., Rashidian, A., Pennick, V., Akbari-Kamrani, M., Irani, S., Shakiba, B., Hejri, S.M., Jonaidi, A.R., Mortaz-Hedjri, S. (2008). Low level laser therapy for nonspecific low-back pain. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, (2).
- Zati, A., & Valent, A. (2006). *Physical therapy: new technologies in rehabilitation medicine* (translated to English). Edizioni Minerva Medica, 2006, 162-185.