



4. KOCATEPE MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ ÖĞRENCİ SEMPOZYUMU

AFYONKARAHİSAR / 14-16 Mayıs 2025

Yer: Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi



4. KOCATEPE MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ ÖĞRENCİ SEMPOZYUMU

AFYONKARAHİSAR / 14-16 Mayıs 2025
Yer: Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi

TAM METİN BİLDİRİ KİTABI

EDİTÖRLER:

Öğr. Gör. Dr. Samiye AKIN ADAL
Arş. Gör. Eren Can SEYREK
Arş. Gör. Sami Serkan İŞOĞLU



SEMPOZYUM KURULLARI

ONUR KURULU

Prof. Dr. Mehmet KARAKAŞ

Afyon Kocatepe Üniversitesi Rektörü

YÜRÜTME KURULU

Prof. Dr. İsmail ZORLUER

Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dekanı

Doç. Dr. Said Mahmud ÇINAR

Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dekan
Yardımcısı

Dr. Öğr. Üyesi Sadık KAĞA

Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dekan
Yardımcısı

DÜZENLEME KURULU BAŞKANI

Öğr. Gör. Samiye AKIN ADAL

Afyon Kocatepe Üniversitesi



DÜZENLEME KURULU

Doç. Dr. Azime Özkan KARABACAK	Bursa Uludağ Üniversitesi
Doç. Dr. Deniz AKIN ŞAHBAZ	Pamukkale Üniversitesi
Doç. Dr. Yasemin ÇELEBİ	Uşak Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa KANIK	Fırat Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Sadık KAĞA	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Arş. Gör. Dr. Burcu KALYONCUOĞLU	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Arş. Gör. Dr. Teslime EKİZ ÜNAL	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Öğr. Gör. Dr. Berrak DELİKANLI KIYAK	Bursa Uludağ Üniversitesi
Öğr. Gör. Dr. Oğuzhan ÖZ	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Dr. Gamze YILDIRIM	Kızılay İçecek A.Ş.
Dr. Pelin SALUM ERBAY	Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi
Dr. Yusuf ULUTÜRK	Bozok Sondaj Etüt Müh. San. Tic. Ltd. Şti.
Arş. Gör. Ardan Hüseyin EŞLİK	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Arş. Gör. Demrenur ÖZÇATAL	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Arş. Gör. Eren Can SEYREK	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Arş. Gör. Hilal KARTAL	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Arş. Gör. Nurgül ÖZMEN SÜZME	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Arş. Gör. Sami Serkan İŞOĞLU	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Arş. Gör. Şule YARCI	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Arş. Gör. Yasemin ŞAHİN	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Yük. Müh. Ayşin KAHRAMAN AVCI	Yaşar Tavukçuluk Yem ve İnşaat San. Tic. Ltd. Şti.
Yük. Müh. Ercan GÜNEŞ	Afyonkarahisar İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü
Berzan BARMAZ	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Beyza Nur YALÇINER	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Ceren TÜRKMEN	Afyon Kocatepe Üniversitesi
El Jeilany BODIH	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Erhan Görkem ÖZCAN	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fatma ORUÇ	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Mohammed Saleck DAHI	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Mustafa Emir CİNGÖZ	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Özge GERENLİ	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Rümeysa DOĞAN	Afyon Kocatepe Üniversitesi



Şerif KIZGINDEMİR
Talha ÜNÜVAR

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Afyon Kocatepe Üniversitesi

BİLİM KURULU

Prof. Dr. Ahmet Hamdi DELİORMANLI
Prof. Dr. Ahmet YILDIZ
Prof. Dr. Bekir AKTAŞ
Prof. Dr. Cahit GÜRER
Prof. Dr. Çağlar ÖZKAYMAK
Prof. Dr. Fatih Onur HOCAOĞLU
Prof. Dr. Füsün BALIK ŞANLI
Prof. Dr. Gökhan GÖRHAN
Prof. Dr. Harun DIRAMAN
Prof. Dr. Halil KUM SAR
Prof. Dr. Hüseyin AKBULUT
Prof. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU
Prof. Dr. İbrahim YILMAZ
Prof. Dr. İrfan Celal ENGİN
Prof. Dr. İsmail ZORLUER
Prof. Dr. İsmail Sedat BÜYÜKSAĞIŞ
Prof. Dr. Levent ÖZCAN
Prof. Dr. Mahmut MUTLUTÜRK
Prof. Dr. Mahmut YAVUZ
Prof. Dr. Melih İPHAR
Prof. Dr. Meltem DİLEK
Prof. Dr. Mevlüt GÜLLÜ
Prof. Dr. Muharrem Kemal ÖZFIRAT
Prof. Dr. Murat UYSAL
Prof. Dr. Mustafa YILMAZ
Prof. Dr. Ramazan ŞEVİK
Prof. Dr. Tamer BAYBURA
Prof. Dr. Zafer ERBAY
Doç. Dr. Ahmet Haşim YURTTAKAL

Dokuz Eylül Üniversitesi
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Erciyes Üniversitesi
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Yıldız Teknik Üniversitesi
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Pamukkale Üniversitesi
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Süleyman Demirel Üniversitesi
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Dokuz Eylül Üniversitesi
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi
Afyon Kocatepe Üniversitesi



Doç. Dr. Ali Ekrem ARITAN	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Doç. Dr. Alihsan ŞEKERTEKİN	Iğdır Üniversitesi
Doç. Dr. Alev Yüksel AYDAR	Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Doç. Dr. Can BAŞARAN	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Doç. Dr. Çağlar BAYIK	Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi
Doç. Dr. Deniz AKIN ŞAHBAZ	Pamukkale Üniversitesi
Doç. Dr. Dilek DEMİRBÜKER KAVAK	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Doç. Dr. Emre AKARSLAN	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Doç. Dr. Erkan ÖZKAN	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Doç. Dr. Erman DUMAN	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Doç. Dr. Fatih BAYRAM	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Doç. Dr. Gökhan AKARCA	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Doç. Dr. Gökhan KÜRKLÜ	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Doç. Dr. Gülşah Çalışkan KOÇ	Uşak Üniversitesi
Doç. Dr. Gür Emre GÜRAKSIN	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Doç. Dr. İbrahim BULDUK	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Doç. Dr. Levent Yurdaer AYDEMİR	Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi
Doç. Dr. Mehmet Ali DERELİ	Giresun Üniversitesi
Doç. Dr. Metin BAĞCI	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Doç. Dr. Mevlüt ERSOY	Süleyman Demirel Üniversitesi
Doç. Dr. Muhammed Fatih CAN	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Doç. Dr. Mustafa YALÇIN	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Doç. Dr. Nazlı SAVLAK	Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Doç. Dr. Nizar POLAT	Harran Üniversitesi
Doç. Dr. Ömer EREN	Mustafa Kemal Üniversitesi
Doç. Dr. Said Mahmut ÇINAR	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Doç. Dr. Saygın ABDİKAN	Hacattepe Üniversitesi
Doç. Dr. Serkan ELÇİN	Pamukkale Üniversitesi
Doç. Dr. Uçman ERGÜN	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Doç. Dr. Uğur FİDAN	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Doç. Dr. Utku KÖSE	Süleyman Demirel Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet DELEN	Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Fatih YURAN	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Aslı KARABAŞOĞLU	Afyon Kocatepe Üniversitesi



Dr. Öğr. Üyesi Ayşe ÜNAL	Siirt Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Pınar TÜZÜM DEMİR	Uşak Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Burak TÜRKER	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Cansu KURTULUŞ	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Ertan SÜLEV	Nuh Naci Yazgan Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Fatih SERTTAŞ	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi İnayet Hakkı ÇİZMECİ	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Kerem GENCER	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ali UĞUR	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Murat HİÇYILMAZ	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Murat KİLİT	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa KANIK	Fırat Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Naim KARASEKRETER	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Nazan YILMAZ	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan ALAGÖZ	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Ömer Gökberk NARİN	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Özkan ASLAN	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Rasim DOĞAN	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Sadık KAĞA	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Senem GÜNER	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Şaban Suat ÖZSARIYILDIZ	Nuh Naci Yazgan Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Şerife AK	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Tülay ALTAY	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Veli BAŞARAN	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Yavuz Bahadır KOCA	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Yavuz ERGÜN	Uşak Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Zeynep AKSOYLU ÖZBEK	Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Arş. Gör. Dr. Elif FIRATLIGİL AKGÜN	Fırat Üniversitesi
Öğr. Gör. Dr. Lale Atılğan GEVREK	Yozgat Bozok Üniversitesi
Öğr. Gör. Dr. Yunus ÇETİNTAŞ	Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi



SEMPOZYUM PROGRAMI

	IV. KOCATEPE MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ ÖĞRENCİ SEMPOZYUMU 14-16 MAYIS 2025 AFYONKARAHİSAR SÖZLÜ SUNUM PROGRAMI	
---	--	---

1. GÜN (14 MAYIS 2025 ÇARŞAMBA)	
AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ İBRAHİM KÜÇÜKKURT KONFERANS SALONU	
10:00	SAYGI DURUŞU İSTİKLAL MARŞI AÇILIŞ KONUŞMALARI Öğr. Gör. Dr. Samiye AKIN ADAL (IV. KOGRENSEM Düzenleme Kurulu Başkanı) Prof. Dr. İsmail ZORLUER (Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dekanı) Prof. Dr. Murat PEKER (Afyon Kocatepe Üniversitesi Rektör Yardımcısı) İsmail TAYLAN (Afyonkarahisar Belediyesi)
ÇAY VE İKRAM ARASI İbrahim Küçükkurt Konferans Salonu Fuaye Alanı	
11:00	DAVETLİ KONUŞMACI Doç. Dr. Gülşah ÇALIŞKAN KOÇ (Uşak Üniversitesi) “Alternatif Besin Kaynakları”
11:30	DAVETLİ KONUŞMACI Prof. Dr. Utku KÖSE (Süleyman Demirel Üniversitesi) “Açıklanabilir Yapay Zeka: Günümüz ve Gelecek Potansiyeller”
12:00	ÖĞLE ARASI İbrahim Küçükkurt Konferans Salonu Önünde Yemek İkramı
13:30	PANEL “Girişimcilik ve Kariyer Gelişiminde Yeni Fırsatlar ve Destekler” Moderatör Prof. Dr. Tuğrul KANDEMİR (Zafer Teknopark A.Ş.) Konuşmacılar Dr. Öğr. Üyesi Koray GÜRPINAR (Afyon Kocatepe Üniversitesi GİKAM Müdürü) Ayşe Yeşim ÇEPNİ (KOSGEB Afyonkarahisar Müdürü) Osman KÖPRÜCÜOĞLU (Zafer Kalkınma Ajansı Afyonkarahisar İl Koordinatörü)



---SÖZLÜ SUNUM PLANI---
2. GÜN (15 MAYIS 2025 PERŞEMBE)
AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ

SAAT	MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ KONFERANS SALONU (101) BİLGİSAYAR-ELEKTRİK-MAKİNE-YAZILIM MÜHENDİSLİĞİ OTURUMU OTURUM BAŞKANI: DR. ÖĞR. ÜYESİ FATİH SERTTAŞ
09:30	GÖZENEKLİ YAPILARIN REZONANS FREKANSI VE TİTREŞİM GENLİĞİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI (MK001) Sude BEKTAŞOĞLU (Afyon Kocatepe Üniversitesi), Kubilay ASLANTAŞ (Afyon Kocatepe Üniversitesi)
09:45	GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİ FİZİBİLİTESİ: DENİZLİ VE AFYONKARAHİSAR İLLERİ İÇİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ (EE001) Mehmet SAĞDIÇ (Afyon Kocatepe Üniversitesi), Fatih SERTTAŞ (Afyon Kocatepe Üniversitesi)
10:00	LOW-CODE DEVELOPMENT OF THE ARTIFICIAL INTELLIGENCE OF THINGS (AIoT) ENABLED ENERGY SYSTEMS (B001) Mehmet Emin ÇAĞLAYAN (Ege Üniversitesi), Geylani KARDAS (Ege Üniversitesi)
10:15	MPPT ALGORİTMALARININ GERÇEK ZAMANLI TEST EDİLMESİ VE PERFORMANSLARININ KARŞILAŞTIRILMASI İÇİN PLATFORM TASARIMI (EE002) Mehmet ÇELİK (Afyon Kocatepe Üniversitesi), Said Mahmut ÇINAR (Afyon Kocatepe Üniversitesi)
10:30	LGS ÖĞRENCİLERİ İÇİN AKILLI MASAÜSTÜ SINAV TAKİP UYGULAMASI (Y002) Esma ŞEN (Maltepe Üniversitesi), Emre ATILIER OLCA (Maltepe Üniversitesi)
10:45	MAKİNE ÖĞRENMESİ TEKNİKLERİ İLE YAZILIM GEREKSİNİMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI (Y001) Ayten ZERAY (Afyon Kocatepe Üniversitesi), Ekrem SİVRİKAYA (Afyon Kocatepe Üniversitesi), Ahmet Furkan GAZİOĞLU (Afyon Kocatepe Üniversitesi), Caner BALIM (Afyon Kocatepe Üniversitesi)

SAAT	MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ KONFERANS SALONU (102) GIDA-KİMYA MÜHENDİSLİĞİ OTURUMU OTURUM BAŞKANI: DR. ÖĞR. ÜYESİ ÇİĞDEM AŞÇIOĞLU
09:30	ÇABUK (INSTANT) ÇORBALARIN BAZI ANALİTİK KALİTE ÖZELLİKLERİ (GM003) Heba ABDÜLAZİZ (Afyon Kocatepe Üniversitesi), Ayşe Janseli DENİZKARA (Afyon Kocatepe Üniversitesi), Çiğdem AŞÇIOĞLU (Afyon Kocatepe Üniversitesi) ve Harun DİRAMAN (Afyon Kocatepe Üniversitesi)
09:45	GIDA SANAYİİNDE ATIK YÖNETİMİ: KAKAO KABUĞU (GM007) Beyza Nur ÇUBUK (Afyon Kocatepe Üniversitesi), Senem GÜNER (Afyon Kocatepe Üniversitesi)
10:00	ATIKTAN KAYNAĞA: YER FISTIĞI KABUĞU TABANLI ADSORBANLARLA YEŞİL ARITIM YAKLAŞIMI (KM001) Nazife Seçil ÜLKER (Afyon Kocatepe Üniversitesi), Samiye AKIN ADAL (Afyon Kocatepe Üniversitesi)
10:15	TÜRKİYE'DE COĞRAFI İŞARETLİ GIDA ÜRÜNLERİ: GENEL DURUM VE AFYONKARAHİSAR ÖRNEĞİ (GM004) Havva ÇOŞKUN (Afyon Kocatepe Üniversitesi), Dilek DEMİRBÜKER KAVAK (Afyon Kocatepe Üniversitesi), Çiğdem AŞÇIOĞLU (Afyon Kocatepe Üniversitesi)
10:30	ALGLERİN SÜRDÜRÜLEBİLİR GELECEKTEKİ ROLÜ VE GIDA ENDÜSTRİSİ İÇİN ÖNEMİ (GM012) Zilan YILDIZ (Bursa Uludağ Üniversitesi), Sevgi ARIK (Bursa Uludağ Üniversitesi), Pınar ŞAHİN DİLMENLER (Bursa Uludağ Üniversitesi), Arzu AKPINAR BAYİZİT (Bursa Uludağ Üniversitesi)

ÇAY VE İKRAM ARASI

SAAT	MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ KONFERANS SALONU (101) İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ OTURUMU OTURUM BAŞKANI: PROF. DR. GÖKHAN GÖRHAN
11:15	GERİ KAZANILMIŞ AGREGA KULLANIMININ BETONUN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE VE KOROZYON DAYANIKLILIĞINA ETKİSİ (İM001) Beyza GİRGIN (Kütahya Dumlupınar Üniversitesi), Abdullah DEMİR (Kütahya Dumlupınar Üniversitesi)
11:30	MEVCUT BİNALARIN DEĞERLENDİRİLMESİNDE KAROT NUMUNESİ ALINAN KOLON DAYANIMLARININ DAVRANIŞA ETKİSİ (İM002) Hamdi KAŞIKCI (Kütahya Dumlupınar Üniversitesi), Burak KAYMAK (Kütahya Dumlupınar Üniversitesi)
11:45	TÜRKİYE'DE VE DÜNYADAKİ SİSMİK BÖLGELERDE AHŞAP YAPILARIN İNCELENMESİ (İM005) Merve ÖN (Afyon Kocatepe Üniversitesi), Gökhan KÜRKÜ (Afyon Kocatepe Üniversitesi)
12:00	YAPI RUHSATINDAN ŞANTİYEE: MÜTEAHHİT KİMLİĞİ VE TEKNİK KARAR YETKİSİNİN DÖNÜŞÜMÜ – KÜTAHYA'DA BİR ALAN ANALİZİ (İM006) Emirhan AYDIN (Kütahya Dumlupınar Üniversitesi), Abdullah DEMİR (Kütahya Dumlupınar Üniversitesi)
12:15	ISIL İŞLEM GÖRMÜŞ MİNERAL KATKILI ÇİMENTO HARÇ ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI (İM009) Gökhan GÖRHAN (Afyon Kocatepe Üniversitesi), Metin KARAYİĞEN (Afyon Kocatepe Üniversitesi)

SAAT	MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ KONFERANS SALONU (102) GIDA-KİMYA MÜHENDİSLİĞİ OTURUMU OTURUM BAŞKANI: DR. ÖĞR. ÜYESİ SENEM GÜNER
11:00	KARBONATLAMA KEKİ KULLANILARAK SULU ÇÖZELTİLERİN ARITIMINDA KULLANILMASININ ARAŞTIRILMASI (KM002) Bahar FÜMEN (Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi), Hasan ARSLANOĞLU (Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi)
11:15	YENİLEBİLİR BÖCEKLER: İŞLEME TEKNOLOJİLERİ VE GIDA GÜVENLİĞİ (GM005) Derya KIRLI (Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi)
11:30	GLUTENSİZ ET ÜRÜNLERİ (GM002) Şeyma ŞANVERDİ (Afyon Kocatepe Üniversitesi), Çiğdem AŞÇIOĞLU (Afyon Kocatepe Üniversitesi)
11:45	MASERASYON YÖNTEMİYLE HAZIRLANAN BİTKİSEL YAĞDA OKSİDASYON STABİLİTESİNİN ARAŞTIRMASI (GM008) Elif KABADAYI (Afyon Kocatepe Üniversitesi), Senem GÜNER (Afyon Kocatepe Üniversitesi)
12:00	SÜLFİRİK ASİT İLE KARBONİZE EDİLEN ŞEKER PANCARI KÜSPESİNİN KARAKTERİZASYONU VE SULU ÇÖZELTİLERDEN BASIC YELLOW 51 BOYARMADDESİNİN GİDERİLMESİ (KM003) Metin DİNMEZ (Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi), Hasan ARSLANOĞLU (Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi)



ÖĞLE ARASI
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ ÖNÜNDE YEMEK İKRAMI



SAAT	MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ KONFERANS SALONU (101) İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ OTURUMU OTURUM BAŞKANI: DR. ÖĞR. ÜYESİ VELİ BAŞARAN
13:30	KARBON SİYAHİ İLE MODİFİYE EDİLMİŞ ELEKTRİKSEL İLETKEN ASFALT BETONLARININ İLETKENLİK ÖZELLİKLERİ (İM007) Hakkı Arda DÜZGÜN (Afyon Kocatepe Üniversitesi), Cahit GÜRER (Afyon Kocatepe Üniversitesi), Burak Enis KORKMAZ (Afyon Kocatepe Üniversitesi) ve Ayfer ELMACI KORKMAZ (Afyon Kocatepe Üniversitesi)
13:45	EŞDÜZEY KAVŞAKLARIN FARKLI DENETİM KOŞULLARI ALTINDA İNCELENMESİ: KÜTAHYA İBRİK KAVŞAĞI ÖRNEĞİ (İM003) Koray CANSE (Kütahya Dumlupınar Üniversitesi), Yaşar VİTOŞOĞLU (Kütahya Dumlupınar Üniversitesi)
14:00	KARBON SİYAHİ İLE MODİFİYE EDİLMİŞ BİTÜMLÜ BAĞLAYICILARIN ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ (İM004) Hakkı Arda DÜZGÜN (Afyon Kocatepe Üniversitesi), Cahit GÜRER (Afyon Kocatepe Üniversitesi), Burak Enis KORKMAZ (Afyon Kocatepe Üniversitesi) ve Ayfer ELMACI KORKMAZ (Afyon Kocatepe Üniversitesi)
14:15	İSTANBUL'DAKİ T1 KABATAŞ-BAĞCILAR TRAMVAY HATTININ ETKİNLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ (İM008) Rouchdane ALASSANE (Kütahya Dumlupınar Üniversitesi), Yaşar VİTOŞOĞLU (Kütahya Dumlupınar Üniversitesi)

SAAT	MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ KONFERANS SALONU (102) GIDA-KİMYA MÜHENDİSLİĞİ OTURUMU OTURUM BAŞKANI: DOÇ. DR. YASEMİN ÇELEBİ
13:30	<i>Chlorella vulgaris</i> BİYOKTİF BİLEŞENLERİN EKSTRAKSİYONUNDA TEKNİK VE KONSANTRASYON ETKİSİNİN İNCELENMESİ (GM011) Senanur KOCA (Bursa Uludağ Üniversitesi), Feyza DURMAZ (Bursa Uludağ Üniversitesi), Sümeyye DUBAN (Bursa Uludağ Üniversitesi), Pınar ŞAHİN DİLMENLER (Bursa Uludağ Üniversitesi) ve Arzu AKPINAR BAYİZİT (Bursa Uludağ Üniversitesi)
13:45	AFETLER İÇİN POSTBİYOTİK ÇÖZÜM: KIZILAY BOOST (GM006) Tuğba ŞİMŞEK (Kızılay İçecek), Murat INTEPE (Kızılay İçecek), Gamze YILDIRIM (Kızılay İçecek), Ebru SOLMAZ (Kızılay İçecek)
14:00	<i>Dunaliella salina</i> KAYNAKLI BİYOKTİFLERİN EKSTRAKSİYONUNDA YÖNTEM-ÇÖZÜCÜ ORANI ETKİSİ (GM001) Feyza DURMAZ (Bursa Uludağ Üniversitesi), Senanur KOCA (Bursa Uludağ Üniversitesi), Sümeyye DUBAN (Bursa Uludağ Üniversitesi), Pınar ŞAHİN DİLMENLER (Bursa Uludağ Üniversitesi), Arzu AKPINAR BAYİZİT (Bursa Uludağ Üniversitesi)
14:15	BAKTERİYOSİNLER: YAPILARI, ETKİ MEKANİZMALARI VE GIDA ENDÜSTRİSİNDEKİ UYGULAMA ALANLARI (GM009) Tuğba KARAER (Afyon Kocatepe Üniversitesi), Gökhan AKARCA (Afyon Kocatepe Üniversitesi)
14:30	GELENEKSEL TÜRK LOKUMUNDA FARKLI AROMALARIN ETKİLERİ (GM010) Sana ASFARI (Afyon Kocatepe Üniversitesi), Senem GÜNER (Afyon Kocatepe Üniversitesi)

ÇAY VE İKRAM ARASI

SAAT	MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ KONFERANS SALONU (101) OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ OTURUMU OTURUM BAŞKANI: PROF. DR. HÜSEYİN BAYRAKÇEKEN
15:00	BİR BİNEK ARAÇTA VİRAJ DENGİ ÇUBUĞU TASARIMI VE ANALİZİ (OM006) Berkhan TÜRKÖZ (Gazi Üniversitesi)
15:15	MOTOSİKLET FREN DİSK TASARIMI, YAPISAL VE TERMAL ANALİZİ (OM001) Ahmet Safa KOÇ (Gazi Üniversitesi)
15:30	İÇTEN YANMALI MOTORLU ARAÇLARLA ELEKTRİK ARAÇLARIN AĞIRLIK MERKEZİ ETKİLERİ YÖNÜNDEN KARŞILAŞTIRILMASI (OM005) Nisanur HATUNOĞLU (Gazi Üniversitesi)
15:45	SÜSPANSİYON YAY-AMORTİSÖR AYARININ ARAÇ STABİLİTESİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ (OM003) Tural GURBANOV (Gazi Üniversitesi)
16:00	MANYETOREOLOJİK KAVRAMA TASARIMI VE ANALİZİ (OM004) Alperen ÇÜRÜK (Gazi Üniversitesi)
16:15	FARKLI SPOİLER TASARIMLARININ SEÇİLMİŞ BİR ARACIN AERODİNAMİSİNE OLAN ETKİLERİNİN KIYASLANMASI (OM002) Erham YALÇINKAYA (Gazi Üniversitesi)

SAAT	MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ KONFERANS SALONU (102) HARİTA MÜHENDİSLİĞİ OTURUMU OTURUM BAŞKANI: DR. ÖĞR. ÜYESİ ÖMER GÖKBERK NARİN
15:00	TARİHİ HARİTALARIN GÜNCEL VERİLERLE HAZIRLANAN HARİTALAR İLE KARŞILAŞTIRILMASI: MAPANALYST (HM002) Esra TÜCİ (Afyon Kocatepe Üniversitesi), İbrahim YILMAZ (Afyon Kocatepe Üniversitesi)
15:15	XGBOOST ALGORİTMASIYLA GEDİ TABANLI TOPRAK ÜSTÜ BİYOKÜTLE TAHMİNİNDE ÇOKLU SENSÖRLÜ UZAKTAN ALGILAMA VERİLERİNİN MODEL DOĞRULUĞUNA ETKİSİNİN İNCELENMESİ (HM003) Eren Can SEYREK (Afyon Kocatepe Üniversitesi), Murat UYSAL (Afyon Kocatepe Üniversitesi)
15:30	HARİTA ÜRETİMİ VE SUNUMU: KARTOGRAFYA (HM004) İbrahim GÜRAY (Afyon Kocatepe Üniversitesi), Mustafa YILMAZ (Afyon Kocatepe Üniversitesi), İbrahim YILMAZ (Afyon Kocatepe Üniversitesi)
15:45	TARİHİ HARİTALARIN KOORDİNATLANDIRILMASINDA FARKLI DÖNÜŞÜM YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMALI ANALİZİ (HM001) Sümeyye TELEK (Afyon Kocatepe Üniversitesi), Ömer Gökberk NARİN (Afyon Kocatepe Üniversitesi), Mevlüt GÜLLÜ (Afyon Kocatepe Üniversitesi)

ÇAY VE İKRAM ARASI



SAAT	MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ KONFERANS SALONU (101) MADEN- JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ OTURUMU OTURUM BAŞKANI: PROF. DR. İRFAN CELAL ENGİN
16:45	MADEN MEVZUATI KAPSAMINDA YER BİLİMLERİ MÜHENDİSLİKLERİNİN İSTİHDAM ŞEKİLLERİ (MD001) Behzat Gökçen DEMİR (Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü), Ali Koray ÖZDOĞAN (Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü), Akın AKBULUT (Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü)
17:00	SEFERİHİSAR (İZMİR) JEOTERMAL ALANININ JEOLJİSİ (JM001) Hasan Kaan DEMİR (Afyon Kocatepe Üniversitesi), Ahmet YILDIZ (Afyon Kocatepe Üniversitesi)
17:15	MADENLERİN HAYATIMIZDAKİ YERİ, EKONOMİYE KATKISI VE TÜRMEŞ PROJESİ İLE SÜRDÜRÜLEBİLİR MADENCİLİK UYGULAMALARI (MD002) Fatih PEKDEMİR (Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü), Özgün TÜRKELİ (Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü), Selçuk BOSTANCI (Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü)
17:30	KESKİN (KIRIKKALE) ÇEVRESİNİN FORAMİNİFER MİKROPALAEONTOLOJİSİ (JM002) Aslı KARABAŞOĞLU (Afyon Kocatepe Üniversitesi), Büşra TEZEL (Afyon Kocatepe Üniversitesi)
17:45	KASTAMONU KUZEYDOĞUSU MESOZOYİK YAŞLI KAYAÇLARIN FORAMİNİFER MİKROPALAEONTOLOJİSİ (JM003) Aslı KARABAŞOĞLU (Afyon Kocatepe Üniversitesi), Tuğçe Ayşe KUZU (Afyon Kocatepe Üniversitesi)

SAAT	MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ KONFERANS SALONU (102) BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ OTURUMU OTURUM BAŞKANI: PROF. DR. LEVENT ÖZCAN
16:15	REAKSİYON ÖLÇÜM SİSTEMİ (BY001) Elif KARADAĞ (Afyon Kocatepe Üniversitesi), Begüm KARAKAYA (Afyon Kocatepe Üniversitesi), Uğur FİDAN (Afyon Kocatepe Üniversitesi)
16:30	İNKUBATÖRLER VE AŞI BUZDOLAPLARI İÇİN HASSAS SICAKLIK VE NEM KONTROLÜ: SENSÖR PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ (BY002) Abdulrahman YILDIRIM (Afyon Kocatepe Üniversitesi), İrem GÜDÜCÜ (Afyon Kocatepe Üniversitesi), Uğur FİDAN (Afyon Kocatepe Üniversitesi)
16:45	İOT TABANLI ISI VE NEM TAKİP SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ: KONTROL VE ALARM MEKANİZMALI UYGULAMA ÖRNEĞİ (BY003) İrem GÜDÜCÜ (Afyon Kocatepe Üniversitesi), Abdulrahman YILDIRIM (Afyon Kocatepe Üniversitesi), Uğur FİDAN
17:00	YAPAY ZEKA DESTEKLİ RADYOLOJİK GÖRÜNTÜ ANALİZİ (BY004) Erdoğan TARHANACI (Afyon Kocatepe Üniversitesi), Süleyman ÇELİK (Afyon Kocatepe Üniversitesi), Zehra KAYA (Afyon Kocatepe Üniversitesi)
17:15	KUVVETE DAYALI EGZERSİZ ÖLÇÜM SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ (BY005) Sevgi ELASLAN (Afyon Kocatepe Üniversitesi), Simge ACELE (Afyon Kocatepe Üniversitesi), Ahmet KÖYCEKAŞ (Afyon Kocatepe Üniversitesi), Uğur FİDAN (Afyon Kocatepe Üniversitesi)



---POSTER SUNUM PLANI---
2. GÜN (15 MAYIS 2025 PERŞEMBE) VE 3. GÜN (16 MAYIS 2025 CUMA)
AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ

SIRA NO	POSTER BİLDİRİ ADI VE YAZARLAR	BÖLÜM
1	FİBER YAPIDA BİYOBÖZÜNÜR CERRAHİ MALZEME ÜRETİMİ (PBY004) Sıla KAYA (Afyon Kocatepe Üniversitesi), Zeynep ELİBOL (Afyon Kocatepe Üniversitesi), Ali Can DEMİREZEN (Afyon Kocatepe Üniversitesi), Gizem Fatma ERGÜNER (Afyon Kocatepe Üniversitesi), Ayşe Janseli DENİZKARA (Afyon Kocatepe Üniversitesi), Sadık KAĞA (Afyon Kocatepe Üniversitesi)	Biyomedikal Mühendisliği
2	BİYOYUMLU VE HEMOSTATİK JELİN GELİŞTİRİLMESİ: KANAMA KONTROLÜ VE YARA İYİLEŞMESİ ÜZERİNE ETKİSİ (PBY001) Ramazan SARIKAYA (Afyon Kocatepe Üniversitesi), Mert KAYADELEN (Afyon Kocatepe Üniversitesi), Gizem Fatma ERGÜNER (Afyon Kocatepe Üniversitesi), Ayşe Janseli DENİZKARA (Afyon Kocatepe Üniversitesi), Sadık KAĞA (Afyon Kocatepe Üniversitesi)	Biyomedikal Mühendisliği
3	HEMA BAZLI YÜZ MASKESİ GELİŞTİRİLMESİ VE KARAKTERİZASYONU (PBY003) Roaa ELHASSAN (Afyon Kocatepe Üniversitesi), Fatimah HAMEED (Afyon Kocatepe Üniversitesi), Raghad ELSHAWRY (Afyon Kocatepe Üniversitesi), Gizem Fatma ERGÜNER (Afyon Kocatepe Üniversitesi), Ayşe Janseli DENİZKARA (Afyon Kocatepe Üniversitesi), Sadık KAĞA (Afyon Kocatepe Üniversitesi)	Biyomedikal Mühendisliği
4	EKG İŞARETLERİNİN PYTHON İLE GERÇEK ZAMANLI ANALİZİ (PBY002) Ezmiran ABDULKADİR (Afyon Kocatepe Üniversitesi), Mahmut SUKAR (Afyon Kocatepe Üniversitesi), Reem RAHAL (Afyon Kocatepe Üniversitesi), Uğur FİDAN (Afyon Kocatepe Üniversitesi)	Biyomedikal Mühendisliği
5	BLYNK İLE ELEKTRİK KESİNTİSİ BİLDİRİM SİSTEMİ (PEE001) Simge YILDIRIM (İskenderun Teknik Üniversitesi), Hasan ER (İskenderun Teknik Üniversitesi), Murat FURAT (İskenderun Teknik Üniversitesi)	Elektrik-Elektronik Mühendisliği
6	GÖREV-BÖLGE KISITLI TİP-E MONTAJ HATTI DENGELEME PROBLEMİ İÇİN KARMA TAMSAYILI DOĞRUSAL PROGRAMLAMA YAKLAŞIMI: BEYAZ EŞYA SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA (PEN001) Hacer GÜLER (Balıkesir Üniversitesi), İrem Rümeyza ÖZTÜRK (Balıkesir Üniversitesi), Korkut ANAPA (Beko Corporate Ankara Bulaşık Makinesi Fabrikası), Kübra YALÇIN (Beko Corporate Ankara Bulaşık Makinesi Fabrikası), İbrahim KÜÇÜKKOÇ (Balıkesir Üniversitesi)	Endüstri Mühendisliği
7	Aronia melanocarpa (KARAMUT)'UN FİTOKİMYASAL İÇERİK, ANTİOKSİDAN AKTİVİTE VE FONKSİYONEL KULLANIM POTANSİYELİ (PGM001) Yasemin ÇELEBİ (Uşak Üniversitesi), Gülşah ÇALIŞKAN KOÇ (Uşak Üniversitesi)	Gıda Mühendisliği
8	KABAK CİPSİ ÜRETİMİ VE KALİTE ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ (PGM002) Arzu ÇAYIR (Afyon Kocatepe Üniversitesi), Dilek DEMİRBÜKER KAVAK (Afyon Kocatepe Üniversitesi)	Gıda Mühendisliği
9	RAYAN VE MUHAMBAL (SURIYE) AKARSULARI TAŞKIN ANALİZİ (PİM001) Muhammed ELHACCI (Afyon Kocatepe Üniversitesi), Yılmaz İÇAĞA (Afyon Kocatepe Üniversitesi)	İnşaat Mühendisliği
10	YENİKÖSELER HAVZASI (POLATLI-ANKARA) NA-SÜLFAT YATAĞININ JEOLJİSİ VE İLK MİNERALOJİK VERİLER (PJM002) Tulay ALTAY (Afyon Kocatepe Üniversitesi), Muhammed Ali KARDELEN (Afyon Kocatepe Üniversitesi)	Jeoloji Mühendisliği
11	ELEKTRİKLİ BİR TAŞIT İÇİN SIVI SOĞUTMALI BATARYA TERMAL YÖNETİM SİSTEMİ TASARIMI VE ANALİZİ (POM005) Burak BAŞDOĞAN (Gazi Üniversitesi), Melisa KARINÇALI (Gazi Üniversitesi)	Otomotiv Mühendisliği
12	MANYETİK SÜSPANSİYON TASARIMI VE ANALİZİ (POM004) Hüseyin Kemal TUNÇAY (Gazi Üniversitesi)	Otomotiv Mühendisliği
13	İŞ MAKİNELERİNDE KABIN TİTREŞİMİNİ AZALTMA YÖNELİK TAKOZLARIN DİNAMİK PERFORMANS ANALİZİ (POM001) Ahmet Buğra HAN (Gazi Üniversitesi)	Otomotiv Mühendisliği
14	FORMULA 1 ARAÇLARI İÇİN HALO GÜVENLİK SİSTEMİNİN TASARIMI VE ANALİZİ (POM006) Rana BOŞNAKOĞLU (Gazi Üniversitesi)	Otomotiv Mühendisliği
15	BİNEK AMAÇLA ÜRETİLEN BİR OTOMOBİLİN DİFERANSİYEL DİŞLİLERİNİN TASARIMI VE ANALİZİ (POM002) Cumali AKSOY (Gazi Üniversitesi)	Otomotiv Mühendisliği
16	NACA0012, NACA4412 VE ELMAS KANAT PROFİLLERİNİN AERODİNAMİK PERFORMANSININ İNCELENMESİ VE KARŞILAŞTIRILMASI (POM003) Fırat ERDİN (Gazi Üniversitesi)	Otomotiv Mühendisliği



TAM METİN BİLDİRİLER



İÇİNDEKİLER

Sayfa

Harita Üretimi ve Sunumu: Kartografya	2
LGS Öğrencileri İçin Akıllı Masaüstü Sınav Takip Uygulaması	11
Keskin (Kırıkkale) çevresinin foraminifer mikropaleontolojisi	20
Kastamonu kuzeydoğusu Mesozoyik yaşlı kayaların foraminifer mikropaleontolojisi	29
Makine Öğrenmesi Teknikleri ile Yazılım Gereksinimlerinin Sınıflandırılması	39
Nesnelerin Yapay Zekası (AIoT) Tabanlı Enerji Sistemlerinin Az-Kodlu Geliştirilmesi	47
IoT Tabanlı Isı ve Nem Takip Sisteminin Geliştirilmesi: Kontrol ve Alarm Mekanizmalı Uygulama Örneği.....	59
İnkubatörler ve Aşı Buzdolapları İçin Hassas Sıcaklık ve Nem Kontrolü: Sensör Performans Değerlendirmesi	66
Refleks ve Reaksiyon Ölçüm Sistemi	74
Yapı Ruhsatından Şantiyeye: Müteahhit Kimliği ve Teknik Karar Yetkisinin Dönüşümü - Kütahya’da Bir Alan Analizi	84
Bakteriyosinler: Yapıları, Etki Mekanizmaları ve Gıda Endüstrisindeki Uygulama Alanları	95
Gıda Sanayiinde Atık Yönetimi: Kakao Kabuğu.....	102
Kartografyada MapAnalyst Yazılımının Kullanımı	111
Kuvvete Dayalı Egzersiz Ölçüm Sisteminin Geliştirilmesi.....	120
Türkiye’de Coğrafi İşaretli Gıda Ürünleri: Genel Durum ve Afyonkarahisar Örneği.....	126
Mevcut Binaların Değerlendirilmesinde Karot Numunesi Alınan Kolon Dayanımlarının Davranışa Etkisi	135
İstanbul’daki T1 Kabataş-Bağcılar Tramvay Hattının Etkinliğinin Değerlendirilmesi	149
Geri Kazanılmış Agreganın Kullanımının Betonun Mekanik Özelliklerine ve Korozyon Dayanıklılığına Etkisi.....	164
Eşdüzey Kavşakların Farklı Denetim Koşulları Altında İncelenmesi: Kütahya İbrik Kavşağı Örneği	176



Harita Üretimi ve Sunumu: Kartografya

İbrahim Güray ^{1*}, Mustafa Yılmaz ¹ ve İbrahim Yılmaz ¹

¹ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar

* Sorumlu yazar: ibrahimgry@gmail.com

Özet

Bu çalışmada, haritacılık faaliyetlerinin doğru, anlaşılır ve etkili bir biçimde yürütülmesinde merkezi bir rol üstlenen kartografya bilimi üzerine kapsamlı bir araştırma gerçekleştirilmiştir. Araştırma kapsamında, kartografyanın haritacılık içindeki yeri; genel tanımlamalar, kavramsal açıklamalar ve destekleyici görseller eşliğinde ele alınmıştır. Kartografyanın tarihsel gelişim süreci incelenmiş, günümüze kadar geçirdiği değişim ve dönüşümler vurgulanmıştır. Haritalar, üretildikleri amaca bağlı olarak çeşitli disiplinlerde farklı ihtiyaçlara yanıt verirken, temel düzeyde birer bilgi ve iletişim aracı olarak işlev görmektedir. Bilgi aktarımı, bütüncül bir süreçtir; çevremizdeki nesneler, canlılar, olaylar ve olgular, belirli bir bağlam ve ortam içerisinde iletişimin konusu hâline gelebilir. Bu bağlamda, bilgiyi görselleştirme ve iletme noktasında en etkili araçlardan biri haritalardır. Haritalar aracılığıyla bilginin aktarımı, büyük ölçüde kartografin yorumuna ve sunum biçimine bağlı olduğundan, bu sürecin önemi çalışmada özellikle vurgulanmıştır. Ayrıca kartografyanın temel çalışma alanlarına yer verilmiş, bir haritanın tasarımından sunumuna kadar olan süreçteki belirleyici rolü ortaya konulmuştur. Haritacılığın temelini oluşturan kartografya, diğer yardımcı bilim dallarına kıyasla sunum ve iletişim boyutlarıyla öne çıkmaktadır. Çalışmada, kartografyanın gelecekteki konumuna ilişkin güncel gelişmeler ışığında çeşitli öngörülerde bulunulmuş; yapay zekâ ve robotik teknolojilerin hızla geliştiği günümüz dünyasında bu dönüşümün haritacılık üzerindeki potansiyel etkileri değerlendirilmiştir. Sonuç olarak kartografya, haritacılığın ayrılmaz bir parçası olarak bilimsel varlığını sürdürmekte ve disiplinler arası etkileşimlerle gelişimini devam ettirmektedir.

Anahtar kelimeler: Harita, Kartografya, Bilgi İletişimi

Map Production and Presentation: Cartography

Abstract

In this study, comprehensive research has been carried out on the science of cartography, which plays a central role in the accurate, understandable and effective execution of mapping activities. Within the scope of the research, the place of cartography in mapping is discussed with general definitions, conceptual explanations and supporting visuals. The historical development process of cartography was examined, and the changes and transformations it has undergone until today were emphasized. While maps respond to different needs in various disciplines depending on the purpose for which they are produced, they function as a basic information and communication tool. Information transfer is a holistic process; objects, living things, events and phenomena in our environment can become the subject of communication within a certain context and environment. In this context, maps are one of the most effective tools for visualizing and communicating information. Since the transfer of information through maps depends largely on the interpretation and presentation style of the cartographer, the importance of this process is emphasized in this study. In addition, the basic working areas of cartography are included and its decisive role in the process from the design of a map to its presentation is revealed. Cartography, which forms the basis of mapping, stands out with its presentation and communication dimensions compared to other auxiliary sciences. The study makes various predictions

about the future position of cartography in the light of current developments and evaluates the potential effects of this transformation on mapping in today's world where artificial intelligence and robotic technologies are rapidly developing. As a result, cartography continues its scientific existence as an integral part of mapping and continues its development through interdisciplinary interactions.

Key words: Map, Cartography, Information Communication

1. Giriş

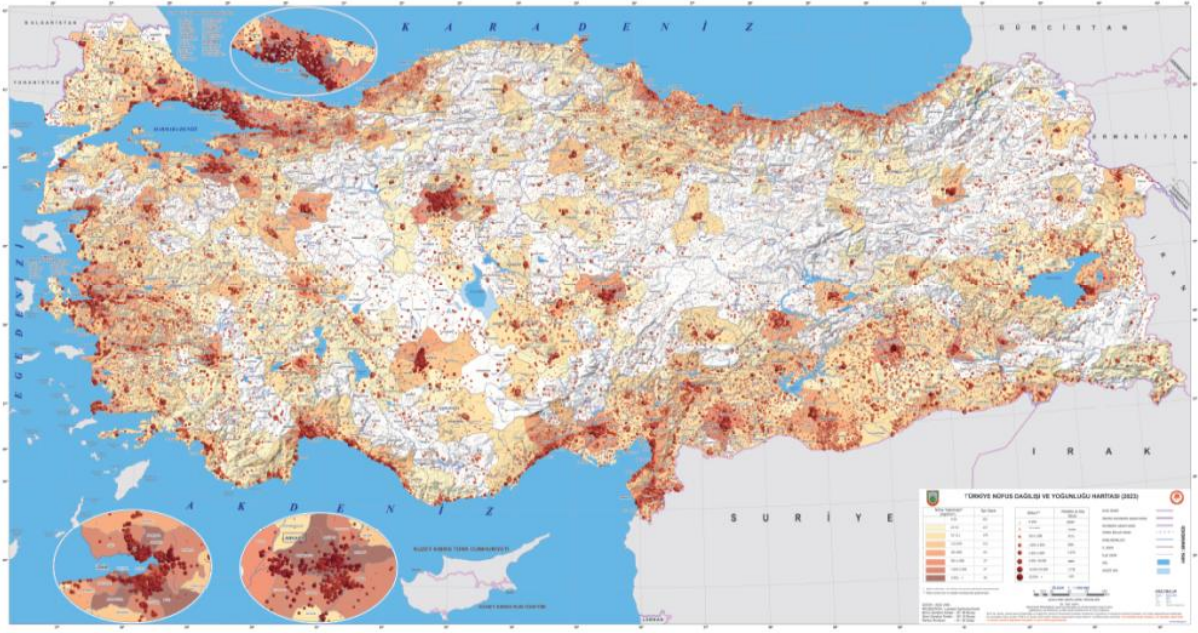
Geçmişten günümüze süregelen insanlık tarihinde harita kullanımı oldukça önem arz etmektedir. İnsanın kendini ve coğrafyasını keşfetmeye başlamasıyla beraber gelişen ve aynı zamanda ihtiyaçlarını karşılayacağı, nesiller arasında yol gösterici olacak birer eser niteliği taşıyan haritalar; bilim, teknik ve sanatın bir izdüşümü olarak karşımıza çıkmaktadır. Kartografya ise harita üretmek ve bunu anlamlı bir zeminde kullanıcıya aktarmak için ihtiyaçlarımıza cevap veren bir bilim dalıdır (Bildirici, 2024). Bu bağlamda kartografya bilimi bazı ana komponentler üzerine inşa edilmiştir. Bunlar geometri, astronomi ve matematik bilimleridir. Tarihsel süreçte ise bu bilim dallarını kullanarak, kartografyanın temelleri Yunanlı bilginler tarafından atılmıştır. Bilginler bu çalışmalarında kendilerinden daha önce var olmuş Mısır, Fenike ve Mezopotamya uygarlıklarından esinlenerek sistematik bir yapı kurmuşlardır. (Özağaç, 2006). Uluğtekin ve Doğru (2003)'ya göre dünden bugüne üretilen, oluşturulan haritalarda genel gaye bilgi elde etmek ve bu bilgiyi analiz edip gerekli yerlerde kullanılmasını sağlamak olmuştur (Çapadış, 2019). Okuyucuya bilgi haritadan doğru bir şekilde aktarılmalıdır. Tasarım unsurları göz ardı edilmeden kartograf verilme isteneri harita da tasvir etmelidir. Kartografya da tasarım; harita elemanlarının bir altlık üzerinde işlenmesinden ziyade, kullanıcıya verilen bilginin doğruluk, açıklık ve okunabilirlik ölçütlerini sağlayabilmesidir (Çapadış, 2019). Haritacılıkta standartlar ve ölçütler kartografya bilimi ile sağlanır. Bu araştırmada da esas amacımız haritacılık bilimini oluşturan ve en önemli bileşenlerinden birisi olan kartografyanın tarihi, önemi, unsurları, güncel varlığı ve gelecekteki beklentilerinden bahsetmektir.

2. Genel Bilgiler

Bu bölümde temel kavramların tanımlanması, kartografyanın geçmişi, haritacılık adına önemi ve çalışma alanlarına dair bilgiler verilmiş olup; gelecek süreçteki varlığına yönelik olarak da öngörüler değerlendirilmiştir.

2.1. Haritanın Tanımı

Haritayı tek bir tanıma sığdırmak oldukça zordur. Farklı kurum, kuruluş ve bilim insanları tarafından ortak payda içerisinde, farklı perspektifler ile çeşitli tanımlamalar yapılmıştır. İsviçreli Profesör Imhof'a göre yer yüzeyinin ya da yer yüzeyinin bir kısmının küçültülüp genelleştirme yapılarak iki boyutta temsil edilmesidir (Çapadış, 2019). Harita Genel Müdürlüğü tanımına göre insanın var olduğu çevrede, ilgili olduğu alanın bir kısmında ya da tümündeki fiziksel detayların ve bu detaylara ait bilgilerin olduğu, çoğu zaman düz bir yüzeyde belirli bir ölçek ile gösterilmesidir (Harita Genel Müdürlüğü, 2025). Harita; çok yönlü bir yapıda olduğundan dolayı Şekil 1 ve Şekil 2' deki gibi aynı ülkeye ait, farklı amaca yönelik haritalar üretilebilmektedir. Harita üretimi; ölçekleri, yapım yöntemleri ve kullanım amaçlarına bağlı olarak neredeyse sayısız kombinasyon ile her alanda yapılabilir (Çapadış, 2019). Günümüz teknolojisinin getirileri sayesinde de bir harita üretmek ve harita okuyucusu olmak oldukça kolaylaşmıştır.



Şekil 1. Türkiye Nüfus Dağılışı ve Yoğunluğu Haritası (Harita Genel Müdürlüğü, 2025)

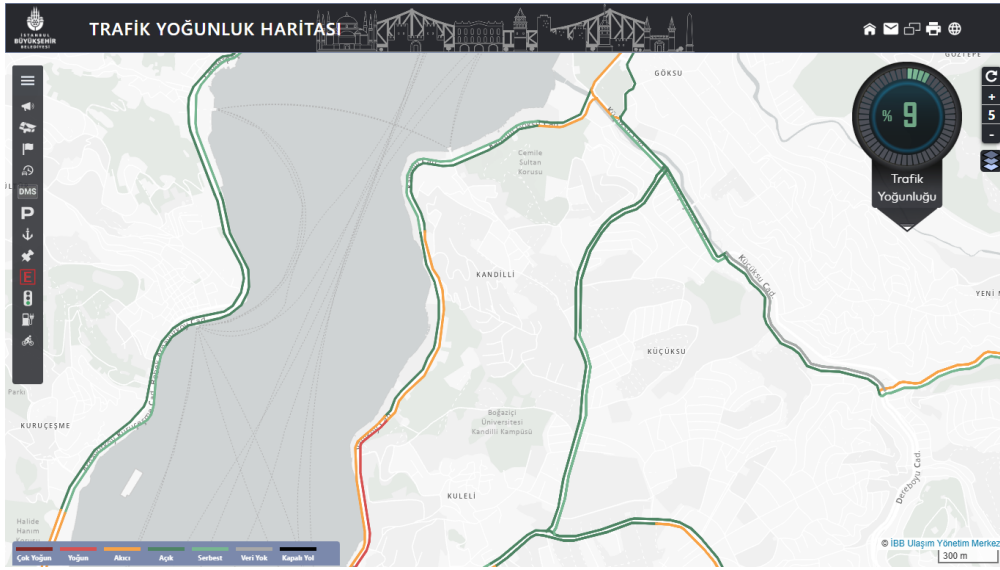


Şekil 2. Türkiye Ulaşım Haritası (Harita Genel Müdürlüğü, 2025)

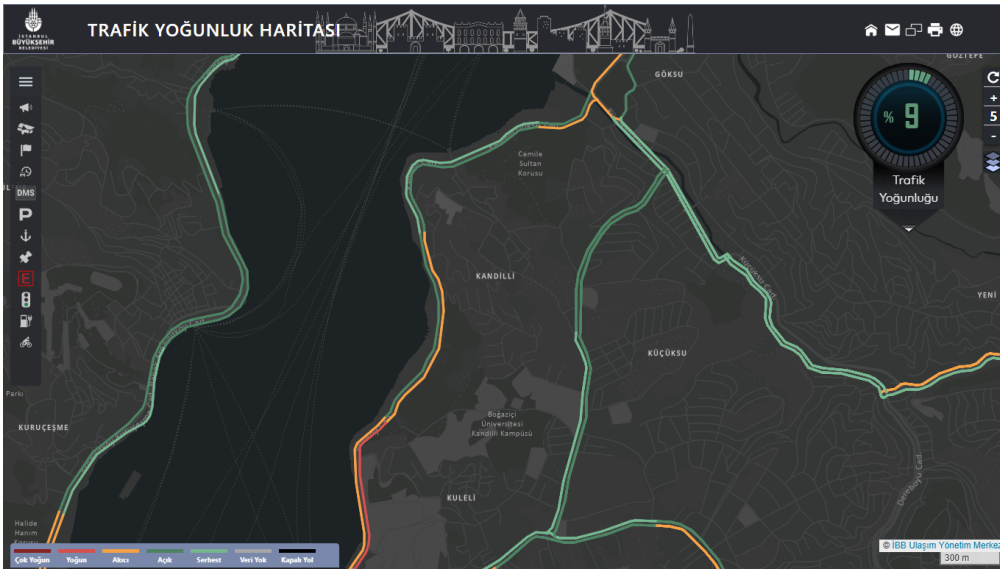
2.2 Kartografyanın Tanımı

Kartografya; haritanın özünde yer alan ve harita kavramını var eden, ayrılmaz bir bütünün parçasıdır. Uluslararası Kartografya Birliği kartografyayı " Haritaları ilgilendiren ilmi verilerin işlenmesi ve sanat çalışmalarını kapsayan harita yapım sanatı, bilimi ve teknolojisidir. Herhangi bir ölçekteki her çeşit haritalar, planlar, deniz haritaları ve bölümleri, yeryüzüne veya gökyüzüne ait herhangi bir cismi temsil eden üç boyutlu model veya küreler haritaların bu kapsamı içerisine girerler. " şeklinde tanımlamıştır (Çobanoğlu, 2016). Bir diğer tanıma göre; kartografya, gösterime konu bilgileri toplayan, bunları çeşitli aşamalarda işleyen ve farklı şekillerde, anlaşılır halde sunumunu sağlayan bir

disiplindir (Afyon Kocatepe Üniversitesi, 2025). Bu tanıma göre değerlendirildiğinde; Şekil 3 ve Şekil 4’ de gösterilen trafik yoğunluğu haritalarının farklı renk altlıkları ile sunulması, gece ve gündüz için kullanım kolaylığı sağlayan kartografik bir uygulamadır.



Şekil 3. İBB Trafik Yoğunluğu Haritası, Açık Renkli (İstanbul Büyükşehir Belediyesi, 2025)



Şekil 4. İBB Trafik Yoğunluğu Haritası, Koyu Renkli (İstanbul Büyükşehir Belediyesi, 2025)

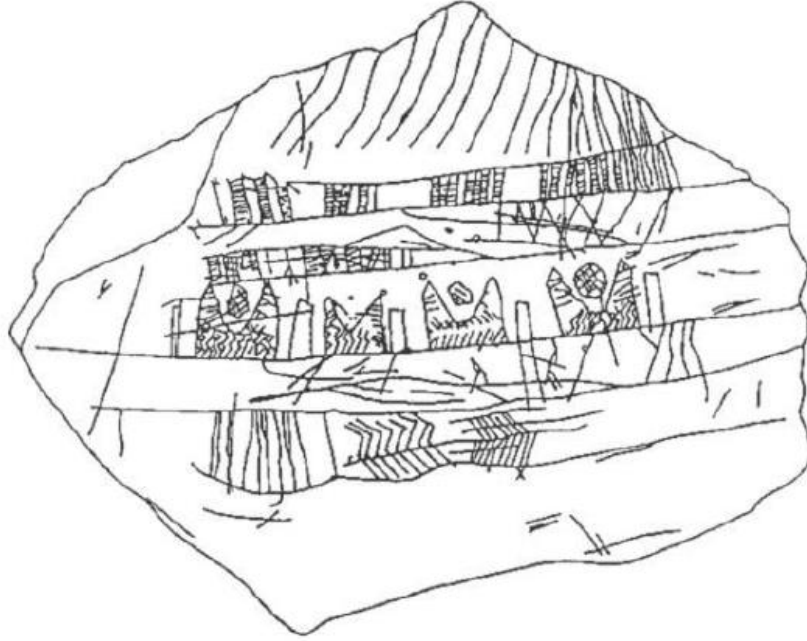
2.3 Kartografyanın Tarihsel Süreci

Haritacılık ilk medeniyetlerin var oluşu ile başlayan, insanın temel ve içgüdüsel olan; yaşama, barınma, çevresini keşfetme gibi arayışlarında ortaya çıkan, tarihin en eski bilimlerinden biridir. İnsan çevreyle olan ilk etkileşimlerinde bile; şekiller, yazılar ve semboller kullanarak aslında kartografik çalışmalarda bulunmuştur (Özağaç, 2006). Bu durumdan da anlaşılacağı üzere haritacılık ve kartografya tarihi birbiri ile eş zamanlı olarak başlayan ve günümüze uzanan bilim ve bilim dallarıdır (Çobanoğlu, 2016).

Bilimin ve bilimsel bilginin kendini yenileyebilme özelliği sayesinde haritacılık ve kartografya da tarihsel süreç içinde değişime ve gelişime uğramıştır. Örneğin MÖ 12.050 tarihlendirmesine karşılık gelen ve Şekil 5’ de gösterilen Mezhyric haritasının; 1965 yılında arkeolojik çalışmalar sonucunda

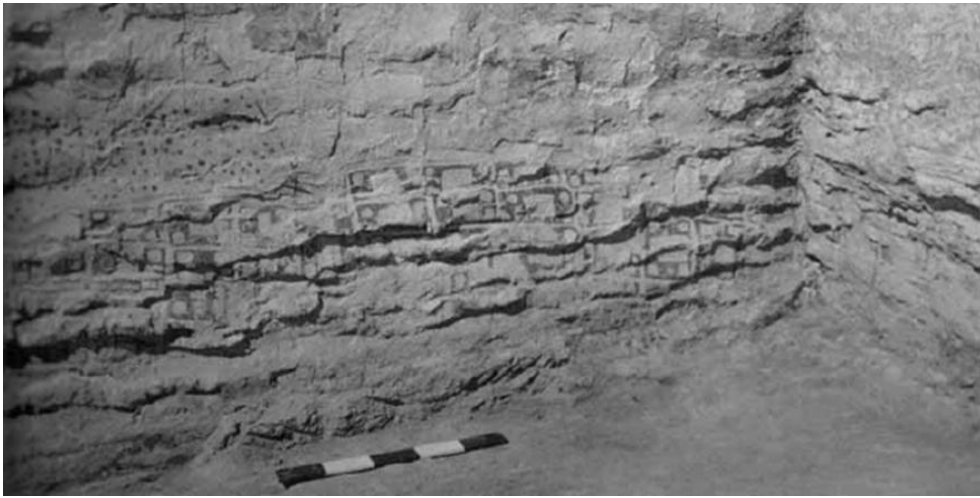
keşfedilmesi, bir serüvenin başlangıcı olarak kabul edilmekte ve fildişi üzerine kazınan figürleri harita olarak yorumlanmaktadır. Bundan ötürü harita, bilinen en eski harita unvanını taşımaktadır (Çobanoğlu, 2016).

Zamanda biraz daha ileri gidersek; Şekil 6' da gösterilen ve MÖ 6200' e karşılık gelen, 1958 yılında Çatalhöyük yerleşkinde bulunan duvar resminin, dünya üzerinde korunmuş en eski harita ve şehir planı olduğu öne sürülmektedir (Çobanoğlu, 2016).



Şekil 5. Mezhyrich Haritası (Çobanoğlu, 2016)

Yaşantısına devam etmekte olan kartografik serüvenin gelişimine dair birçok örnek daha incelenebilir. Bunlardan; Şekil 7 ile gösterilen, Osmanlı haritacılığının kurucusu olarak kabul edilen Piri Reis' in 1513 tarihli ilk dünya haritası; kartografik işaretlerin ve sembollerin anlamlı bir bütün halinde kullanımına örnek teşkil etmektedir.



Şekil 6. Çatalhöyük Haritası (Özağaç, 2006)

Zamanla üretilen her haritanın gelişim gösterdiği, çeşitli ihtiyaçlara çözüm üretmek amacıyla kullanıldığı ve oluşturulduğu dönemin şartları neticesinde, kartografik birer eser olduğu

görülmektedir. Bu gelişim ve değişim üzerine; değişmeyen insanın fıtratı ve yaratılışı olduğu, bundan dolayı arayışın ve ulaşılmak istenenin benzer nitelikler taşıdığı da söylenebilir. Tarihsel süreçte asıl değişim, insanın yapabileceklerini ve sınırlarını sürekli olarak zorlamasıyla ortaya çıkan teknolojik devrimlerdir.



Şekil 7. Piri Reis'in 1513 Tarihli Dünya Haritası (Çobanoğlu, 2016)

Teknolojinin kartografyayı getirmiş olduğu son nokta ise; Şekil 8 ve Şekil 9 ile gösterilen; içinde birçok farklı meslek disiplini ile ortak çalışma yapmaya imkân sağlayan, konumsal ve konumsal olmayan verilerin sunumunda; kartografik manipülasyonların kolaylıkla yapılabildiği, okuyucunun harita ile anlık etkileşim halinde olduğu, entegre coğrafi bilgi sistemi yazılımları tarafından sunulan şehir haritaları örnek verilebilir.



Şekil 8. Etkileşimli Şehir Harita ve Planı (Esri Türkiye, 2025)



Şekil 9. Etkileşimli Şehir Harita ve Planı (Esri Türkiye, 2025)

2.4. Kartografyanın Önemi ve Çalışma Alanları

2.4.1. Kartografyanın Önemi

Kartografya bir haritanın tasarımından basımına kadar tüm aşamalarda aktif şekilde yer alır. Kartografyanın bu süreçteki rolü iki ayrı kolda irdelenmelidir. Bunlar derleme haritaların üretilmesi ve topografik haritaların üretilmesidir. Derleme haritalarının üretiminde tasarım, veri girişi ve baskı aşamalarının tümü kartografya disiplini ile yapılır. Topografik harita üretiminde ise artık diğer disiplinler arasında iş dağılımı gerçekleşir. Geniş bir perspektif de kartografyanın önemini anlamak için üretilecek haritanın içeriği ve ölçeği ne olacak, sunum şeklini kim nasıl belirleyecek sorularını sormak yeterli olacaktır. (Çobanoğlu, 2016).

Harita üretmekteki genel gayelerimizden birisi bilgiyi iletmeğdir. Yani harita bir bilgi iletişimi aracıdır. Bu bağlamda kartografin gerçek dünya üzerinden aldıklarını harita üzerine ne şekilde işlediği, grafik semiyolojiye ne kadar hâkim olduğu ve aktarılmak istenen asıl bilginin en doğru şekilde nasıl aktarılacağını analiz ederek okuyucunun yorumuna sunması gerekir. Tüm bunlar bir iş akışı (Şekil 10) sürecidir (Çobanoğlu, 2016).



Şekil 10. Bilgi iletişim aracı olarak haritanın oluşturulma ve yorumlanma süreci (Çobanoğlu, 2016)

2.4.2. Kartografyanın Çalışma Alanları

Yılmaz (2016)'a göre kartografya teorik kartografya ve pratik kartografya olarak iki şekilde irdelenebilir (Çapadı, 2019).

Teorik kartografya disipline ait teoriler kurmak, pratik kartografyanın çalışma ilkelerini sağlamak ve görevlerini belirlemeyle uğraşır. Teorik kartografyanın ilgili olduğu konular ise haritacılığın tarihi, projeksiyonları, grafik gösterimleri ve mevcuttaki haritaların incelenmesidir. Bunlara ek olarak teknik

yönetmelikler oluşturmak ve disiplinler arası ilişkileri sağlamak da teorik kartografyanın görev alanına girer (Çobanoğlu, 2016).

Pratik kartografya ise teorik kartografyanın yürütme elemanı olarak karşımıza çıkar. Yılmaz (2016)'a göre harita çıktılarının alınma süreçleri pratik kartografya ile sağlanır. Bunlara baskı, çizim, tasarım, çoğaltma ve üretim yöntemleri süreçleri örnek olarak gösterilebilir (Çapadış, 2019). Aynı zamanda bu tip uygulamalara ek olarak günümüzde teknolojik yeniliklerle beraber bütünüyle sayısal kartografik uygulamalar da pratik kartografyanın çalışma alanına dahil edilebilir. Bunlar sayısal veri seti oluşturma, düzenleme ve grafik tasarımlarıdır. Sonuç üründe oluşturulma yöntemleri gibi tamamen sayısal çıktıların alınması ile gerçekleşir (Çobanoğlu, 2016).

2.5. Kartografyanın Geleceği

Kartografya bilimi geçmişteki varlığı, günümüzdeki önemi ve gelecekteki beklentileri ile hem haritacılıkta hem de altlık oluşturduğu tüm bilim dalları ve disiplinler özelinde gelişim sürecine devam etmektedir. Teknolojik devrimler var olduğu her dönemde insanın hayatına, çalışma normlarına ve bilimin kendisine direkt olarak etki etmiş ve etmeye de devam edecektir. Kil tabletler ve taş duvarlar üzerinde başlayan kartografyanın serüveni günümüzde cep telefonu ekranına sığar hale gelmiştir. Kartografya temelinde varlık gösteren ve oldukça popülerlik kazanan coğrafi bilgi sistemleri ve uygulamaları; çalışma ve sunum prensipleri dolayısı ile geleceğe ışık tutmaktadır. Bunlara ek olarak yapay zekanın da hayatımıza dahil olmasıyla beraber sayısal kartografik uygulamalarda ve güncel CBS uygulamalarının birçok kısmında yenilikler ve değişimler başlamış bulunmaktadır.

3. Sonuçlar

İnsan yaratılışından bugüne kadar geçen sürede sürekli olarak çevresiyle etkileşim halinde olmuş ve gördüğü, duyduğu, öğrendiği her şeye yorum katmak istemiştir. Bu; kendine ait olan bilgi ve yorumları da nesiller arasında aktarmaya çalışmıştır. Haritacılıkla başlayan kartografik faaliyetler ve kartografyanın doğuşu; insana bilgi aktarımı sürecinde yol gösterici olmuş, günden güne gelişen teoriler ve kurallar neticesinde de doğru, anlaşılabilir, amacına hizmet edebilen eserlerin ortaya çıkmasında önemli rol oynamıştır. Teorik ya da pratik alanlarda kartografya; haritacılıkta kritik öneme sahip olmuştur. Güncelde CBS uygulamalarının da sürekli gelişim halinde olmasıyla kartografya gelecek süreçte de bizlerin hayatına bilimsellik, teknik ve sanatsal olarak dokunmaya devam edecektir.

Kaynaklar

Afyon Kocatepe Üniversitesi. (2025, 16 Haziran). *Bilim dalları*. <https://harita.aku.edu.tr/bilim-dallari/> web sitesinden edinilmiştir.

Bildirici, İ. Ö. (2024). *Kartografya ve projeksiyonlar*. Ders notları, Konya Teknik Üniversitesi.

Çapadış, A. (2019). *Kartografik harita tasarımı* [Yüksek lisans tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi]. Fen Bilimleri Enstitüsü.

Çobanoğlu, S. (2016). *Kartografya ve uygulamaları ders notları*. Harita Genel Komutanlığı.

Esri Türkiye. (2025, 16 Haziran). *ArcGIS Urban ile yapabilecekleriniz*. <https://blog.esri.com.tr/arcgis-urban-ile-yapabilecekleriniz/> web adresinden edilmiştir.

Harita Genel Müdürlüğü. (2025, 16 Haziran). *Türkiye nüfus dağılışı ve yoğunluğu haritası*. <https://www.harita.gov.tr/uploads/files/products/turkiye-nufus-dagilisi-ve-yogunlugu-haritasi-2023-1798.pdf> web adresinden edinilmiştir.

Harita Genel Müdürlüğü. (2025, 16 Haziran). *Türkiye ulaşım haritası*. <https://www.harita.gov.tr/uploads/files/products/turkiye-ulasim-haritasi-1537.pdf> web adresinden edinilmiştir.

Harita Genel Müdürlüğü. (2025, 16 Haziran). *Haritanın tanımı, özellikleri ve sınıflandırmalar* [PDF]. <https://www.harita.gov.tr/uploads/files/downloadabledocuments/haritanin-tanimi-ozellikleri-siniflandirmalar-18.pdf> web adresinden edinilmiştir.

İstanbul Büyükşehir Belediyesi. (2025, 16 Haziran). *Yüksek çözünürlüklü harita servisi*. <https://uym.ibb.gov.tr/yharita6/> web adresinden edinilmiştir.

Özağaç, S. (2006). *Cumhuriyet dönemi Türk haritacılık tarihi* [Yüksek lisans tezi, Ankara Üniversitesi]. Türk İnkılap Tarihi Enstitüsü.



LGS Öğrencileri İçin Akıllı Masaüstü Sınav Takip Uygulaması

Esma Şen ^{1,*} ve Emre Atlıer Olca ¹

¹ Maltepe Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, İstanbul

* Sorumlu yazar: 210706041@st.maltepe.edu.tr

Özet

Türkiye’de uygulanan Liselere Geçiş Sistemi (LGS), öğrenciler için kritik bir dönüm noktasıdır. Ancak sınav süreci boyunca öğrencilerin gelişimlerini değerlendirecek dijital araçların eksikliği dikkat çekicidir. Deneme sınavlarının çoğu hâlâ kâğıt kalemle yapılarak sonuçları öğrenci ya da veliler tarafından not defterlerinde takip edilmekte; bu durum sonuçların kaybolmasına, analiz yapılamamasına ve sistematik gelişim takibinin sektöre uğramasına neden olmaktadır. Öğretmenler ise, öğrencilerin eksik alanlarını belirlemekte yeterli veriye sahip olamamakta; bu da yönlendirmenin rastlantısal kalmasına yol açmaktadır. Bu ihtiyaçtan yola çıkarak, LGS öğrencilerinin deneme sınavı sonuçlarını düzenli ve sistematik şekilde takip etmelerini sağlayacak “akıllı” bir masaüstü uygulama geliştirilmiştir. “Akıllı” nitelendirmesi; veri girişinde hata payını azaltan otomasyonlar, grafiksel analiz yetenekleri ve kullanıcı rolü bazlı işlem mantığı gibi sistemli yapısal tasarımlar üzerinden tanımlanmaktadır. Uygulamada Admin ve Öğrenci olmak üzere iki farklı kullanıcı rolü bulunmaktadır. Admin kullanıcıları; öğrenci ekleme, deneme sınavı kaydı, geçmiş performansları görüntüleme ve PDF raporu oluşturma işlemlerini gerçekleştirebilirken, Öğrenci kullanıcıları yalnızca kendi sınav sonuçlarını sisteme girerek performans geçmişlerini izleyebilmektedir. Sistem manuel veri girişine ek olarak, PDF (Taşınabilir Belge Formatı) dosyalarından veri aktarımı ve OCR (Optik Karakter Tanıma) teknolojisi ile optik formlardan otomatik veri tanıma gibi gelişmiş özellikler sunmaktadır. Uygulama, Microsoft SQL Server veritabanı, Entity Framework yapısı, LiveCharts grafik kütüphanesi ve iTextSharp PDF teknolojisi ile geliştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, öğrenci performanslarının güvenli, hızlı ve erişilebilir biçimde yönetilebildiğini göstermektedir. Sistem; bireysel akademik gelişimin doğru tespitine olanak tanıyan, kullanıcı dostu ve fonksiyonel bir sınav takip platformu sunarak eğitim teknolojilerine özgün bir katkı sağlamaktadır.

Anahtar kelimeler: LGS Deneme Sınavı ve Takibi, Öğrenci Performansı, Masaüstü Uygulama, OCR, SQL Server, PDF Raporlama.

Smart Desktop Exam Tracking Application For LGS Students

Abstract

The High School Entrance System (LGS) in Türkiye represents a critical milestone for students. However, the lack of digital tools to track student progress during the exam preparation process remains a significant gap. Most trial exams are conducted on paper, and results are manually recorded by students or parents, often leading to data loss and the inability to analyze trends. Teachers also struggle to identify learning deficiencies due to insufficient data, making guidance less effective. To address this, a smart desktop application was developed to help students systematically monitor and evaluate their trial exam performance. The term “smart” refers to structural features such as error-reducing automation in data entry, graphical performance analysis, and role-based operations. The application includes two user roles: Admin and Student. Admins can manage student records, register trial exam results, view past performance, and generate PDF reports. Students can only input and view

their own performance data. In addition to manual entry, the system supports importing data from PDF (Portable Document Format) files and utilizes OCR (Optical Character Recognition) technology for automatic form reading. The application was developed using Microsoft SQL Server, Entity Framework, LiveCharts, and iTextSharp libraries. The results show that student performance can be monitored securely, quickly, and accessibly. By enabling accurate academic evaluation and providing user-friendly features, the system offers a functional exam tracking platform and contributes an innovative solution to educational technologies.

Keywords: LGS Trial Exam and Tracking, Student Performance, Desktop Application, OCR, SQL Server, PDF Reporting.

1. Giriş

Eğitim sistemlerinin dijitalleşmesiyle birlikte, öğrencilerin akademik başarılarının doğru bir şekilde izlenmesi ve analiz edilmesi giderek daha büyük bir önem kazanmıştır. Özellikle ortaöğretime geçişte Türkiye'de uygulanan Liselere Geçiş Sistemi (LGS) gibi yüksek rekabet ortamlarında, öğrenci performans takibi, bireyselleştirilmiş öğretim stratejileri geliştirmek ve öğrencilerin eksik yönlerini tespit etmek için kritik bir araç haline gelmiştir (Kitaboo, 2023).

Öğrenci performansını etkili bir şekilde izlemek, yalnızca sonuç odaklı bir değerlendirme değil, aynı zamanda öğrencilerin öğrenme süreci boyunca gösterdikleri gelişimin de detaylı olarak incelenmesini gerektirir. Bu bağlamda, Zhang ve arkadaşları (2024) tarafından geliştirilen öğrenme yönetim sistemleri, öğrencilerin performans özelliklerini ortaya çıkararak, öğretmenlerin ve yöneticilerin daha bilinçli kararlar almasına yardımcı olmaktadır. Ancak mevcut sistemlerin çoğu, genel okul yönetimi odaklı çalışmakta, sınav bazlı bireysel öğrenci izleme ihtiyaçlarını tam anlamıyla karşılayamamaktadır. Geleneksel yöntemlerle yapılan sınav takibi genellikle manuel veri toplama ve analiz süreçlerine dayanmakta, bu da insan hatalarına açık ve zaman alıcı bir işlem süreci yaratmaktadır (Dayanghirang & Hernandez, 2022). Özellikle sınav sonuçlarının kaydedilmesi ve analiz edilmesi sırasında yaşanan gecikmeler, öğrencilerin eksik noktalarının zamanında tespit edilememesine neden olabilmektedir.

Eğitimde mobil teknolojilerin ve optik form tanıma gibi dijital araçların entegrasyonu ile öğrenci performansı anlık olarak izlenebilir hale gelmiştir. Rahul ve arkadaşları (2021) çevrimiçi eğitimde öğrencilerin dikkat sürelerini gerçek zamanlı takip eden sistemler geliştirerek, öğrenci katılımının artırılmasına yönelik önemli katkılar sağlamışlardır. Benzer şekilde, LGS sürecinde de öğrencilerin deneme sınavlarına dayalı performanslarının hızlı, güvenilir ve sistematik şekilde kaydedilmesi, eğitim sürecinin kalitesini doğrudan etkilemektedir.

Öğrenme analitiği, öğrenci verilerinin toplanması, işlenmesi ve anlamlı bilgilere dönüştürülmesi sürecinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu proje kapsamında geliştirilen akıllı masaüstü uygulama, manuel veri girişi yanında PDF ve OCR destekli veri aktarım modülleriyle performans takibini kolaylaştırmakta ve LGS öğrencilerine daha verimli bir sınav hazırlık süreci sunmayı hedeflemektedir.

1.1. İlgili Çalışmalar

Eğitim teknolojileri alanında yapılan çalışmalar, öğrenci performansının doğru bir şekilde izlenmesi ve analiz edilmesinin, akademik başarının artırılmasında kritik bir rol oynadığını göstermektedir. Kitaboo (2023) tarafından yapılan bir çalışmada, öğrenci performansının bireyselleştirilmiş öğretim stratejilerine nasıl yön verdiği ayrıntılı şekilde ele alınmıştır. Bu çalışma, öğretmenlerin öğrencilerin öğrenme süreci boyunca gelişimlerini takip ederek kişiselleştirilmiş müdahaleler geliştirebileceğini ortaya koymuştur. Benzer şekilde, Zhang ve arkadaşları (2024) etkili bir öğrenme yönetim sistemi (LMS) geliştirerek, öğrencilerin performans özelliklerini ortaya çıkaran

mekanizmaları incelemişlerdir. Çalışmalarında, veri madenciliği ve öğrenme analitiği kullanılarak öğrencilerin başarı eğilimlerinin öngörülebileceği vurgulanmıştır. Bu tür sistemlerin öğrenci performansı hakkında yönlendirici bilgiler sağlaması, sınav tabanlı sistemlerde özellikle değerli hale gelmektedir.

Öğrenci performans analizine yönelik bir diğer önemli katkı, Dayanghirang ve Hernandez (2022) tarafından geliştirilmiş olan mobil tabanlı not defteri uygulamasıdır. Bu sistem, öğrencilerin sınav sonuçlarının kolayca kaydedilmesini ve zaman içinde performans eğilimlerinin analiz edilmesini sağlamaktadır. Mobil teknolojilerin kullanımı, öğrenci verilerine erişim ve analiz süreçlerini hızlandırmakta, özellikle bireysel sınav takibi gibi uygulamalarda büyük avantajlar sunmaktadır.

Eğitimde dijital dönüşüm yalnızca veri toplamakla sınırlı kalmamakta, aynı zamanda öğrencilerin aktif katılımını da artırmayı hedeflemektedir. Rahul ve arkadaşları (2021) çevrimiçi eğitim ortamlarında öğrencilerin dikkat sürelerini gerçek zamanlı izlemek için geliştirdikleri sistem ile, öğrencilerin öğrenme süreçlerinde daha etkin olmalarını sağlamayı amaçlamışlardır. Bu tür yaklaşımlar, deneme sınavları gibi belirli periyotlarda yapılan değerlendirmelerin dışında, öğrencilerin genel öğrenme süreçlerini de desteklemektedir.

Genel olarak, öğrenme analitiği kavramı eğitim teknolojilerinde büyük bir yer edinmiştir. Wikipedia (2025) tarafından tanımlanan öğrenme analitiği, öğrenci verilerinin toplanması, işlenmesi ve yorumlanması süreçlerini kapsamaktadır. Bu kavram, sınav sonuçları, katılım verileri ve öğrenme aktiviteleri gibi çok çeşitli veri kaynaklarını analiz ederek öğrencilerin başarısına katkı sağlamayı hedeflemektedir. LGS gibi sınav odaklı sistemlerde, öğrenme analitiği temelli çözümler, öğrencilerin eksik yönlerinin belirlenmesi ve gelişim alanlarının optimize edilmesi açısından oldukça değerlidir.

Teknik açıdan bakıldığında, optik karakter tanıma (OCR) teknolojileri de eğitim süreçlerinde veri dijitalleştirme açısından kritik bir rol oynamaktadır. Islam ve arkadaşları (2024), el yazısı kodları tanımaya yönelik geliştirdikleri sistemle, OCR uygulamalarının doğruluk oranını artırarak eğitim materyallerinin otomatik değerlendirilmesini kolaylaştırdıklarını göstermiştir. Bu tür teknolojiler, özellikle optik formlar üzerinden sınav sonuçlarının sisteme aktarılması sürecinde büyük avantaj sağlamaktadır.

Öte yandan, PDF belgelerinden veri çekilmesi de sınav performanslarının kayıt altına alınmasında önemli bir araç olarak öne çıkmaktadır. Parsio.io tarafından sunulan güncel bir çalışma, PDF parsing süreçlerinin otomatikleştirilmesi sayesinde eğitim verilerinin doğru ve hızlı bir şekilde işlenebileceğini vurgulamaktadır.

Son olarak, eğitim verilerinin güvenli ve yapısal bir şekilde saklanması amacıyla SQL tabanlı veri tabanı sistemleri yaygın olarak tercih edilmektedir. Microsoft'un SQL Server eğitim kaynaklarında belirtildiği üzere, eğitim süreçlerinde kullanılan veri tabanı yönetimi sistemleri, öğrenci kayıtları, sınav sonuçları ve performans verilerinin tutarlı ve güvenilir bir biçimde yönetilmesini sağlamaktadır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, LGS'ye (Liselere Geçiş Sistemi) hazırlanan öğrencilerin deneme sınavı performanslarını düzenli ve sistematik bir şekilde izleyebilecekleri bir masaüstü uygulama geliştirilmesi hedeflenmiştir. Proje süreci, öncelikle sistem ihtiyaçlarının belirlenmesi ve kullanıcı gereksinimlerinin analiz edilmesiyle başlamıştır. Kullanıcı rolleri (Admin ve Öğrenci) tanımlanmış, her rol için gerekli olan temel işlevler belirlenmiş ve sistem akışı buna göre planlanmıştır. Planlama aşamasında, kullanıcı girişi, sınav sonucu kaydı, performans analizi ve raporlama gibi temel modüllerin oluşturulmasına öncelik verilmiştir.

Proje geliştirme süreci, modüler bir yapıda ilerlemiştir. İlk aşamada kullanıcı giriş sistemi ve kullanıcı rolleri oluşturulmuş, ardından öğrenci ekleme, sınav sonucu kaydı ve veri yönetimi modülleri geliştirilmiştir. İkinci aşamada, performans verilerinin grafiklerle görselleştirilmesi ve raporlama modülü tasarlanmıştır.

Son aşamada ise PDF'den veri aktarımı ve optik formdan OCR yoluyla sınav sonuçlarının sisteme otomatik aktarımı gibi ileri seviye özellikler entegre edilmiştir. Bu aşamalı geliştirme yaklaşımı sayesinde, sistemin her bir bileşeni bağımsız olarak test edilmiş ve genel sistem entegrasyonu sorunsuz bir şekilde sağlanmıştır. Bu proje, öğrencilerin kendi sınav performanslarını kolayca takip etmelerine ve eksik oldukları alanları hızlıca görmelerine olanak tanıyarak, LGS'ye hazırlık sürecini daha verimli ve veriye dayalı hale getirmeyi amaçlamaktadır. Aynı zamanda, öğretmen ve yöneticilere, öğrencilerin ilerlemelerini objektif veriler üzerinden değerlendirme imkânı sunarak eğitim kalitesini artırmayı hedeflemektedir.

Sistemin genel mimarisi Şekil 1'de gösterilen Sistem Mimarisi UML Diyagramı'nda simüle edilmiştir. Uygulama; kullanıcı giriş modülü, sınav sonuç kaydı, performans analizi ve raporlama mekanizmalarından oluşan entegre bir platform olarak tasarlanmıştır. Admin ve Öğrenci rollerine sahip kullanıcılar, kendi yetkileri doğrultusunda sisteme giriş yaparak ilgili işlemleri gerçekleştirebilmektedir.

Projede kullanılması öngörülen materyaller ve teknolojiler hakkında detaylı bilgiler 2.1 Materyal bölümünde, projenin temel mimari yapısını oluşturan platformlar, sistem akışı ve geliştirilen modüller hakkında açıklamalar ise 2.2 Metot bölümünde sunulmaktadır.

2.1. Materyal

Geliştirilen masaüstü uygulamada, kullanıcı dostu arayüz tasarımı, güvenli veri yönetimi, performans analizleri ve otomatik veri aktarımı gibi temel işlevleri desteklemek amacıyla bir dizi teknoloji ve araç kullanılmıştır. Sistem; Microsoft .NET Framework 4.7.2 altyapısında C# programlama dili kullanılarak Windows Forms tabanlı olarak geliştirilmiştir. Kullanıcıların kolay ve hızlı bir şekilde işlem yapabilmesi için modern grafik arayüz öğeleri entegre edilmiştir.

Veri yönetimi ihtiyacını karşılamak amacıyla Microsoft SQL Server veri tabanı teknolojisi tercih edilmiştir. SQL Server, yüksek veri bütünlüğü, güçlü güvenlik özellikleri ve gelişmiş sorgulama performansı nedeniyle seçilmiştir. Veri tabanı işlemleri ile yazılım arasında nesne-yönelimli bir veri akışı sağlamak için Entity Framework ORM (Object-Relational Mapping) teknolojisi kullanılmıştır. Böylece, veri tabanı sorguları daha güvenli ve daha yönetilebilir hale getirilmiştir.

Öğrenci performanslarının grafiksel analizini sağlamak için LiveCharts kütüphanesi kullanılmıştır. Bu kütüphane yardımıyla, öğrencilerin sınav bazlı başarı durumları çizgi ve pasta grafikleri şeklinde görselleştirilmiş ve kullanıcı dostu bir deneyim sunulmuştur. Öğrencilerin performans değişimlerini zaman içinde izleyebilmeleri sağlanmıştır.

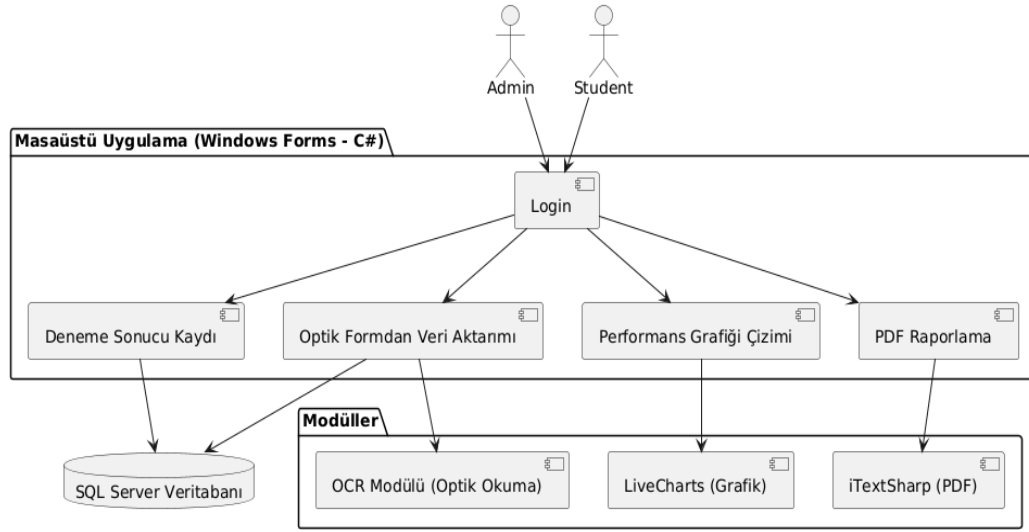
Raporlama ihtiyacını karşılamak amacıyla, sistemde iTextSharp kütüphanesi kullanılarak PDF formatında rapor oluşturma özelliği geliştirilmiştir. Kullanıcılar kendi sınav geçmişlerini ya da tüm öğrencilerin performans verilerini tekli veya toplu olarak PDF formatında dışa aktarabilmektedir.

Buna ek olarak, sınav sonuçlarının manuel giriş dışında daha hızlı aktarımı için OCR (Optical Character Recognition) teknolojisi de sisteme entegre edilmiştir. OCR modülü sayesinde, öğrencilerin işaretlediği optik formlar taranarak dijital veri haline dönüştürülmekte ve sisteme otomatik olarak aktarılmaktadır. Bu özellik, özellikle büyük ölçekli sınavlarda veri giriş sürecini hızlandırarak hata oranını düşürmektedir. Tüm bu teknolojik seçimler, sistemin kullanım kolaylığı, veri güvenliği, performans analizi kapasitesi ve kullanıcı deneyimi açısından yüksek standartlarda olmasını sağlamayı amaçlamaktadır.

2.2. Metot

Bu bölümde, sistemin genel mimarisi ve proje sürecinde izlenen metotlar hakkında bilgi verilecektir. Sistem kullanım senaryosu Şekil 2'de sunulan Use Case Diyagramı ile gösterilmiştir. Kullanıcıların (Admin ve Student) sistemle olan etkileşimleri ve gerçekleştirdikleri işlemler bu diyagram üzerinden açıklanmaktadır. Ayrıca, sistemin işlem adımları ve bileşenler arası veri akışı Şekil

3'te sunulan Sequence Diyagramı yardımıyla detaylandırılmıştır. Diyagramlar birlikte, uygulamanın işleyiş sürecini ve kullanıcı odaklı tasarımını bütüncül şekilde ortaya koymaktadır.

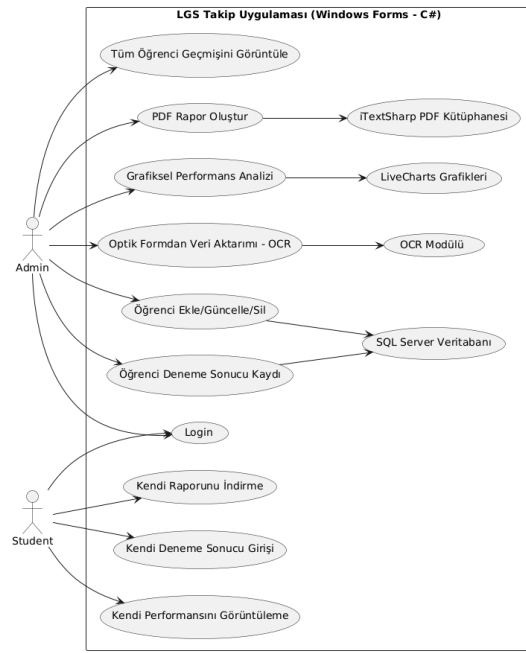


Şekil 1. Sistem Mimarisi UML Diyagramı

2.2.1 Giriş ve Kimlik Doğrulama

Sistemin ilk adımı, kullanıcıların sisteme güvenli bir şekilde giriş yapmasını sağlamaktır. Kullanıcılar, kendilerine ait kullanıcı adı ve şifre bilgileri ile giriş ekranından kimlik doğrulama işlemini gerçekleştirirler. Kimlik doğrulama sürecinde, kullanıcı bilgileri SQL Server veri tabanında doğrulanarak kullanıcının yetkili olduğu rol (Admin veya Student) tespit edilir. Başarılı giriş işlemi sonrasında, kullanıcıya rolüne uygun bir ana panel sunulur. Admin kullanıcıları için öğrenci yönetimi, sınav sonucu kaydı, optik formdan veri aktarımı ve raporlama gibi işlemlere erişim sağlanırken; Student kullanıcıları yalnızca kendi sınav sonuçlarını kaydedebilmekte ve kendi performans grafiklerine ulaşabilmektedir.

Sistemin kullanım senaryoları, kullanıcı rollerinin gerçekleştirdiği işlemleri gösteren Şekil 3'teki Use Case Diyagramı üzerinden açıklanmaktadır. Bu diyagramda, kullanıcıların sisteme girişinden başlayarak sınav kaydı, raporlama ve veri analizi gibi temel işlemlere nasıl erişim sağladıkları görsel olarak sunulmuştur.



Şekil 2. Use Case Diyagram

2.2.2 Deneme Sonucu Kaydı

Sisteme giriş yapan Admin ve Student kullanıcıları, belirli kurallar çerçevesinde deneme sınavı sonuçlarını kaydedebilmektedir. Admin kullanıcıları, tüm öğrencilere ait sınav sonuçlarını ekleyebilir, güncelleyebilir veya silebilirken; Student kullanıcıları yalnızca kendi sınav sonuçlarını kaydedebilmektedir. Kayıt işlemlerinde Matematik, Fen Bilimleri, Türkçe, T.C. İnkılap Tarihi ve Atatürkçülük, Din Kültürü ve Ahlak Bilgisi ile İngilizce derslerine ait doğru ve yanlış cevap sayıları girilmekte, net sayıları sistem tarafından otomatik hesaplanmaktadır. Girilen veriler, SQL Server veri tabanındaki "Exams" ve "Results" tablolarında güvenli bir şekilde saklanmaktadır.

2.2.3. Performans Analizi ve Grafiksel Gösterim

Öğrenciler, sisteme kaydedilen sınav sonuçlarına ilişkin performanslarını LiveCharts kütüphanesi kullanılarak oluşturulan grafiklerle izleyebilmektedir. Performans analizinde, ders bazlı ve sınav bazlı net değişimleri çizgi ve pasta grafikleri ile görsel olarak sunulmaktadır. Admin kullanıcıları tüm öğrencilerin performanslarını görüntüleyebilirken; Student kullanıcıları yalnızca kendi sonuçlarını inceleyebilmektedir. Grafiksel gösterimler, öğrencilerin akademik gelişim süreçlerini tarihsel olarak takip edebilmelerini sağlamaktadır.

2.2.4. Raporlama ve OCR ile Veri Aktarımı

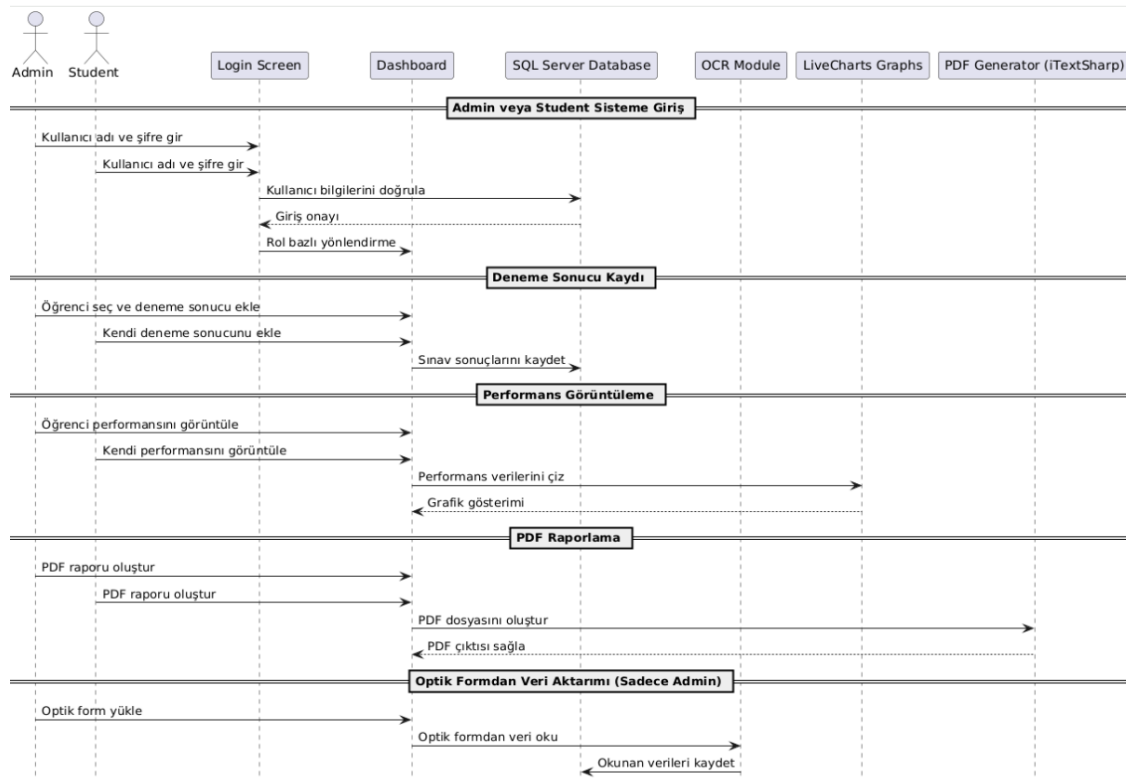
Sistem, kullanıcıların sınav sonuçlarını PDF formatında dışa aktarmalarına imkan tanımaktadır. PDF oluşturma işlemleri iTextSharp kütüphanesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Admin kullanıcıları ayrıca, optik formlar üzerinden sınav verilerini OCR (Optical Character Recognition) modülü yardımıyla otomatik olarak sisteme aktarabilmektedir. Bu özellik, manuel veri girişini azaltarak zaman tasarrufu sağlamak ve veri giriş hatalarını en aza indirmektedir. OCR ile veri aktarımı yalnızca Admin kullanıcılarına sunulmuş olup, sınav verilerinin hızlı ve doğru şekilde sisteme entegre edilmesi hedeflenmiştir.

2.2.5. İşlem Akışı

Uygulamanın genel işlem akışı, kullanıcıların sisteme giriş yapmasıyla başlamakta ve sınav sonuçlarının kaydedilmesi, performans verilerinin analiz edilmesi ve raporların oluşturulması adımlarıyla devam etmektedir. İlk olarak kullanıcılar, kullanıcı adı ve şifre bilgileri ile kimlik doğrulama yaparak sisteme giriş sağlarlar. Giriş başarılı olduğunda, kullanıcı yetkisine göre Admin veya Student ana ekranı açılır. Admin kullanıcıları öğrenci yönetimi, sınav kaydı, veri aktarımı ve raporlama işlemlerini gerçekleştirebilirken; Student kullanıcıları yalnızca kendi sınav kayıtlarını yapabilmekte ve performanslarını izleyebilmektedir. Kayıt edilen sınav verileri veri tabanına kaydedilmekte, grafiksel performans analizleri LiveCharts kütüphanesi kullanılarak sunulmakta ve raporlar iTextSharp kütüphanesi ile PDF formatına dönüştürülmektedir. Optik form verilerinin OCR ile aktarımı ise sadece Admin kullanıcıları tarafından yapılabilmektedir. Uygulamanın bu adımlarını ve bileşenler arasındaki etkileşimleri gösteren sıralı işlem süreci, Şekil 3'te verilen Sequence Diyagramı ile görsel olarak sunulmuştur.

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada, LGS öğrencilerinin deneme sınavı performanslarını sistematik bir şekilde takip edebilmelerini sağlamak amacıyla akıllı bir masaüstü uygulaması geliştirilmiştir. Proje süreci, kapsamlı bir gereksinim analiziyle başlamış ve kullanıcı rolleri doğrultusunda (Admin ve Student) yetkilendirme yapısı oluşturulmuştur. Ardından, modüler bir mimari benimsenerek SQL Server veri tabanı, C# Windows Forms arayüzü, Entity Framework ORM yapısı, LiveCharts grafik kütüphanesi ve iTextSharp PDF oluşturma teknolojileri kullanılarak sistem tasarlanmıştır. Ayrıca, veri giriş işlemlerini kolaylaştırmak için optik formlardan veri aktarımı sağlayan bir OCR modülü entegrasyonu da gerçekleştirilmiştir. Literatür taraması sırasında incelenen benzer sistemler genellikle genel okul yönetimi üzerine odaklanmışken, bu projede yalnızca sınav performans takibi ve öğrenci bazlı analizlere yoğunlaşmıştır. Bu sayede, hem öğrencilere hem de sistem yöneticilerine sınav sürecini etkin bir şekilde izleyebilme imkânı sunulmuştur. Grafiksel performans analizleri ve PDF raporlama özellikleri, kullanıcı deneyimini güçlendirmiştir. Sistemin ilerleyen sürümlerinde öğrenme analitiği algoritmalarının eklenmesi, öğrenci gelişim süreçlerinin daha ileri düzeyde analiz edilmesine katkı sağlayacaktır. Bu bağlamda, proje hem sınav tabanlı ölçme-değerlendirme sistemlerine modern bir yaklaşım getirmiş hem de eğitim teknolojilerine özgün bir katkı sağlamıştır.



Şekil 3. Sequence Diyagram

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, LGS öğrencilerinin deneme sınavı sonuçlarını etkili bir şekilde takip edebilmeleri için geliştirilen akıllı masaüstü uygulaması ele alınmıştır. Proje kapsamında Admin ve Student kullanıcı rolleri oluşturulmuş, SQL Server tabanlı veri yönetimi sağlanmış, kullanıcı dostu bir Windows Forms arayüzü tasarlanmış ve performans analizlerinin grafiksel sunumu gerçekleştirilmiştir. Çalışma süreci boyunca kullanıcı giriş sistemi, deneme kaydı, geçmiş performans görüntüleme ve grafik oluşturma gibi temel işlevler başarılı bir şekilde geliştirilmiştir. Sisteme eklenmesi planlanan ileri aşama geliştirmeler arasında, optik formlardan sınav sonucu aktarımını sağlayacak OCR modülünün entegrasyonu ve öğrencilerin performans raporlarının otomatik olarak PDF formatında dışa aktarılmasını sağlayacak raporlama sisteminin tamamlanması yer almaktadır. Elde edilen sonuçlar, sınav performans takibinin dijitalleştirilmesi ile öğrencilerin bireysel gelişim süreçlerinin daha yakından izlenebileceğini göstermiştir. Gelecek çalışmalarda, sistemin mobil platformlara taşınması ve yapay zekâ destekli öğrenme analitiği modülleri ile zenginleştirilmesi hedeflenmektedir. Bu proje, eğitim teknolojileri alanına katkı sağlamakla birlikte, sınav odaklı performans takibinde modern ve işlevsel bir çözüm sunmuştur.

Teşekkür

Bu çalışma, Maltepe Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Yazılım Mühendisliği bölüm başkanı Dr. Öğr. Üyesi Emre Olca'nın desteği ve katkıları ile gerçekleştirilmiştir.

Kaynaklar

Dayanghirang, M., & Hernandez, L. (2022). Mobile gradebook application for performance tracking of students. *International Journal of Mobile Computing and Learning*, 14(3), 112-125.

- Kitaboo. (2023). *How student performance tracking improves education outcomes*. Kitaboo. Retrieved from <https://kitaboo.com/how-student-performance-tracking-improves-education-outcomes/>
- Rahul, S., Kumar, A., & Singh, P. (2021). Real-time attention monitoring system for online learning environments. *Education and Information Technologies*, 26(6), 6921-6940.
- Zhang, Y., Li, J., & Wang, P. (2024). Intelligent learning management systems based on student performance analytics. *Journal of Educational Technology and Society*, 27(1), 45-5.



Keskin (Kırıkkale) çevresinin foraminifer mikropaleontolojisi

Aslı Karabaşoğlu¹ * Büşra Tezel²

¹ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar

² Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar

* Sorumlu yazar: aslik@aku.edu.tr

Özet

Kırıkkale güneyinde Keskin ve çevresinin temel kayalarını Kırşehir masifi metamorfikleri oluşturur. Ceritkale ve Hacıaliobası köylerinin çevresinde Çevirme Formasyonu'na ait birimler yer almaktadır. Çevirme Formasyonunu Eosen yaşlı kırıntılı ve karbonatlı kayalardan oluşmaktadır. Birim üstü doğru Miyosen-Pliyosen yaşlı çakıltı, kumtaşı, çamurtaşı, kireçtaşı ve ignimbritlerden oluşan İç Anadolu Grubu kayaları tarafından uyumsuz üzerlenir. Bu çalışmada Dulkadirli Kireçtaşı Üyesi detaylı çalışılmıştır. Dulkadirli Kireçtaşı Üyesi Çevirme Formasyonu ile yanal ve düşey yönde geçişli olup Nummulites ve mercan, gastropod ve bivalvia kavkaları içeren, gri renkli, orta-kalın katmanlı, kumlu-siltli ve masif kireçtaşlarından oluşur. Birim içinde *Alveolina pasticillata*, *Gyrodinella magna*, *Neorotalia vienotti*, *Valvulineria orali*, *Operculina* sp., *Ranikothalia* sp., *Sphaerogypsina* sp., *Ornatorotalia* sp., *Valvulammina* sp., *Nummulites* sp., *Textulariidae*, *Miliolidae*, *Ostrocod*, ekinit diken, alg gibi fosil topluluğu saptanmıştır. Saptanan foraminiferlerin sistematik tanımlamaları yapılmıştır. Folk ve Dunham sınıflandırmalarına göre kireçtaşları istif taşı ve bağlam taşı olarak sınıflandırılmıştır. Fosil içeriğine göre Çevirme Formasyonu'nun Eosen yaşında olduğu, iyi korunmuş denizel ortamın ürünü olduğu, kıta sahanlığı ve kıyı fasiyesini karakterize ettiği belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Kırıkkale, Keskin, Dulkadirli Kireçtaşı Üyesi, bentik foraminifer, Eosen

Foraminiferal micropaleontology of Keskin (Kırıkkale) environment

Abstract

The basement rocks of Keskin and its surroundings in the south of Kırıkkale are formed by the metamorphics of the Kırşehir massif. There are units belonging to the Çevirme Formation around the villages of Ceritkale and Hacıaliobası. Çevirme Formation consists of Eocene aged clastic and carbonate rocks. Towards the top, the unit is unconformably overlain by Central Anatolia Group rocks consisting of Miocene-Pliocene aged conglomerate, sandstone, mudstone, limestone and ignimbrites. In this study, the Dulkadirli Limestone Member was studied in detail. Dulkadirli Limestone Member is laterally and vertically transitional with the Çevirme Formation and consists of gray-coloured, medium-thick layered, sandy-silty and massive limestones containing Nummulites and coral, gastropod and bivalvia shells. Fossil communities such as *Alveolina pasticillata*, *Gyrodinella magna*, *Neorotalia vienotti*, *Valvulineria orali*, *Operculina* sp., *Ranikothalia* sp., *Sphaerogypsina* sp., *Ornatorotalia* sp., *Valvulammina* sp., *Nummulites* sp., *Textulariidae*, *Miliolidae*, *Ostrocod*, echinite spines and algae were detected in the unit. Systematic descriptions of the detected foraminifera were made. According to Folk and Dunham classifications, limestones are classified as packstone and bindstone. According to its fossil content, it has been determined that the Çevirme Formation is Eocene in age, is the product of a well-preserved marine environment, and characterizes the continental shelf and coastal facies.

Key words: Kırıkkale, Keskin, Dulkadirli Limestone member, benthic foraminifera, Eocene

1. Giriş

Çalışma alanı, Kırıkkale ili sınırları içerisinde, Keskin ilçe merkezinin yaklaşık 10 kilometre güneydoğusunda konumlanan Ceritkale Köyü ve çevresini kapsamaktadır (Şekil 1). Bu çalışmanın temel amacı, Kırıkkale ilinin güneydoğusunda yer alan ve önceki literatürde farklı araştırmacılar tarafından çeşitli stratigrafik adlarla tanımlanmış olan (Schmidt, 1960 – Çayraz Formasyonu; Kara, 1991 – Çevirme Formasyonu; Norman, 1972 – Hacıbalı Formasyonu; Oktay, 1981 – Arzılar Kireçtaşı; Kara ve Dönmez, 1990 – Ceritkale ve Meşeköy Formasyonları) Eosen yaşlı, fosilce zengin kireçtaşlarının paleontolojik içeriklerini ayrıntılı biçimde incelemek, bu birimlerin yaşlarını kesin olarak saptamak ve stratigrafik istiflerin çökelme ortamları ile fasiyes özelliklerini belirleyerek bölgesel jeolojik evrim sürecine bilimsel katkı sunmaktır.

Çalışma alanında Baykal (1943), Ankara Bölgesinde Kaledoniyen ve Hersiniyen hareketlerini incelemiştir. Sirel ve Gündüz (1976) Haymana Bölgesinde yaptığı çalışmada Nummulites türlerini saptamış ve bulundukları seviyeleri detaylandırmıştır. Çağatay ve Rüksan (1979) çalışmasında Keskin-Ankara bölgesindeki kurşun-çinko oluşumunu incelemiştir. Görmüş ve diğ., (2004), Tuz Gölü Havzasında Karapınaryaylası Formasyonu'nun stratigrafi ve foraminifer türlerini ve ortamlarını incelemiştir. Meydan (2005) çalışmasında Kırıkkale'nin doğusunda yer alan Delice-Çerikli-Salmanlı arasındaki bölgenin neotektonik özelliklerini incelemiştir. Akıncı ve Ünlügenç (2008) çalışmasında, İzmir-Ankara-Erzincan kenet zonunda bulunan bölgeyi incelemiştir. Şerifoğlu ve diğ., (2018) Kırıkkale'nin Keskin ilçesi, Dağsolaklısı köyü civarında manyetit ve hematit cevherleşmeleri için jeofizik manyetik etüdü yapılmıştır. Akoraler (2018) çalışmasında, Kırıkkale Yahşıhan çevresinde Geç Kretase döneminde, kireçtaşlarının bentik foraminifer içeriğini, biyostratigrafisini çalışmış ve paleoekolojisini yorumlamıştır.

2. Materyal ve Metot

Çalışma arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları şeklinde yürütülmüştür. Çalışma alanının 1/25 000 ölçekli jeolojik ve topoğrafik haritaları Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Müdürlüğü (Ankara)'nden elde edilmiştir. Arazi çalışmalarında Kırıkkale-Keskin ilçesi ve çevresinde yayılım gösteren kireçtaşlarından 40 adet örnek alınmıştır. Çalışma alanında gözlenen birimlerin litolojik, fosil, dokanak ilişkileri kaydedilip fotoğraflanmıştır. Alınan kireçtaşı örnekleri Maden Tetkik Arama Müdürlüğü (Ankara)'nde ince kesitleri yaptırılmış, hazırlanan örnekler mikroskop altında incelenmiş, fotoğrafları çekilmiş, kataloglar yardımıyla fosil içerikleri belirlenmiştir.

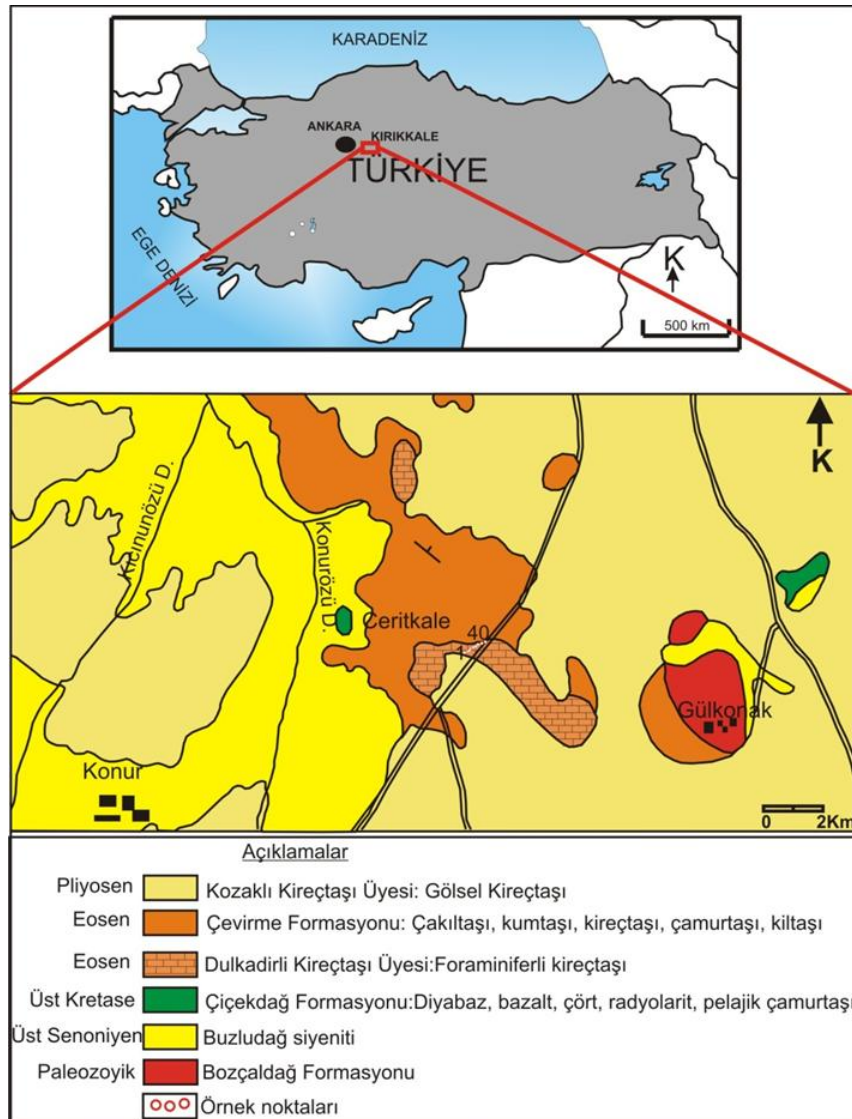
3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Çevirme Formasyonu

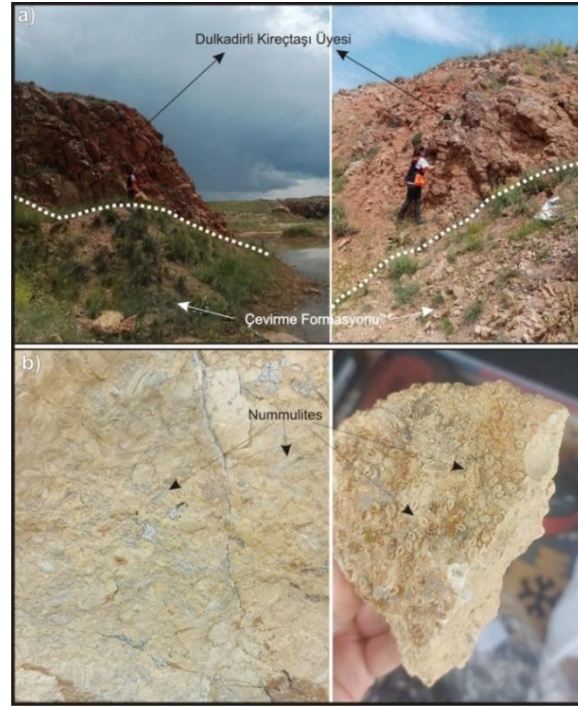
Çevirme Formasyonu ilk olarak Schmidt (1960) tarafından adlandırılmıştır. Formasyonun alt seviyeleri, tabakalanmış yapıda kahverengi, gri ve yer yer kırmızı renk tonlarında görülen çakıltaşı ve kumtaşı litolojileri ile karakterizedir. Üst bölümlerinde ise, açık gri ve gri tonlarında, iyi boylanmış, paralel tabakalanmalı kumtaşı ve silttaşları ile az miktarda ince taneli çakıltaşları yer alır. Formasyonun orta seviyelerinde ise, çoğunlukla gri renkli, masif yapılı, orta ile kalın tabakalanmalı, yer yer killi ve kumlu özellik gösteren kireçtaşı birimleri görülür. En üst seviyelerde ise türbiditik özellik taşıyan çakıltaşı ve kumtaşı ile birlikte ara seviyelerde çamurtaşı litolojileri yer almakta olup, bu birimler genellikle gri renkli ve masif yapılıdır.

3.1.1. Dulkadirli Kireçtaşı Üyesi

Kırşehir-131 paftasının batı kesiminde, özellikle Ceritkale ve çevresinde yüzeylenen kireçtaşları, içerdiği bol miktarda iri bentik foraminiferler ile birlikte bivalvia, gastropod ve mercan fosilleri açısından oldukça zengindir. Bu üye, gri renkli, orta-kalın tabakalanmalı, yer yer kumlu ve siltli seviyeler içeren kireçtaşlarının yanı sıra masif kireçtaşı seviyelerinden oluşur. Çevirme Formasyonu ile hem yanıl hem de düşey yönde geçişli bir ilişki sunar. Dulkadirli Kireçtaşı Üyesi, ilk kez Oktay (1981) tarafından tanımlanmıştır. Ateş (1995) tarafından bildirildiğine göre kalınlığı 5 ile 100 metre arasında değişmektedir. Alt dokanakta, çalışma alanının bazı kesimlerinde Orta Anadolu granitoyidleri üzerinde açılal uyumsuzlukla yer almakta, bazı alanlarda ise Dizilitaş Formasyonu ile uyumlu kantağa sahiptir. Üst dokanakta ise Oligosen yaşlı, yer yer çakıltaşı, kumtaşı ve çamurtaşı katmanları ile evaporitik kayalardan oluşan İncik Formasyonu, Dulkadirli Kireçtaşı Üyesi üzerine uyumlu olarak gelmektedir.



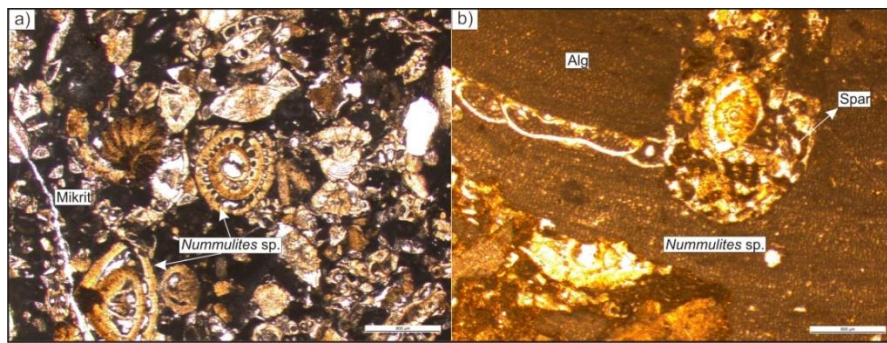
Şekil 1. Çalışma alanının yerbulduru, jeoloji (MTA, Dönmez vd., 2005) ve örnek haritası.



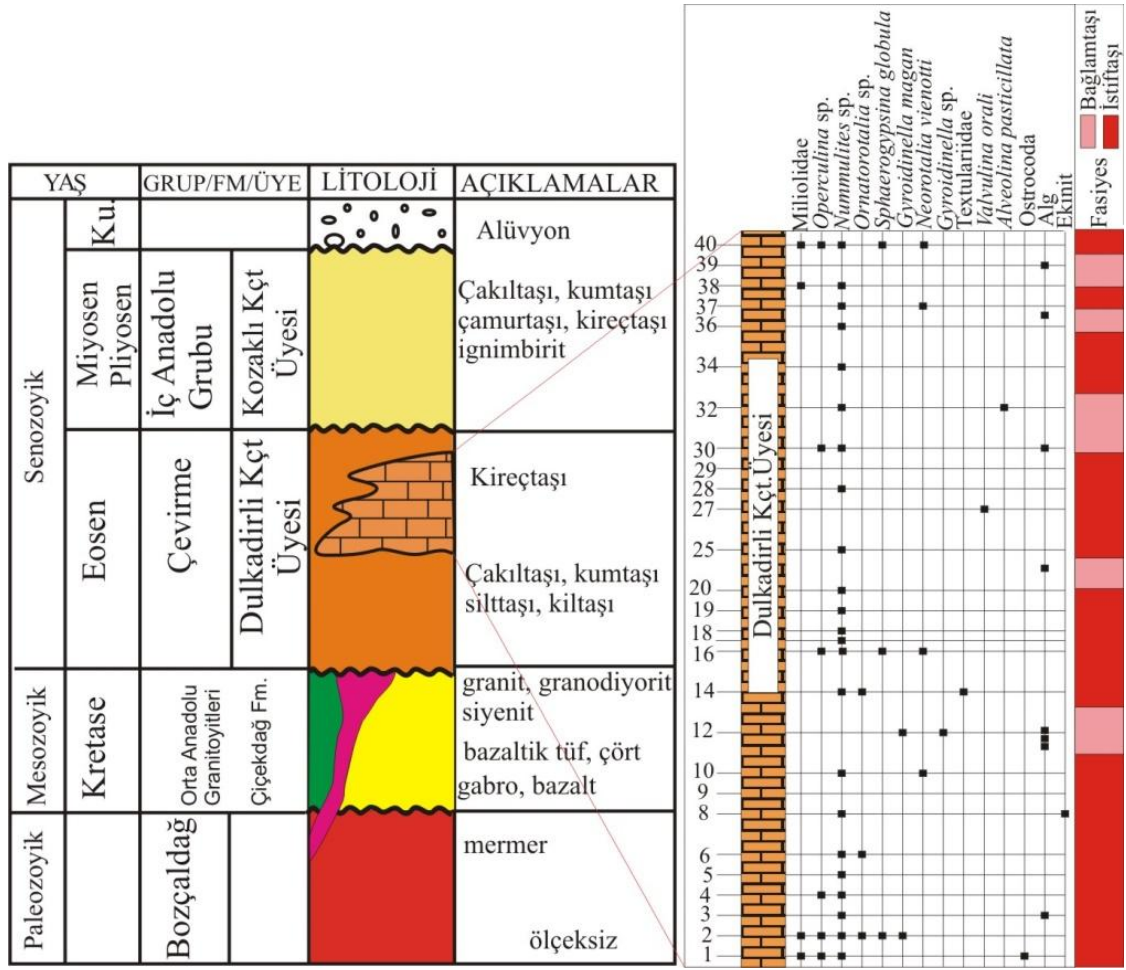
Şekil 2. a) Dulkadirli Kireçtaşı Üyesi ve Çevirme Formasyonuna ait kireçtaşlarının dokanağı, b) Dulkadirli Kireçtaşı Üyesine ait bol nummulitesli kireçtaşları (Ceritkale Köyü)

Dulkadirli Kireçtaşı Üyesinden alınan örneklerin detaylı petrografik incelemesi sonucunda, Folk (1959) ve Dunham (1962) ye göre sınıflandırılmıştır. Folk Sınıflandırmasına göre belirgin biyoklastlar ile sparit çimentosu gözlenmekte ve yer yer biyomikritler yer almaktadır Dunham sınıflandırmasına göre taneler birbirine yer yer temas etmekte ve az miktarda matriks içermektedir. Tanelerin %10'dan fazlası matriks içinde gözlenmiştir. Kayaç Dunham (1962)'ya göre biyomikrit, Folk (1959) 'e göre istif taşı olarak adlandırılır (Şekil 3a).

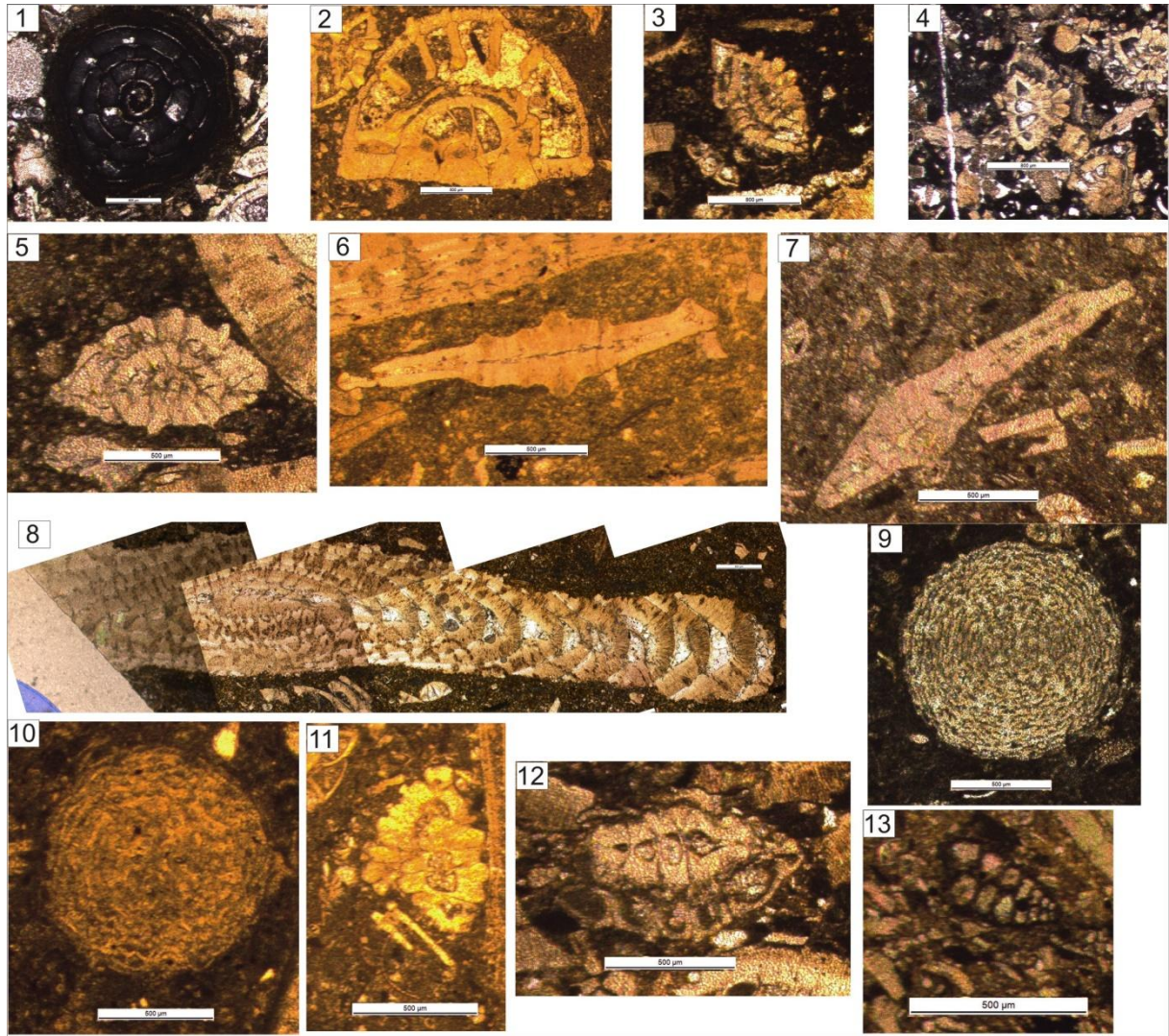
Folk Sınıflandırmasına göre kireçtaşı yersel tane destekli, mikrit aramaddelidir. İnce kesitin bazı kısımlarında tane destekli doku gözlenen kireçtaşı Dunham (1962) ye göre bağlamtaşı özelliği sunarken, Folk (1959)'e göre biyomikrit özelliği göstermektedir. Biyoklast olarak bentik foraminifer ve koralin alg gözlenmiştir (Şekil. 3b). Koralin algler ise, kalsiyum karbonat birikimi ile karakterize edilen kırmızı alglerdir. Bu algler, resif yapılarının oluşumuna katkıda bulunur ve biyoklastik tortul kayaçların önemli bir bileşen olarak gözlenmektedir (Şekil. 3b).



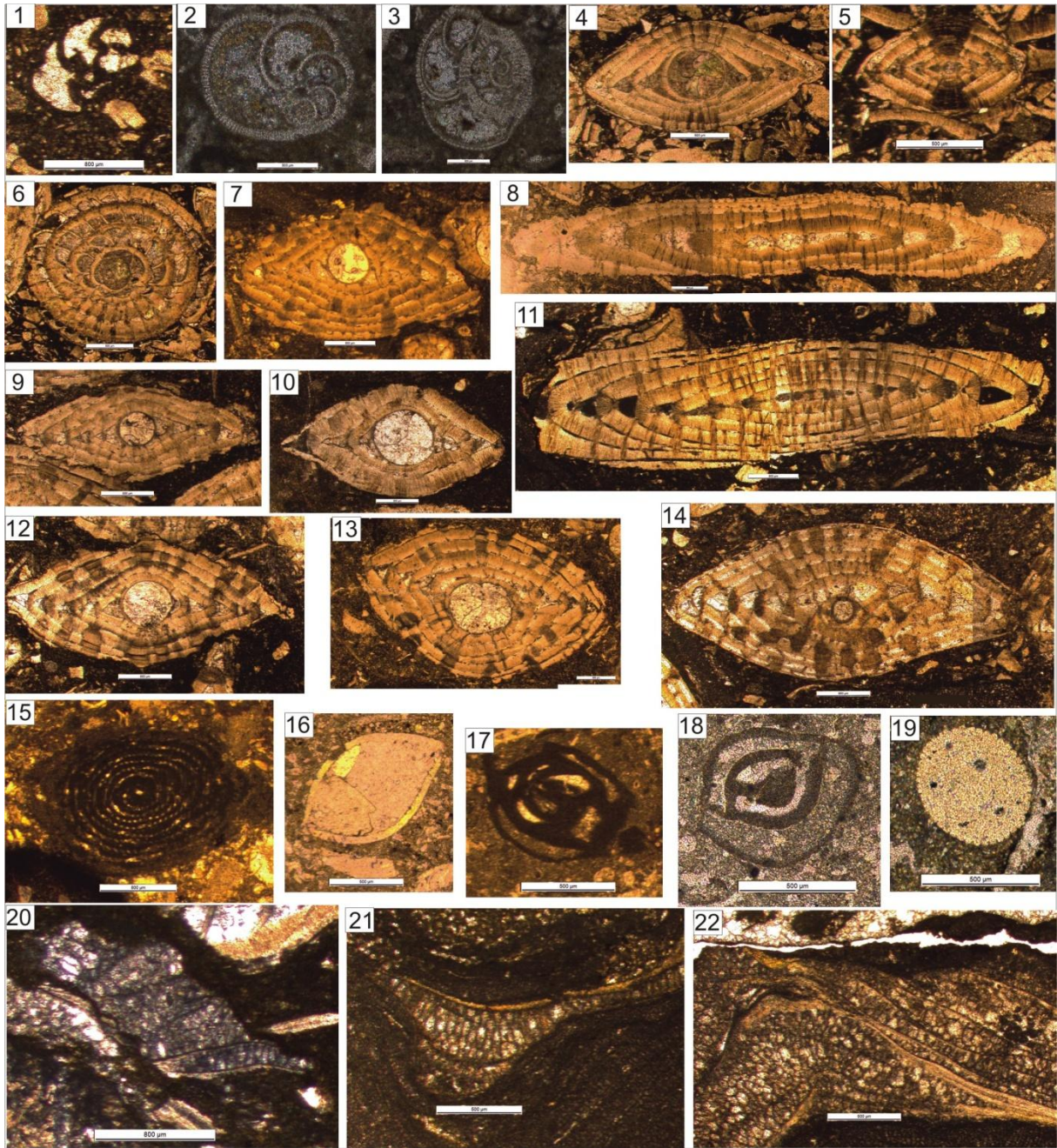
Şekil 3. a) (örnek no; G16). Dulkadirli Kireçtaşı Üyesine ait kireçtaşının içerisinde gözlenen bentik foraminifer (Dunham (1962): istiftaşı), (Folk (1959): biyomikrit), b) (örnek no; G19). Kireçtaşı içerisinde gözlenen bentik foraminifer ve koralin alg fosilleri. (Folk (1959):biyomikrit), (Dunham (1962): bağlamtaşı)



Şekil 4. Çalışma alanının genelleştirilmiş Stratigrafi Kesiti (Dönmez vd., 2005' den değiştirilerek alınmıştır) ve mikropaleontolojik fosil içeriğini ve fasiyes değişimini gösteren kesit.



Şekil 5. Dulkadirli Kireçtaşı Üyesi içinde saptanan bentik foraminiferler: 1) *Alveolina pasticillata* (Schwager, 1883), ekvatoryal kesit, (örnek no; G32.9), 2) *Gyroidinella magna* (Le Calvez, 1949), eksenel kesit, (örnek no; G2.12), 3, 4, 5) *Neorotalia viennoti* (Greig 1935), eksenel kesit, (örnek no; G10.7, G16.2, G37.1), 6, 7) *Operculina* sp., eksenel kesit, (örnek no; G4.1, G30.4), 8) *Ranikothalia* sp., eksenel kesit, (örnek no; G24.4), 9, 10) *Sphaerogypsina globula* (Reuss, 1848), eksenel kesit, (örnek no; G2.10, G2.16), 11, 12) *Ornatorotaliidae*, eksenel kesit, (örnek no; G2.15, G14.11). 13) *Textulariidae*, boyuna kesit, (örnek no; G14.5)



Şekil 6. Dulkadirli Kireçtaşı Üyesi içinde saptanan bentik foraminiferler ve mikrofosiller; 1) Gyroidinella sp, 2, 3) Valvulineria orali (İnan, 2003), oblik kesit, (örnek no; G27.1, G27.2), 4-14) Nummulites sp., aksel kesit, 6) ekvatoryol kesit, (örnek no; G10.2, G14.9, G14.10, G14.13, G19.7, G22.4, G32.10, G34.9, G36.1, G36.9, G36.12, 15) Alveolina sp. (örnek no; G20.14), aksel kesit, 16) Ostrocodina, (örnek no; G1.1), 17-18) Miliolidae, (örnek no; (G38.1, G40.11), 19) Ekinit dikenli, (örnek no; G8.2), 20-22) Koralin alg, (örnek no; G3.1, G30.5, G39.2)

4. Sonuçlar

Kırıkkale'nin güneydoğusunda, Ceritkale ve çevresinde yüzeylenen Çevirme Formasyonu, Dulkadirli Kireçtaşı Üyesi ile hem yanıl hem de düşey yönde geçişli bir ilişki sunar. Dulkadirli Kireçtaşı Üyesi, orta kalınlıkta tabakalanmış, kumlu ve siltli kireçtaşlarından meydana gelir ve içeriğinde bol miktarda bentik foraminifer, mercan, gastropod ve bivalvia kabukları barındırır. Bu araştırma

kapsamında söz konusu üyeden paleontolojik inceleme amacıyla 40 adet kaya örneği toplanmıştır. İnceleme sonucunda *Alveolina pasticilata*, *Gyroidinella magna*, *Sphaerogypsina globula*, *Neorotalia vienotti*, *Valvulina orali*, *Nummulites* sp., *Ornatorotalia* sp., *Operculina* sp., *Gyroidinella* sp., *Alveolina* sp., Textulariidae, Ornatorotaliidae ve Miliolidae gibi foraminifer cinsleri ile birlikte alg, ostrakod ve deniz keşanesi dikenlerine rastlanmıştır. Bu fosillerin sistematik tanımlamaları yapılmıştır.

Saptanan fosil topluluğu, Eosen yaşını işaret etmektedir. Özellikle Nummulites cinsine ait bireylerin bolluğu ve eşlik eden diğer denizel organizmalar, sıcak ve ısı, karbonatça zengin kıta sahanlığı (shelf) ile kıyı ortamlarını temsil eden bir ekosistemi yansıtmaktadır.

Kayaç örnekleri, Folk (1959) tarafından önerilen bileşim esaslı sınıflama sistemi ile Dunham (1962) tarafından geliştirilen doku esaslı sınıflamaya göre değerlendirilmiştir. Buna göre, örnekler bağlamtaşı (boundstone) ve istiftaşı (packstone) olarak sınıflandırılmıştır. Bağlamtaşı birimleri genellikle ısı ve yüksek enerjili bir ortama işaret ederken, istiftaşı daha sakin ve nispeten derinleşen deniz koşullarını göstermektedir. Bu litofasiyeslerin dağılımı, Eosen döneminde bölgedeki deniz seviyesi değişimlerini yansıtmaktadır.

Kaynaklar

- Akıncı, A., Ünlüenç, U. C., (2008). Yahşıhan (Kırıkkale) Civarının Tektono-Stratigrafisi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 84, Adana.
- Akoraler, H., (2018). Maliboğazi-Tilkiköy (Kalecik, Ankara) Ve Irmak (Kırıkkale) Çevrelerindeki Üst Kretase Çökellerinin Bentik Foraminiferleri, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 155, Ankara.
- Ateş, A. (1995). Kırıkkale, Keskin ve Çevresinin Havadan Manyetik Anomalilerinin İncelenmesi, TMMOB, Jeofizik Mühendisleri Odası, Jeofizik 9-10, 35-40.
- Baykal, F., (1943). Kırıkkale-Kalecik ve Keskin-Bala mıntıkasındaki jeolojik etütler, MTA Rap. No: 1448 (yayınlanmamış), Ankara.
- Çağatay, A., Rüksan, T., (1979). Vitişenit Minerali içeren Keskin -Karamağara Kurşun-Çinko Zuhurunun Mineralojisi ve Köken, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni., C. 22, 203-208, Ankara.
- Dönmez, M., Bilgin, Z.R., Akçay, A.E., Kara, H., Yergök, A.H., Esentürk, K. (2005). 1/100.000 ölçekli açın-sama nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları serisi, Kırşehir-İ31 paftası, No: 46, MTA, Ankara.
- Dunham, R.J. (1962). Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: W.E. HAM (ed.) Classification of Carbonate Rocks.-American Association of Petroleum Geologists Memoir 1,108-121; Tulsa, Ok.
- Folk, R. L., (1959). Practical petrographic classification of limestones: AAPG Bulletin, v. 43, p. 1-38.
- Görmüş, M., Yıldız, M., Bozkurt, A., Hakyemez, A. (2004). Tuz Gölü Havzası'nın (Tuz Gölü, Orta Türkiye) Paleosen-Eosen Foraminiferleri Ve Ortamsal Yorumlar, MTA Derg., 173- 107-151, Ankara.
- Greig, D. A. (1935). Rotalia viennoti, an important foraminiferal species from Asia Minor and western Asia. Journal of Paleontology, 9(6): 523-526.
- İnan, N. (2003). Coccarota orali n.sp. (Foraminifera) from Upper Maastrichtian-Lower Lutetian deposits of Turkey. Micropaleontology 49: 201-204.
- Kara H., (1991). 1/100.000 ölçekli açın-sama nitelikli Türkiye jeoloji haritaları serisi, Kırşehir-G 18 paftası, No: 37, MTA, Ankara.
- Kara, H. ve Dönmez, M., (1990). 1/100.000 ölçekli açın-sama nitelikli Türkiye jeoloji haritaları serisi, Kırşehir-G 17 paftası, No: 34, MTA, Ankara.
- Le Calvez, Y. (1949). Révision des foraminifères lutétiens du Bassin de Paris II, Rotaliidae et familles affines. Mémoires pour servir à l'explication de la carte géologique détaillée de la France. 1-53.

- Meydan, M., 2005, DelicÇerikli-salmanlı (Kırıkkale) Arasındaki Bölgenin Neotektoniği ve Depremselliği, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 57, Ankara.
- Norman, T., (1972). Ankara Yahşihan bölgesinde Üst Kretase-Alt Senozoyik istifinin stratigrafisi, TJKurultayı Bülteni, XV, 2, 180-276.
- Okta, F. Y., (1981). Savcılı-Büyükoba (Kaman) çevresinde Orta Anadolu masifi tortul örtüsünün jeolojisi ve sedimantolojisi, İTÜ Maden Fak., (Yayımlanmamış Doçentlik Tezi), İstanbul.
- Reuss, A. E., (1848). Die fossilen Polyparien des wiener Tertiärbeckens, Naturwissenschaftliche Abhandlungen, Wien 2 (1): 1-109.
- Schmidt, C. C., (1960). AR/MEM/ 365-366 -367 sahalarının nihai terk raporu, Pet. İş. Gn. Müd. (yayımlanmamış), Ankara.
- Schwager, C. (1883). Die Foraminiferen aus den Eocaenablagerungen der libyschen Wüste und Aegyptens. Palaeontographica, 30: 79-153.
- Sirel, E., Gündüz, H., (1976). Haymana (G Ankara) yöresi llerdiyen, Küziyen ve Lütisiyen'deki Nummulites, Assilina ve Alveolina cinslerinin bazı türlerinin tanımlamaları ve stratigrafik dağılımları, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni., c. 19, 31-44, Ankara.
- Şerifoğlu, B., Necdet, A., Burak, K., (2018). Keskin (Kırıkkale) Dağsolaklısı Cıvanı Demir Madeni Jeofizik – Jeoloji Araştırmaları Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni., 25: 45-56, Ankara.



Kastamonu kuzeydoğusu Mesozoyik yaşlı kayaçların foraminifer mikropaleontolojisi

Aslı Karabaşoğlu^{1*} ve Tuğçe Ayşe Kuzu²

¹ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar

² Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar

* Sorumlu yazar: aslik@aku.edu.tr

Özet

Mesozoyik yaşlı Yaralıgöz Grubu; Bürnük, İnaltı ve Ulus formasyonlarından meydana gelmektedir. Bu formasyonlar hem yatay hem de düşey yönde geçişli olup birbiriyle uyumlu bir şekilde istiflenmiştir. Grubun tabanında bulunan Bürnük Formasyonu, genellikle kırmızı renkli karasal konglomera, kumtaşı ve şeyl ardalanmasıyla karakterize edilir. Ulus Formasyonu ise filiş fasiyesinde gelişmiş olup kumtaşı ve şeyl ardalanmasından oluşmaktadır. İnaltı Formasyonu ise sığ denizel platform ortamında çökelmiş kireçtaşlarını içermektedir. Bu çalışmada, İnaltı Kireçtaşı Formasyonu içinde tespit edilen foraminifer topluluğu; *Mohlerina basiliensis*, *Crescentiella morronensis*, *Anchispirocyclina lusitanica*, *Trocholina delphiensis*, *Trocholina elongata*, *Freixialina planispiralis*, *Kastamonina abanica*, *Protopeneroplis striata*, *Coscinoconus alpinus*, *Troglotella incrustans*, *Meandrospira* sp., *Haplophragmoides* türleri ile temsil edilmektedir. Ayrıca *Radiomura cautica*, *Terebella lapilloides*, *Bacinella irregularis*, *Lithocodium aggregatum*, *Paleodasycladus mediterraneus* ve *Salpingoporella* türü algler de belirlenmiştir. Bu fosil topluluğuna dayanarak, İnaltı Formasyonu'nun Kimmerisiyen-Berriasiyen yaş aralığında oluştuğu değerlendirilmektedir. Formasyonun, sığ deniz ortamından gelgit etkili masif karbonatlara geçişi yansıtan bir çökeltme ortamını temsil ettiği söylenebilir.

Anahtar kelimeler: Kastamonu, Yaralıgöz Grubu, Jura, karbonat, foraminifer

Foraminiferal micropaleontology of Mesozoic rocks northeast of Kastamonu

Abstract

Mesozoic Yaralıgöz Group; It consists of Bürnük, İnaltı and Ulus formations. These formations are transitional in both horizontal and vertical directions and are stacked harmoniously with each other. The Bürnük Formation, located at the base of the group, is generally characterized by an alternation of red-coloured continental conglomerate, sandstone and shale. Ulus Formation, on the other hand, developed in flysch facies and consists of sandstone and shale alternation. İnaltı Formation contains limestones deposited in a shallow marine platform environment. In this study, the foraminiferal assemblage identified within the İnaltı Limestone Formation is represented by *Mohlerina basiliensis*, *Crescentiella morronensis*, *Anchispirocyclina lusitanica*, *Trocholina delphiensis*, *Trocholina elongata*, *Freixialina planispiralis*, *Kastamonina abanica*, *Protopeneroplis striata*, *Coscinoconus alpinus*, *Troglotella incrustans*, species of *Meandrospira*, and *Haplophragmoides*. In addition, algal taxa such as *Radiomura cautica*, *Terebella lapilloides*, *Bacinella irregularis*, *Lithocodium aggregatum*, *Paleodasycladus mediterraneus*, and species of *Salpingoporella* were also recorded. Based on this fossil assemblage, the İnaltı Formation is interpreted to have been deposited during the Kimmeridgian–Berriasian interval. It is suggested that the formation

represents a depositional environment transitioning from shallow marine settings to tidal-influenced massive carbonates.

Keywords: Kastamonu, Yaralıgöz Group, Jurassic, carbonate, foraminifera

1. Giriş

Bu çalışma, Türkiye'nin önemli tektonik kuşaklarından biri olan Batı Karadeniz Bölgesi'nde, Kastamonu ili ve çevresini kapsayan alanda gerçekleştirilmiştir. Başlangıçta yüksek lisans projesi kapsamında başlatılan bu çalışma kapsamında, Mesozoik yaşlı birimler ayrıntılı jeolojik arazi gözlemleriyle tanımlanmış; özellikle biyostratigrafik analizler açısından elverişli ve litolojik özelliklerin en iyi gözlemlenebildiği kesimlerden ölçüler alınarak örneklemeler yapılmıştır.

Kastamonu yöresine yönelik daha önceki çalışmalar ağırlıklı olarak bölgenin genel jeolojisi, petrol jeolojisi, metamorfik yapıları ve metalik maden potansiyelinin incelenmesine odaklanmıştır (Yılmaz & Tüysüz, 1984; Aydın vd., 1986; Boztuğ, 1992; Barkurt vd., 1990; Şengün vd., 1990; Aydal, 2000; Göncüoğlu vd., 2014). Bununla birlikte, paleontolojik içerikli araştırmalar oldukça sınırlı kalmıştır (Dizer, 1953; Tunoğlu & Ertekin, 2005; Tunoğlu & Bardet, 2006; Özgen-Erdem vd., 2005).

Bu çalışma ile Batı Karadeniz'deki Jura yaşlı kireçtaşlarının paleontolojik içeriğinin ayrıntılı biçimde ortaya konulması ve önceki araştırmalarda yalnızca genel olarak belirtilen çökeltme zamanlarının detaylı olarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında üç stratigrafik kesit ölçülmüş ve paleontolojik analizler için toplam 100 kireçtaşı örneği alınmıştır.

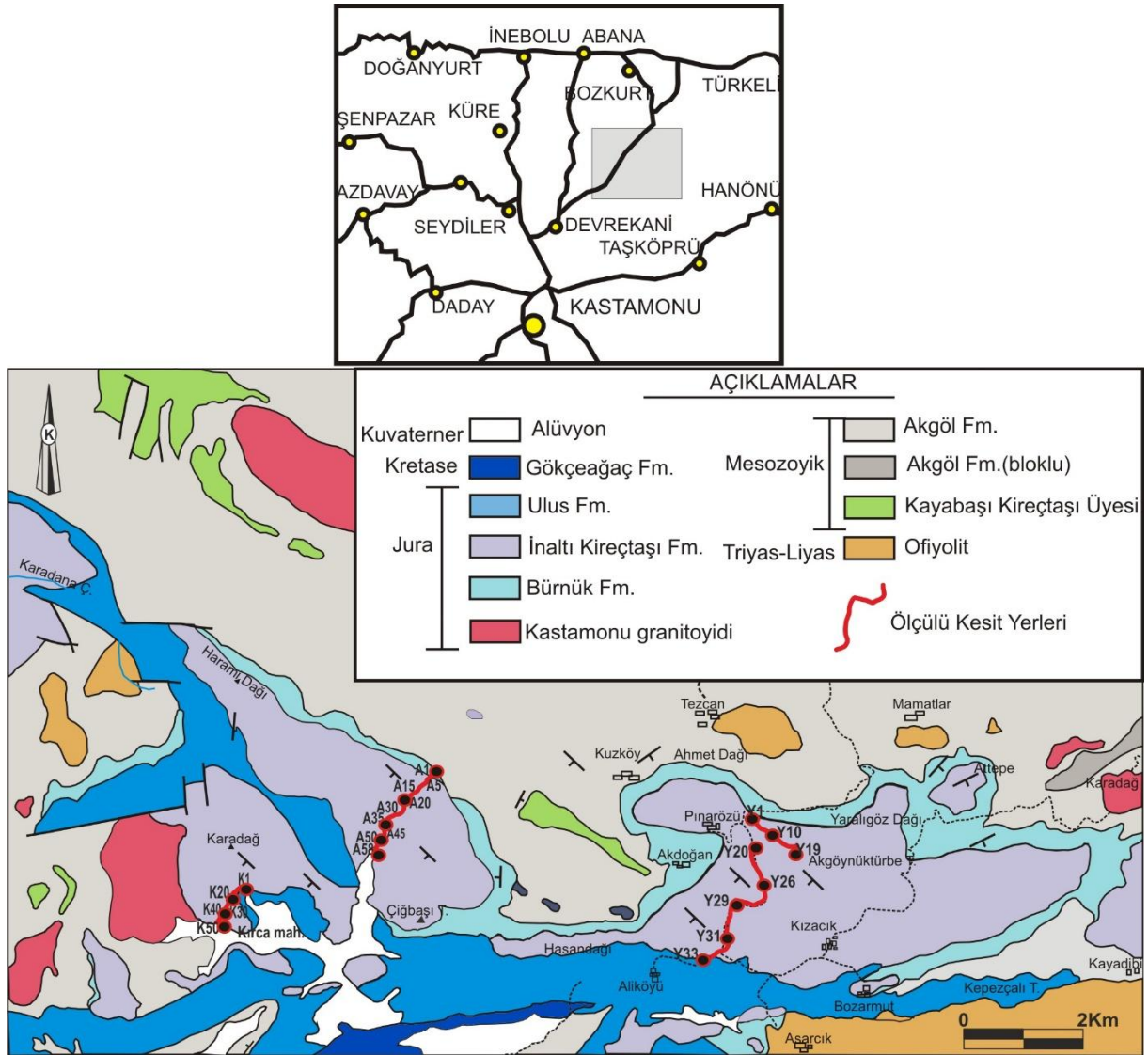
2. Materyal ve Metot

Çalışma alanını içine alan 1/100 000 lik ve 1/25 000 lik topoğrafik ve jeolojik haritalar Maden Tetkik Ve Arama Enstitüsü Müdürlüğünden (Ankara) elde edilmiş, arazi gözlemleriyle belirlenen lokasyonlardan ölçülü stratigrafik kesitler ve nokta örneklemeler yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında 100 adet örneğin ince kesiti Maden Tetkik Ve Arama Enstitüsünde yaptırılmış ve paleontolojik tayinler için mikroskopta incelenmiştir. İncelemelerde Leica marka DM/LSP model polarizan mikroskop kullanılmıştır. Mikroskopta incelenen fosillerin fotoğrafları çekilmiş ve kataloglar yardımıyla tayinleri yapılmıştır.

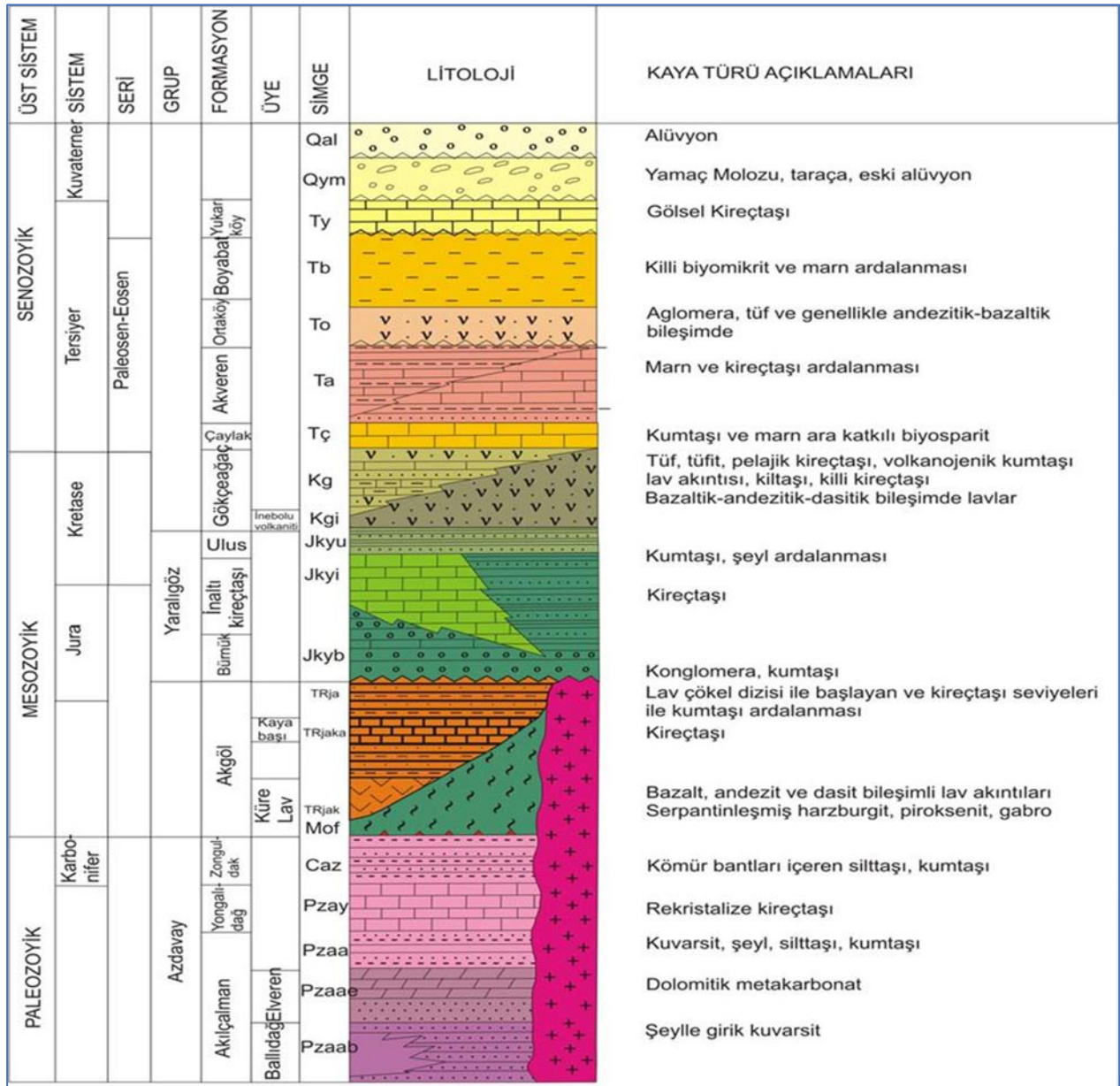
3. Bulgular

Çalışma alanının temelini Paleozoyik yaşlı birimler oluşturur. İstanbul Napı olarak adlandırılan bu birimler (Şengör ve diğerleri, 1980) kıtasal kabuğa ait birimler olup Ballıdağ, Devrekani, Araç kuzeybatısı ve Söğütözü yörelerinde Erken Döğ' de, okyanusal-denizel Triyas-Liyas birimleri üzerine güneyden kuzeye itilmiş durumdadır (Aydın ve diğerleri, 1986).

Yaralıgöz Grubu, ilk olarak Yılmaz (1979) tarafından tanımlanmıştır. Bu grup, stratigrafik olarak alttan üste doğru ve yanal yönde geçişli şekilde Bü rnük, İ naltı Kireçtaşı ve Ulus formasyonlarından meydana gelir (Şekil 1). Bü rnük Formasyonu genel olarak karasal ve sığ denizel ortamlarda çökeltmiş kırıntılı kayaçlarla temsil edilirken; İ naltı Kireçtaşı, karbonatlı birimleri içerir. Ulus Formasyonu ise tipik olarak filiş karakterinde litolojilerden oluşmaktadır. Bu üç formasyonun her biri, Liyas öncesine tarihlenen temel kayaçlar üzerine aşıl bir uyumsuzlukla gelmektedir. Bölgede ayrıca Akgöl Formasyonu, Kastamonu granitoyidi ile daha yaşlı birimler üzerine post-tektirik olarak yerleşmiş olup, stratigrafik olarak üst seviyelerde Gökçeagaç Formasyonu ile geçişli bir özellik göstermektedir (Şekil 2), (Altun vd., 1990).



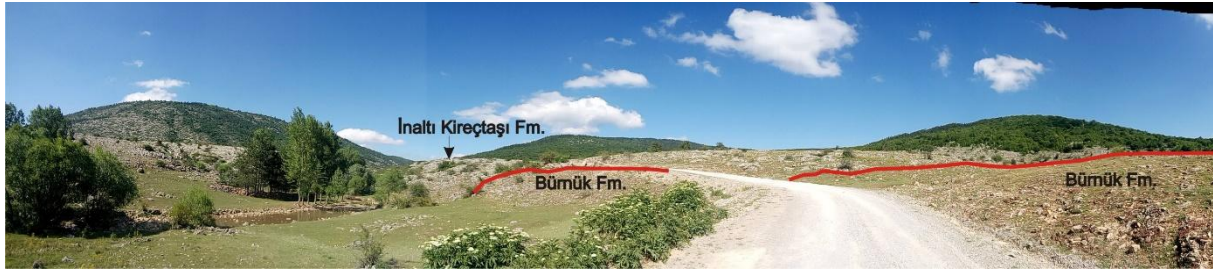
Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru ve jeoloji haritası



Şekil 2. Kastamonu-E31 paftasının geliştirilmiş stratigrafi kesiti (Şengün ve diğ.,1988)

3.1. Bürnük Formasyonu

Şamalı Köyü, Karancık Deresi, Börümce Güneyi, Büyükkaya Tepe, Geriş Tepe, Ahlatçık Köyü dolaylarında gözlenmektedir. Birim Ketin ve Gümüş (1962) tarafından adlandırılmıştır. Kastamonu granitoyidi ve diğer Liyas öncesi temel üzerinde uyumsuzlukla duran konglomera, konglomeratik kumtaşı ve yer yer kireçtaşı ara katkılarında oluşur. Konglomeralar genellikle polijenik olup granitik, metamorfik, volkanik kayaç parçaları kapsar. Kırmızı rengin egemen olduğu bu karasal çökellerde boylanma oldukça kötüdür. Bürnük formasyonu karasal, deltaik ve sığ denizel ortamlarda çökelmiş olup platformda İnaltı kireçtaşları ve Ulus Formasyonu ile eş zamanlı olarak çökelmiştir. Altun ve diğ. (1990) a göre birimin yaşı Jura'dır.



Şekil 3. Saraydurak kuzeybatısı Bürnük Formasyonu ve İnaltı Kireçtaşı Formasyon sınırı

3.2. İnaltı Kireçtaşı Formasyonu

Birim Harami Dağı, Kaba Dağ, Tezgahtanı Dağı ve Yaralığöz Dağı çevresinde mostra vermektedir (Şekil 4). Ketin ve Gümüş (1962) tarafından adlandırılmıştır. Gri renkli, orta ve kalın katmanlı bol kavkı parçaları içeren kireçtaşlarından oluşur. Birim önceki çalışmalarda genellikle nokta örnek alınarak incelenmiş ve farklı yaşlar kullanılmıştır. Altun ve diğ. (1990) a göre Üst Jura-Neokamien yaşlıdır. Yılmaz (1980)'e göre birim Üst Jura-Alt Kretase olarak yaşlandırılmıştır. Tunoğlu (1992)' ye göre Tithoniyen-Berriaziyen yaşındadır.

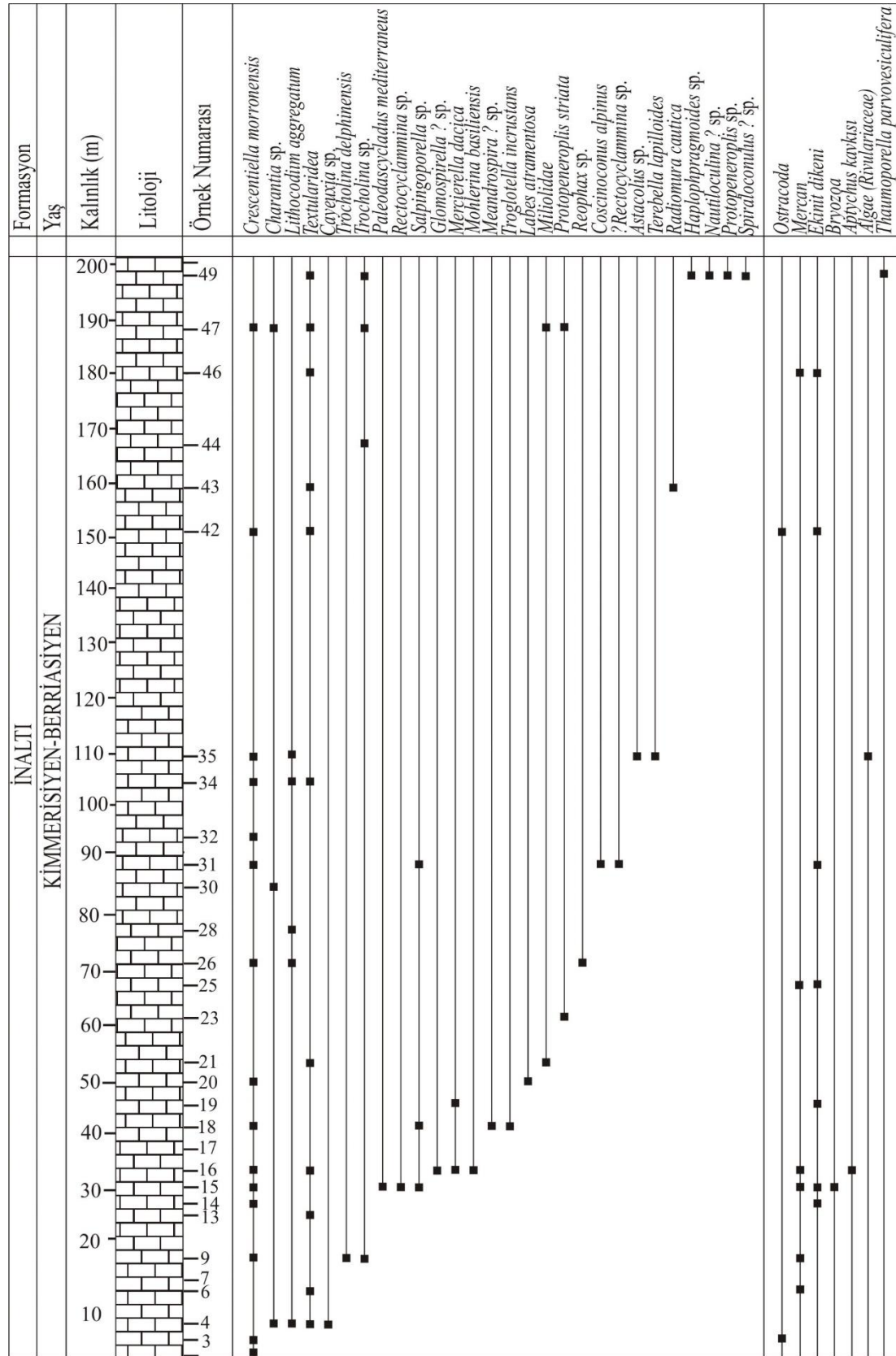


Şekil 4. a), b), c) İnaltı Kireçtaşı Formasyonu arazi görünümü, Kırca mahallesi

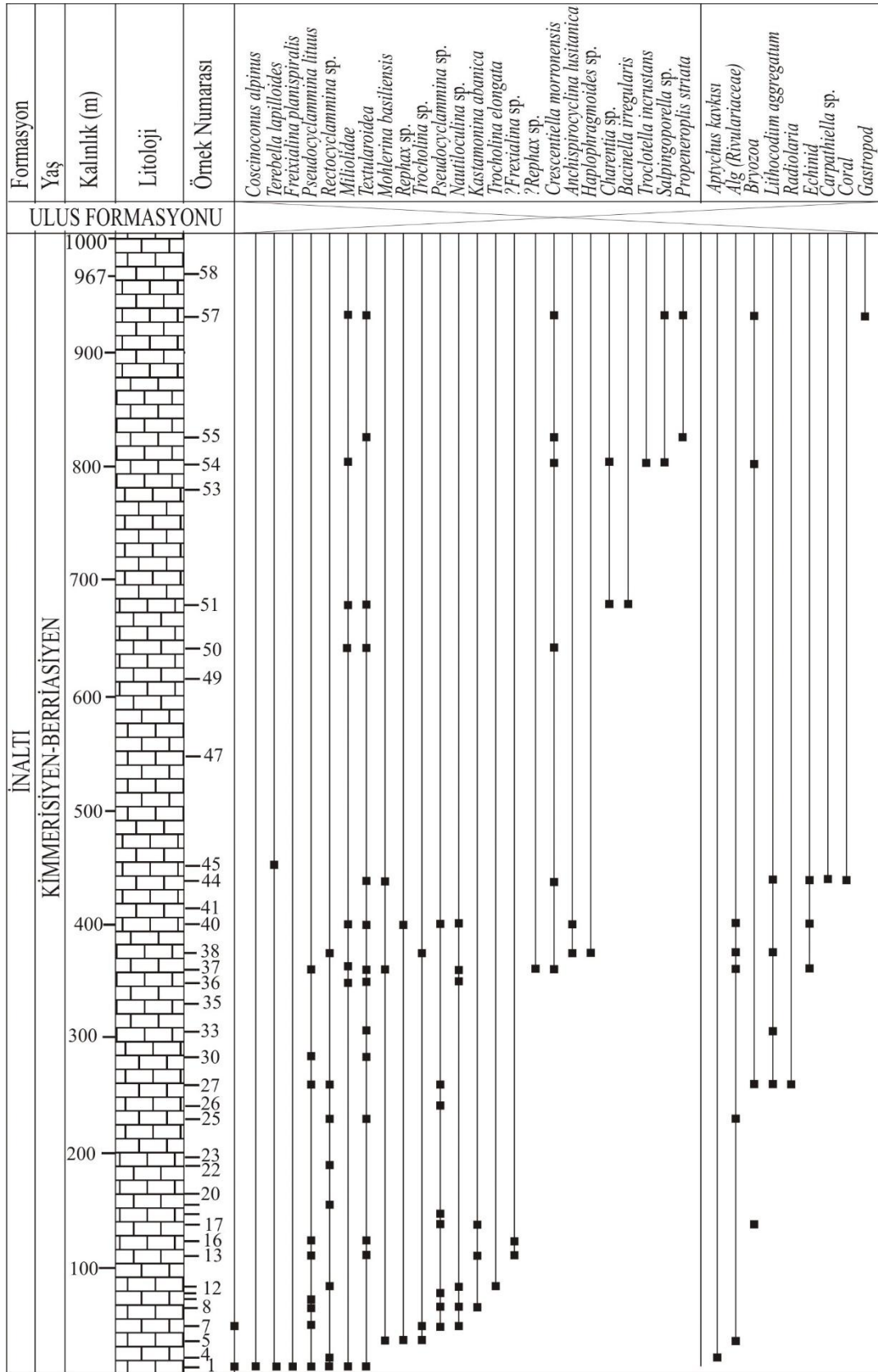
3.3. Ulus Formasyonu

Akyol ve arkadaşları (1974) tarafından tanımlanmıştır. Daha önce Göktunalı (1955), bu birimi ayrıntılı olarak incelemiş ve "Üst fliš" terimiyle tanımlamıştır. Formasyon, ardalanmalı kumtaşı ve kıltaşı düzeylerinden oluşmakta olup, kumtaşları genellikle kahverengi ve gri renkte olup türbiditik özellik göstermektedir (Altun vd., 1990).

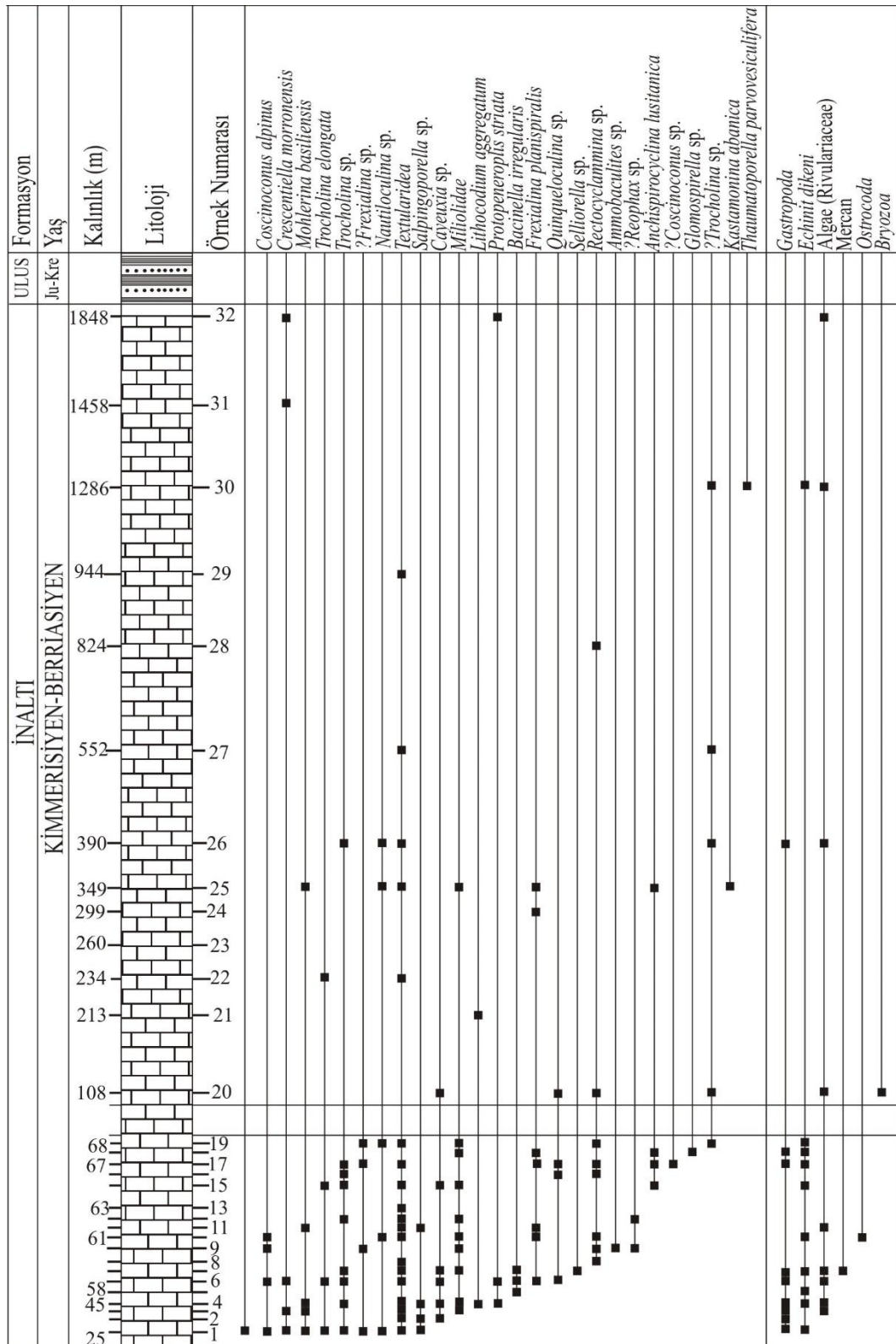
Litostratigrafik olarak altta yer alan İnaltı Kireçtaşı ile yukarıda bulunan Gökçeabaç Formasyonu arasında geçişli bir konumda yer alır. İçerdiği fosil topluluğu, İnaltı Kireçtaşı ile benzerlik göstermektedir ve bu formasyonun kuzeydeki yanıl eşleniği olarak değerlendirilir (Altun vd., 1990). Ulus Formasyonu'nun, Proto-Karadeniz'in kuzeye eğimli çökellerle dolmuş yamaç kesimlerinde oluştuğu düşünülmektedir.



Şekil 5. Kırca Ölçülü Stratigrafik Kesiti (İnaltı Formasyonu)



Şekil 6. Alçılar Ölçülü Stratigrafik Kesiti



Şekil 7. Yaralıgöz ölçülü stratigrafik kesiti

4. Sonuçlar

1. Bu çalışmada Yaralıgöz Grubuna ait kayaçlardan üç stratigrafik kesit ölçülmüş ve toplam 100 tane ince kesit örneği alınmıştır. Mesozoyik karbonatları ilk kez bu çalışmada detaylı örneklenmiş ve çalışılmıştır. Bu çalışma ile 18 tür ve 22 cins saptanmış, fotoğrafları çekilmiş ve levhaları hazırlanmıştır.

2. Yaralıgöz Grubu 3 üyeden oluşmaktadır. Bürnük Formasyonu genellikle kırmızı rengin hakim olduğu karasal çökellerden oluşmuştur ve jura yaşlıdır. İnaltı kireçtaşı Formasyonu gri renkli, orta kalın katmanlı bol kavkı parçaları içeren kireçtaşlarından oluşur ve Kimmerisiyen-Titoniyen yaşlıdır. Ulus Formasyonu filiş fasiyesinde kumlu, killi kayaçlardan oluşmuş ve Alt Kretase yaşlıdır. Tüm üyeler birbiriyle yanal yönde geçişli durumdadır.

3. Paleontolojik tayinlerde Orta Jura'yı temsil eden ya da biyozon oluşturan foraminifere rastlanmamıştır. Ayrıca derin deniz platformu koşullarını temsil eden fosillere de rastlanmamıştır.

4. Orta-Batı Karadeniz bölgesi olan Pontidlerde yayılım sunan, ve önceki çalışmalarda Jura-Kretase olarak geniş zaman aralıklarında çökeldiği belirtilen kireçtaşlarının, yaşlarının Kimmerisiyen-Berriasiyen olduğu saptanmıştır. Saptanan fosillerden örneğin *Crescentiella morronensis*, *Bacinella irregularis* 'in genellikle çimento destekli resifleri temsil ettiği ve beraberindeki diğer bentik foraminiferlerin sıg sudan gelgit masifine doğru geçiş ortamlarını temsil ettiği söylenebilir.

Teşekkür

Bu çalışma Afyon Kocatepe Üniversitesi 18.FEN.BİL.45 no'lu BAP projesi tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Cide Kuruçayı dolaylarının jeoloji haritası. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü. Türkiye Büyük Ölçekli Jeoloji Haritaları Servisi.
- Altun, E., Şengün, M, Keskin, H, Akçören, F, Sevin, M, Deveciler, E, ve Akat, U, (1990). 1/100.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, Kastamonu-B17 Paftası. MTA, Ankara.
- Aydal, D., (2000). Araç Masifi'nin jeodinamik süreçleri, Batı Pontidler, Kastamonu, Türkiye, Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 122, 73-94.
- Aydın, M., Şahintürk, Ö., Serdar, H.S., Özçelik, Y., Akarsu, İ., Üngör, A., Çokuğraş, R., ve Kasar, S., (1986). Ballıdağ-Çangaldağı (Kastamonu) arasındaki bölgenin jeolojisi. TJK Bülteni, 29, 1-16.
- Barkurt, M.Y., Bilginer, E., Pehlivan, Ş., Örcen, S., Can, B., Dağ, Z., Bilgi, C., Karabıyıkoglu, M., Suer, T., (1990). Kastamonu-Araç ve güneyinin jeolojisi. MTA Rapor No. 9079.
- Boztuğ, D., (1992). Daday-Devrekani masifi güneybatı kesiminin litostratigrafi birimleri ve Tektoniği. MTA Dergisi 114, 1-20.
- Dizer, A.(1953). Kastamonu nummulitiğinin paleontolojik etüdü. İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Mecmuası, B, 18/3-4, 207-299.
- Göktunalı, K., (1955). Devrekani-Daday-Küre ilçeleri arasında kalan Ağlıpazarı- Seydiler bölgesi hakkında jeolojik rapor. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Rapor No: 2533, Ankara (yayınlanmamış).
- Göncüoğlu, M.C., Marroni, M., Pandolfi, L., Ellero, A., Ottria, G., Catanzariti, Tekin, U.K., Sayit, K., (2014). The Arkot Dağ Mélange in Araç area, central Turkey: Evidence of its origin within the geodynamic evolution of the Intra-Pontide suture zone. Journal of Asian Earth Sciences 85, 117-139.

- Ketin, İ., Gümüş, O. (1962). Sinop, Ayancık ve güneyinde, 3. Bölgeye dahil sahaların jeolojisi hakkında rapor, TPAO Arama Grubu, rapor no. 213, Ankara (yayımlanmamış)
- Özgen-Erdem, N., İnan, N., Akyazı, M. and Tunoğlu, C. (2005). Benthonic foraminiferal assemblages and microfacies analysis of Paleocene-Eocenecarbonate rocks in the Kastamonu region, Northern Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 25 (3), 403-417.
- Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y. ve Ketin, İ. (1980). Remnants of Pre-Late Jurassic Ocean in Northern Turkey: Fragments of Permian-Triassic Paleo-Tethys?: *Geol. Soc. Amc. Bull.*, 1/91, 599-609.
- Şengün, M., Akçören F., Keskin, H., Akat, U., Altun, İ.E., Deveciler, E., Sevin, M. (1988). Daday-Kastamonu-İnebolu Yöresinin Jeolojisi. MTA, Derleme Rapor No: 8994, Ankara (yayınlanmamış).
- Şengün, M., Keskin, H., Akçören, F., Altun, İ., Sevin, M., Akat, U., Armağan, F., Acar, Ş. (1990). Kastamonu yöresinin jeolojisi ve Paleotetis'in evrimine ilişkin jeolojik sınırlamalar. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 33, 1-16.
- Tunoğlu, C., (1992). Devrekani Havzası (Kastamonu kuzeyi) Üst Jura-Alt Kretase yaşlı karbonat istifinde mikrofasiyes analizleri, *T.P.J.D. Bült. C 3/1*, 75-86.
- Tunoğlu, C., Ertekin, İ.K. (2005). Kretase - Paleosen yaşlı Davutlar formasyonunun (Devrekani/Kastamonu) ostrakoda biyostratigrafisi ve kronostratigrafisi. TÜBİTAK-YDABAG Projesi:101Y013 (yayımlanmamış).
- Tunoğlu, C., Bardet, N. (2006). *Mosasaurus hoffmanni* Mantell, 1829: Türkiye'de, Geç Kretase dönemine ait ilk deniz sürüngeninin keşfi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 49(1), 11-24.
- Yılmaz, O., (1979). Daday-Devrekani masifi Kuzeydoğu kesimi metamorfik petrolojisi, Tez, Hacettepe Üniv. Ankara, 176 s.
- Yılmaz, O. (1980). Daday-Devrekani masifi kuzeydoğu kesimi litostratigrafi birimleri ve tektoniği. *Yerbilimleri*, 5-6, 101-135.
- Yılmaz, Y., Tüysüz, O. (1984). Kastamonu-Boyabat-Vezirköprü-Tosya arasındaki bölgenin jeolojisi, MTA derleme no.7838. Ankara (yayımlanmamış).



Makine Öğrenmesi Teknikleri ile Yazılım Gereksinimlerinin Sınıflandırılması

Ayten Zeray ^{1*}, Ekrem Sivrikaya ², Ahmet Furkan Gazioğlu ³ ve Caner Balım ⁴

¹ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Anabilim Dalı, Afyonkarahisar

² Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Anabilim Dalı, Afyonkarahisar

³ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Afyonkarahisar

⁴ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yazılım Mühendisliği, Afyonkarahisar

* Sorumlu yazar: azeray@aku.edu.tr

Özet

Yazılım geliştirme süreçlerinin başarısında yazılım gereksinimlerinin çıkarımına yeteri kadar süre ayrılması ve doğru gereksinimlerin tanımlanması oldukça önemlidir. Gereksinimlerin belirlenirken maddelerin fonksiyonel ve fonksiyonel olmayan olarak sınıflandırılması projelerin doğru planlanması ve uygulanabilirliğine katkı sağlamaktadır. Bu sınıflandırma süreci çoğu zaman manuel olarak gerçekleştirilmekte, tecrübesiz kişiler ve subjektif yorumlamalar nedeniyle projesi başarısını etkileyebilecek sonuçlara neden olabilmektedir. Bu çalışmada, yazılım gereksinimlerinin otomatik olarak sınıflandırılması amacıyla makine öğrenmesi ve doğal dil işleme teknikleri kullanılarak bir model önerilmiştir. Girdi olarak kullanılan yaklaşık 1000 gereksinim tanımlaması önceden eğitilmiş çok dilli Sentence-BERT modeli aracılığıyla vektörleştirilmiş ve Random Forest, Destek Vektör Makineleri (SVM) ve Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP) algoritmalarıyla sınıflandırılmıştır. Beş katlı çapraz doğrulama ile yapılan deneysel sonuçlar, en yüksek doğruluğun %95,66 ile SVM modeli tarafından elde edildiğini göstermiştir. Elde edilen bulgular önerilen yöntemin gereksinim mühendisliği süreçlerini destekleyerek doğruluğu artırabileceğini ve insan hatasını azaltabileceğini ortaya koymaktadır.

Anahtar kelimeler: doğal dil işleme, gereksinim mühendisliği, transfer öğrenme, metin sınıflandırma, yazılım mühendisliği

Classification of Software Requirements with Machine Learning Techniques

Abstract

In the success of software development processes, it is very important that sufficient time is allocated to the extraction of software requirements and that the correct requirements are defined. The classification of items as functional and non-functional while determining the requirements contributes to the correct planning and implementation of the projects. This classification process is often carried out manually and may cause results that may affect the success of the project due to inexperienced people and subjective interpretations. In this study, a model for automatic classification of software requirements is proposed using machine learning and natural language processing techniques. Approximately 1000 requirements descriptions used as input are vectorised through a pre-trained multilingual Sentence-BERT model and classified by Random Forest, Support Vector Machines (SVM) and Multilayer Perceptron (MLP) algorithms. The experimental results with five-fold cross-validation

showed that the highest accuracy was obtained by the SVM model with 95.66%. The results show that the proposed method can improve accuracy and reduce human error by supporting requirements engineering processes.

Key words: natural language processing, requirement engineering, transfer learning, text classification, software engineering

1. Giriş

Yazılım mühendisliği, kaliteli ve kullanıcı beklentilerini karşılayan yazılımların geliştirilmesini amaçlamaktadır. Bu süreçte en kritik adımlardan biri, yazılımın ne yapması gerektiğini açık ve anlaşılır biçimde tanımlayan yazılım gereksinimlerin belirlenmesidir. Yazılım gereksinimleri, bir sistemin hangi işlevleri yerine getireceğini ve bu işlevleri nasıl gerçekleştireceğini tanımlayan ifadelerden oluşmaktadır. Doğru tanımlanmış gereksinimler, projenin başarısı açısından hayati öneme sahiptir.

Gereksinimler genellikle fonksiyonel (işlevsel) ve fonksiyonel olmayan (işlevsel olmayan) gereksinimler olarak ikiye ayrılmaktadır. Fonksiyonel gereksinimler, sistemin hangi görevleri yerine getireceğini, kullanıcıyla nasıl etkileşime gireceğini ve girdilere nasıl tepkiler vereceğini tanımlamaktadır. Örneğin, bir e-ticaret sitesinde ürün arama, sepete ekleme veya ödeme işlemleri gibi özellikler fonksiyonel gereksinimlerdir. Fonksiyonel olmayan gereksinimler ise sistemin performansı, güvenilirliği, kullanılabilirliği ve bakım kolaylığı gibi niteliksel yönlerine odaklanır. Bu tür gereksinimler, yazılımın ne yaptığı kadar nasıl yaptığıyla da ilgilidir.

Gereksinimlerin doğru bir şekilde sınıflandırılması, özellikle büyük ölçekli projelerde zaman alıcı ve hata yapmaya açık bir süreçtir. Bu bağlamda, makine öğrenme teknikleriyle gereksinim ifadelerinin otomatik olarak fonksiyonel ve fonksiyonel olmayan olarak sınıflandırılması, yazılım mühendisliği süreçlerinde önemli bir kolaylık ve doğruluk sağlayabilir. Metin tabanlı gereksinim tanımlarının makine öğrenmesi ve doğal dil işleme teknikleriyle otomatik olarak sınıflandırılması, manuel analiz sürecinde ortaya çıkan zaman kaybı, tutarsızlık ve insan hatası gibi sorunların azaltılmasına olanak tanımaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalar da metin tabanlı verilerin sınıflandırılmasında makine öğrenmesi yöntemlerinin etkili sonuçlar sunduğunu göstermektedir:

Dias ve Cordeiro (2020) yazılım gereksinimlerini işlevsel ve işlevsel olmayan olarak sınıflandırmak için farklı metin vektörleştirme teknikleri (BoW, TF-IDF, CHI2) ile makine öğrenmesi algoritmalarını karşılaştırmıştır. PROMISE_exp veri kümesi kullanılarak yapılan deneylerde TF-IDF ve Lojistik Regresyon kombinasyonu en yüksek başarıyı göstermiştir.

Pérez-Verdejo vd. (2020) yazılım gereksinimlerinin otomatik sınıflandırılması için makine öğrenimi tekniklerinin kullanımını incelemişlerdir. En çok tercih edilen algoritmalar arasında Naïve Bayes ve J48' in olduğundan bahsetmiş ve değerlendirmelerde genellikle precision, recall ve F1 skoru kullanıldığına değinmişlerdir.

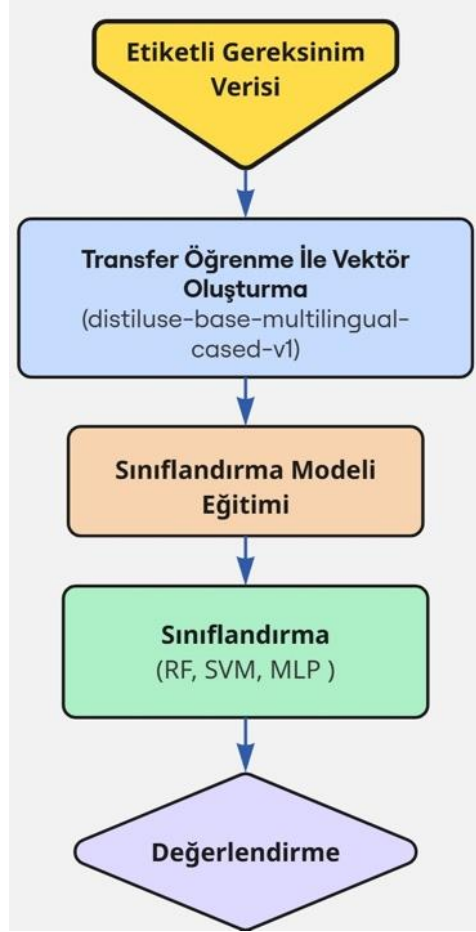
Talele ve Phalnikar (2021) yazılım gereksinimlerinin sınıflandırılması ve önceliklendirilmesi süreçlerinde kullanılan makine öğrenmesi algoritmalarını incelemiş; SVM ve Decision Tree algoritmalarının yüksek doğruluk sağladığını, ancak SVM'in büyük veri kümelerinde sınırlamaları olduğunu ortaya koymuştur.

Yüksel ve Çetin (2020) tarafından yürütülen çalışmada, yazılım sistemlerinde karşılaşılan hata kayıtlarının makine öğrenmesi ve derin öğrenme teknikleriyle tespiti incelenmiştir. Hataların sınıflandırılması üzerine yapılan bu çalışmada, yazılım mühendisliği bağlamında metin tabanlı verilerin nasıl etiketlenebileceği ve kategorize edilebileceği gösterilmiştir. Bu bağlamda, yazılım gereksinimlerinin sınıflandırılması konusunda benzer bir modelleme yaklaşımı benimsenebilir.

Binkhonain ve Zhao (2023), yazılım gereksinimlerinin sınıflandırılmasında sıkça karşılaşılan sınıf dengesizliği ve yüksek boyutlu düşük örnekli veri problemlerine odaklanarak HC4RC adlı yeni bir makine öğrenmesi yöntemi önermiştir. Yapılan deneysel çalışmalar, HC4RC'nin mevcut geleneksel ve

derin öğrenme tabanlı yöntemlere kıyasla sınıf dengesizliği ve yüksek boyutlu düşük örnekli verilerde daha dengeli ve etkili sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Bu çalışmada, fonksiyonel ve fonksiyonel olmayan gereksinimlerin sınıflandırılmasına yönelik olarak doğal dil işleme (NLP) teknikleri ve makine öğrenmesi tabanlı bir yaklaşım sunulmaktadır. Önerilen sistemin akış diyagramı Şekil 1’ de verilmiştir. Kullanılan veri seti, toplamda 1009 gerçek gereksinim ifadesinden oluşmakta olup, bunların %50,84’ü Fonksiyonel Olmayan (513 adet) ve %49,16’sı Fonksiyonel (496 adet) olarak etiketlenmiştir. Modelin başarımı, beş katlı çapraz ve farklı değerlendirme teknikleriyle değerlendirilmiştir.



Şekil 1. Gereksinim Türü Sınıflandırma Akış Diyagramı

2. Materyal ve Metot

Bu bölümde, çalışmada kullanılan veri seti, öznitelik çıkarımı süreci, uygulanan makine öğrenme algoritmaları ve model performansının değerlendirilmesinde kullanılan metrikler ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

2.1. Materyal

Bu çalışmada, yazılım geliştirme sürecinde kullanılan yazılım gereksinim tanımlamalarını Fonksiyonel ve Fonksiyonel Olmayan olarak sınıflandırmak amacıyla derlenen özel bir veri seti kullanılmıştır. Veri seti, gerçek projelerden elde edilen örneklerle zenginleştirilmiş ve toplamda 1009 etiketli gereksinim tanımı ve etiketlerini içermektedir. Bu örneklerden 513’ü Fonksiyonel Olmayan, 496’sı Fonksiyonel olarak etiketlenmiştir. Veri setindeki sınıf dağılımı Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Gereksinim Türlerine Göre Dağılım ve Örnekler

Gereksinim Türü	Örnek Gereksinim Tanımı	Örnek Sayısı
Fonksiyonel	Satın aldıkları filmi Windows Media Player üzerinden satın alma tarihinden itibaren 2 gün boyunca izleyebilecek.	496
Fonksiyonel Olmayan	Yöneticinin 5 dakika içinde web sitesine kategori ekleyip kaldırmasına olanak tanınmalıdır.	513

2.2. Metot

2.2.1. Öznitelik Çıkarımı

Geleneksel doğal dil işleme yaklaşımlarında metinlerden anlamlı öznitelikler çıkarmak için el ile (hand-crafted) çıkarılan özniteliklerin kullanılması popüler bir yaklaşımdır. Bu süreçte sözcük sayısı, n-gram analizleri, sözdizimsel yapılar veya anlamsal benzerlik gibi çeşitli dilsel özelliklerin çıkarılması gerçekleştirilmektedir. Ancak bu yöntemler hem zaman alıcıdır hem de probleme özgü yoğun bilgi gerektirmektedir. Ayrıca, dil yapılarını yeterince temsil edememe riski taşımaktadır. Bu nedenle, son yıllarda önceden eğitilmiş dil modellerinin sunduğu transfer öğrenme olanakları, metin sınıflandırma gibi görevlerde önemli bir devrim yaratmıştır. Bu modeller, büyük metin kümeleri üzerinde eğitilerek duyarlı, zengin ve genelleştirilebilir öznitelik vektörleri üretmeyi mümkün kılmaktadır.

Bu çalışmada, öznitelik çıkarımı için önceden eğitilmiş çok dilli modellerden biri olan Distiluse-base-multilingual-cased-v1 (Sentence-BERT) modeli tercih edilmiştir (Reimers, 2019). Sentence-BERT, Bert modelinin bir takım filtrelerden geçirilerek daha yoğun bir model elde etmek amacıyla oluşturulmuş bir modeldir (Reimers vd., 2019). Evrensel Cümle Kodlayıcı (Universal Sentence Encoder) mimarisi temel alınarak cümle gömme işlemini gerçekleştiren bu model, orta boyutlu bir yapıya sahiptir. Bu yönüyle hem verimlilik hem de performans arasında dengeli bir çözüm sunmaktadır. Sentence-BERT çok dilli bir yapıya ve büyük-küçük harf hassasiyetine sahiptir. Modelin isminde yer alan “Distil” kısmı distillation (damıtma) kelimesinden gelmektedir. Damıtma yöntemi referans alınan modelden gelen tahminleri taklit ederek kullanılacak olan modelde maliyetin düşürülerek model eğitilmesini sağlamaktadır.

Sentence-BERT modeli girdi olarak alınan bir veya birden fazla cümleyi kelimelere bölerek gömme vektörlerine çevirerek çalışmaktadır. Çalışmamızda bu gömme vektörleri “Fonksiyonel” ve “Fonksiyonel Olmayan” gereksinimleri anlamlandırmak için kullanılmıştır.

2.2.2. Makine Öğrenme Algoritmaları

2.2.2.1. Rastgele Orman

Rastgele Orman (RO) algoritması çok sayıda karar ağacının bir araya gelerek oluşturulduğu bir algoritmadır (Liaw vd., 2002). RO karar ağaçları, oylama yöntemine dayanarak sınıflandırma ve regresyon problemlerinin çözümünde kullanılabilir. Sınıflandırmada, en fazla oyu alan ağaçların kararı tahmin olarak alınırken; regresyonda, karar ağaçlarının tahminlerinin ortalaması alınarak sonuca ulaşılır.

RO’da sınıflandırma için genel formül Denklem 1’de verilmiştir.

$$\hat{y} = \text{mode}(h_1(x), h_2(x), \dots, h_T(x)) \quad (1)$$

Denklemde *mode* oylaması sonucu çıkan en sık sınıfı alırken, *h* karar ağaçlarını, *x* girdileri ve $\hat{y}$ ise nihai tahmin edilen sınıf etiketini göstermektedir.

2.2.2. Çok Katmanlı Algılayıcı (Multi-layer Perceptron)

Yapay Sinir Ağları (ANN), ileri yayılım ve geri yayılım olmak üzere iki ana aşamada çalışan ve insan sinir sisteminden esinlenerek geliştirilmiş bir makine öğrenmesi yöntemidir. İleri yayılımda veriler giriş katmanından çıkış katmanına doğru işlenirken, geri yayılımda tahmin hatalarını en aza indirmek için ağırlıklar ve bias değerleri güncellenir. Bu süreç, istenilen doğruluk sağlanana kadar tekrar eder. ANN'ler karmaşık ilişkileri modelleyebilme yetenekleri sayesinde doğal dil işleme ve görüntü işleme gibi birçok alanda etkili şekilde kullanılmaktadır.

Önerilen yöntemde, ANN sınıflandırıcısı olarak çok katmanlı algılayıcı (ÇKA – Multilayer Perceptron) kullanılmıştır (Russell ve Norvig, 2016). ÇKA, giriş ve çıkış katmanları arasında en az bir gizli katman barındıran, tam bağlantılı bir yapay sinir ağı türüdür. Her nöron, önceki katmandaki tüm nöronlara bağlıdır. Bu yapı sayesinde ÇKA, doğrusal olmayan ilişkileri öğrenebilmektedir.

2.2.2. Destek Vektör Makinaları (Support Vector Machine)

Destek Vektör Makinaları (DVM) özellikle sınıflandırma problemlerinde kullanılan bir makine öğrenmesi algoritmasıdır (Cortes ve Vapnik, 1995). Doğrusal ya da doğrusal olmayan bir fonksiyonun kullanılması ile sınıflandırma yapmamıza olanak tanır. DVM algoritması verileri birbirinden ayrılması için en uygun fonksiyonun tahmin edilmesi üzerine çalışır.

DVM' de kullanılan doğrusal sınıflandırma karar kuralı formülü Denklem 2' de verilmiştir:

$$\hat{y} = \begin{cases} 0 & \text{if } w^T \cdot x + b < 0 \\ 1 & \text{if } w^T \cdot x + b > 0 \end{cases} \quad (2)$$

Denklem 2' de w ağırlık vektörü, x girdi vektörü, b ise bias değerini göstermektedir. $\hat{y}$ ise tahmin edilen sınıf etiketini göstermektedir.

2.3. Değerlendirme metrikleri

Önerilen modelin başarısını ölçmek için Doğruluk, kesinlik, duyarlılık ve F1-skor metrikleri kullanılmıştır.

Doğruluk (Accuracy), modelin yaptığı tüm tahminler içerisinde doğru olanların oranını ifade etmektedir. Bu metrik, genel başarıyı değerlendirmek için en temel ölçütlerden biridir. Aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$\text{Accuracy} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (3)$$

Burada TP (True Positive) doğru pozitif sayısını, TN (True Negative) doğru negatif sayısını, FP (False Positive) yanlış pozitifleri ve FN (False Negative) yanlış negatifleri temsil eder. Accuracy, verinin sınıf dağılımı dengeli olduğu durumlarda anlamlı sonuçlar sunar.

Precision (Kesinlik / Pozitif Tahmin Doğruluğu), modelin pozitif olarak tahmin ettiği örneklerin ne kadarının gerçekten pozitif olduğunu gösterir. Yani, modelin pozitif tahmin yaparken ne kadar isabetli olduğunu ölçer. Formülü şu şekildedir:

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP + FP} \quad (4)$$

Recall (Duyarlılık / Hassasiyet), modelin gerçekten pozitif olan örnekleri ne kadar başarıyla tespit ettiğini gösterir. Yani, gerçek pozitiflerin ne kadarının doğru tahmin edildiğini ölçer. Yüksek recall değeri, modelin pozitif örnekleri atlamadığını, yani FN (yanlış negatif) sayısının düşük olduğunu gösterir. Formülü şu şekildedir:

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (5)$$

F1-score (F1 Skor), precision ve recall arasında bir denge kurarak her iki metriği tek bir ölçütte birleştirir. Bu metrik, özellikle veri setinin dengesiz olduğu ve hem yanlış pozitiflerin hem de yanlış negatiflerin önemli olduğu durumlarda tercih edilir. F1-score, aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$\text{F1 - score} = 2 \cdot \frac{\text{Precision} \cdot \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}} \quad (6)$$

Precision ve Recall değerlerinin düşük olduğu senaryolarda, F1-score da düşük çıkacak ve modelin iyileştirilmesi gerektiğini gösterecektir. Bu nedenle F1-score, tek başına daha kapsamlı bir başarı değerlendirme sunar.

3. Bulgular ve Tartışma

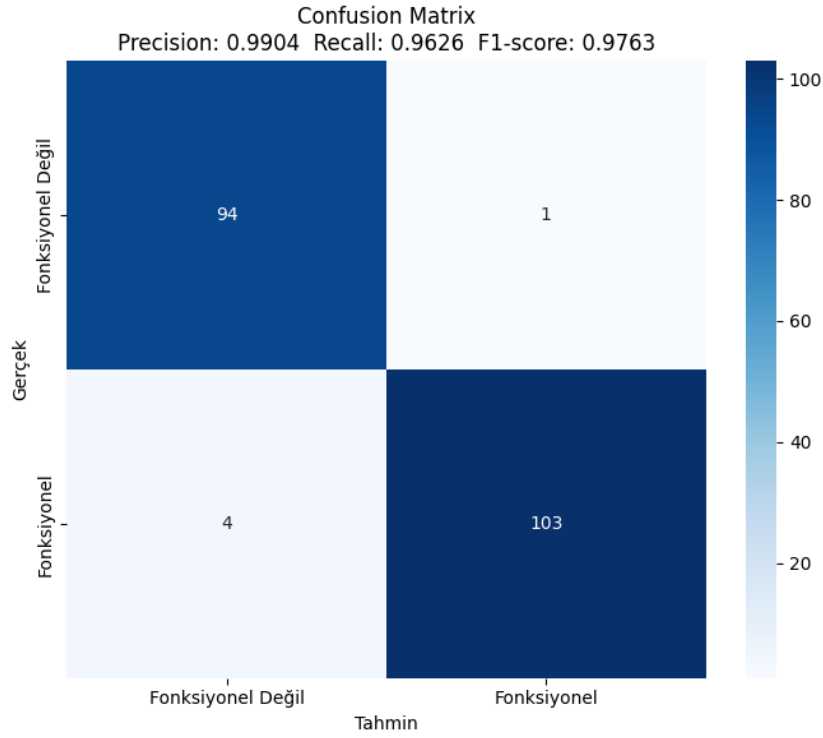
Bu çalışmada fonksiyonel ve fonksiyonel olmayan gereksinimlerin makine öğrenmesi teknikleri kullanılarak sınıflandırılması gerçekleştirilmiştir. Makine öğrenmesi algoritması olarak RF, SVM ve MLP kullanılmış olup deneylerde 5 katmanlı çapraz doğrulama uygulanarak sonuçlar elde edilmiştir.

RO modeli, 100 karar ağacı içerecek şekilde yapılandırılmıştır. SVM modeli RBF çekirdeği ile çalışan şekilde uygulanırken, MLP sınıflandırıcısı ise 128 ve 16 nörondan oluşan iki gizli katmana sahip olacak şekilde tasarlanmış ve maksimum yineleme sayısı 1000 olarak belirlenmiştir. Sonuçlar Tablo 2' de gösterilmiştir.

Tablo 2. Önerilen modelin 5 katmanlı çapraz doğrulama seçeneklerine göre doğruluk değerleri

Sınıflandırıcı	1	2	3	4	5	Ortalama
RO	0.9012	0.9567	0.9068	0.9627	0.8881	0.9231
DVM	0.9444	0.9629	0.9503	0.9751	0.9503	0.9566
ÇKA	0.9444	0.9382	0.9440	0.9627	0.9503	0.9479

Tablo 2' de görüldüğü üzere en başarılı sonuç DVM sınıflandırıcı ile 0.9566 ile elde edilmiştir. Bu sonuçlar DVM' in fonksiyonel ve fonksiyonel olmayan gereksinimlerin ayrımında yüksek doğruluk sağlayabildiğini göstermektedir. DVM 'nin karmaşık sınırlara sahip veri kümelerinde etkin performans sergilemesi bu çalışmadaki yüksek doğruluk oranını açıklamaktadır. SVM'yi takip eden ÇKA modeli, derin öğrenme temelli bir yaklaşım olarak benzer doğrulukta sonuçlar vermiştir. Bu da derin yapay sinir ağlarının da gereksinim sınıflandırma gibi metin tabanlı görevlerde kullanılabilirliğini göstermektedir. Diğer yandan, RO algoritması da istikrarlı bir performans sunmakla birlikte, doğruluk oranı açısından diğer iki modele göre daha düşük kalmıştır. Bu durum, RO algoritmasının daha çok karar kurallarına dayalı yapısının, gereksinim ifadelerinin daha nüanslı ve bağlama bağlı ayrımında yeterince etkili olamayabileceğini düşündürmektedir.



Şekil 2. Karmaşıklık Matrisi

Şekil 2’de DVM ile elde edilen en başarılı sonucun karmaşıklık matrisi verilmiştir. Bu matris, DVM algoritmasının sınıflandırma performansını daha ayrıntılı şekilde ortaya koymaktadır. Matristeki yüksek doğru sınıflandırma sayıları, modelin hem fonksiyonel hem de fonksiyonel olmayan gereksinimleri yüksek doğrulukla ayırt edebildiğini göstermektedir. Yanlış sınıflandırma sayılarının düşük olması, modelin genelleme kapasitesinin yüksek olduğunu ve öğrenilen karar sınırlarının test verisi üzerinde etkili çalıştığını işaret etmektedir. Buna ek olarak, modelin kesinlik değerinin 0.9904, duyarlılık değerinin 0.9626 ve F1-score’unun 0.9763 olması; sınıflandırma başarısının sadece doğrulukla sınırlı kalmayıp, hem pozitif sınıfları doğru yakalama hem de yanlış pozitifleri en aza indirme konusunda da dengeli ve güçlü bir performansa sahip olduğunu göstermektedir. Sonuçlar, önerilen DVM modelinin uygulamalarda güvenilir bir sınıflandırma aracı olarak kullanılabileceğini desteklemektedir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, yazılım geliştirmede kullanılan Türkçe gereksinim tanımlamalarının fonksiyonel ve fonksiyonel olmayan olarak otomatik biçimde sınıflandırılması için makine öğrenmesi ve doğal dil işleme tekniklerini kullanan bir model sunulmuştur. Önceden eğitilmiş Sentence-BERT modeli ile vektörleştirilen gereksinim tanımları Rastgele Orman (RO), Destek Vektör Makineleri (DVM) ve Çok Katmanlı Algılayıcı (ÇKA) algoritmaları kullanılarak sınıflandırılmıştır. Beş katlı çapraz doğrulama sonuçlarına göre, %95,66 doğruluk oranıyla DVM en başarılı performansı sergilemiştir. Bu sonuçlar, yazılım gereksinimlerinin otomatik sınıflandırılmasının etkin bir şekilde gerçekleştirilebileceğini ve bu yaklaşımın yazılım mühendisliği süreçlerine gerek doğruluk gerekse verimlilik açısından anlamlı katkılar sunabileceğini göstermektedir.

Çalışmada, geleneksel yöntemlerin aksine, gereksinim tanımlarından el yapımı öznitelik çıkarımı yapılmamış; bunun yerine önceden eğitilmiş dil modeli (Sentence-BERT) ile bağlamı dikkate alan vektör temsilleri kullanılmıştır. Bu sayede model, insan müdahalesine ihtiyaç duymadan daha genellenebilir ve ölçeklenebilir bir yapı sunmaktadır. Yaklaşık 1000 gereksinimden oluşan veri seti,

modelin genellenebilirliği açısından sınırlı olsa da, bu durum gelecekte daha büyük ve çeşitli veri kümeleriyle yapılacak çalışmalar için bir fırsat oluşturmaktadır. Elde edilen yüksek doğruluk oranı, önerilen yöntemin yazılım gereksinimlerinin sınıflandırılmasında güvenilir ve etkili bir çözüm sunduğunu göstermekte; yazılım geliştirme süreçlerinin verimliliğini artırma potansiyelini ortaya koymaktadır.

Kaynaklar

- Binkhonain, M., & Zhao, L. (2023). A machine learning approach for hierarchical classification of software requirements. *Machine Learning with Applications*, 12, 100457.
- Cortes, C., & Vapnik, V. (1995). Support-vector networks. *Machine learning*, 20, 273-297.
- Dias Canedo, E., & Cordeiro Mendes, B. (2020). Software requirements classification using machine learning algorithms. *Entropy*, 22(9), 1057.
- Liaw, A., & Wiener, M. (2002). Classification and regression by randomForest. *R news*, 2(3), 18-22.
- Pérez-Verdejo, J. M., Sánchez-García, A. J., & Ocharán-Hernández, J. O. (2020, November). A systematic literature review on machine learning for automated requirements classification. In *2020 8th international conference in software engineering research and innovation (CONISOFT)* (pp. 21-28). IEEE.
- Reimers, N., & Gurevych, I. (2019). Sentence-bert: Sentence embeddings using siamese bert-networks. *arXiv preprint arXiv:1908.10084*.
- Russell, S. J., & Norvig, P. (2016). *Artificial intelligence: a modern approach*. pearson.
- Talele, P., & Phalnikar, R. (2021, January). Classification and prioritisation of software requirements using machine learning—a systematic review. In *2021 11th international conference on cloud computing, data science & engineering (confluence)* (pp. 912-918). IEEE.
- Yüksel, A., & Çetin, D. D. A. (2020). Yinelenen Hata Kayıtlarının Makine Öğrenmesi Ve Derin Öğrenme Yöntemleri İle Tespit Edilmesi. *Mühendislik Bilimleri Ve Tasarım Dergisi*, 8(5), 45-51.



Nesnelerin Yapay Zekası (AIoT) Tabanlı Enerji Sistemlerinin Az-Kodlu Geliştirilmesi

Mehmet Emin Çağlayan^{1,*} and Geylani Kardas²

¹ Ege University International Computer Institute, 35100, Bornova, İzmir, Türkiye

² Ege University International Computer Institute, 35100, Bornova, İzmir, Türkiye

* Corresponding author: mehmetemincaglayan@gmail.com

Özet

Yapay Zeka (AI) ve Nesnelerin İnterneti (IoT) teknolojilerinin birleşerek "Nesnelerin Yapay Zekası" (AIoT) altyapısını oluşturduğu gözlemlenmektedir. Bu entegrasyonun amacı, insan-makine etkileşimleri, IoT operasyonları, büyük veri analitiği gibi çeşitli alanlarda iyileştirmeler sağlamaktır. AIoT tabanlı enerji sistemleri kullanıcılara bu avantajları sunmasına rağmen, geliştiriciler özellikle veri toplama ile ilgili karmaşık yazılım bileşenlerinin hazırlanması ve birleştirilmesinde zorluklarla karşılaşabilmektedir. Ayrıca enerji sistemlerine yönelik artan güvenlik ve kalite gereksinimleri, geliştirme süreçlerinin daha etkin ve daha otomatik bir şekilde yönetilmesini zorunlu hale getirmiştir. Bu bağlamda, düşük kodlu geliştirme platformlarının (LCDP) sağlanması, bu tür sistemlerin tasarım ve gerçekleştirilmesini kolaylaştırabilir ve model güdümlü mühendisliği (MDE) destekleyebilir. Bu nedenle, bu çalışmada düşük kodlu geliştirme yaklaşımının yeni bir uygulama alanı olan AIoT destekli enerji sistemlerinde sunduğu avantajlardan yararlanmak amacıyla bir LCDP tanıtılmaktadır.

Bu çalışmada sunulan LCDP, mevcut IoT tabanlı enerji cihazlarında kullanılan çeşitli araçları entegre etmekte ve bu araçların tek bir sistem üzerinden yönetilmesini sağlamaktadır. Ayrıca, gereksinim tanımlamadan modelleme ve kod üretimine kadar olan tüm süreçlerin otomasyonunu desteklemektedir. Geliştirilen LCDP, cihaz tanımlamaları, gerçek zamanlı değer arayüzleri ve uygulanacak yapay zeka yaklaşımları gibi gereksinimlerin kolayca tanımlanmasına olanak tanımaktadır. Bu çalışmada önerilen LCDP'nin, farklı bileşen bakış açılarıyla AIoT destekli enerji sistemlerinin grafiksel sözdizimi ile kolay modellemesini nasıl sağladığı ve nihayetinde otomatik kod üretimini nasıl gerçekleştirebildiği ele alınmaktadır.

Anahtar kelimeler: Düşük kodlu geliştirme, Yapay Zeka, Nesnelerin İnterneti, Nesnelerin Yapay Zekası, Model güdümlü mühendislik

Low-code development of the Artificial Intelligence of Things (AIoT) enabled Energy Systems

Abstract

It is observed that Artificial Intelligence (AI) and Internet of Things (IoT) technologies are merging to form the infrastructure of "Artificial Intelligence of Things" (AIoT). The aim of this integration is to provide improvements in various areas such as human-machine interactions, IoT operations, big data analytics, and more. Although AIoT-based energy systems offer the aforementioned benefits to users, developers may encounter difficulties particularly in preparing and integrating the complex software components related to data collection in the development of such systems. Moreover, the increasing security and quality requirements of energy systems have made it necessary to manage development

processes more effectively and in a more automated manner. Within this context, providing low-code development platforms (LCDP) may facilitate the design and implementation and support the model-driven engineering (MDE) of such systems. Hence, in this paper, we introduce an LCDP for AIoT-enabled energy systems to benefit from these promising features of the low-code development in this new application domain. The LCDP herein integrates the various tools used in current IoT-based energy devices and enables their management through a single tool. Furthermore, it supports the automation of all processes from requirement specification to modeling and code generation. The developed LCDP enables easy definition of requirements such as device descriptions, real-time value interfaces, and AI approaches to be applied. We discuss how the proposed LCDP may provide easy modeling of AIoT-enabled energy systems with its graphical syntax from various component viewpoints and hence is capable of automatic code generation in the end.

Key words: Low-code development, Artificial Intelligence, Internet of Things, Artificial Intelligence of Things, Model-driven engineering

1. Introduction

Artificial Intelligence (AI) applications have begun to be integrated into existing hardware including IoT devices. Today's modern world is experiencing significant growth in software technologies to digitize all human-related processes. With the combination of AI and IoT technologies (Madakam et al., 2015), the concept of "Artificial Intelligence of Things" (AIoT) is emerging (Matin et al., 2023). Integrating AI and IoT aims to achieve higher performance and increased system reliability. AIoT-enabled solutions are applied in various sectors such as industry and manufacturing, healthcare, agriculture, and energy infrastructure. These solutions enhance efficiency, reduce system downtimes, and improve safety measures (Matin et al., 2023). However, major challenges faced by AIoT products in this sector include data security, network integrity, energy efficiency, and the complexity of data analysis algorithms (Yang et al., 2021).

In the energy sector, AIoT enables the establishment of intelligent, efficient, and predictable systems for both energy production and consumption. While IoT devices collect data from the field, AI analyzes these data to provide prediction, optimization, and automation. AIoT-enabled production solutions reduce energy costs through resource and process planning. Additionally, AIoT contributes to efficient energy management in areas such as increasing grid efficiency, optimal use of renewable energy sources, and the creation of decentralized energy trading (Jnr, 2024). Nevertheless, AIoT technology heavily relies on sensors, IoT devices, network connections, and data centers. Sustaining the functionality of AIoT infrastructure requires energy to connect many devices. Therefore, research is being conducted to reduce the energy demands of AIoT solutions. Moreover, changes in consumer demands, behaviors, and technological developments have increased energy consumption. As a result, energy management has become a critical issue for sustainable production (Matin et al., 2023). In this context, daily electricity usage is analyzed by comparing it to previous days' usage to inform consumers. Power systems help prevent unexpected energy waste by cutting off undesired electrical loads (Arivukkody et al., 2022).

Although AIoT-enabled energy systems offer the aforementioned advantages to users, developers face challenges particularly in the preparation and integration of software components related to data collection. Creating an abstract model of such IoT systems before implementation and developing the necessary software with minimal coding through visual syntax can improve efficiency (Arslan et al., 2023). Accordingly, this paper introduces a low-code development platform (LCDP) (Cabot, 2020; Di Ruscio et al., 2022) that supports the model-driven engineering (MDE) (Brambilla et al., 2017) of AIoT-enabled energy systems. Increasing demands for security and quality in energy systems require more

effective and automated management of development processes. This study aims to contribute to related novel application area by presenting an LCDP example and to integrate different tools used in existing AIoT-enabled energy devices for centralized management.

The remainder of the paper is structured as follows: Section 2 presents a detailed discussion of the metamodel that forms the foundation of the abstract syntax of the proposed LCDP. Section 3 introduces the graphical concrete syntax of the LCDP, which enables the modeling of AIoT-enabled energy systems. Section 4 discusses the implementation of the web-based integrated development environment (IDE) that supports the use of the LCDP. Section 5 presents a case study demonstrating the use of the LCDP and its IDE in the development process of such energy systems. Finally, Section 6 offers a general evaluation of the study and concludes the paper.

2. Abstract Syntax

Abstract syntax can be defined as a conceptual representation of a modeling language's fundamental constructs and their relationships, independent of concrete representations (Saritas & Kardas, 2014). This abstract structure focuses on identifying the main entities, core properties, and relationships within a language. It is typically defined through a metamodel and is used to explain the semantics and structure of a Domain-Specific Language (DSL) or a Domain-specific Modeling Language (DSML) (Kardas et al., 2023).

The metamodel of the AIoT-enabled energy systems that provides the underlying abstract syntax for our LCDP, includes the meta-entities and their relationships given in Figure 1. Energy devices, parameters, and users are defined with the entities that enable data collection, visualization, and modeling processes. The main entities of the metamodel derived for the AIoT-enabled energy systems are described below:

- **EnergyDevices** represent the AIoT-enabled energy devices defined in the system. Each device is associated with one or more parameters, and these parameters are read from the energy devices. Energy Devices model the source of data within other environmental systems and form the foundation of the entire model.
- **Parameters** are defined for reading data from the sensors on energy devices or data produced internally. These parameters provide information about the data received from the energy device, normalized using attributes such as scale factor and offset.
- **Energy Device Data** are recorded for tracking real-time measurements collected from energy devices. Each entry corresponds to a specific parameter name associated with a device and includes a measured register value alongside a timestamp. This structure enables storing time-series data that reflect the dynamic behavior of the monitored system and supports visualization, analysis, and AI-enabled processing.
- **Graph Configuration** represents the user-defined configurations for visualizing data from energy devices via drag-and-drop features. It defines which parameters from which energy devices will be monitored, the type of graph, and update intervals — thus modeling the user's monitoring capabilities.
- **User Model Config** represents the energy devices and parameters selected by users when configuring AI models. It holds information such as the model type and whether the AI training has been completed.
- **User Tables** represents custom tables created by users visually, allowing them to monitor parameter values from specific energy devices in real time. This enables personalized real-time monitoring and reporting.

- **Users** represent the registered users of the system and their roles. Each user can monitor energy devices, create tables, visualize data, and define AI models. Users are the starting point for all personal configurations and interactions.

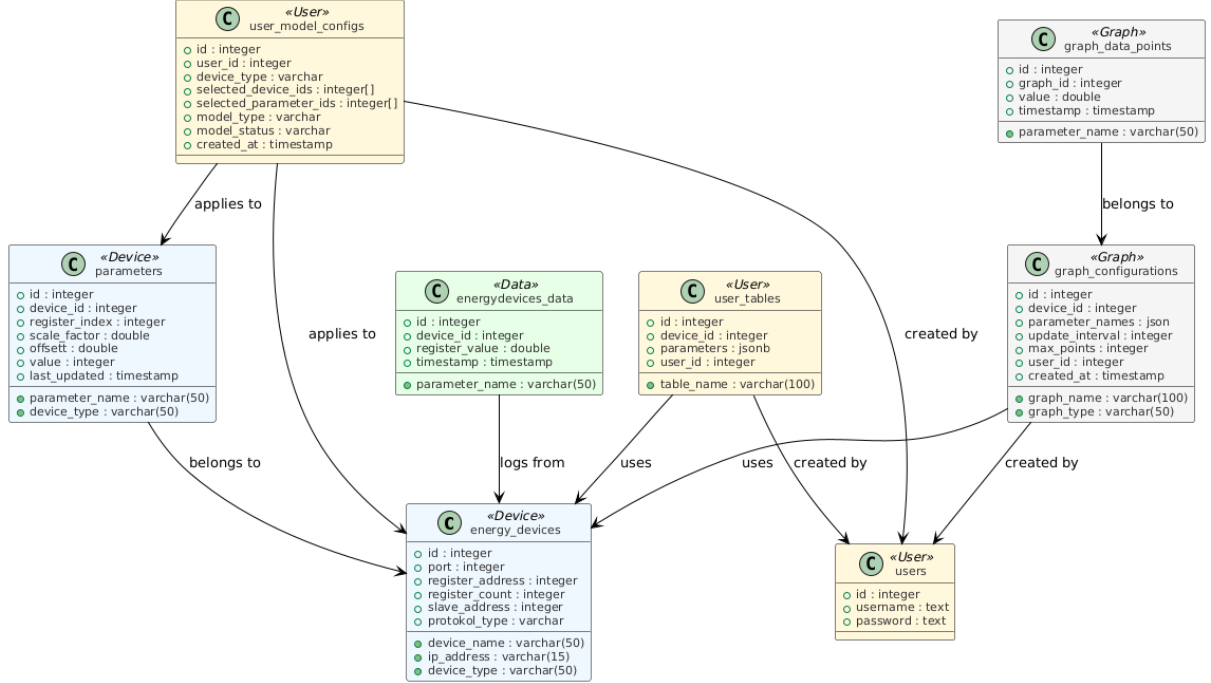


Figure 1. The platform metamodel for the AIoT-Enabled Energy Systems

3. Concrete Syntax

The metamodel presented in Section 2 defines the abstract syntax of the system, outlining AIoT core entities such as Devices and Users and their interrelationships. For the proper use of these abstract elements we need a concrete syntax reflecting the implementation-level counterparts of these abstract elements as is the case in various DSL, DSML and LCDP approaches (e.g. (Mernik et al., 2005); (Mohamed et al., 2020); (Celik et al., 2023)). This graphical concrete syntax includes visual and structural representations for the concepts and the relations of the proposed DSL for the MDE of AIoT-enabled energy systems.

The concrete syntax of our LCDP is composed of various viewpoints / diagram types each representing an essential concept family in a data-oriented architecture. The **Device diagram** is central to the system and focuses on real-time data collection, configuration, and modeling. It works alongside the **Data table** to store parameter information in detail (e.g., scale, offset, value, timestamp).

The **GraphConfiguration** and **GraphDataPoint** diagrams form the concrete syntax structures for visual monitoring. While GraphConfiguration defines how data is grouped and visualized, GraphDataPoint includes the actual values to be displayed—offering a practical representation of data-based monitoring.

UserModelConfig supports user-oriented modeling by defining the devices, parameters, and model types selected by each user. **UserTable** manages user-specific diagrams and related parameters.

To ensure access control and security, a **Users diagram** is also integrated into the model, supporting a secure, multi-user architecture.

This structure systematically supports the transition from abstract to concrete in accordance with MDE principles and provides a clear, practical, and extensible foundation for both developers and end-

users. Table 1 lists some of the concrete syntax elements with their corresponding visual notations used inside the proposed LCDP.

Table 1: A fragment from the concrete syntax of the AIoT LCDP

Concept	Notation	Concept	Notation
Device		User	
Parameter Definition		User Model Configuration	
Parameter Value (Live)		User Table	
Graph Configuration		Graph Data Point	

4. Online Development Environment for Modeling and Implementation of AIoT- Enabled Energy Systems

In this study, a web-based LCDP has been designed as an integrated tool that enables the transition from abstract modeling to application-level implementation of AIoT- enabled energy systems. Based on the language specification given in Section 2 and 3 the platform facilitates MDE of AIoT-enabled energy systems and enables unified modeling of AIoT-enabled energy devices, parameters, users, visualization configurations, and AI models. Users can define system components, visually model them, and transform these models into executable software components using a drag-and-drop method, without the need for technical programming knowledge.

The integrated development environment (IDE) is entirely web-based and includes user authentication. This ensures each user's project files, models, and AI outputs are securely stored online and can be accessed from multiple devices. The interface consists of two main sections: a project navigator on the left panel, and a modeling area with drag-and-drop functionality in the center. Once the modeling process is completed, the corresponding output is automatically displayed in the same area (see Figure 2).



Figure 2. An overview of the IDE for the proposed LCDP

Each project is structured in a layered architecture that includes AIoT-enabled Energy devices, sensor parameters, user-specific tables, and AI configurations. For example, energy devices such as inverters, generators, and climate systems within a power plant can be defined as “Device” objects in the system, and parameters such as temperature, voltage, and current can be linked as “Parameter” objects. These parameters are normalized and monitored in real-time through the database and presented to the user via live tables.

Graph and table components can be dynamically defined in the user interface. The user can drag and drop the desired parameters into table or chart components. The chart component allows for historical data analysis, while the table component is used to report real-time values. Each user can create a personalized monitoring interface, which is saved by the system and made accessible in future sessions.

In the AI configuration screen, users can select a model type and define training data accordingly. Training data can be generated in two ways: (i) by automatically extracting previously recorded parameters within the system, or (ii) by uploading external CSV or Excel files. This enables users to handle the necessary preprocessing tasks and store the resulting model as a .pkl file on the system. The results of the selected model can also be monitored in the user interface via charts or tables.

This web-based LCDP enables the execution of data collection, visualization, modeling, and AI-driven analysis functions required for AIoT-enabled energy systems, with minimal need for software development expertise. Thanks to the model control mechanisms integrated into the platform, the establishment of inconsistent or invalid relationships between defined model components is prevented. System integrity is maintained through constraint checks, ensuring that users construct valid model structures. Moreover, by performing both data collection and AI model processing within the same environment, potential data security risks are eliminated, and the need for third-party applications is removed.

5. Case Study

Using a low-code development approach, this case study illustrates the design and implementation of an AIoT enabled energy system. It exemplifies the definition of AIoT-enabled energy devices in a mobile base station; the identification and real-time monitoring of parameters; visualization through graphs; and the creation of AI models.

In a base station, a rectifier converts AC power to DC power, a generator activates when the grid fails to ensure system continuity, and an air conditioning unit maintains operational temperature. These devices are typically found in a base station, and their number may increase based on the capacity.

Users log in to the LCDP system with a username and password, thereby preventing unauthorized access. After the user logs in, the dashboard screen is displayed, and the user can use the navigation panel on the left to perform the desired operations (Figure 3).

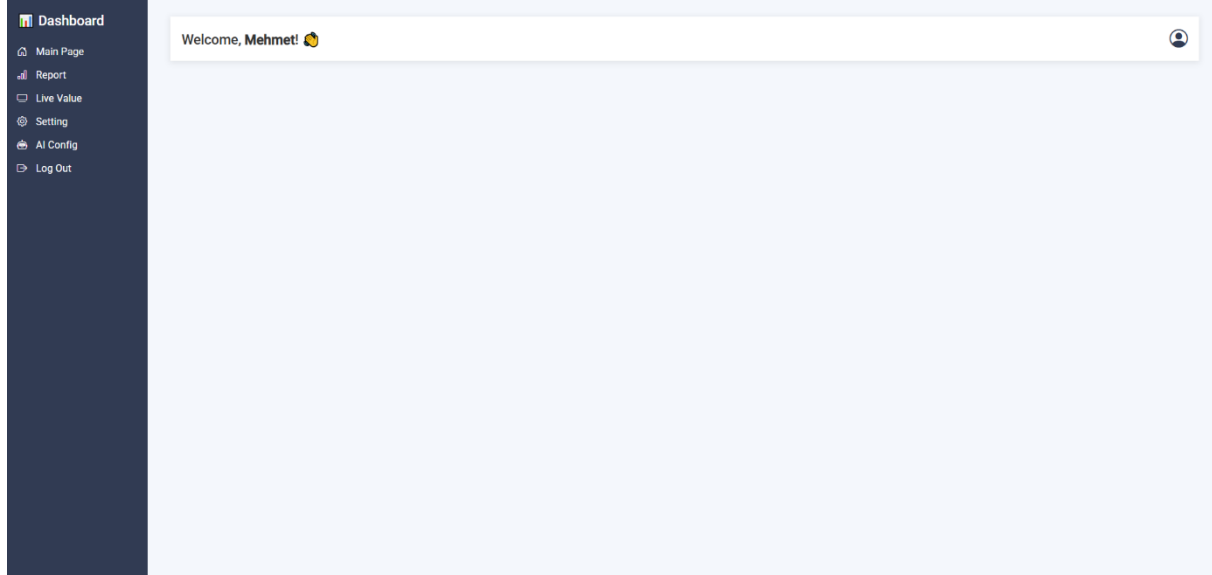


Figure 3. Main page screen for modeling the AIoT-enabled energy system

On settings page, the system responsible for making AIoT energy devices “readable” implements a device-modeling workflow. When the user clicks the “Add New AIoT Energy Device” button, a popup form appears in which they specify details such as the device name, IP address, protocol type, and other relevant parameters. Upon clicking “Save,” the system automatically generates the appropriate code for that device, thereby rendering it accessible and “readable” by the platform (Figure 4).

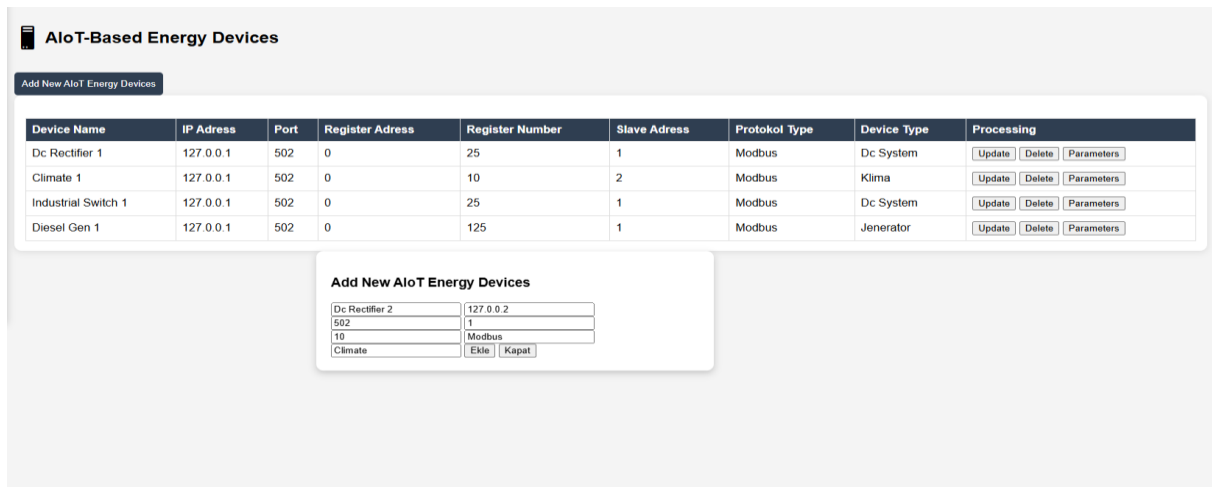


Figure 4. Device modeling

After the relevant energy devices have been registered, the user can click the Parameters button on the same interface to select the parameters to be accessed according to the communication protocol of the device in the popup window, or manually enter the information (e.g., parameter identifier, register index, offset value). Upon clicking the Save button, the system automatically initiates the corresponding protocol handlers and data acquisition routines, thus enabling the automatic retrieval of the specified parameters from the respective devices (Figure 5).

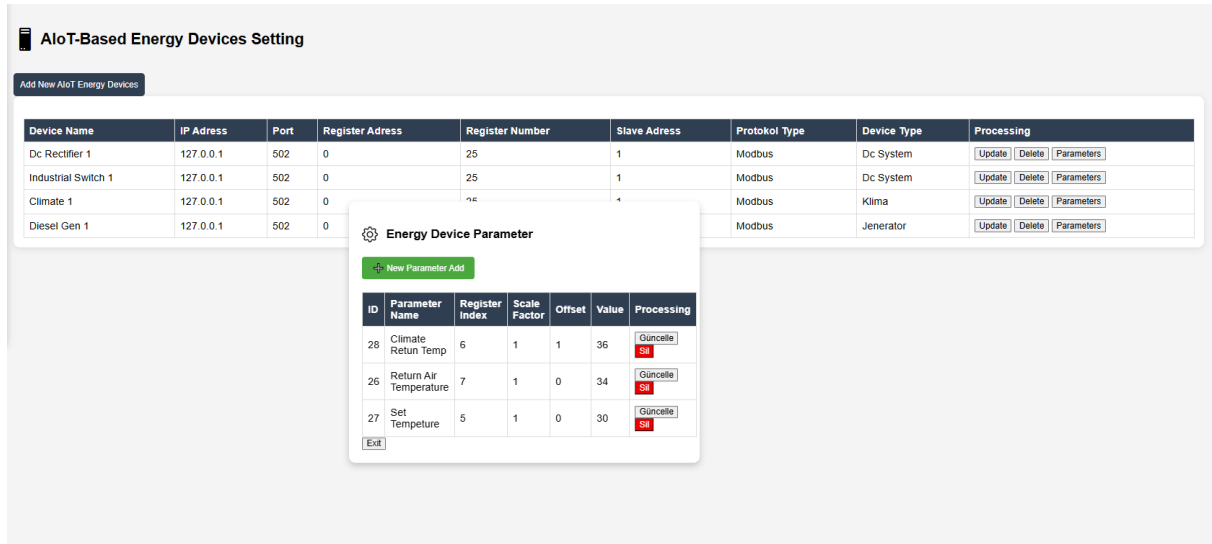


Figure 5. Device parameter modeling

After device registration, real-time parameter monitoring is initiated by selecting Live Value Table under the Live Value section in the main menu. In this interface, the operator can model a monitoring table using a drag-and-drop method. When the table is placed in the workspace, a popup window prompts the operator to enter a unique table identifier. The operator then selects the target devices and specifies the parameters for continuous monitoring. Finally, when the Save command is activated, the configuration is completed, enabling uninterrupted real-time visualization of the selected device measurements (Figure 6).

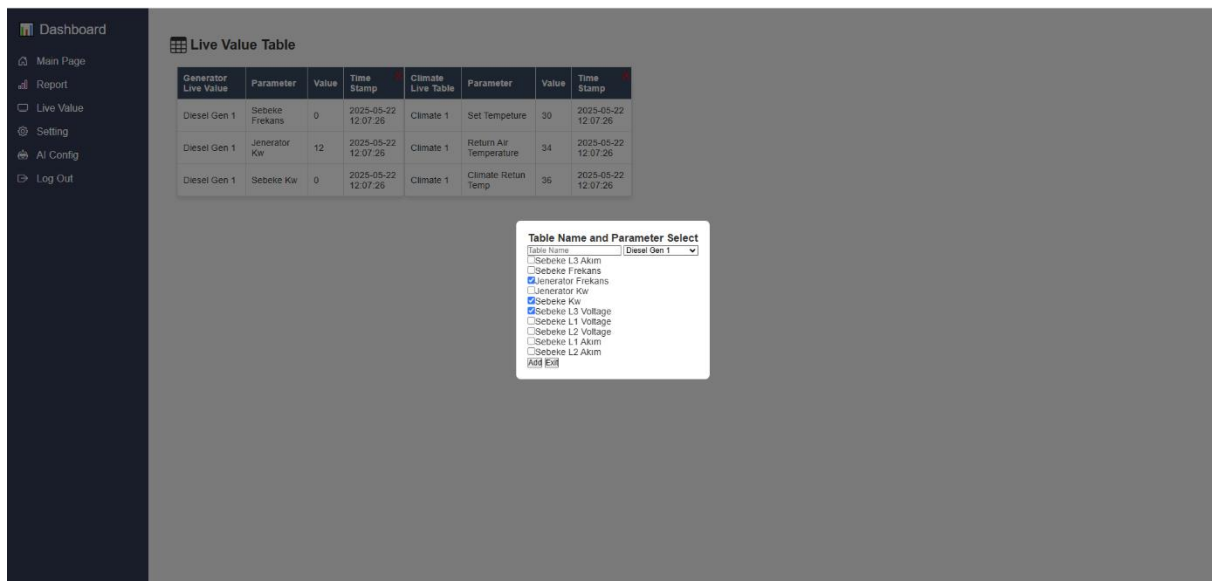


Figure 6. Modeling of Live Value Table

When you finalize the Live Value table configuration or access the Live Value Table interface later, the platform automatically visualizes real-time data for all pre-configured tables. In this way, the developed LCDP enables continuous, live visualization of AIoT-enabled energy device measurements (Figure 7).

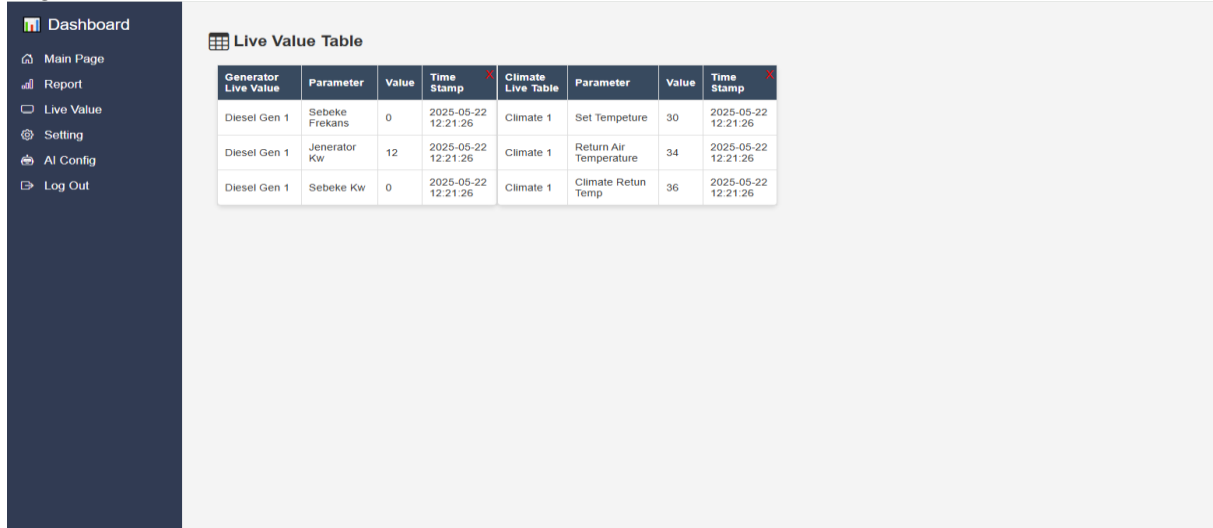


Figure 7. Data visualization for Live Value Table

By navigating to the Graph page under the Live Value section in the left-hand menu, real-time parameter graphs can be created. In this interface, the operator models a graph using a drag-and-drop manner. When the graph is dragged into the workspace, a popup window prompts the operator to specify the graph name, target devices to be monitored, parameters to be observed, and the type of graph. Finally, when the Save command is activated, the configuration is saved, enabling uninterrupted, real-time visualization of the selected device measurements in a graphical form (Figure 8).

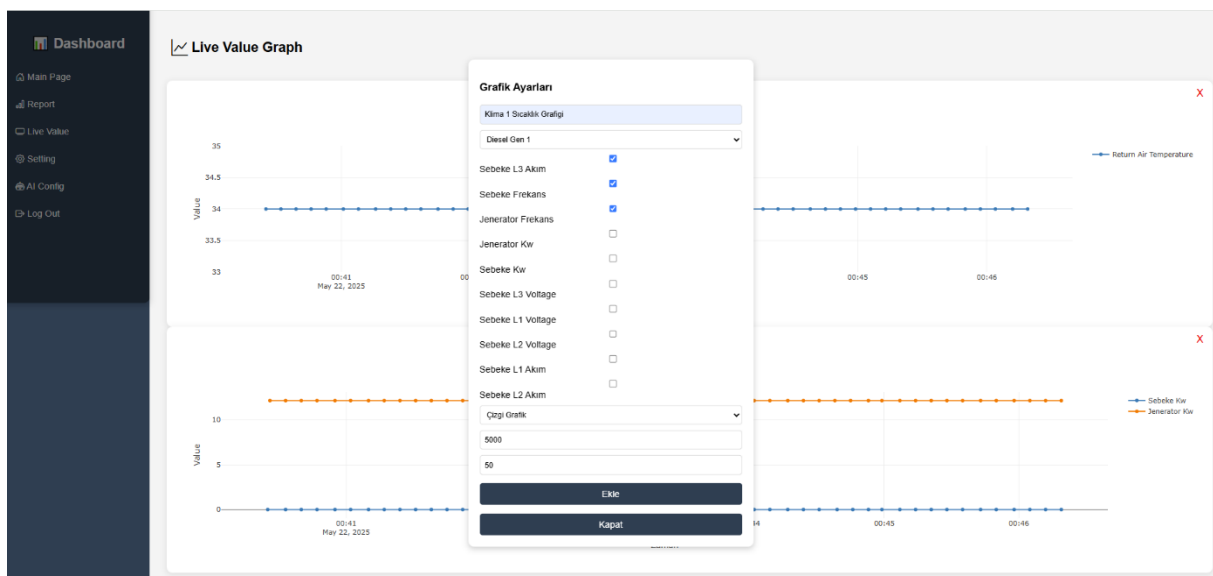


Figure 8. Graph modeling for Live Value

Once the Live Value Graph configuration is completed or the Graph interface under the Live Value section is accessed later, the platform automatically plots real-time data for all previously defined graphs. In this way, the LCDP enables uninterrupted and real-time graphical visualization of measurements from AIoT-enabled energy devices (Figure 9).

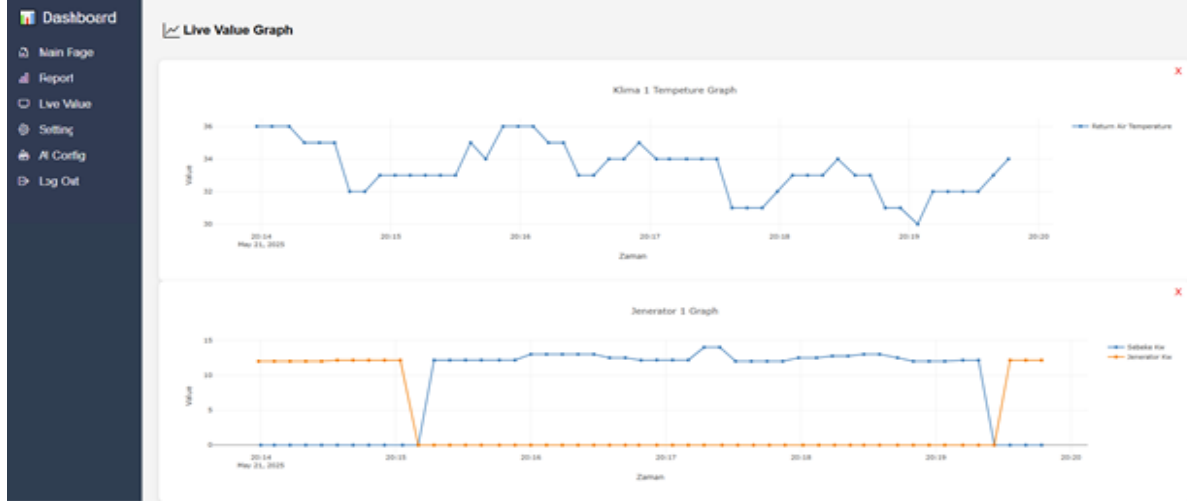


Figure 9. Live Value Graph Visualization

Artificial intelligence (AI) model configurations are defined via a web-based interface in order to minimize dependency on developers. Users specify the model name, device type, and the parameters to be used. Training data can be retrieved directly from the database or imported via an Excel file. This enables data cleaning and correction when necessary. The trained model is saved on the server as a “.pkl” file without requiring any coding. The selected model, corresponding parameters, and AI outputs are visualized and presented to the user through the web interface (Figure 10).

Figure 10. Creating AI Models

The trained model, using the parameters selected during the training phase as inputs, enables the display of prediction outputs within the Live Value Table (Figure 6) and Live Value Graph (Figure 8)

interfaces. Additionally, the platform provides a Make a Guess section, allowing users to test the trained model by selecting it and entering appropriate input parameters, thus facilitating model validation (Figure 11).

Make a Guess

Model Title
sıcaklık2

Input Data
{\"param1\": 10, \"param2\": 20}

Make a Guess

Prediction Results

Parameter	Guess
-----------	-------

Figure 11. AI Model “Make a Guess”

In this way, all AIoT-enabled energy devices in a base station have been monitored in real time with minimal coding; their data has been visualized and reported through tables and graphs, and modeled using AI models.

6. Conclusion

In this study, an MDE approach is proposed by integrating DSML and LCDP technologies for the development of AIoT-enabled energy systems. This integrated approach enables system designers to graphically model the structural and behavioral components of smart energy systems, while also supporting the integration of AI and IoT infrastructure.

The proposed DSML with the supporting LCDP allows for the platform-independent representation of physical components, data collection processes, and AI-enabled decision-making mechanisms through a metamodel and graphical syntax. Moreover, with the developed LCDP prototype, it is possible to generate executable code directly from the models, providing significant time savings during rapid prototyping and development phases.

To the best of our knowledge, this study is among the first to address low-code and model-driven development approaches in the context of AIoT-enabled energy systems. Although the syntax and semantics definitions for the proposed DSML and its LCDP are discussed in this paper, the systematic assessment of the usability of these language elements and the provided IDE needs to be performed. Within this context, our future work will evaluate the promising features of this LCDP by means of artifact generation and time savings according to a well-defined set of DSL criteria (Kahraman & Bilgen, 2015) and language evaluation methodology previously we applied in similar systematic DSL, DSML and MDE evaluation studies (e.g. Marah et al., 2021; Leblebici et al., 2022; Arslan et al., 2024).

References

- Arivukkody, V., Gokulakannan, T., & Kalpana, S. (2022). AIoT based residential smart energy meter with power saving methodology. 2022 1st International Conference on Computational Science and Technology (ICCST), 80–85.
- Arslan, S., Kardas, G., & Alfraihi, H. (2024). On the Usability of a Modeling Language for IoT-Based Public Transportation Systems. *Applied Sciences*, 14(13), 5619.

- Arslan, S., Ozkaya, M., & Kardas, G. (2023). Modeling languages for internet of things (IoT) applications: A comparative analysis study. *Mathematics*, 11(5), 1263.
- Brambilla, M., Cabot, J., & Wimmer, M. (2017). *Model-driven software engineering in practice*. Morgan & Claypool Publishers.
- Cabot, J. (2020). Positioning of the low-code movement within the field of model-driven engineering. *Proceedings of the 23rd ACM/IEEE International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems: Companion Proceedings*, 1–3.
- Celik, B., Kardas, G. and Tezel, B. T. (2023) “An Online Modeling Language for the Low-code Development of Belief-Desire-Intention (BDI) Agents”, In *proceedings of the 2nd International Symposium Series on Graduate Researches (ISGR 2023)*, November 30, 2023, Izmir, Turkey, pp. 186-196
- Di Ruscio, D., Kolovos, D., de Lara, J., Pierantonio, A., Tisi, M., & Wimmer, M. (2022). Low-code development and model-driven engineering: Two sides of the same coin? *Software and Systems Modeling*, 21(2), 437–446.
- Jnr, B. A. (2024). Decentralized AIoT based intelligence for sustainable energy prosumption in local energy communities: A citizen-centric prosumer approach. *Cities*, 152, 105198.
- Kahraman, G., & Bilgen, S. (2015). A framework for qualitative assessment of domain-specific languages. *Software & Systems Modeling*, 14, 1505–1526.
- Kardas, G., Ciccozzi, F., & Iovino, L. (2023). Introduction to the special issue on methods, tools and languages for model-driven engineering and low-code development. *Journal of Computer Languages*, 74.
- Leblebici, O., Kardas, G., & Tuglular, T. (2022). A domain-specific language for the document-based model-driven engineering of business applications. *IEEE Access*, 10, 104093–104110.
- Madakam, S., Ramaswamy, R., & Tripathi, S. (2015). Internet of Things (IoT): A literature review. *Journal of Computer and Communications*, 3(5), 164–173.
- Marah, H., Kardas, G., & Challenger, M. (2021). Model-driven round-trip engineering for TinyOS-based WSN applications. *Journal of Computer Languages*, 65, 101051.
- Matin, A., Islam, M. R., Wang, X., Huo, H., & Xu, G. (2023). AIoT for sustainable manufacturing: Overview, challenges, and opportunities. *Internet of Things*, 24, 100901.
- Mernik, M., Heering, J., & Sloane, A. M. (2005). When and how to develop domain-specific languages. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 37(4), 316–344.
- Mohamed, M. A., Challenger, M., & Kardas, G. (2020). Applications of model-driven engineering in cyber-physical systems: A systematic mapping study. *Journal of Computer Languages*, 59, 100972.
- Saritas, H. B., & Kardas, G. (2014). A model driven architecture for the development of smart card software. *Computer Languages, Systems & Structures*, 40(2), 53–72.
- Yang, C.-T., Chen, H.-W., Chang, E.-J., Kristiani, E., Nguyen, K. L. P., & Chang, J.-S. (2021). Current advances and future challenges of AIoT applications in particulate matters (PM) monitoring and control. *Journal of Hazardous Materials*, 419, 126442.



IoT Tabanlı Isı ve Nem Takip Sisteminin Geliştirilmesi: Kontrol ve Alarm Mekanizmalı Uygulama Örneği

İrem Güdücü ^{1,*}, Abdulrahman Yıldırım ¹ ve Uğur Fidan ²

¹ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyomedikal Mühendisliği, Afyonkarahisar

² Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği, Afyonkarahisar

* Sorumlu yazar: irem.guducu@usr.aku.edu.tr

Özet

Çevresel parametrelerin, özellikle sıcaklık ve nemin hassas bir şekilde izlenmesi, sağlık ve gıda sektörlerinde kritik öneme sahip uygulamalar için temel bir gerekliliktir. Kan saklama dolapları, laboratuvar inkübatörleri, organ ve aşı taşıma sistemleri, ilaç depolama üniteleri ile et ve süt ürünlerinin nakliyesinde kullanılan araçlar gibi alanlarda, çevresel koşulların sürekli kontrol altında tutulması, ürün güvenliği ve kalitesinin korunması açısından hayati önem taşımaktadır. Ancak mevcut izleme sistemleri, genellikle yalnızca sıcaklık ve nem verilerinin pasif olarak görüntülenmesine olanak sağlamakta; ani sıcaklık dalgalanmaları, donanım arızaları, elektrik kesintileri veya insan kaynaklı hatalar gibi durumlarda erken uyarı ve otomatik müdahale mekanizmalarının eksikliği nedeniyle önemli riskler oluşturmaktadır. Ayrıca, birçok sistemde uzaktan izleme ve veri aktarımı imkânının bulunmaması ile çevresel parametreleri aktif olarak regüle edebilen entegre kontrol birimlerinin yetersizliği, sistemlerin güvenilirliğini ve işlevselliğini sınırlandırmaktadır. Bu çalışmanın temel amacı, IoT (Nesnelerin İnterneti) tabanlı, gerçek zamanlı uzaktan izlenebilir, çoklu alarm mekanizmaları içeren ve çevresel parametreleri aktif olarak kontrol edebilen entegre bir sıcaklık-nem izleme ve düzenleme sistemi prototipinin geliştirilmesidir. Tasarlanan sistem, önceden tanımlanmış eşik değerlerin aşılması durumunda kullanıcıları sesli ve görsel uyarılar ile bilgilendirmenin yanı sıra, ışık, fan, ısıtıcı veya soğutucu gibi birimleri otomatik olarak devreye alarak ortam koşullarını optimum seviyede tutmayı hedeflemektedir. Böylece yalnızca veri izleme değil, aynı zamanda dinamik müdahale yeteneği sunan bütünlük bir altyapı oluşturulması amaçlanmaktadır. Geliştirilen prototip, düşük maliyetli, modüler yapıda ve çeşitli endüstriyel ihtiyaçlara uyarlanabilir nitelikte tasarlanmış olup, özellikle kritik saklama ve taşıma süreçlerinde çevresel koşulların sürdürülebilir şekilde kontrol edilmesine katkı sağlamayı hedeflemektedir. Bu sistemin, mevcut pasif izleme çözümlerinin aksine, proaktif bir yaklaşımla operasyonel güvenliği artırması ve ürün bozulmalarını minimize etmesi beklenmektedir.

Anahtar kelimeler: IoT (Nesnelerin İnterneti), Isı ve Nem İzleme, Akıllı Alarm Mekanizması, Otomatik Müdahale Sistemi

Development of an IoT-Based Temperature and Humidity Monitoring System: A Control and Alarm Mechanism Application Example

Abstract

Monitoring environmental parameters, particularly temperature and humidity, with high precision is a fundamental requirement for critical applications in the healthcare and food sectors. Continuous control of environmental conditions is vital for ensuring product safety and quality in areas such as blood

storage refrigerators, laboratory incubators, organ and vaccine transportation systems, pharmaceutical storage units, and vehicles used for transporting meat and dairy products. However, current monitoring systems typically only allow passive visualization of temperature and humidity data. The lack of early warning and automatic intervention mechanisms in cases of sudden temperature fluctuations, hardware failures, power outages, or human errors poses significant risks. Moreover, many systems are limited in reliability and functionality due to the absence of remote monitoring capabilities and insufficient integrated control units capable of actively regulating environmental parameters. The main objective of this study is to develop a real-time, IoT-based temperature and humidity monitoring and regulation system prototype that includes multiple alarm mechanisms and allows for remote monitoring. The designed system aims to not only notify users with audible and visual alerts when predefined threshold values are exceeded but also to automatically activate units such as lights, fans, heaters, or coolers to maintain optimal environmental conditions. Thus, the goal is to create an integrated infrastructure that provides not only data monitoring but also dynamic intervention capabilities. The developed prototype is designed to be low-cost, modular, and adaptable to various industrial needs, aiming to contribute to the sustainable control of environmental conditions, especially in critical storage and transportation processes. Unlike current passive monitoring solutions, this system is expected to enhance operational safety and minimize product spoilage through a proactive approach.

Key words: IoT (Internet of Things), Temperature and Humidity Monitoring, Smart Alarm Mechanism, Automatic Intervention System

1. Giriş

Çevresel parametrelerin, özellikle sıcaklık ve nemin gerçek zamanlı ve hassas bir şekilde izlenmesi, günümüzde sağlık, gıda ve lojistik gibi birçok kritik alanda hayati bir ihtiyaç hâline gelmiştir. Isı ve nemdeki ani değişimlerin ürün ve canlı sağlığı üzerinde ciddi etkiler oluşturabilmesi, bu parametrelerin yalnızca izlenmesini değil, aynı zamanda kontrol altında tutulmasını da zorunlu kılmaktadır. Son yıllarda Nesnelerin İnterneti (IoT) teknolojilerinin bu alanlarda kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Örneğin bir çalışmada, bir veri merkezindeki sıcaklık ve nem değerleri IoT tabanlı bir sistemle farklı noktalardan ölçülmüş ve bu ölçümler AT&T M2X platformu aracılığıyla kaydedilerek analiz edilmiştir. Bu sistem, çevresel parametrelerdeki ani değişimlerde otomatik olarak SMS, e-posta ve mobil bildirim yoluyla ilgili personeli uyararak, erken müdahaleye olanak sağlamıştır [1]. Benzer şekilde, bir diğer çalışmada geliştirilen taşınabilir bir fizyolojik izleme sistemi, hastaların nabız, vücut sıcaklığı ve çevre parametrelerini sürekli olarak takip ederek IoT tabanlı veri aktarımı sayesinde uzaktan hasta izlemeye olanak tanımıştır [2].

Tarım alanında da IoT'nin çevresel kontrol uygulamaları dikkat çekmektedir. Örneğin, bir çalışmada kümes hayvanları için sıcaklık ve nem kontrolü sağlayan ve eşik değerler aşıldığında otomatik olarak fan ve ışık sistemini devreye sokan, aynı zamanda kullanıcıya mobil bildirim gönderen bir sistem geliştirilmiştir. Bu sayede hayvanların optimum çevresel koşullarda tutulması sağlanmıştır [3]. Soğuk zincir taşımacılığıyla ilgili yapılan bir başka araştırmada ise, RF teknolojileri, Kablosuz Sensör Ağları (WSN), Yapay Sinir Ağları ve Termal Görüntüleme gibi farklı teknolojilerin IoT altyapısı altında entegrasyonu incelenmiş; bu sistemlerin karşılıklı veri alışverişiyle daha etkin bir sıcaklık yönetimi sunduğu gösterilmiştir. Aynı çalışmada, sensör sayısının azaltılması için sıcaklık tahmin modelleri ve Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) uygulamaları da önerilmiştir [4]. Bu çalışmalar göstermektedir ki, IoT teknolojisi yalnızca veri toplamayı değil, aynı zamanda çevresel koşulları düzenleyen kontrol sistemlerinin entegrasyonunu da mümkün kılmaktadır. Literatürde sağlık hizmetlerinden tarıma, veri merkezlerinden soğuk zincir lojistiğine kadar geniş bir kullanım alanına sahip olan IoT tabanlı izleme sistemleri, çevresel değişimlerin proaktif şekilde yönetilmesine olanak

tanımlanmaktadır. Ancak bu sistemlerin çoğu, yalnızca izleme işleviyle sınırlı kalmakta; ani çevresel değişimlerde aktif bir kontrol ve alarm mekanizması barındırmamaktadır.

Bu çalışmada, IoT tabanlı bir sıcaklık ve nem takip sisteminin geliştirilmesi hedeflenmiştir; sistemin yalnızca çevresel verileri izlemekle kalmayıp, aynı zamanda bu verilere bağlı olarak sesli, görsel ve mobil uyarılar oluşturmaları, fan, ısıtıcı veya soğutucu gibi bileşenleri devreye alarak çevresel koşulları düzenlemesi amaçlanmıştır. Geliştirilen bu sistemin, mevcut pasif izleme sistemlerine kıyasla daha bütüncül ve müdahaleye açık bir yapı sunarak, özellikle kritik taşıma ve depolama alanlarında güvenliği artırması beklenmektedir.

2. Materyal ve Metot

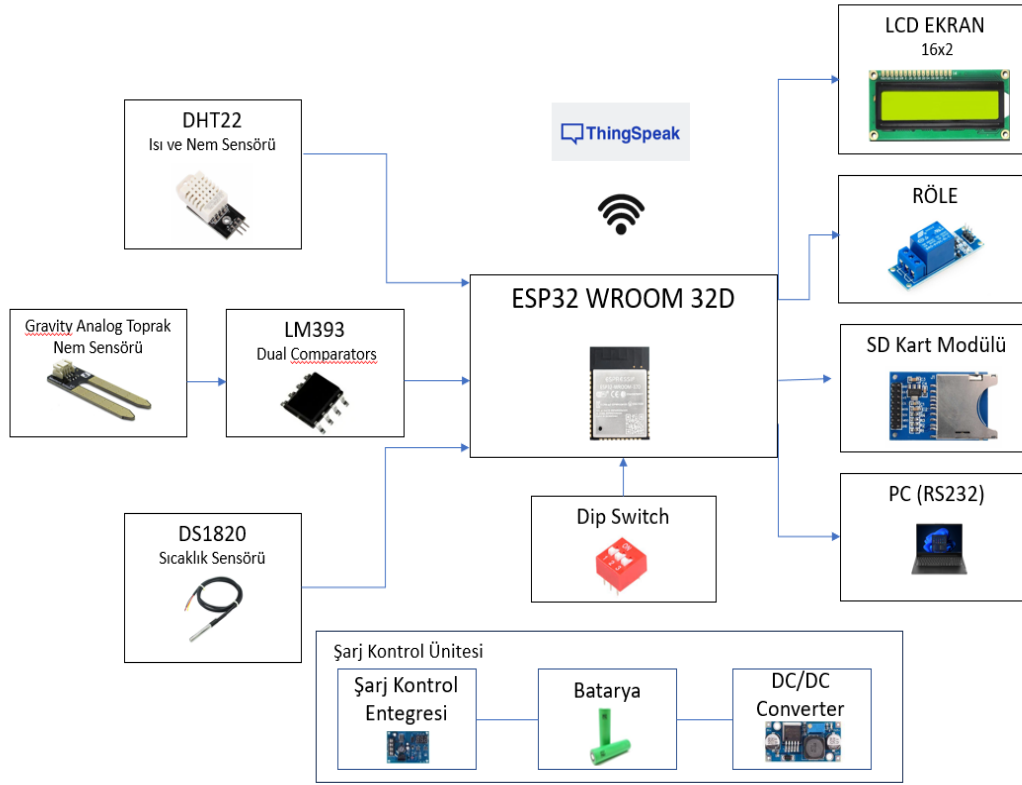
2.1. Materyal

Bu çalışmada geliştirilen sistem, sıcaklık ve nem gibi çevresel parametreleri izleyen, veri kaydı gerçekleştiren ve gerekli durumlarda kontrol mekanizmalarını devreye sokabilen IoT tabanlı modüler bir donanım platformudur. Sistemin temel donanım bileşenleri aşağıda açıklanmıştır:

- **ESP32 WROOM-32D:** Wi-Fi bağlantı özelliğine sahip 32-bit mikrodenetleyici modüldür. Sistemin merkezinde yer alarak sensör verilerinin toplanması, işlenmesi, kontrol ve iletişim süreçlerinin tümünü yönetmektedir [5].
- **DHT22 Sıcaklık ve Nem Sensörü:** Dijital çıkışlı bu sensör, ortam sıcaklığı ve bağıl nem ölçümünü yüksek hassasiyetle gerçekleştirmektedir [6].
- **DS18B20 Dijital Sıcaklık Sensörü:** 1-Wire protokolü ile haberleşen bu sensör, özellikle doğruluk gerektiren sıcaklık ölçümlerinde tercih edilmiştir [7].
- **Toprak Nem Sensörü (Analog):** Toprağın nem seviyesini ölçmek amacıyla kullanılan bu sensör, analog çıkış üretmektedir. Bu çıkış, LM393 çift karşılaştırıcı entegresi aracılığıyla dijital sinyale dönüştürülerek mikrodenetleyiciye aktarılmaktadır [8].
- **Dip Switch:** Kullanıcıya sistemin esnekliğini artıracak biçimde, farklı sensör kombinasyonlarının (tekli, ikili veya üçlü) seçilebilmesine olanak sağlayan anahtarlama mekanizmasıdır.
- **LCD Ekran (16x2):** Ölçülen çevresel parametrelerin anlık olarak kullanıcıya gösterilmesini sağlayan görsel arayüzdür.
- **Röle Modülü:** Ölçülen parametrelerin tanımlı eşik değerlerini aşması durumunda, harici cihazları (ısıtıcı, fan vb.) kontrol etmek üzere devreye giren elektromekanik anahtardır.
- **SD Kart Modülü:** Sistem verilerinin yedeklenmesi amacıyla kullanılan bu modül, özellikle elektrik kesintisi veya bağlantı sorunlarında veri bütünlüğünü korumak için tercih edilmiştir [9].
- **Şarj Kontrol Ünitesi ve Batarya:** Geliştirilen sistem kablosuz olarak çalışmakta ve enerji ihtiyacını şarj edilebilir batarya ünitesi üzerinden karşılamaktadır. Batarya ile ESP32 arasında yer alan şarj kontrol ünitesi, pilin güvenli biçimde şarj edilmesini ve sistemin enerji sürekliliğini sağlamaktadır.
- **RS232 Arayüzü:** Gerekli durumlarda verilerin seri haberleşme yoluyla bilgisayara aktarılabilmesi amacıyla RS232 protokolü desteklenmektedir.
- **ThingSpeak IoT Platformu:** Wi-Fi üzerinden bulut bağlantısı kurularak ölçülen veriler ThingSpeak sunucusuna gönderilmekte ve uzaktan erişimle izlenebilmektedir [10].
- **Buzzer (Sesli Uyarı Modülü):** Eşik değerlerinin dışına çıktığında kullanıcıya sesli uyarı vermek amacıyla kullanılan piezoelektrik bir uyarı modülüdür. Sistem kritik durumlarda hem görsel (LCD) hem de işitsel (buzzer) bildirim yapmaktadır.

2.2. Metot

Bu sistemin donanım mimarisi (Şekil 1) modüler bir yapıda tasarlanmış olup, farklı uygulamalara uyarlanabilmesi için açık kaynak donanım prensipleri doğrultusunda şekillendirilmiştir. Sistemin çalışma prensibi, çevresel sensörlerden alınan verilerin merkezi bir kontrol birimi olan ESP32 mikrodenetleyicisi tarafından işlenmesi esasına dayanmaktadır. Sistem hem kablosuz çalışabilmekte hem de batarya destekli yapısı sayesinde kesintisiz olarak faaliyet gösterebilmektedir.



Şekil 1. Sistemin Blok Şeması

Uygulama esnasında aşağıdaki işlem adımları gerçekleştirilmiştir:

- **Sensör Seçimi ve Aktifleşmesi:** Dip switch üzerinden seçilen sensörler sisteme dahil edilmekte, bu sayede uygulama alanına göre sensör sayısı ve türü esnek şekilde ayarlanabilmektedir.
- **Veri Toplama:** Aktif hale getirilen sensörlerden (DHT22, DS18B20, Toprak Nem Sensörü) gelen veriler belirli aralıklarla mikrodenetleyici tarafından okunmakta ve işlenmektedir.
- **Veri Görselleştirme ve Kontrol:** Ölçülen sıcaklık ve nem değerleri LCD ekran üzerinden kullanıcıya anlık olarak gösterilmekte, tanımlı eşik değerlerin aşılması durumunda röle modülü devreye alınarak harici sistemlerin kontrolü sağlanmaktadır.
- **Veri Kayıt ve Aktarımı:**
 - **SD Kart Üzerine Kayıt:** Elde edilen veriler, hem yedekleme hem de geçmişe dönük analiz yapılabilmesi amacıyla SD karta kaydedilmektedir.
 - **Kablosuz Veri Aktarımı:** Sistem, Wi-Fi bağlantısı üzerinden ThingSpeak IoT platformuna bağlanarak ölçülen verileri internet ortamına aktarmakta, böylece uzaktan izleme ve analiz imkânı sunmaktadır.
 - **Seri Haberleşme:** Alternatif olarak veriler RS232 arayüzü üzerinden bilgisayara gönderilerek anlık takip gerçekleştirilebilmektedir.

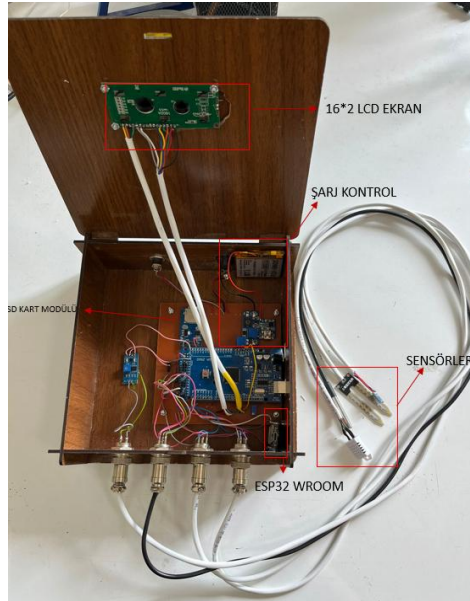
Sistemin donanım ve yazılım mimarisi, farklı haberleşme protokollerini (I2C, SPI, 1-Wire, RS232) destekleyecek biçimde genişletilebilir yapıda tasarlanmıştır. Bu durum, sistemin farklı sensörler veya harici cihazlarla kolayca entegre edilmesine olanak tanımaktadır. Geliştirilen bu sistem, yalnızca çevresel verileri izlemekle kalmayıp; aynı zamanda eşik değer kontrolü ve müdahale mekanizması sayesinde aktif bir kontrol yapısı da sunmakta, böylece pasif izleme sistemlerinden ayrılmaktadır.

3. Bulgular ve Tartışma

Geliştirilen sistemin saha testleri sırasında, sıcaklık, nem ve toprak nemi gibi çevresel parametreler ESP32 mikrodenetleyici aracılığıyla ölçülmüş ve ThingSpeak IoT platformu üzerinde belirli aralıklarla kaydedilmiştir.

3.1. Gerçek Zamanlı İzleme ve Uyarı Mekanizmaları

Şekil 2’de gerçekleştirilen IoT Tabanlı Isı ve Nem Takip Sistemi ait görsel bulunmaktadır. Sensör verileri eşzamanlı olarak 16x2 LCD ekran üzerinden kullanıcıya sunulmuştur. Kullanıcının belirlediği eşik değerlerin aşıldığı durumlarda, sistemde yer alan buzzer sesli uyarı üretmiş ve aynı zamanda röle modülü aracılığıyla harici kontrol mekanizmaları devreye alınmıştır.

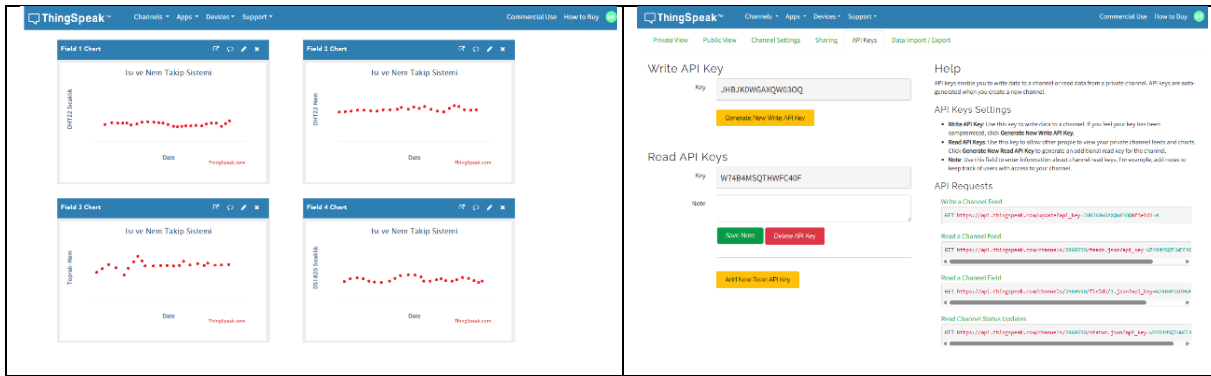


Şekil 2. IoT Tabanlı Isı ve Nem Takip Sistemi

Bu özellik sayesinde sistemin yalnızca izleme değil, aktif müdahale özelliği taşıdığı gösterilmiştir. Veriler aynı zamanda SD kart modülüne kaydedilerek sistemin ağ bağlantısı kaybı veya elektrik kesintisi gibi durumlarda bile veri güvenliği sağlanmıştır. Sistem, batarya ile çalışan taşınabilir bir yapıya sahip olduğundan, enerji sürekliliği açısından DC/DC konvertör ve şarj kontrol entegresi aracılığıyla kesintisiz hizmet verebilmiştir. Bu yönüyle sistem, mobil uygulamalar ve şebeke bağlantısının sınırlı olduğu alanlarda kullanıma uygun hale getirilmiştir. Dip switch kullanımı ile sensörlerin bireysel veya birlikte çalışması mümkün kılınmış; sistemin farklı ortamlara ve uygulamalara kolayca adapte edilebileceği gösterilmiştir. Ayrıca sistemin farklı haberleşme protokollerini (SPI, I2C, RS232, RS485) destekleyecek şekilde tasarlanması, endüstriyel entegrasyon potansiyelini ortaya koymaktadır. Bu yönüyle geliştirilen sistem, sadece bir prototip değil; aynı zamanda genişletilebilir, ölçeklenebilir ve farklı uygulama alanlarına entegre edilebilir bir platform niteliği taşımaktadır.

3.2. Sensör Verileri ve Bulut Tabanlı İzleme

Ölçüm sonuçları veri örnekleme süresi 60 saniye olarak belirlenerek ThingSpeak üzerinde (Şekil 3) grafiksel olarak izlenebilir hâle getirilmiştir. DHT22 sıcaklık sensöründen elde edilen değerler 22–26 °C arasında değişim göstermiştir. Ortam sıcaklığındaki küçük dalgalanmalar, sensörün hassasiyetini ve sistemin örnekleme doğruluğunu yansıtmaktadır. Bağıl nem değerleri ise %45–%65 aralığında seyretmiştir. Nem oranında tespit edilen ani artışlar, ortama bilinçli olarak eklenen nem faktörleriyle uyumlu olup sistemin reaktif ölçüm kabiliyetini göstermektedir. DS18B20 sensörü, doğruluğu yüksek sıcaklık ölçümleriyle DHT22 verilerini desteklemiş, ikili sensör yapısının sistem güvenilirliğini artırdığı gözlemlenmiştir. Toprak nem sensörü ile toprak ortamına farklı miktarlarda su uygulanarak yapılan testlerde, analog çıkış değerleri nem artışına paralel olarak azalmış; LM393 entegresi sayesinde dijital sınıflandırma yapılmış ve değerler anlamlı şekilde kaydedilmiştir.



a) IoT Tabanlı Veri İzleme

b) Okuma ve Yazma API Anahtarları

Şekil 3. Verilerin ThingSpeak'e Aktarımı

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, sıcaklık, bağıl nem ve toprak nemi gibi çevresel parametrelerin gerçek zamanlı olarak izlenmesine, kayıt altına alınmasına ve belirlenen eşik değerlerin aşılması durumunda kullanıcıyı uyan bir kontrol ve alarm mekanizmasının devreye alınmasına olanak tanıyan IoT tabanlı bir izleme sistemi geliştirilmiştir. Sistem, kablosuz çalışma yeteneği, batarya ile beslenebilir yapısı, çoklu sensör desteği ve veri güvenliği sağlayan donanımlarıyla taşınabilir, modüler ve esnek bir çözüm olarak tasarlanmıştır. ThingSpeak platformu üzerinden elde edilen veriler, sistemin çevresel değişiklikleri başarıyla tespit edebildiğini ve bu verileri hem bulut ortamına hem de yerel belleğe kaydederek kullanıcının veriye kesintisiz erişimini sağladığını göstermiştir. Ayrıca LCD ekran aracılığıyla anlık bilgilendirme yapılmış, buzzer ve röle modülü ile kontrol ve uyarı fonksiyonları gerçekleştirilmiştir. Sistem, sadece veri izleme değil, aynı zamanda dış müdahale ve çevresel koşullara göre otomatik tepki verme özellikleriyle klasik izleme sistemlerinden ayrılmaktadır. Bu yönüyle, geliştirilen çözüm; kan ürünleri saklama dolapları, inkübatörler, gıda taşımacılığı araçları gibi kritik sıcaklık ve nem kontrolü gerektiren alanlarda etkili bir şekilde kullanılabilir.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda, sistemin farklı sensörlerle entegre edilmesi, mobil uygulama arayüzüyle uzaktan kontrol imkânı sunması ve yapay zekâ destekli tahminleme algoritmalarıyla zenginleştirilmesi hedeflenmektedir. Bu bağlamda geliştirilen sistem, akıllı ortam izleme teknolojileri arasında uygulanabilirliği yüksek, kullanıcı dostu ve düşük maliyetli bir alternatif olarak değerlendirilebilir.

Kaynaklar

- [1] Ab Rahman, R., Hashim, U. R. A., & Ahmad, S. (2020). IoT based temperature and humidity monitoring framework. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 9(1), 229-237.
- [2] Valsalan, P., Baomar, T. A. B., & Baabood, A. H. O. (2020). IoT based health monitoring system. *Journal of critical reviews*, 7(4), 739-743.
- [3] Malika, N. Z., Ramli, R., Alkawaz, M. H., Johar, M. G. M., & Hajamydeen, A. I. (2021, December). Iot based poultry farm temperature and humidity monitoring systems: A case study. In *2021 IEEE 9th Conference on Systems, Process and Control (ICSPPC 2021)* (pp. 64-69). IEEE.
- [4] Badia-Melis, R., Mc Carthy, U., Ruiz-Garcia, L., Garcia-Hierro, J., & Villalba, J. R. (2018). New trends in cold chain monitoring applications-A review. *Food control*, 86, 170-182.
- [5] Pratama, E. W., & Kiswantono, A. (2022). Electrical analysis using esp-32 module in realtime. *JEECS (Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences)*, 7(2), 1273-1284.
- [6] Ahmad, Y. A., Gunawan, T. S., Mansor, H., Hamida, B. A., Hishamudin, A. F., & Arifin, F. (2021, June). On the evaluation of DHT22 temperature sensor for IoT application. In *2021 8th international conference on computer and communication engineering (ICCCE)* (pp. 131-134). IEEE.
- [7] Huda, M. B. R., & Kurniawan, W. D. (2022). Analisa Sistem Pengendalian Temperatur Menggunakan Sensor Ds18B20 Berbasis Mikrokontroler Arduino. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 7(02), 18-23.
- [8] Taştan, M. (2019). Nesnelerin interneti tabanlı akıllı sulama ve uzaktan izleme sistemi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 229-236.
- [9] Eker, K., & Kıymık, M. K. (2016, October). Design of a functional medical device for home monitoring. In *2016 Medical Technologies National Congress (TIPTeKNO)* (pp. 1-4). IEEE.
- [10] Sindhwani, N., Anand, R., Vashisth, R., Chauhan, S., Talukdar, V., & Dhabliya, D. (2022, November). Thingspeak-based environmental monitoring system using IoT. In *2022 Seventh International Conference on Parallel, Distributed and Grid Computing (PDGC)* (pp. 675-680). IEEE.



İnkübatörler ve Aşı Buzdolapları İçin Hassas Sıcaklık ve Nem Kontrolü: Sensör Performans Değerlendirmesi

Abdulrahman Yıldırım ^{1,*}, İrem Güdücü ¹ ve Uğur Fidan ²

¹ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyomedikal Mühendisliği, Afyonkarahisar

² Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği, Afyonkarahisar

* Sorumlu yazar: abdulrahman.yildirim@usr.aku.edu.tr

Özet

Hassas sıcaklık ve nem kontrolü, inkübatörler, sterilizatörler, hasta izleme sistemleri ve aşı buzdolapları gibi tıbbi cihazların işlevselliği açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu parametreler, biyomedikal uygulamalarda cihazların güvenliği ve doğruluğu bakımından hayati bir rol oynamaktadır. Sıcaklık ve nem değerlerinin belirlenmesi, mevcut operasyonel koşulların tanımlanmasında ve biyomedikal cihazların performans güvenliğinin sağlanmasında temel bir unsur teşkil etmektedir. Bu çalışma, klinik termometreler için performans ve güvenlik gereksinimlerini belirleyen TS EN ISO 80601-2-56 standardı, sıcaklık ve nem döngülerini kapsayan çevresel test prosedürlerini içeren IEC 60068 standardı ile kalibrasyon ve tıbbi laboratuvar ortamlarında çevresel kontrol ve ölçüm güvenilirliğini sağlamak amacıyla ISO 17025 ve ISO 15189 standartları referans alınarak geliştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında, SHT30, DHT11, DHT22, DS18B20 ve LM35 gibi çeşitli sıcaklık ve nem sensörlerini entegre eden bir devre sistemi önerilmektedir. Bu sensörler, veri çıkış türleri ve iletişim protokolleri açısından farklılık gösterir. SHT30, I2C dijital iletişim protokolünü kullanırken; DHT11 ve DHT22, üreticiye özgü zamanlama tabanlı bir dijital haberleşme protokolü ile çalışır. DS18B20, 1-Wire protokolünü kullanarak iletişim kurarken, LM35 ise analog voltaj sinyalleri üreterek veri iletir. Sensörlerin performansı ve uyumluluğu, ESP32 mikrodenetleyicisi aracılığıyla değerlendirilmiştir. Bu çalışmada, sensör teknolojilerinin standartlaştırılmış ve kontrollü koşullar altında değerlendirilmesi yoluyla inkübatör, aşı buzdolapları vb. uygulamalar için en uygun sensör seçiminin belirlenmesine katkı sağlanması hedeflenmektedir. Ölçüm sonuçları, Fluke referans termometre kalibratörü ile karşılaştırılarak sensörlerin tepki süreleri ve ölçüm doğrulukları analiz edilmekte; bu sayede güvenilirlik ve geçerlilikleri değerlendirilmektedir.

Anahtar kelimeler: Sıcaklık ve Nem Sensörü, Sensör Performans Değerlendirmesi, Güvenilirlik ve Geçerlilik, Referans Termometre

Precise Temperature and Humidity Control for Incubators and Vaccine Refrigerators: Sensor Performance Evaluation

Abstract

Accurate temperature and humidity control is critical to the operation of medical equipment such as incubators, sterilizers, patient monitoring systems and vaccine refrigerators. These parameters play a vital role in the safety and accuracy of equipment used in biomedical applications. The determination of temperature and humidity values is a fundamental element in defining the current operating conditions and ensuring the performance safety of biomedical devices. This study was developed with reference to the TS EN ISO 80601-2-56 standard, which specifies performance and safety requirements for clinical thermometers, the IEC 60068 standard, which includes environmental test procedures

covering temperature and humidity cycles, and the ISO 17025 and ISO 15189 standards, which ensure environmental control and measurement reliability in calibration and medical laboratory environments. In this work, a circuit system is proposed that integrates various temperature and humidity sensors such as SHT30, DHT11, DHT22, DS18B20 and LM35. These sensors differ in terms of data output types and communication protocols. The SHT30 uses the I2C digital communication protocol, while the DHT11 and DHT22 use a manufacturer specific timing based digital communication protocol. The DS18B20 communicates using the 1-wire protocol, while the LM35 transmits data by generating analogue voltage signals. The ESP32 microcontroller is used to evaluate the performance and compatibility of the sensors. This study aims to help determine the most appropriate sensor selection for applications such as incubators, vaccine refrigerators, etc. by evaluating sensor technologies under standardized and controlled conditions. By comparing the measurement results with the Fluke Reference Thermometer Calibrator, the response times and measurement accuracies of the sensors will be analyzed to assess their reliability and validity.

Key words: Temperature and Humidity Sensor, Sensor Performance Evaluation, Reliability and Validity, Reference Thermometer

1. Giriş

Biyomedikal cihazların güvenilirliği ve doğruluğu sağlık hizmetlerindeki teşhis, tedavi ve izleme için kritik öneme sahiptir. Tıbbi cihazların hassasiyeti klinik karar verme süreci ve hasta sonuçları üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Bu etki temel fizyolojik sinyal izleyicilerinden karmaşık görüntüleme sistemlerine ve hatta çevresel faktörlere kadar bir dizi cihazda açıkça görülmektedir (Joint Committee for Guides in Metrology [JCGM], 2012). Biyomedikal metroloji, biyomedikal aletlerin ve tıbbi cihazların ölçüm ve kalibrasyonuna odaklanan uygulamalı metroloji dalı olarak tanımlanmaktadır (Diagnostics, 2010). Sensör kayması, çevresel faktörler veya cihazın eskimesi nedeniyle ölçümde meydana gelen hatalar yanlış teşhis, uygunsuz tedavi ve hatta yaşamı tehdit eden sonuçlara yol açma potansiyeline sahiptir.

Sensörlerin performansı, biyomedikal mühendisliğinde hasta güvenliği ve cihaz doğruluğu açısından hayati önem taşımaktadır. Özellikle sıcaklık ve nem gibi çevresel parametrelerin doğru ölçülmesi, inkübatörler, sterilizatörler, aşı buzdolapları ve hasta izleme sistemleri gibi kritik uygulamalarda cihazın işlevselliğini doğrudan etkilemektedir. Yanlış ölçümler, hem biyolojik materyallerin bozulmasına hem de tedavi süreçlerinin aksamasına neden olabilir (Smith et al., 2018). Bu nedenle, medikal cihazlar için geliştirilen kalite standartları; çevresel koşullara duyarlı parametrelerin yüksek doğrulukla izlenmesini zorunlu kılmaktadır (International Electrotechnical Commission [IEC], 2017). Sensörlerden elde edilen verilerdeki küçük sapmalar kalibrasyon hatalarına ve yanlış klinik kararlara yol açabilmektedir (Chen et al., 2020). Bu bağlamda; sensörlerin doğruluğu, tepki süresi, kararlılığı ve çevresel koşullara karşı davranış parametreleri temel performans kriterleri arasında yer almaktadır. Bu çalışma, klinik termometreler için TS EN ISO 80601-2-56, çevresel testler için IEC 60068 ve laboratuvar ölçüm güvenilirliği için ISO 17025 - ISO 15189 dahil olmak üzere hem ulusal hem de uluslararası standartları takip etmektedir. Literatürde yapılan çalışmalar inkübatörler, sterilizatörler, hasta izleme sistemleri ve aşı buzdolapları gibi tıbbi cihazlarında sıcaklık ve nem ölçümünün önemini ortaya koymaktadır. Yapılan çalışmada, termometre kalibratörü referans alınarak SHT30, DHT11, DHT22, BMP180, DS18B20 ve LM35 dahil olmak üzere birden fazla sıcaklık ve nem sensörünün performansı incelenmiştir. Çalışmada kullanılan sensörler I2C, 1-Wire, analog ve senkron seri sayısal haberleşme protokoller gibi farklı iletişim yöntemleriyle karakterize edilmektedir. Bu çalışmada kontrollü çevre koşulları altında çeşitli sıcaklık ve nem sensörlerinin ölçüm doğruluğu, tepki süresi ve güvenilirliğini analiz edilmiştir. Bu sayede özellikle inkübatörler ve aşı depolama üniteleri gibi klinik

uygulamalarda kullanılabilecek en uygun sensörlerin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu doğrultuda, farklı iletişim protokollerine sahip sensörlerin performansı, klinik gereksinimler doğrultusunda karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Sıcaklık Sensörleri

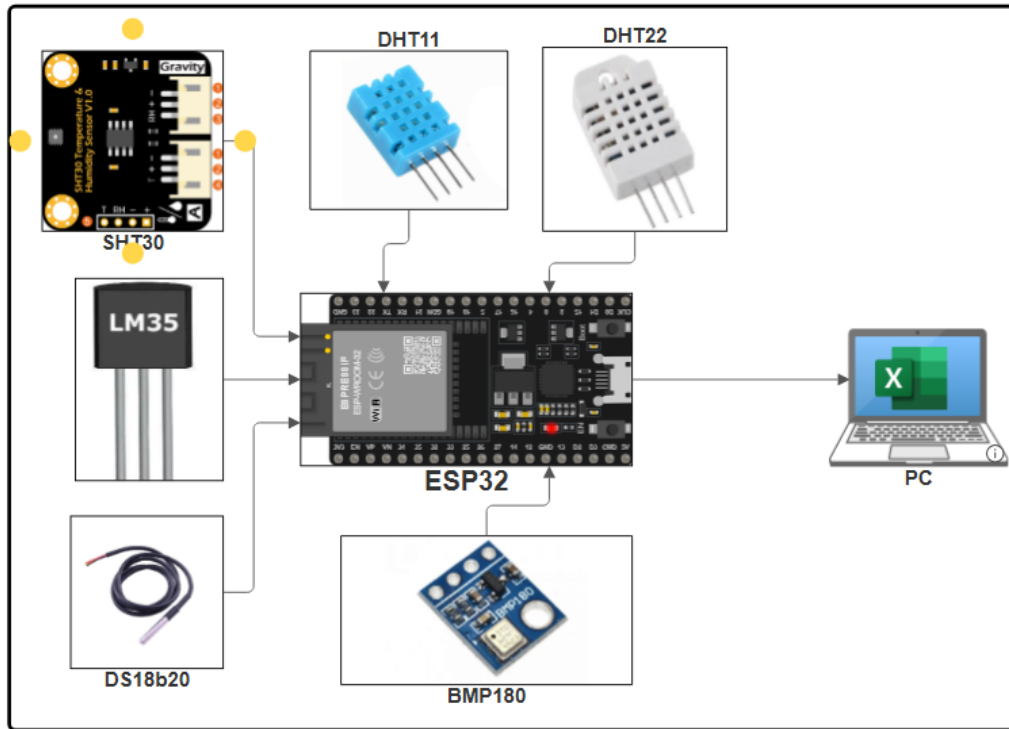
Piyasada sıcaklık ve nem ölçümü için çok sayıda sensör seçeneği bulunmakta olup, her biri farklı hassasiyet, tepki süresi, iletişim protokolü ve maliyet özellikleriyle öne çıkmaktadır. Bu çalışmada piyasada yaygın olarak bulunan SHT30, DHT11, DHT22, BMP180, DS18B20 ve LM35 gibi farklı uygulama alanlarında sıkça tercih edilen ve teknik özellikleri bakımından çeşitlilik sunan sensörler seçilmiştir. Örneğin, SHT30 yüksek doğruluk ve hızlı tepki süresiyle hassas uygulamalarda tercih edilirken, DHT11 ve DHT22 uygun maliyetli çözümler olarak öne çıkmaktadır. DS18B20, geniş sıcaklık aralığı ve 1-Wire protokolü ile uzun mesafeli ölçümler için uygundur. LM35, analog çıkış özelliği sayesinde basit mikrodenetleyici uygulamalarında yaygın şekilde kullanılırken; BMP180, hem sıcaklık hem de basınç ölçümü yeteneği ile çoklu parametre gerektiren uygulamalarda avantaj sağlamaktadır. Tablo 1’de bu sensörlerin teknik özellikleri karşılaştırmalı olarak görülmektedir. Bu karşılaştırma; SHT30, DHT11, DHT22, BMP180, DS18B20 ve LM35 sensörlerine ait çalışma gerilimi, sensör tipi (analog veya dijital), iletişim protokolü, ölçüm aralığı, çözünürlük, tepki süresi, doğruluk değeri ve kalibrasyon durumu gibi temel teknik parametreleri kapsamaktadır. Ayrıca, her bir sensörün tipik kullanım alanlarına da yer verilerek, uygulamaya yönelik uygunluk düzeyleri değerlendirilmiştir. Bu bilgiler, özellikle hassas sıcaklık ve nem kontrolünün kritik olduğu biyomedikal uygulamalarda en uygun sensörün seçilmesine katkı sunmaktadır.

Tablo 1. Sıcaklık ve Nem Sensörlerinin Teknik Özelliklerinin Karşılaştırılması

Parametre	DS18B20	DHT11	DHT22	BMP180	SHT30	LM35
Çalışma Gerilimi	3.0–5.5 V	3.0–5.5 V	3.3–6.0 V	1.8–3.6 V	2.4–5.5 V	4.0–30 V
Tip	Dijital	Dijital	Dijital	Dijital	Dijital	Analog
İletişim Protokolü	1-Wire	Tek hat (özel)	Tek hat (özel)	I ² C veya SPI	I ² C	Analog Gerilim
Ölçtüğü Parametreler	Sıcaklık	Sıcaklık, Nem	Sıcaklık, Nem	Basınç, Sıcaklık	Sıcaklık, Nem	Sıcaklık
Ölçüm Aralığı	-55°C ila +125°C	Sıcaklık: 0–50°C Nem: %20–80	Sıcaklık: -40°C ila +80°C Nem: %0–100	Basınç: 300–1100 hPa Sıcaklık: -40°C ila +85°C	Sıcaklık: -40°C ila +125°C Nem: %0–100	-55°C ila +150°C
Çözünürlük	9–12 bit (ayarlanabilir)	Sıcaklık: 1°C Nem: 1%	Sıcaklık: 0.1°C Nem: 0.1%	Sıcaklık: 0.1°C Basınç: 0.01 hPa	Sıcaklık: 0.01°C Nem: 0.01%	10 mV/°C
Tepki Süresi	~750 ms (12-bit modda)	~1 s	~2 s	~5 ms	~8 ms	~200 ms
Doğruluk	±0.5°C (-10°C ila +85°C)	Sıcaklık: ±2°C Nem: ±%5	Sıcaklık: ±0.5°C Nem: ±%2–5	Sıcaklık: ±1°C Basınç: ±1 hPa	Sıcaklık: ±0.3°C Nem: ±%2	±0.5°C (tipik)
Kalibrasyon Durumu	Fabrika kalibrasyonlu	Ön kalibrasyonlu	Ön kalibrasyonlu	Fabrika kalibrasyonlu	Fabrika kalibrasyonlu	Harici kalibrasyon önerilir
Tipik Kullanım Alanı	Sıvı sıcaklık ölçümü, medikal uygulamalar	Hobi elektroniği, temel çevre ölçümü	Tıbbi inkübatörler, nem hassas uygulamalar	İrtifa ölçümü, hava durumu istasyonları	Hassas iklimlendirme, inkübatörler	Bataryalı cihazlar

2.2 Sistem Tasarımı ve Donanım Bileşenleri

Bu çalışmada, sıcaklık ve nem sensörlerinin performansını değerlendirmek üzere ESP32 tabanlı veri toplama sistemi (Şekil 1) tasarlanmıştır. Sistemde kullanılan mikrodenetleyici, yüksek işlem kapasitesi, düşük enerji tüketimi ve çoklu iletişim protokolü desteği nedeniyle tercih edilmiştir. ESP32 modülüne SHT30, DHT11, DHT22, BMP180, DS18B20 ve LM35 sensörleri entegre edilmiştir. Bu sensörler (Tablo 1) farklı ölçüm aralıkları, doğruluk seviyeleri, iletişim protokolleri ve çıkış türleriyle çeşitlilik göstermektedir. Sistem, sensörlerden saniyede bir veri toplayacak şekilde yapılandırılmıştır. Her bir sensörün sıcaklık ve/veya nem değerleri, aynı anda çalışan Steril disk Data logger (Şekil 2a), Dickson TP125 nem/çevre kalibratörü (Şekil 2b) ve Fluke 1523 referans termometre (Şekil 2c), ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. ESP32 mikrodenetleyicisi ile iletişim, sensör tipine bağlı olarak I²C (SHT30, BMP180), tek hat özel protokol (DHT11, DHT22), 1-Wire (DS18B20) ve analog giriş (LM35) aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Tüm sensörler aynı sistem üzerinde eş zamanlı veri üretimi yapacak şekilde bağlanarak senkronize veri toplama sağlanmıştır. Ölçülen değerler zaman etiketli olarak kaydedilmiş ve grafiksel analiz için işlenmiştir.



Şekil 1. Sistemin Blok Diyagramı

2.3. Deneysel Protokol

Sensörlerin doğruluk ve tepki süresi performanslarını değerlendirmek amacıyla sensörler laboratuvarın doğal ortamına yerleştirilerek standart çevre koşullarında sıcaklık ve nem ölçümü yapılmıştır. Bu aşama, referans sistemle karşılaştırmalı olarak sensörlerin temel kalibrasyon durumunu gözlemlemek için kullanılmıştır. Ortamda sensörlerden 1 saniyelik örnekleme periyodu ile 8 dakikalık veri toplanmıştır. Ayrıca, ortam koşullarında ani sıcaklık/nem değişimleri yapılarak sensörlerin tepki süreleri gözlemlenmiştir. Tüm veriler CSV formatında kaydedilerek istatistiksel olarak analiz edilmiştir.

2.4. Karşılaştırmalı Referans Sistem

Sensör doğruluğunu belirlemek için referans olarak Şekil 2’de verilmiş olan Steril disk Data logger, Dickson TP125 ve Fluke 1523 hassas termometre kalibratörü kullanılmıştır. Bu cihazlar, ISO 17025 sertifikalı kalibrasyon belgelerine sahip olup yüksek doğrulukla ölçüm yapabilmektedir. Bu cihazlardan alınan veriler, her ortamda eşzamanlı olarak kaydedilen sensör verileri ile karşılaştırılarak mutlak sapma ve ortalama sapma analizleri yapılmıştır. Tüm ölçümler uluslararası standartlara uygun olarak gerçekleştirilmiş ve ölçüm belirsizliği değerlendirmesi ISO/IEC Guide 98-3 (GUM) prensipleri çerçevesinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. Sıcaklık ve Nem Kalibratörleri

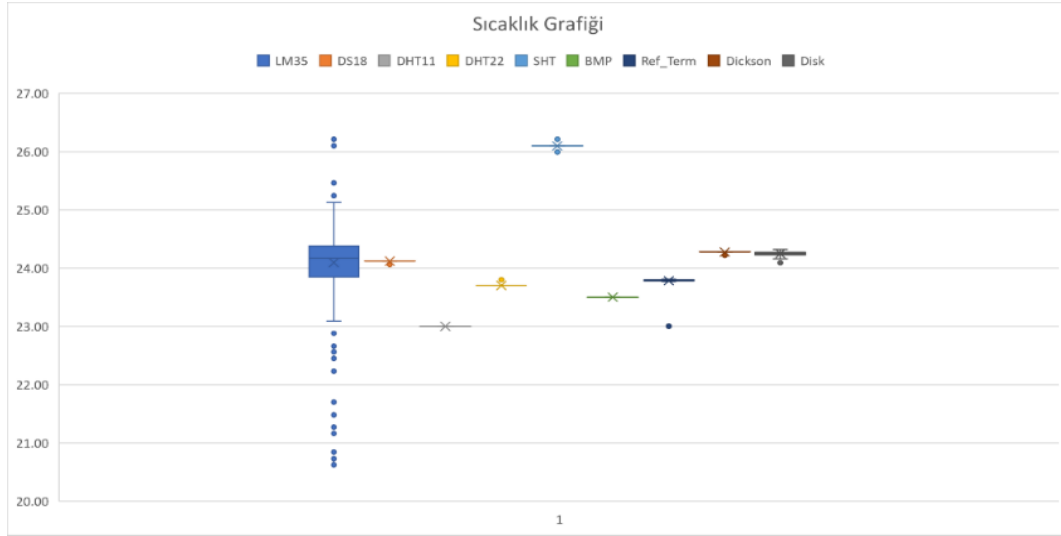
3. Bulgular ve Tartışma

Tasarımı yapılan sistem üzerinden sensör verileri gerçek zamanlı olarak izlenmiş ve grafiksel çıktılar alınmıştır. Ardından, Python analiz kodu ile doğruluk ve kararlılık ölçütlerine göre istatistiksel analizler gerçekleştirilmiştir.

3.1. Veri Analizi ve Değerlendirme Kriterleri

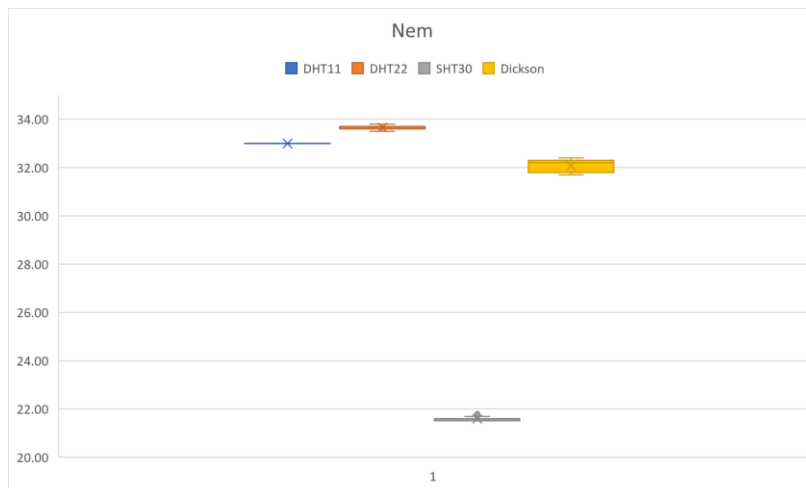
Bu çalışma, çeşitli sıcaklık ve nem sensörlerinin ölçüm doğruluğu, kararlılığı ve genel güvenilirliğini karşılaştırmalı olarak incelemektedir. Sensörlerden elde edilen veriler doğrultusunda grafiksel analizler yapılmış ve bu analizler ışığında her bir sensörün performansı değerlendirilmiştir. Analizler, hem sıcaklık hem de nem açısından gerçekleştirilmiş ve değerlendirme metrikleri olarak ortalama mutlak hata (MAE), karekök ortalama kare hata (RMSE), maksimum sapma ve standart sapma değerleri kriter olarak kullanılmıştır. Sıcaklık sensörlerine ait dağılım kutu grafiği (Şekil 3) incelendiğinde, LM35 sensörünün oldukça geniş bir ölçüm dağılımına sahip olduğu ve zaman zaman aykırı değerler gösterdiği görülmektedir. Ölçüm ortalaması yaklaşık 24 °C civarında seyretse de güvenilirlik açısından istikrarsız bir sensördür. Diğer yandan DS18B20 sensörü, oldukça dar bir saçılım değerlerine sahiptir. Bu ölçüm değerleri DS18B20’nin daha yüksek doğruluk ve tutarlılık değerlerine sahip olduğunu göstermektedir. DHT11 ve DHT22 sensörleri ise birbirine benzer ölçümler sunmakla

birlikte, DHT22'nin biraz daha düşük sıcaklık değerleri ölçtüğü dikkat çekmektedir. SHT ve BMP sensörleri de yüksek tutarlılıkla ölçüm yapmakta, bu da onları güvenilir alternatifler haline getirmektedir. Referans termometre ise en yüksek sıcaklık değerini göstermiş ve karşılaştırmalarda baz alınmıştır.



Şekil 3. Sıcaklık Değerleri Kutu Dağılım Grafiği

Nem sensörlerinden gelen verilerin dağılımına bakıldığında (Şekil 4), DHT11 ve DHT22 sensörlerinin birbirine oldukça yakın ve tutarlı değerler sunduğu gözlemlenmiştir. Ölçülen değerler genellikle %33 bağıl nem civarındadır ve bu sensörler uygun maliyetli çözümler için idealdir. SHT30 sensörü ise yaklaşık %21 seviyesinde bağıl nem göstermiştir. Bu durum sensörün farklı bir referans noktasına göre kalibre edilmesinden veya yapısal özelliğinden kaynaklanıyor olabilir. Dickson referans sensörü yaklaşık %32 bağıl nem civarında ölçüm yapmış ve bu bağlamda karşılaştırmalar için güvenilir bir temel oluşturmuştur.



Şekil 4. Nem Değerleri Kutu Dağılım Grafiği

3.2 Doğruluk Analizi

Elde edilen doğruluk metriklerine göre (Tablo 2), DS18B20 sıcaklık sensörü, ortalama mutlak hata (MAE: 0.0188°C), ortalama kare hata (RMSE: 0.0306°C) ve maksimum sapma (0.2741°C) değerleriyle en başarılı sensör olarak öne çıkmıştır. Bu performans, Fluke referans termometreye kıyasla %99.2 düzeyinde bir doğruluk sağladığını göstermektedir. Bu sonuç, DS18B20'nin literatürde de düşük maliyetli ancak yüksek hassasiyetli dijital sıcaklık ölçümleri için tercih edildiğini ortaya koyan çalışmalarla örtüşmektedir (Pramanik et al., 2020; Zhou et al., 2018).

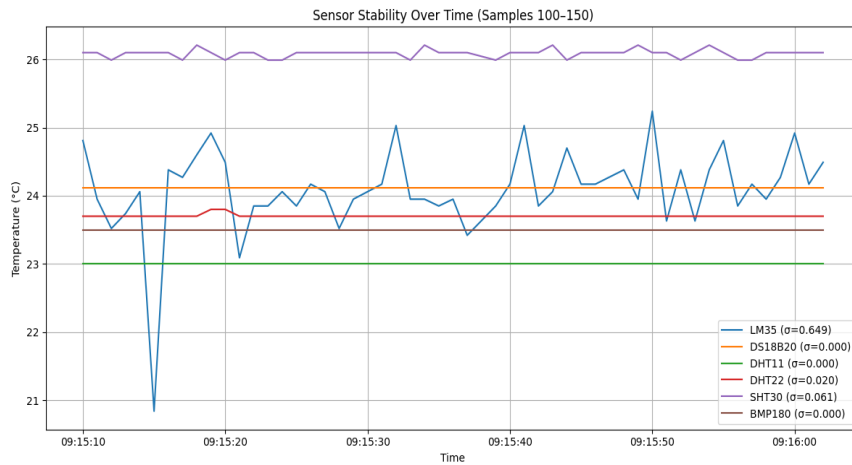
DHT22 sensörü, sıcaklık doğruluğu açısından da başarılı bir performans göstermiştir (MAE: 0.4002°C), özellikle nem ölçümleri bakımından diğer sensörlerin önüne geçmiştir. Nem ölçümüne ihtiyaç duyulan uygulamalarda DHT22'nin tercih edilmesi önerilmektedir. Ayrıca, DHT22'nin sıcaklık çıktılarının, Fluke 1523 referans termometresiyle yüksek korelasyon gösterdiği grafiksel analizlerde de gözlemlenmiştir. Bu da DHT22'nin hem sıcaklık hem nem ölçümünde güvenilir olduğunu göstermektedir. Buna karşın, SHT30 sensörü beklenenin aksine yüksek sapma değerleri göstermiştir (MAE: 1.9933°C). Bu durum, bazı ticari modüllerin kalibrasyon eksiklikleri veya ortama uyumsuzluğu ile ilişkili olabilir, ancak uygulama öncesi mutlaka kalibrasyon gerektirdiği vurgulanmalıdır.

Tablo 2. Sensörlerin Doğruluk Analizi Sonuçları

Sensör	MAE	RMSE	Max Sapma	Yorum
DS18B20	0.0188	0.0306	0.2741	Mükemmel Doğruluk
DHT22	0.4002	0.4012	0.4313	İyi
LM35	0.3973	0.6546	3.4959	Zayıf
DHT11	1.1019	1.1022	1.1313	Zayıf
SHT30	1.9933	1.9946	2.2541	Zayıf
BMP180	0.6019	0.6024	0.6313	Zayıf

3.3 Kararlılık ve Tekrarlanabilirlik

Sensörlerin kararlılığı, standart sapma (σ) üzerinden değerlendirilmiştir (Şekil 5). DS18B20, DHT11, BMP180 ve DHT22 sensörlerinin standart sapmaları sıfıra yakın ölçülmüş, bu da ölçümlerin tekrarlanabilir olduğunu göstermektedir. Özellikle DS18B20 sensörünün istikrarlı çıkışları, sistemin uzun süreli güvenilirliğini desteklemektedir. LM35 sensörü ise yüksek bir sapma değeri ($\sigma = 0.6492$) göstermiştir. Bu durum, analog çıkışlı sensörlerin çevresel gürültüye ve güç kaynağı dalgalanmalarına karşı daha duyarlı olduğunu destekleyen çalışmalarla paraleldir (Chen et al., 2015).



Şekil 5. Sensörlerin Kararlılığı ve Standart Sapma Grafiği

3.4 Tepki Süresi Analizi

Sensörlerin tepki süresi verileri çeşitli nedenlerle sayısal olarak tam değerlendirilememiştir. Ancak sistem grafiklerinden elde edilen gözlemsel bulgular, ani sıcaklık ve nem değişimlerine karşı özellikle DHT22 ve DS18B20 sensörlerinin diğer sensörlere göre daha kısa sürede stabil ölçümler vermeye başladığını göstermektedir.

4. Sonuçlar

Hassas sıcaklık ve nem kontrolü, inkübatörler, sterilizatörler, hasta izleme sistemleri ve aşı buzdolapları gibi tıbbi cihazların işlevselliği açısından kritik bir öneme sahiptir. Sıcaklık ve nem değerlerinin belirlenmesi, mevcut operasyonel koşulların tanımlanmasında ve biyomedikal cihazların performans güvenliğinin sağlanmasında temel bir unsur teşkil etmektedir. Piyasada sıcaklık ve nem ölçümü için çok sayıda sensör seçeneği bulunmakta olup, her biri farklı hassasiyet, tepki süresi, iletişim protokolü ve maliyet özellikleriyle öne çıkmaktadır. Bu çalışmada piyasada yaygın olarak bulunan SHT30, DHT11, DHT22, BMP180, DS18B20 ve LM35 gibi farklı uygulama alanlarında sıkça tercih edilen ve teknik özellikleri bakımından çeşitlilik sunan sensörler kıyaslanmıştır.

Grafiksel ve hesaplamalı doğruluk metriklerine göre, DS18B20 sıcaklık sensörü, doğru ve stabil sonuçlar verdiğini tespit edilmiştir. Bu performans, Fluke referans termometreye kıyasla %99,2 düzeyinde bir doğruluk sağladığını göstermektedir. DHT22 sensörü ise, sıcaklık doğruluğu açısından da başarılı bir performans göstermiştir (MAE: 0.4002°C), özellikle nem ölçümleri bakımından diğer sensörlerin önüne geçmiştir. DS18B20, Mutlak sıcaklık ölçümleri gereken ve kritik olduğu uygulamalarda en uygun sensör olarak önerilmektedir. DHT22 hem sıcaklık hem nem ölçümleri açısından başarılıdır ve özellikle Fluke 1523 ile gösterdiği benzerlik sayesinde klinik ve medikal uygulamalarda kullanılabilir niteliktedir. SHT30 ve LM35, düşük kararlılıkları nedeniyle bu tür hassas uygulamalarda dikkatli seçilmesi tavsiye edilmektedir. BMP180, basit çevresel izleme için yeterli olmakla birlikte mutlak doğruluk gerektiren uygulamalarda yetersiz olabileceği tespit edilmiştir.

Kaynaklar

- Chen, X., Zhang, Y., & Liu, H. (2020). Advances in sensor technologies in biomedical engineering. *Biomedical Engineering Letters*, 10(4), 523–537.
- Diagnostics, M. D. A. (2010, July 11). Medical devices: managing the mismatch: an outcome of the priority medical devices project. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241564045>
- Smith, J. A., Patel, N., & Roberts, D. (2018). Environmental monitoring in clinical settings: The role of temperature and humidity sensors. *Journal of Clinical Engineering*, 43(2), 78–85.
- Joint Committee for Guides in Metrology. (2012). International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (JCGM 200:2012, 3rd ed.). Bureau International des Poids et Mesures (BIPM). https://www.bipm.org/utls/common/documents/jcgm/JCGM_200_2012.pdf
- International Organization for Standardization. (2012). ISO 15189:2012: Medical laboratories – Requirements for quality and competence. <https://www.iso.org/standard/56115.html>.
- International Electrotechnical Commission. (2017). IEC 60068-2-38: *Environmental testing – Part 2-38: Tests – Test Z/AD: Composite temperature/humidity cyclic test*. IEC.
- International Organization for Standardization. (2017). ISO/IEC 17025:2017: General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. <https://www.iso.org/standard/66912.html>.
- International Organization for Standardization. (2017). ISO 80601-2-56:2017: Medical electrical equipment – Part 2-56: Particular requirements for basic safety and essential performance of clinical thermometers for body temperature measurement.



Refleks ve Reaksiyon Ölçüm Sistemi

Elif Karadağ ^{1,*}, Begüm Karakaya ¹ ve Uğur Fidan ¹

¹ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar

* Sorumlu yazar: elifkaradag048@gmail.com

Özet

Çevresel uyaranlara verilen tepkilerin süresi ve doğruluğu, bireylerin fiziksel ve bilişsel performans düzeylerinin objektif göstergeleri olarak kabul edilmektedir. Sporculardan yaşlı popülasyonlara kadar geniş bir demografik yelpazede, tepki süresi ölçümlerinin dikkat kapasitesi, karar verme mekanizmaları ve motor becerilerin değerlendirilmesindeki kritik rolü literatürde geniş şekilde vurgulanmaktadır. Bu bağlamda, refleks ve çeviklik parametrelerini hem fizyolojik hem de nörobilişsel boyutlarıyla bütüncül olarak ölçebilen yenilikçi sistemlerin geliştirilmesi güncel bir araştırma ihtiyacı olarak öne çıkmaktadır. Mevcut çeviklik değerlendirme protokolleri, temel olarak önceden programlanmış ve tahmin edilebilir yön değişimlerine dayalı statik testlerden oluşmaktadır. Bu yaklaşım, bireylerin dinamik ortamlarda sergiledikleri gerçek zamanlı karar alma süreçlerini, dikkat dağılımını ve algısal-motor entegrasyonunu kapsamlı şekilde ölçmede metodolojik sınırlılıklar barındırmaktadır. Söz konusu eksiklikler özellikle spor bilimleri ve nörobilişsel araştırmalar alanlarında, uyaran-yanıt paradigmalarını daha reaktif ve adaptif temelde ölçebilen sistemlere olan gereksinimi açıkça ortaya koymaktadır. Bu çalışmada, reaktif çeviklik temelli, çoklu modaliteli ışık uyaranlarına dayanan taşınabilir bir reaksiyon ölçüm sistemi geliştirilmiştir. Sistem mimarisinde Arduino Mega 2560 mikrodenetleyici platformu, çok renkli Arcade tipi tepki butonları ve HC-05 Bluetooth veri iletim modülü gibi donanım bileşenleri entegre edilmiştir. Visual C++ programlama diliyle geliştirilen özel yazılım arayüzü sayesinde, kullanıcı tepki süreleri milisaniye hassasiyetinde kaydedilmekte ve gerçek zamanlı veri görselleştirme imkânı sağlanmaktadır. Sistemin taşınabilir tasarımı hem kontrollü laboratuvar ortamlarında hem de sahada uygulanabilirlik avantajı sunmaktadır. Modüler yapısı sayesinde farklı yaş grupları ve beceri düzeylerine uygun şekilde özelleştirilebilen sistem, aynı zamanda düşük üretim maliyeti ve yerli tasarım özellikleriyle uluslararası rakiplerine karşı önemli bir rekabet avantajı sağlamaktadır.

Anahtar kelimeler: Reaktif Çeviklik, Tepki Süresi, Bilişsel Performans, Motorik Beceri, Nörobilişsel Test

Reaction Measurement System

Abstract

Response time and accuracy to environmental stimuli are considered objective indicators of individuals' physical and cognitive performance levels. In a wide demographic range—from athletes to the elderly population—the critical role of reaction time measurements in evaluating attention capacity, decision-making mechanisms, and motor skills is extensively emphasized in the literature. In this context, the development of innovative systems that can holistically measure reflex and agility parameters from both physiological and neurocognitive dimensions emerges as a current research need. Existing agility assessment protocols primarily consist of static tests based on pre-programmed and predictable direction changes. This approach presents methodological limitations in comprehensively measuring real-time decision-making processes, attention distribution, and perceptual-motor integration exhibited by individuals in dynamic environments. These shortcomings, particularly in the fields of sports

sciences and neurocognitive research, clearly highlight the need for systems that can measure stimulus-response paradigms on a more reactive and adaptive basis. In this study, a portable reaction measurement system based on reactive agility and multi-modal light stimuli has been developed. The system architecture integrates hardware components such as the Arduino Mega 2560 microcontroller platform, multi-colored arcade-style response buttons, and the HC-05 Bluetooth data transmission module. Through a custom software interface developed in Visual C#, user reaction times are recorded with millisecond precision and real-time data visualization is enabled. The portable design of the system offers the advantage of applicability both in controlled laboratory settings and in the field. Thanks to its modular structure, the system can be customized for different age groups and skill levels. Additionally, with its low production cost and domestic design features, it provides a significant competitive advantage against international counterparts.

Key words: Reactive Agility, Reaction Time, Cognitive Performance, Motor Skills, Neurocognitive Test

1. Giriş

Projenin Konusu:

Projenin konusu içinde reaksiyon zamanlarının ve refleks yeteneklerinin incelenmesi, çabuk düşünme, hızlı karar verme, çabuk tepki verme gibi bilişsel beceri ile görsel tarama, odaklanma ve fiksasyon gibi görsel stratejilerinde bulunduğu geliştirilen yeni bir reaksiyon test ve ölçüm sisteminin gerçekleştirilmesidir.

Özgün Değer:

Bu çalışmada, çevresel uyaranlara verilen tepkilerin süreleri ve doğruluklarının ölçülmesi amacıyla yenilikçi bir reaksiyon ölçüm sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen sistem, çok renkli arcade butonlar kullanarak, bilişsel beceriler (çabuk düşünme, hızlı karar verme, hızlı tepki verme) ve görsel stratejiler (görsel tarama, odaklanma, fiksasyon) üzerine yapılan ölçümleri daha donanımlı ve kapsamlı bir şekilde gerçekleştirmektedir. Mevcut sistemler genellikle çeviklik ve refleks ölçümlerini statik, önceden programlanmış testlerle yaparken, bu proje ile önerilen sistem, reaktif çeviklik ve çevresel uyaranlara verilen tepkilerin çoklu modaliteli ışık uyaranlarıyla ölçülmesini sağlamaktadır. Bu, özellikle spor bilimleri ve nörobilişsel araştırmalar gibi alanlarda, uyaran-yanıt paradigmlarını daha reaktif ve adaptif bir temele oturatarak, mevcut testlerin sınırlamalarını aşmayı amaçlamaktadır.

Araştırma, çeviklik ve refleks testlerinin yalnızca fiziksel değil, aynı zamanda bilişsel ve nörobilişsel boyutlarının da ölçülmesi gerektiği hipotezine dayanmıştır. Literatürde çeviklik testlerinin genellikle planlı ve önceden belirlenmiş yön değişimlerine dayalı olduğu, dolayısıyla gerçek zamanlı karar alma süreçlerini, dikkat dağılımını ve algısal-motor entegrasyonu tam anlamıyla ölçemediği ifade edilmiştir. Bu proje, reaktif çeviklik üzerine kurulu taşınabilir bir sistem önererek, bireylerin dinamik ortamlarda sergiledikleri tepki süresi ve karar verme süreçlerini daha doğru bir şekilde ölçmeyi başarmıştır. Ayrıca, sistemin taşınabilir ve modüler yapısı sayesinde, farklı yaş grupları, cinsiyetler ve fiziksel yeterlilik düzeylerine göre özelleştirilmesi sağlanmıştır.

Geliştirilen sistem, çeviklik testlerine kıyasla daha yüksek duyarlılık ve gerçekçilik sunmaktadır. Çevresel uyaranlara verilen tepkilerin ölçülmesi, sporcuların, yaşlı bireylerin ve diğer demografik grupların bilişsel ve motorik performanslarını daha etkili bir şekilde değerlendirmeyi mümkün kılmaktadır. Sistemin taşınabilirliği ve modüler yapısı, hem laboratuvar ortamlarında hem de saha çalışmaları gibi farklı ortamlarda uygulanabilirliğini artırmaktadır. Ayrıca, düşük üretim maliyeti ve yerli tasarım özellikleri, bu sistemin uluslararası rekabette önemli bir avantaj sağlamasını mümkün kılmaktadır.

Bu çalışmada, çevresel uyaranlara verilen tepkilerin süreleri ve doğruluklarının ölçülmesi amacıyla yenilikçi bir reaksiyon ölçüm sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen sistem, çok renkli arcade butonlar

kullanarak, bilişsel beceriler (çabuk düşünme, hızlı karar verme, hızlı tepki verme) ve görsel stratejiler (görsel tarama, odaklanma, fiksasyon) üzerine yapılan ölçümleri daha donanımlı ve kapsamlı bir şekilde gerçekleştirmektedir. Mevcut sistemler genellikle çeviklik ve refleks ölçümlerini statik, önceden programlanmış testlerle yaparken, bu proje ile önerilen sistem, reaktif çeviklik ve çevresel uyaranlara verilen tepkilerin çoklu modaliteli ışık uyaranlarıyla ölçülmesini sağlamaktadır. Bu, özellikle spor bilimleri ve nörobilişsel araştırmalar gibi alanlarda, uyaran-yanıt paradigmalarını daha reaktif ve adaptif bir temele oturatarak, mevcut testlerin sınırlamalarını aşmayı amaçlamaktadır.

Araştırma, çeviklik ve refleks testlerinin yalnızca fiziksel değil, aynı zamanda bilişsel ve nörobilişsel boyutlarının da ölçülmesi gerektiği hipotezine dayanmıştır. Literatürde çeviklik testlerinin genellikle planlı ve önceden belirlenmiş yön değişimlerine dayalı olduğu, dolayısıyla gerçek zamanlı karar alma süreçlerini, dikkat dağılımını ve algısal-motor entegrasyonu tam anlamıyla ölçemediği ifade edilmiştir. Bu proje, reaktif çeviklik üzerine kurulu taşınabilir bir sistem önererek, bireylerin dinamik ortamlarda sergiledikleri tepki süresi ve karar verme süreçlerini daha doğru bir şekilde ölçmeyi başarmıştır. Ayrıca, sistemin taşınabilir ve modüler yapısı sayesinde, farklı yaş grupları, cinsiyetler ve fiziksel yeterlilik düzeylerine göre özelleştirilmesi sağlanmıştır.

Geliştirilen sistem, çeviklik testlerine kıyasla daha yüksek duyarlılık ve gerçekçilik sunmaktadır. Çevresel uyaranlara verilen tepkilerin ölçülmesi, sporcuların, yaşlı bireylerin ve diğer demografik grupların bilişsel ve motorik performanslarını daha etkili bir şekilde değerlendirmeyi mümkün kılmaktadır. Sistemin taşınabilirliği ve modüler yapısı, hem laboratuvar ortamlarında hem de saha çalışmaları gibi farklı ortamlarda uygulanabilirliğini artırmaktadır. Ayrıca, düşük üretim maliyeti ve yerli tasarım özellikleri, bu sistemin uluslararası rekabette önemli bir avantaj sağlamasını mümkün kılmaktadır.

Bu çalışmada, çevresel uyaranlara verilen tepkilerin süreleri ve doğruluklarının ölçülmesi amacıyla yenilikçi bir reaksiyon ölçüm sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen sistem, çok renkli arcade butonlar kullanarak, bilişsel beceriler (çabuk düşünme, hızlı karar verme, hızlı tepki verme) ve görsel stratejiler (görsel tarama, odaklanma, fiksasyon) üzerine yapılan ölçümleri daha donanımlı ve kapsamlı bir şekilde gerçekleştirmektedir. Mevcut sistemler genellikle çeviklik ve refleks ölçümlerini statik, önceden programlanmış testlerle yaparken, bu proje ile önerilen sistem, reaktif çeviklik ve çevresel uyaranlara verilen tepkilerin çoklu modaliteli ışık uyaranlarıyla ölçülmesini sağlamaktadır. Bu, özellikle spor bilimleri ve nörobilişsel araştırmalar gibi alanlarda, uyaran-yanıt paradigmalarını daha reaktif ve adaptif bir temele oturatarak, mevcut testlerin sınırlamalarını aşmayı amaçlamaktadır.

Araştırma, çeviklik ve refleks testlerinin yalnızca fiziksel değil, aynı zamanda bilişsel ve nörobilişsel boyutlarının da ölçülmesi gerektiği hipotezine dayanmıştır. Literatürde çeviklik testlerinin genellikle planlı ve önceden belirlenmiş yön değişimlerine dayalı olduğu, dolayısıyla gerçek zamanlı karar alma süreçlerini, dikkat dağılımını ve algısal-motor entegrasyonu tam anlamıyla ölçemediği ifade edilmiştir. Bu proje, reaktif çeviklik üzerine kurulu taşınabilir bir sistem önererek, bireylerin dinamik ortamlarda sergiledikleri tepki süresi ve karar verme süreçlerini daha doğru bir şekilde ölçmeyi başarmıştır. Ayrıca, sistemin taşınabilir ve modüler yapısı sayesinde, farklı yaş grupları, cinsiyetler ve fiziksel yeterlilik düzeylerine göre özelleştirilmesi sağlanmıştır.

Geliştirilen sistem, çeviklik testlerine kıyasla daha yüksek duyarlılık ve gerçekçilik sunmaktadır. Çevresel uyaranlara verilen tepkilerin ölçülmesi, sporcuların, yaşlı bireylerin ve diğer demografik grupların bilişsel ve motorik performanslarını daha etkili bir şekilde değerlendirmeyi mümkün kılmaktadır. Sistemin taşınabilirliği ve modüler yapısı, hem laboratuvar ortamlarında hem de saha çalışmaları gibi farklı ortamlarda uygulanabilirliğini artırmaktadır. Ayrıca, düşük üretim maliyeti ve yerli tasarım özellikleri, bu sistemin uluslararası rekabette önemli bir avantaj sağlamasını mümkün kılmaktadır.

Bu çalışmada, çevresel uyaranlara verilen tepkilerin süreleri ve doğruluklarının ölçülmesi amacıyla yenilikçi bir reaksiyon ölçüm sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen sistem, çok renkli arcade butonlar kullanarak, bilişsel beceriler (çabuk düşünme, hızlı karar verme, hızlı tepki verme) ve görsel stratejiler (görsel tarama, odaklanma, fiksasyon) üzerine yapılan ölçümleri daha donanımlı ve kapsamlı bir

şekilde gerçekleştirmektedir. Mevcut sistemler genellikle çeviklik ve refleks ölçümlerini statik, önceden programlanmış testlerle yaparken, bu proje ile önerilen sistem, reaktif çeviklik ve çevresel uyaranlara verilen tepkilerin çoklu modaliteli ışık uyaralarıyla ölçülmesini sağlamaktadır. Bu, özellikle spor bilimleri ve nörobilişsel araştırmalar gibi alanlarda, uyaran-yanıt paradigmalarını daha reaktif ve adaptif bir temele oturatarak, mevcut testlerin sınırlamalarını aşmayı amaçlamaktadır.

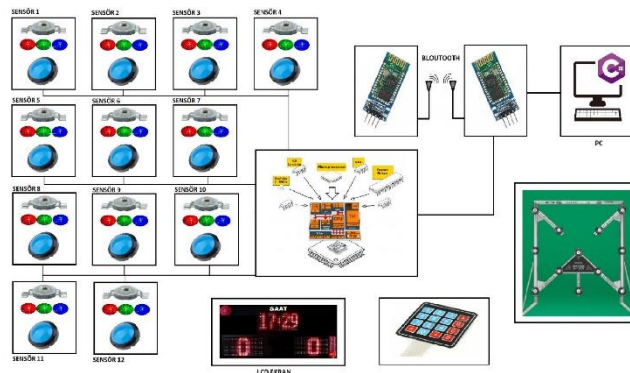
Araştırma, çeviklik ve refleks testlerinin yalnızca fiziksel değil, aynı zamanda bilişsel ve nörobilişsel boyutlarının da ölçülmesi gerektiği hipotezine dayanmıştır. Literatürde çeviklik testlerinin genellikle planlı ve önceden belirlenmiş yön değişimlerine dayalı olduğu, dolayısıyla gerçek zamanlı karar alma süreçlerini, dikkat dağılımını ve algısal-motor entegrasyonu tam anlamıyla ölçemediği ifade edilmiştir. Bu proje, reaktif çeviklik üzerine kurulu taşınabilir bir sistem önererek, bireylerin dinamik ortamlarda sergiledikleri tepki süresi ve karar verme süreçlerini daha doğru bir şekilde ölçmeyi başarmıştır. Ayrıca, sistemin taşınabilir ve modüler yapısı sayesinde, farklı yaş grupları, cinsiyetler ve fiziksel yeterlilik düzeylerine göre özelleştirilmesi sağlanmıştır.

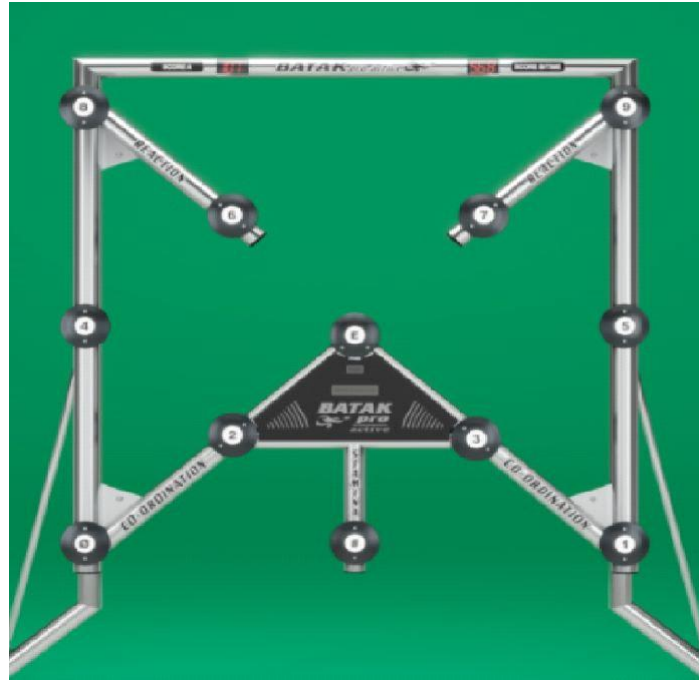
Geliştirilen sistem, çeviklik testlerine kıyasla daha yüksek duyarlılık ve gerçekçilik sunmaktadır. Çevresel uyaranlara verilen tepkilerin ölçülmesi, sporcuların, yaşlı bireylerin ve diğer demografik grupların bilişsel ve motorik performanslarını daha etkili bir şekilde değerlendirmeyi mümkün kılmaktadır. Sistemin taşınabilirliği ve modüler yapısı, hem laboratuvar ortamlarında hem de saha çalışmaları gibi farklı ortamlarda uygulanabilirliğini artırmaktadır. Ayrıca, düşük üretim maliyeti ve yerli tasarım özellikleri, bu sistemin uluslararası rekabette önemli bir avantaj sağlamasını mümkün kılmaktadır.

Çeviklik testleri üzerine yapılan çalışmalar için literatür taraması yapıldığında çevikliğin planlı ve reaktif olmak üzere iki kategoride ele alındığı görülmektedir (Oliver ve Meyers, 2009; Young ve Wiley, 2010)[1,2]. Planlı çeviklik hareketleri; başlangıç ve sonunun nerelerde yön değiştirmelerin olduğunun bilindiği kapalı beceri çalışmalarından oluşmaktadır (Oliver ve Meyers, 2009) [1]. Reaktif çeviklik ise motorik özelliklerle beraber içinde algısal ve karar verme becerilerinin bulunduğu bilişsel özellikleri de ölçmeye çalışan açık beceri çalışmaları olarak tanımlanmıştır. (Jeffreys, 2011; Serpell vd., 2011) [3,4].

2. Materyal ve Metot

Aşağıda, gerçekleştirilecek sistemin blok diyagramı gösterilmektedir. Bilgisayar kısmında, geliştirilen yazılım arayüzünü yazılımcılar tarafından görsel tabanlı programlama dili kullanılarak oluşturulmuştur. Bu seçim, arayüzün kullanıcı dostu ve anlaşılır olmasını sağlamak amacıyla yapılmıştır. Arayüz, kullanıcıların test sonuçlarını veri tabanında kayıt altına alarak, kullanıcıların gelişim süreçlerinin takip edilmesine olanak tanır. Ayrıca, test sonuçları LCD ekranda görselleştirilerek, kullanıcıların sonuçlara anında erişebilmesi sağlanır.





Şekil 1. Batak Pro Reaksiyon Ölçüm Sistemi

2.1 Refleks ve Çeviklik Testi

Katılımcılar önce cinsiyetlerine daha sonra yaşlarına göre ayrılarak belli zaman aralıklarında aynı mesafe ve aynı şartlar altında teste tabi tutuldu. Her bir katılımcının belli zaman aralıklarındaki refleksleri ve çeviklikleri ölçülmüştür.

2.2 Bluetooth

Bluetooth kablosuz teknolojisi mobil bilgisayarlar, mobil telefonlar, elde taşınabilen küçük cihazları birbirlerine ve internete bağlayabilen dünya çapında belirlenmiş düşük maliyetli bir radyo frekanslı çözüm tekniğidir. İlk kez 1999 yılında, Bluetooth 1.0 ve 1.0B olarak üretilen bluetooth teknolojisi farklı üreticilere ait donanımlarda uyumsuzluk taşımasından dolayı 2000-2001 yılları arasında geliştirilerek ilk kez cep telefonu, bilgisayar kartı, mouse, yazıcı ve dizüstü bilgisayar vb. ürünler entegre edilerek piyasaya çıkmıştır. 2002 yılında, Bluetooth 1.1 IEEE Standart 802. 15. 1. 2002 standardına uygun olarak geliştirildi. Ayrıca 1.0B'ye göre de birçok hatası giderildi. Bunlara ek olarak şifresiz kanallarda haberleşme olanağı eklendi. 2003 yılında, Bluetooth 1.2 versiyonu geliştirildi. Bu sürümde cihazın bulunması ve bağlanması daha da hızlıydı. Ayrıca pratikte iletim hızı 721 kbit/s'ye ulaştı. 2004 yılında, çekirdek özellikli Bluetooth 2.0 versiyonu piyasaya çıkarıldı. Bu sürümün en önemli özelliği hızlı bilgi transferi için Geliştirilmiş Veri Hızına sahip olmasıdır (Enhanced Data Rate-EDR). Böylece veri hızı 2,1 Mbit/s'ye ulaşmıştır. Daha sonra 2007 yılında Bluetooth 2.1 piyasaya çıkarılmış ve bu sürüm önceki iki sürümle uyumlu olarak çalışmıştır. 2009 yılında, Bluetooth 3.0 piyasaya çıkarılmıştır. Bu versiyonun öne çıkan yeniliği yüksek hızlı data transferi olan 802,11 özelliğinin eklenmesidir. Son olarak 2010 yılında Bluetooth Smart (4.0) geliştirildi. Bu sürüm, klasik Bluetooth teknolojisinin yanı sıra, yüksek hız ve düşük enerji protokollerini de içermektedir (Bluetooth,2013) [11,12]. Projede cihaz ile PC arasındaki iletişimi sağlayacak bluetooth bağlantısı ile kablo bağlantısını ortadan kaldırarak sporcuların hareket kabiliyetinin artırılması hedeflenmektedir.

2.3 VISUAL C#

C#, yazılım sektörü içerisinde en sık kullanılan iki yazılım dili olan C ve C++ etkileşimi ile türetilmiştir. Ayrıca C#, ortak platformlarda taşınabilir bir (portable language) programlama dili olan Java ile pek çok açıdan benzerlik taşımaktadır. En büyük özelliği ise .Net Framework platformu için hazırlanmış tamamen nesne yönelimli bir yazılım dili olmasıdır. Yani nesneler önceden sınıflar halinde yazılıdır. Programcıya sadece o nesneyi sürüklemek ve sonrasında nesneyi amaca uygun çalıştıracak kod satırlarını yazmak kalır. Microsoft tarafından geliştirilen C#, C++ ve Visual Basic dillerinde yer alan tutarsızlıkları kaldırmak için geliştirilmiş bir dil olmasına rağmen kısa süre içerisinde nesne yönelimli dillerin içinde en gelişmiş programlama dillerinden biri olmayı başarmıştır. Gelişmiş derleyicisi (debugger) ile hata olasılığını ortadan kaldırmaktadır. Yazılan program çalıştırıldıktan sonra derleyici tarafından algılanan Sınıf (Class) ve söz dizimi (syntax) hataları yazılımcıya ayrı bir ekranda ayrıntısı ile gösterilir ve yazılımcı bu hata penceresinden hataları tespit ederek kolayca düzeltebilir (C# Nedir? ,2011). [13]

2.4 Mikrodenetleyici

Mikrodenetleyici programlanabilme, bir programı içerisinde depolayıp daha sonra çalıştırabilme özelliklerine sahip tek bir chip 'ten oluşan bilgisayardır. Mikrodenetleyicilerde bir CPU (Central Process Unit), RAM (Random Access Memory) ROM (Read Only Memory), input - output (giriş -çıkış I/O) uçları, seri ve paralel portlar , sayıcılar (counter) ve bazı mikrodenetleyicilerde de Analog 'dan Dijital 'e (A/D) ya da Dijital 'den Analog 'a (D/A) çeviriciler (konvertör) bulunur. Bu projede sistemin merkezi kontrol birimi olarak Arduino Nano mikrodenetleyici kartı tercih edilmiştir.

2.5. ARDUINO Geliştirme Platformu

Arduino, İtalyan elektronik mühendisleri tarafından açık kaynak kodlu geliştirilen ve isteyen herkesin baskı devreleri indirerek kendi devrelerini basabilecekleri dilerlerse şık bir görüntüye sahip hazır basılmış ve bileşenleri yerleştirilmiş halde alabilecekleri, esnek, kolay kullanımlı donanım ve yazılım tabanlı bir fiziksel programlama platformudur. Arduino geliştirme kartı üzerindeki mikroişlemci (AtmegaXX) Arduino programlama dili (wiring tabanlı) ile programlanır ve bu program Processing tabanlı Arduino Yazılım Geliştirme Ortamı (IDE) yardımı ile karta yüklenir. Arduino kartları üzerinde Atmega firmasının 8 ve 32 bit mikrodenetleyicileri bulunur. Şekil 5 'de Arduino Mega ve teknik özellikleri görülmektedir. Üzerinde bulunan I/O portları, UART, I2C, SPI ve PWM vb. pinler ile farklı donanımlarla birlikte çalışabilmeye olanak sağlamaktadır.

Arduino Mega 2560 'ta 54 tane dijital giriş / çıkış pini vardır. Bunlardan 15 tanesi PWM çıkışı olarak kullanılabilir. Ayrıca 16 adet analog girişi, 4 UART (donanım seri port), bir adet 16 MHz kristal osilatörü, USB bağlantısı, power jakı (2.1mm), ICSP başlığı ve reset butonu bulunmaktadır. Arduino Mega 2560 bir mikrodenetleyiciyi desteklemek için gerekli bileşenlerin hepsini içerir. Arduino Mega 2560 bir bilgisayara bağlanarak, bir adaptör ile ya da pil ile çalıştırılabilir. Arduino Mega, Arduino Duemilanove ya da Diecimila için tasarlanan shieldlerin çoğu ile kullanılabilir.[14]

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Araştırma Sorusu ve Cevapları

3.1.2. Reaksiyon Ölçüm Sisteminin Merkezi Sinir Sistemi (MSS) Üzerindeki Etkiler

Reaksiyon süresi ölçümleri, literatürde bilişsel süreçlerin değerlendirilmesi ve motor performansın analizi olmak üzere iki temel nedenden dolayı önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir. Birincisi, trafik veya sportif aktiviteler gibi günlük hayatın bir parçası olarak, ikincisi gelen uyarının işlenimi karar verme, tepkinin programlanması gibi zihinsel faaliyetlerin süresini belirlemede bir ölçek olarak görülmektedir [16, 17, 19]. Reaksiyon süresi, verilen görsel veya işitsel tek uyarı, tek cevap şeklinde basit

reaksiyon süresi veya birden fazla uyarı ve birden fazla cevap alternatiflerine dayalı seçmeli reaksiyon süresi olarak belirtilmektedir [15, 16]. Günlük hayatta, kişiye uyarılar farklı şekillerde verilebilir. Trafikte araba kullanırken beklenmedik bir anda yolda bir nesnenin belirmesiyle frene basmak, direksiyonu çevirmek ya da sportif olaylarda rakibinin hareketine göre kişinin pozisyonunu değiştirmesi gibi uyarı ve cevap şekilleri farklı olabilir. Uyarıyı takiben duyu organlarından merkezi sinir sistemine gönderilen impuls kasa geri döner, bu periyotta verilecek uygun cevap için geçen süreçte, gelen bilginin merkezi sinir sistemindeki işlenim aşamaları vardır. Bu aşamalar genelde, uyarının tanınması, verilecek cevabın seçimi, programlanması ve hareketin ortaya çıkması aşamalarıdır [16, 17, 20].

3.1.3. Çok Renkli Arcade Butonlar Kullanılarak Reaksiyon Süresi Ölçüm Sistemi Tasarımı ve Geliştirilebilirliği

Literatürde, farklı görsel uyaranlara yönelik motor yanıt sürelerinin ölçülmesi amacıyla çeşitli donanım tabanlı reaksiyon ölçüm sistemlerinin geliştirildiği görülmektedir. Bu sistemlerde, farklı renklerde birden fazla arcade tipi düğmenin kullanılması, katılımcılara çeşitli uyaranlar sunarak bilişsel ve motor tepki süreçlerinin detaylı bir şekilde değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Özellikle psikoloji, nörobilim ve spor bilimleri gibi alanlarda yapılan deneysel çalışmalarda, çok renkli butonlar aracılığıyla dikkat, seçici dikkat, karar verme ve hızlı motor yanıt süreçleri ölçülebilmektedir. Bu bağlamda, çok renkli arcade butonları içeren bir reaksiyon ölçüm sisteminin tasarımı hem uygulanabilir hem de bilimsel veri toplama açısından anlamlı sonuçlar sağlayabilecek bir yaklaşımdır.

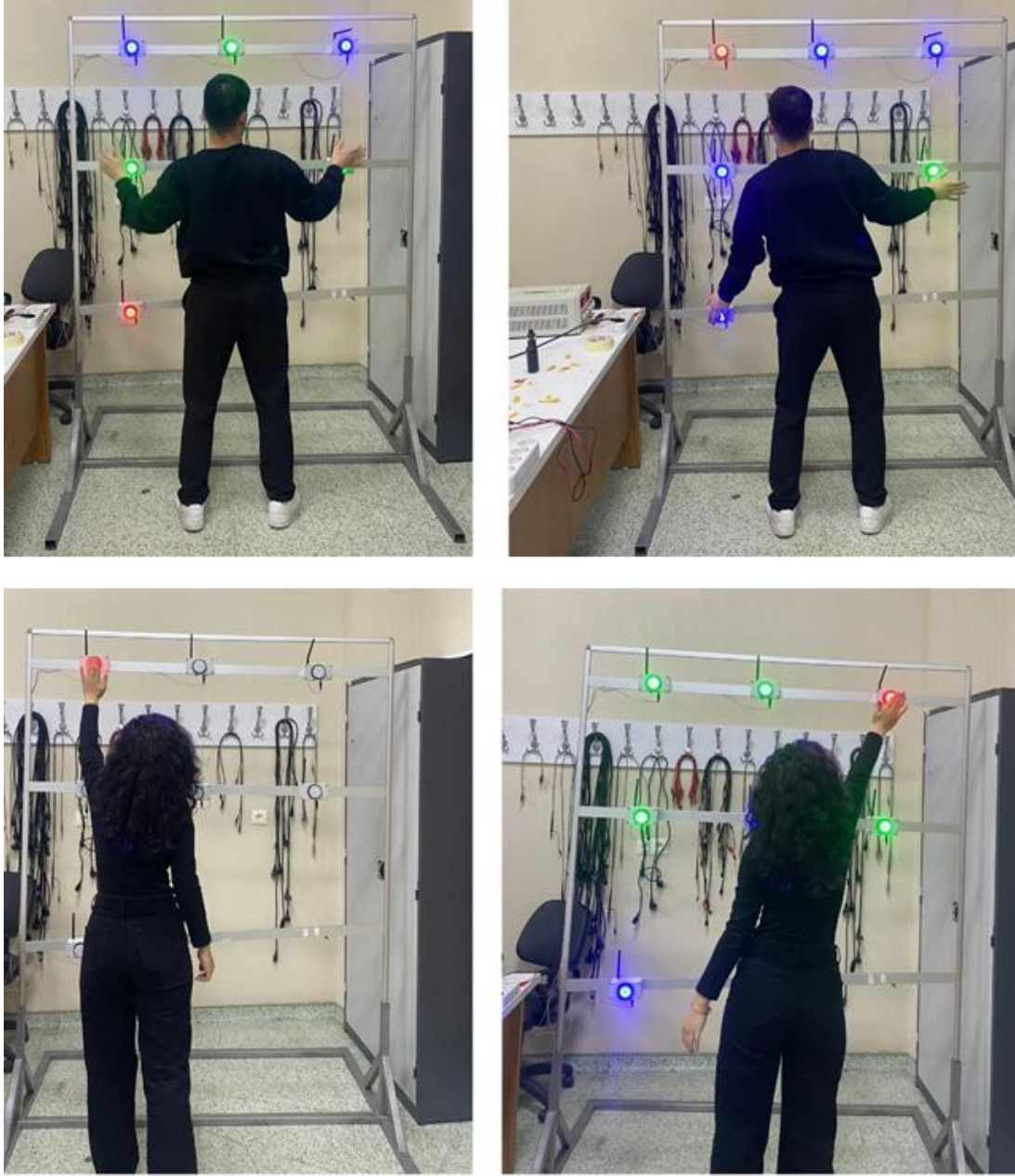
Bu tepkiler, bilişsel süreçlerin incelenmesi veya dikkat dağıtıcıların etkisi gibi konuları araştırmak için kullanılabilir. Bununla birlikte, bu tür bir sistem tasarlarırken bazı faktörleri dikkate almak önemlidir. Örneğin, düğmelerin hassasiyeti, tepki süresinin doğruluğu ve sistemdeki gecikme gibi teknik detaylar göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca, sistemde kullanılan yazılımın ve donanımın katılımcıların tepkilerini doğru bir şekilde kaydedebilmesi gerekir. Sonuç olarak, birden fazla renkli arcade düğmesi içeren bir reaksiyon ölçüm sistemi üretilebilir ve çeşitli araştırma amaçları için kullanılabilir.

3.1.4. Kadınlar ve erkeklerin refleksleri arasında anlamlı bir fark var mıdır?

Bazı çalışmalar, kadınların belirli reflekslerde erkeklere göre daha hızlı tepki verebileceğini öne sürmüştür. Örneğin, el ve göz koordinasyonunu ölçen testlerde, kadınların daha iyi performans gösterdiği bulunmuştur. Bununla birlikte, diğer araştırmalar cinsiyet farklılıklarının belirgin olmadığını veya belirli reflekslerde erkeklerin üstünlük sağladığını göstermiştir. Bu tür farklılıkların nedenleri genellikle karmaşıktır ve genetik, hormonal, nörolojik ve çevresel faktörler gibi birçok etkeni içerebilir. Ayrıca, refleksler üzerindeki cinsiyet farklılıklarını incelemek için kullanılan metodolojilerin ve ölçüm araçlarının da sonuçları etkileyebileceği unutulmamalıdır.

4. Sonuçlar

Proje sonucunda, uluslararası standartlara uygun ancak ekonomik açıdan daha avantajlı ve yerli bir sistem geliştirilmiştir. Geliştirilen sistem (Şekil 3), spor bilimleri, fizik tedavi ve bilişsel çalışmalar için çok yönlü bir platform olarak kullanılabilir niteliktedir. Sistemin taşınabilir yapısı, kullanım alanlarını genişletmekte ve yenilikçi çözümler sunmaktadır.



Şekil 3. Geliştirilen Sistem Görüntüsü

Geliştirilen sistemin 3 farklı modu kontrol etmektedir. Bu modlar;

Mod 1: Tek Uyarı

Bu modda kullanıcıya yalnızca bir uyarı sunulur. Bu modda uyarılar rastgele 24 defa tetiklenerek kullanıcıların temel refleks süresini ve bireyin hızlı tepki verme yeteneğini ölçmek için tasarlanmış en basit test modudur.

Mod 2: Mavi ve Kırmızı Uyarılar

Bu modda iki farklı renk uyarı (mavi ve kırmızı) yanar, ancak kullanıcıdan yalnızca kırmızı butona basması istenir. Mavi uyarının bir dikkat dağıtıcı olarak kullanılması, bireyin seçici algılama ve karar verme becerilerini test eder. Mod iki testleri kurulan sistem için orta zorlukta derecelendirilen testlerdir.

Mod 3: Üç Renk Uyarı (Kırmızı, Yeşil, Mavi)

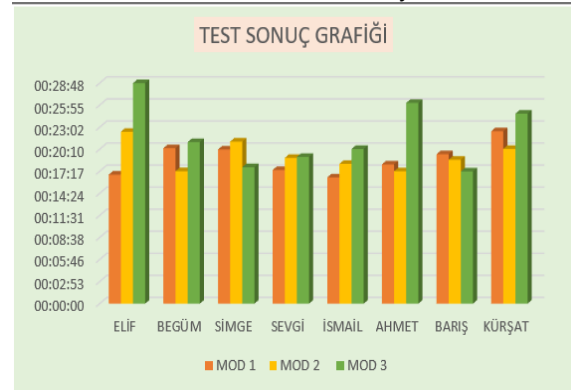
Bu modda üç farklı renk (kırmızı, yeşil ve mavi) rastgele yanar, ancak kullanıcıdan yalnızca kırmızı butona basması istenir. Bu mod, kullanıcıya daha fazla uyarın sunarak bilişsel yükü artırır ve doğru kararı verme süresini ölçer.

Bu modlar (Şekil 4), zorluk seviyesini kademeli olarak artırarak refleks, dikkat, algılama ve karar verme süreçlerini ayrı ayrı değerlendirir. Projenin amacına uygun şekilde, bu testler bireyin bilişsel performansını ve reaktif çeviklik yeteneğini kapsamlı bir şekilde ölçmeye hizmet eder.

Mod 1: Tek Uyarın

Mod 2: Mavi ve Kırmızı Uyarınlar

Mod 3: Üç Renk Uyarın (Kırmızı, Yeşil, Mavi)



Test Sonuçları

Şekil 4: Uygulama Modları ve Test Sonuçları

Geliştirilen test sistemi, farklı renk ve uyarın seviyelerinde tutarlı bir performans göstermiş ve kullanıcılardan olumlu geri bildirimler alınmıştır. Kablosuz entegrasyon, sistemin hem laboratuvar hem de saha koşullarında kullanılabilirliğini artırmıştır. Katılımcılar arasındaki analizler, erkeklerin refleks hızında daha iyi performans sergilediğini, ancak bilişsel performans açısından kadınlarla anlamlı bir fark bulunmadığını ortaya koymuştur.

Sonuç olarak toplanan veriler, sistemin hem akademik hem de pratik uygulamalara uygunluğunu kanıtlamıştır. Reaktif çeviklik testlerinde bilişsel performansın etkisi ortaya konulmuş ve bu testlerin standart hale getirilmesi için alt yapı oluşturulmuştur. Teşekkür

Bu çalışmanın yürütülmesi ve tamamlanması sürecinde, akademik bilgi birikimi, yol gösterici görüşleri ve sürekli desteğiyle katkı sağlayan değerli danışmanım Doç. Dr. Uğur Fidan'a saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışmanın sunulduğu sempozyumun düzenlenmesinde emeği geçen bilim kuruluna, organizasyon komitesine ve sürece katkı sağlayan tüm akademik ve idari personele içten teşekkür

ederim. Bu tür bilimsel etkinliklerin, genç araştırmacıların akademik gelişimi ve bilimsel vizyon kazanması açısından büyük önem taşıdığına inanıyorum.

Kaynaklar

- Oliver, J., Meyers, R. W. 2009. "Reliability and generality of measures of acceleration, planned agility, and reactive agility", *International Journal of Sports Physiology Performance*, 4, 345-35
- Young, B.W., Willey, B. 2010. "Analysis of a reactive agility field test", *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(3), 376-378
- Bluetooth, <https://www.bluetooth.com/what-is-bluetooth-technology/bluetooth-technology-basics> Son Erişim Tarihi:18.03.2016
- Jeffreys, I. A. 2011. "Task-Based Approach to Developing Context-Specific Agility", *Strength And Conditioning Journal*, 3(4), 1524-1602
- Serpell, B. G., Young, W. B., Ford, M. 2011. "Are the perceptual and decision-making components of agility trainable? A preliminary investigation", *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(5), 1240
- Young, W., Farrow, D. 2006. "A Review of Agility: Practical Applications for strenght and conditioning", *Strength & Conditioning Journal*, 28(5), 24-38.
- Karacabey, K. 2013. Sporda performans ve çeviklik testleri. *International Journal of Human Sciences*, 10 (1), 1693-1704.).
- Hertel, J., Denegar, C.R., Johnson, P.D., Hale, S.A., Buckley, W.E. 1999. "Reliability of the Cybex Reactor in the Assessment of an Agility Task", *Journal of Sport Rehabilitation*, 8, 24-31.
- Lima, E. W., Tortoza, C., Rosa, L.C.L., Lopes-Martins, R.A.B., 2004. "Study of the correlation between the velocity of motor reaction and blood lactate in different times of combat in judo" *Rev Bras Med Esporte* 10(5),344-48.
- Farrow, D., Young, W., Bruce, L. 2005. "The development of a test of reactive agility for netball: A new methodology", *Journal of Science and Medicine in Sport*, 8(1), 52-60.
- Serpell, B.G., Ford, M., Young, W.B. 2010. "The development of a new test of agility for rugby league", *J Strength Cond Res*, 24(12), 3270-3277.
- Magil R.A.: *Motor Learning: Concept and Aplications*. s. 17-18, 87-100, McGraw Hill Companies, USA, 1998.
- Schmidt R.A.: *Motor Learning and Performance*, s.15-44, Human Kinetics pub., USA, 1991.
- Spirduso W. W.: *Physical Dimension of Aging*. s.185-203 Human Kinetics, England, 1995.
- Stoffels E.J., Von Der Molen M.W.: "Effect of Visual and Auditory Noise on Visual Choise Reaction Time in a Continuous-flow Paradigm" *Perceptual and Phychophysics*, 44:7-14, 1988.
- Taimela S., Kujala U.M.: "Reaction Times With Reference to Musculoskeletal Compliants in Adole Scent" *Perceptual and Motor Skills*. 75: 1075-1082, 1992.
- Theios J.: *The Components of Response Latency in Simple Human Information Processing Task*. Attentionand performance, vol. 5, s.149-156, NewYork Academic Press, 1975.
- Gazi Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi (Gazi BESBD), IX (2004), 3 : 49 -58.



Yapı Ruhsatından Şantiyeye: Müteahhit Kimliği ve Teknik Karar Yetkisinin Dönüşümü - Kütahya’da Bir Alan Analizi

Emirhan Aydın ^{1,*} ve Abdullah Demir ¹

¹ Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kütahya

* Sorumlu yazar: emirhan.aydin3@ogr.dpu.edu.tr

Özet

Bu çalışma, yapı üretim sürecinde teknik kararların kimin tarafından alındığına odaklanmaktadır. Özellikle Kütahya özelinde yürütülen bu alan araştırması, ruhsat alma süreci ile fiili şantiye uygulamaları arasındaki kopukluğu ve müteahhit kimliğinin bu süreçte üstlendiği rolü incelemektedir. Türkiye’de yapı üretiminin giderek daha fazla müteahhit merkezli bir yapıya evrilmesi, teknik uzmanlıkların (mühendis ve mimarların) karar mekanizmalarındaki görünürlüğünü azaltmakta; bu da yapısal riskler, estetik kayıplar ve kentleşme sorunları doğurmaktadır. Araştırmanın temelini, Kütahya Belediyesi’nden temin edilen 2024 ve 2025 yıllarına ait yapı ruhsatı verileri ile Kütahya’da aktif olarak faaliyet gösteren müteahhitlerle yapılan anket çalışması oluşturmaktadır. Yapı ruhsatları, teknik sorumlu atamalarının niceliksel analizine olanak tanırken, anket verileri ise müteahhitlerin teknik karar süreçlerini nasıl algıladıkları, bu süreçlere hangi ölçüde mühendis ve mimarları dahil ettikleri ve meslekler arası güç ilişkilerine dair değerlendirmeleri kapsamaktadır. Elde edilen bulgular, teknik karar yetkisinin büyük oranda müteahhitler lehine kaydığını, mühendis ve mimarların ise çoğunlukla şekli rollerle sınırlı kaldığını göstermektedir. Ruhsat aşamasında yer alan teknik sorumlular, şantiye sürecinde çoğu zaman devre dışı bırakılmakta; bu da yapı kalitesi, iş güvenliği ve mevzuata uyum açısından ciddi sorunlar doğurmaktadır. Anket sonuçları, müteahhitlerin teknik bilgiye dayalı katkıları yeterli görmediklerini, çoğu zaman maliyet ve zaman baskısıyla süreci kendi kontrol alanlarına aldıklarını ortaya koymaktadır. Bu çalışma, yapı üretiminde teknik sorumluluk ve müteahhitliğin yeniden tanımlanması gerekliliğine dikkat çekmekte; yerel yönetimler, meslek odaları ve yasa koyucular için politika önerileri sunmaktadır.

Anahtar kelimeler: Yapı üretimi, teknik sorumluluk, müteahhit kimliği, yapı ruhsatı, Kütahya

From Building Permit to Construction Site: The Transformation of Contractor Identity and Technical Decision-Making Authority - A Field Analysis in Kütahya

Abstract

This study focuses on who makes technical decisions in the construction process. Specifically, this field research conducted in Kütahya examines the disconnect between the permit application process and actual construction site practices, as well as the role of contractors in this process. The increasing shift toward a contractor-centric structure in construction in Turkey has reduced the visibility of technical experts (engineers and architects) in decision-making mechanisms, leading to structural risks, aesthetic losses, and urbanization problems. The research is based on building permit data for 2024 and 2025 obtained from the Kütahya Municipality and a survey conducted with contractors actively operating in

Kütahya. Building permits enable a quantitative analysis of technical responsibility assignments, while survey data covers contractors' perceptions of technical decision-making processes, the extent to which they involve engineers and architects in these processes, and their assessments of interprofessional power relations. The findings reveal that technical decision-making authority is largely in favor of contractors, while engineers and architects are mostly limited to formal roles. Technical supervisors involved in the permit phase are often excluded from the construction process, which leads to serious problems in terms of construction quality, occupational safety, and compliance with regulations. The survey results reveal that contractors do not consider their technical contributions to be sufficient and often take control of the process due to cost and time constraints. This study highlights the need to redefine technical responsibility and contracting in construction and provides policy recommendations for local governments, professional associations, and legislators.

Key words: Building construction, technical responsibility, contractor identity, building permit, Kütahya

1. Giriş

İnşaat üretim süreci; mühendisler, mimarlar ve inşaat profesyonelleri arasında koordineli bir işbirliği gerektiren çok boyutlu bir alandır. Teknik uzmanlık ve pratik uygulama arasındaki denge sadece inşaat kalitesi için değil, aynı zamanda kent estetiği, iş güvenliği ve mevzuata uygunluk gibi konular için de çok önemlidir. Ancak son yıllarda Türk inşaat sektöründe gözlemlenen eğilim bu dengenin kaybolduğunu göstermektedir. Özellikle konut inşaatlarında müteahhitlerin rolü giderek merkezileşirken, mühendisler ve mimarlar teknik karar alma süreçlerinden dışlanmışlardır.

Türkiye’de yapı üretim sürecine ilişkin akademik çalışmalar, teknik profesyonellerin karar alma mekanizmalarındaki etkinliğinin giderek azaldığını ortaya koymaktadır. Özellikle müteahhitlerin inşaat uygulamalarında belirleyici aktörler haline gelmesi, mühendis ve mimarların sadece resmi sorumluluklarla sürece katıldığı bir sistemin oluşmasına neden olmuştur.

Bursa ilinde yapılan bir çalışmada, müteahhitlerin yapı üretim sürecinde proje dışı taleplerde bulunarak konut kalitesini olumsuz etkilediği ve teknik profesyonellerin sahadaki yönlendirici rolünün büyük ölçüde zayıfladığı tespit edilmiştir. Ankette katılımcıların %52,9’u bu tür müdahalelerin inşaat kalitesini düşürdüğünü belirtmiştir. Ayrıca, yapı denetim sisteminin uygulamada artık etkili bir teknik otorite olmadığı ve denetçilerin genellikle süreci “hızlandıran” kişiler olarak algılandığı vurgulanmıştır. Benzer şekilde, katılımcıların %60’ından fazlası (Yağız, 2021) şantiye şefliği pozisyonunun sadece bir imza karşılığında sürdürüldüğünü ve teknik kontrolün yerini idari prosedürlerin aldığını belirtmiştir.

Afyonkarahisar’da yapılan bir başka saha çalışmasında katılımcıların %74,5’i müteahhitlerin sık sık proje dışı taleplerde bulunduğunu belirtmiştir. Aynı çalışmada, katılımcıların yüzde 72,2’si yüklenicilerin vasıflı işgücü kullanmadığı ifadesine katılmıştır. Bu durum, teknik personelin sahada sadece temsili bir pozisyonda olduğunu, asıl uygulamanın ise müteahhitler ve usta gibi sahadaki aktörlerin inisiyatifiyle belirlendiğini göstermektedir (Kural, 2020).

Benzer şekilde, İstanbul Teknik Üniversitesi’nde yapılan bir çalışmada, birden fazla şantiyede görevlendirmeye izin veren mevcut uygulamaların, şantiye şefliği hizmetini bürokratik bir prosedüre dönüştürdüğü, fiilen bulunmadıkları şantiyelerde işlerin aksadığı ve bu nedenle her şantiye şefinin yalnızca bir sahada görevlendirilmesi gerektiği vurgulanmıştır (Şerifoğlu, 2019). Bu bulgu, teknik personelin üretim sürecindeki rolünün sadece resmi bir varlık düzeyine indirgenmesinin sistematik bir sorun haline geldiğini ortaya koymaktadır.

Konya ilinde yapılan bir başka yüksek lisans tezinde, denetim işinin çoğu zaman sadece kâğıt üzerinde kaldığı, şantiye şeflerinin ve kontrolörlerin sahada bulunmamasının işlerin sağlıklı bir şekilde

yürütülmemesine neden olduğu belirtilmiştir. Bu bulgu, teknik denetim sisteminin işlevselliği hakkında önemli soruları gündeme getirmektedir (Taşcı, 2017).

Benzer bir durum Hergüner ve Laptalı Oral (2020) tarafından yapılan bir çalışmada da ortaya konmuştur. Çoğu şantiye şefinin görev ve sorumluluklarına ilişkin mevzuat hakkında yeterli bilgiye sahip olmadığı; bu bilginin farkında olanların bile gereklilikleri yerine getirmediği tespit edilmiştir. Araştırma kapsamında şantiye şeflerinin çoğunlukla sorumluluklarının ciddiyetinin farkında olmadıkları, iş sağlığı ve güvenliği belgelerinin bulunmadığı, yetki belgesi olmayan ustalarla çalıştıkları ve inşaat ruhsatı alma süreçleri konusunda teknik-hukuki bilgisizlik gösterdikleri vurgulanmıştır. Bu bulgular, şantiye şefliği kurumunun uygulamada sembolik hale geldiğini, teknik ve hukuki donanım eksikliği nedeniyle etkin bir denetim gücü olmaktan çıktığını göstermektedir. Dolayısıyla, anketimizin şantiye şefinin bir "imza formalitesi" olarak algılandığı yönündeki bulguları, literatürdeki bulgularla paralellik göstermektedir.

Son olarak Kırşehir ilinde yapılan bir anket, müteahhitlerin önemli bir kısmının proje dışında değişiklik yapma eğiliminde olduğunu ortaya koymuştur. Katılımcıların çoğunluğu, binanın inşası sırasında teknik detaylara bağlı kalmadan sahada kendi deneyimleri doğrultusunda uygulamalar yaptıklarını belirtmiştir. Bu yaklaşım, proje disiplininin sahada çoğu zaman devre dışı bırakıldığını ve teknik müdahalelere direnç gösterildiğini ortaya koymaktadır (Bilici, 2021).

Tüm bu çalışmalar, yapı üretim sürecindeki teknik sorumlulukların sadece kağıt üzerinde kaldığını; karar alma ve uygulama süreçlerinin teknik uzmanlıktan ziyade ekonomik ve ilişkisel saiklerle belirlendiğini ortaya koymaktadır. Fenni mesuliyet kavramının içinin boşaltılması hem yapıların kalitesi hem de kentsel güvenlik açısından önemli riskler taşımaktadır.

Bu dönüşüm sadece sahadaki uygulamalarla sınırlı kalmamakta, inşaat ruhsatlarının verilmesi sürecinden başlayarak tüm üretim zincirini etkilemektedir. Ruhsatlandırma aşamasında teknik uzmanların imza yetkisi bulunsa da, bu yetkinin çoğu durumda formaliteden öteye geçmediği görülmektedir. Nitekim bu çalışma çerçevesinde yapılan ankette, katılımcıların %80'i "Ruhsat sürecinde imza atan teknik kişilerin şantiyede etkisi çok sınırlıdır." ifadesine katıldıklarını belirtmişlerdir. Bu sonuç, teknik personelin yapı üretim sürecindeki rolünün sadece yasal bir formaliteye indirgendiğini ortaya koymaktadır.

Benzer şekilde, katılımcıların %72'si "Bir projede kararların çoğunu müteahhit verir, mühendis veya mimar sadece yol gösterir" ifadesine katılmaktadır. Bu yüksek oranlar, inşaat sürecinde karar alma yetkisinin müteahhitte yoğunlaştığını ve alandaki teknik uzmanların etkisinin giderek zayıfladığını göstermektedir. Bu durum yapısal güvenlik, denetimlerin etkinliğine kadar pek çok alanı doğrudan etkilemektedir.

Bu eğilim, farklı illerde yapılan çalışmalarla da doğrulanmaktadır. Yağız (2021), Kural (2020), Şerifoğlu (2019), Taşcı (2017) ve Bilici (2021) tarafından yapılan akademik çalışmalar, inşaat sürecinde teknik uzmanların etkisinin sembolik düzeye indirgendiğini ve karar alma mekanizmalarının büyük ölçüde müteahhitlerin elinde olduğunu göstermektedir.

Türkiye'de 2019 yılında yürürlüğe giren "Yapı Müteahhitlerinin Sınıflandırılması ve Kayıtlarının Tutulması Hakkında Yönetmelik" teknik yeterlilik ilkesini güçlendirmeyi amaçlasa da, uygulamada bu hedefe ne ölçüde ulaşıldığı hâlâ belirsizliğini korumaktadır. Mevzuat ile sahadaki uygulamalar arasındaki bu uyumsuzluk, teknik personelin karar alma mekanizmalarındaki konumunu daha da tartışılmalı hale getirmektedir.

Bu çalışma, Kütahya ilini örnek alarak yukarıda açıklanan yapısal dönüşümü yerel bir bağlamda analiz etmektedir. Kütahya Belediyesi'nden alınan yapı ruhsatı verilerine ve aktif müteahhitler arasında yapılan bir ankete dayanarak, teknik personelin üretim sürecindeki konumu, hem fiili uygulamalar hem de algılar açısından analiz edilmektedir. Bu bağlamda, ana araştırma sorusu şu şekildedir:

"Yapı üretiminde teknik karar yetkisi kimdedir ve bu yetki zamanla nasıl dönüşmüştür?"

2. Yöntem

2.1. Araştırma Modeli

Bu çalışma betimsel ve analitik bir saha araştırmasıdır. Kütahya iline odaklanarak, inşaat sürecinde teknik karar verme yetkisine sahip kişileri tespit etmek ve bu yetkinin zaman içinde nasıl geliştiğini değerlendirmek amaçlanmıştır. Araştırma, ikincil veri kaynakları (yapı ruhsatları) ve birincil veri toplama aracı olarak uygulanan bir anket kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Niteliksel gözlemler ve niceliksel eğilimler birlikte değerlendirilmiş ve sonuçlar hem istatistiksel hem de yorumsal olarak analiz edilmiştir.

2.2. Veri Kaynakları ve Veri Toplama Süreci

2.2.1 İnşaat Ruhsatlarının Detayları

Kütahya Belediyesi'nden alınan 2024 ve 2025 yıllarına ait toplam 212 yeni yapı ruhsatı çalışmanın ikincil veri setini oluşturmaktadır. Ruhsat verileri analiz edilirken, yapı müteahhitlerinin mesleki teknik eğitim alıp almadıkları temel ayrım kriteri olarak kabul edilmiştir. Analiz sonucunda 15 müteahhidin inşaat mühendisi, 8'inin mimar ve geri kalan 189'unun ise bu iki meslek dışındaki alanlara ait olduğu ortaya çıkmıştır. Bu dağılım, inşaat üretiminin büyük ölçüde teknik eğitim almamış kişiler tarafından gerçekleştirildiğini göstermektedir. Bu, çalışmanın ana hipotezini destekleyen önemli bir olgudur.

2.2.2. Anket Uygulaması

Araştırmanın ana veri kaynağı, Kütahya il merkezinde aktif olarak faaliyet gösteren müteahhitlere yönelik bir anket çalışmasıdır. Anket, 2025 yılı boyunca çevrimiçi olarak ve doğrudan iletişim yoluyla gerçekleştirilmiş ve toplam 50 geçerli yanıt alınmıştır. Anket formu 5'li Likert ölçeğine göre yapılandırılmış 25 sorudan oluşmakta olup Tablo 1’de yer almaktadır. Sorular, teknik karar alma süreçlerini, şantiye şeflerinin rolünü, yapı denetim sistemine ilişkin algıları ve mühendisler ile mimarlar arasındaki ilişkiye yönelik tutumları değerlendirmek üzere tasarlanmıştır. Sosyal önyargıyı azaltmak için, doğrudan ifadeler yerine davranış kalıpları ve tutumların dolaylı yansımalarına öncelik verilmiştir.

Anket Formu ve Katılım Oranları:

Tablo 1. Anket Verileri

Soru No	Soru Metni	Katılıyorum / Kesinlikle Katılıyorum (%)
S1	Projeleri şantiyede uygularken bazen kendi tecrübelerime göre değişiklik yaparım.	% 68,0
S2	Şantiye şefinin sürekli sahada bulunmasına gerek olmadığını düşünüyorum.	% 48,0
S3	Bir projede kararların çoğunu müteahhit verir, mühendis veya mimar sadece yol gösterir.	% 72,0
S4	Malzeme seçiminde teknik özellikler yerine ekonomik çözümler önceliğimdir.	% 30,0
S5	Proje müellifinin çizdiği detayların sahada birebir uygulanması çoğu zaman mümkün değildir.	% 50,0
S6	Beton döküm kalitesini esas olarak ustaların tecrübesi belirler.	% 42,0
S7	Proje ile sahadaki uygulama birbirinden farklıdır; kararı uygulayıcı verir.	% 48,0
S8	Şantiye şefiyle fikir ayrılığı yaşadığımda genellikle kendi kararımı uygulayım.	% 44,0

S9	Ruhsat sürecinde imza atan teknik kişilerin şantiyede etkisi çok sınırlıdır.	% 80,0
S10	Yapı denetim firması çoğu zaman süreci yavaşlatan bir formalitedir.	% 46,0
S11	Teknik kararlar çoğu zaman zaman kaybettirir, şantiyede pratik çözüm önemlidir.	% 38,0
S12	Projede mühendis veya mimar karar alsa da son söz uygulayıcıya (müteahhit/usta) aittir.	% 58,0
S13	Projelerde şantiye şefi yerine usta ile çalışmak çoğu zaman daha pratiktir.	% 42,0
S14	Şantiyede mühendis teknik bir şey söylese bile sahadaki gerçeklik başka olabilir.	% 56,0
S15	Şantiye şefinin sadece imza karşılığı çalışması, bazı projelerde herkes için daha pratiktir.	% 54,0
S16	Şantiye şefinin sahaya sık gelmemesi çoğu zaman sorun yaratmaz.	% 58,0
S17	Şantiye şefiyle yapılan iş ilişkilerinde en önemli kriter, düşük ücret talep etmesidir.	% 46,0
S18	Şantiye şefinin önerileri çoğu zaman işin pratikliği açısından uygulanabilir değildir.	% 34,0
S19	Beton dökümünde şefin gelip gitmemesi işin kalitesini değiştirmez.	% 60,0
S20	Havuzdan gelen yapı denetim firması esnek yaklaşıyorsa süreci daha kolay yönetir.	% 62,0
S21	Katı kuralları olan yapı denetim firmaları süreci gereksiz yere zorlaştırır.	% 64,0
S22	Yapı denetim firması ile iyi ilişkiler kurmak, çoğu teknik engelin önüne geçer.	% 56,0
S23	Belediyede tanındık olması, proje ilerleyişini teknik bilgi kadar etkiler.	% 68,0
S24	Tecrübeli bir müteahhit, yapıyı projeden bağımsız olarak da doğru şekilde inşa edebilir.	% 48,0
S25	Beton dökümü sonrasında kür işlemlerini çoğu zaman ekip kendi tecrübesiyle yürütür, şantiye şefi bu sürece karışmaz.	% 58,0

Bu çalışma kapsamında yapılan anket gönüllülük esasına göre gerçekleştirilmiştir. Katılımcılar anketin amacı, kapsamı ve gizlilik ilkeleri konusunda bilgilendirilmiş ve elde edilen veriler sadece bilimsel amaçlarla kullanılmıştır. Anket formunda hiçbir kişisel veri (ad, soyad, kimlik numarası vb.) toplanmamış ve katılımcıların anonimliği garanti altına alınmıştır.

Çalışma, etik kurul onayı gerektirmeyen bir sosyal bilim araştırması kapsamında gerçekleştirilmiştir

2.3. Örneklem ve Katılımcı Profili

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen anket soruları, yapı müteahhitliği faaliyetlerinde aktif olarak yer alan kişilere yöneltilmiştir. Katılımcılar, son beş yıl içinde en az bir inşaat projesinde yer almış olanlardan seçilmiştir. Örneklem büyüklüğü 50 kişidir. Katılımcıların aktif müteahhitlik süresi, teknik geçmişi ve deneyimi analiz sürecinde kontrol değişkenleri olarak dikkate alınmıştır. Bu şekilde, teknik eğitimin inşaat uygulamaları üzerindeki etkisi ayrı ayrı değerlendirilebilmiştir.

2.4. Veri Analizi

Anket verileri Excel’de kodlanmış ve analiz edilmiştir. Yanıtlar tematik başlıklar altında gruplandırılmış ve her bir ifade için "katılıyorum" ve "kesinlikle katılıyorum" yanıtlarının toplam yüzdesi hesaplanmıştır. Bu yaklaşım, ortalama puan kullanmak yerine fikir birliğinin daha doğrudan ve daha net bir şekilde ifade edilmesini sağlamıştır. Buna ek olarak, teknik eğitim almış ve almamış yükleniciler arasındaki görüş farklılıkları gözlemsel olarak değerlendirilmiştir.

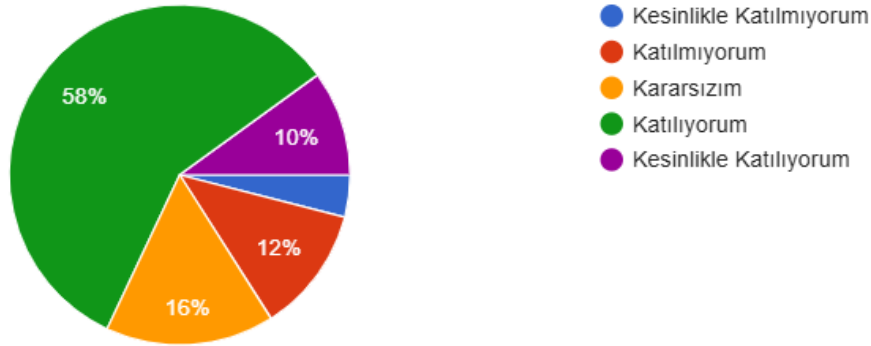
3. Bulgular

3.1. Yapı Ruhsatı Verilerinin Analizi: Müteahhitlerin Teknik Profili

Kütahya Belediyesi’nden 2024 ve 2025 yılları için alınan 212 yeni yapı ruhsatı analiz edilmiştir. Yapı ruhsatlarında müteahhitlerin mesleki kimliklerine göre yapılan sınıflandırmada, sadece 15 müteahhidin inşaat mühendisi, 8’inin mimar olduğu, geri kalan 189’unun ise bu iki teknik meslek grubuna ait olmadığı tespit edilmiştir. Bu bulgu, inşaat üretiminin yaklaşık %90’ının teknik eğitimi olmayan kişiler tarafından gerçekleştirildiğini göstermektedir. Bu durum, teknik sorumluluğun sadece resmi düzeyde yerine getirildiğini ve teknik karar verme yetkisinin çoğunlukla teknik olmayan kişilerin elinde olduğunu göstermektedir.

3.2. Teknik karar alma yetkisinin yüklenicide yoğunlaşması

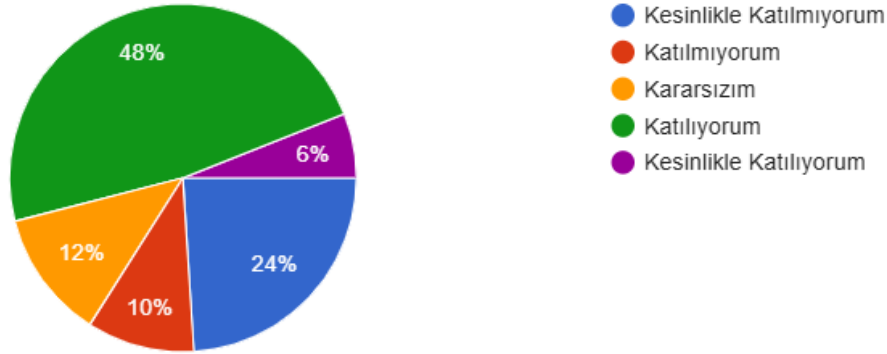
Anket verileri, inşaat sürecindeki teknik kararların büyük ölçüde müteahhitler tarafından alındığını göstermektedir. Katılımcıların %68’i “Projeleri şantiyede uygularken bazen kendi tecrübelerime göre değişiklik yaparım.” ifadesine katılmaktadır ve bu durum Şekil 1’de gösterilmiştir. Benzer şekilde, katılımcıların %72’si “Bir projede kararların çoğunu müteahhit verir, mühendis veya mimar sadece yol gösterir.” ifadesine katılmaktadır. Bu görüş, yüklenicinin sadece bir uygulayıcı değil, aynı zamanda sahada karar veren bir aktör olduğunu göstermektedir. Teknik personelin bu süreçte yönlendirici rolden uzak olduğu ve çoğunlukla kararlar alındıktan sonra sürece pasif bir şekilde dahil olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 1. Projeleri şantiyede uygularken bazen kendi tecrübelerime göre değişiklik yaparım sorusu

3.3. Saha amirinin rolüne ilişkin algı

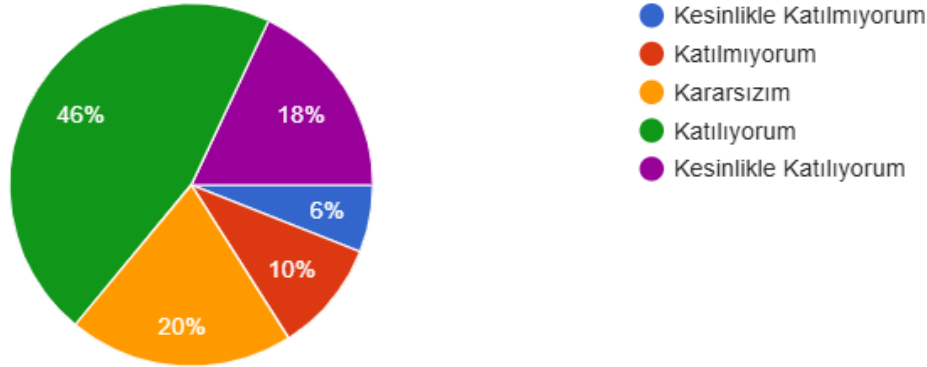
Katılımcıların %54’ü “Şantiye şefinin sadece imza karşılığı çalışması, bazı projelerde herkes için daha pratiktir.” ifadesine katılmıştır ve bu durum Şekil 2’de gösterilmiştir. Benzer şekilde, katılımcıların %58’i “Şantiye şefinin sahaya sık gelmemesi çoğu zaman sorun yaratmaz” ifadesine katılmıştır. Ayrıca, katılımcıların %46’sı “Şantiye şefiyle yapılan iş ilişkilerinde en önemli kriter, düşük ücret talep etmesidir” ifadesine katılmıştır. Bu sonuçlar, şantiye şefinin teknik becerilere sahip bir figürden ziyade prosedürel bir gereklilik olarak algılandığını göstermektedir. Ücret baskısı ve sembolik temsiller nedeniyle teknik denetim kapasitesinin zayıfladığı görülmektedir.



Şekil 2. Şantiye şefinin sadece imza karşılığı çalışması, bazı projelerde herkes için daha pratiktir sorusu

3.4. Yapı denetim sistemine yaklaşımlar

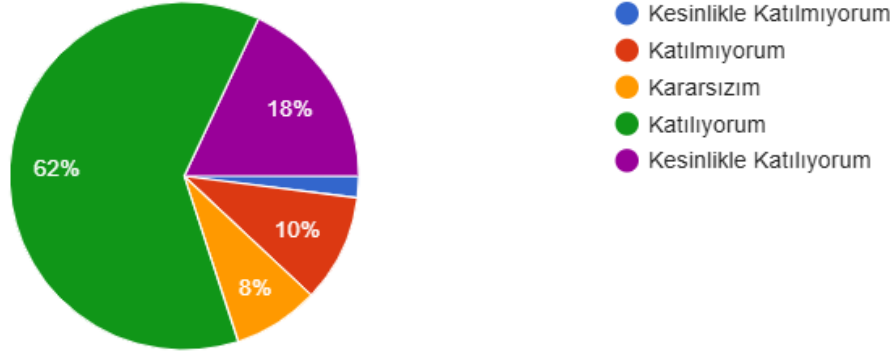
Yapı denetim sistemine ilişkin algılar da benzer şekilde, teknik yeterlilikten uzak, pratiklikliğe odaklanmaktadır. Katılımcıların %64'ü "Katı kuralları olan yapı denetim firmaları süreci gereksiz yere zorlaştırır" ifadesine katılmaktadır ve bu durum Şekil 3'te gösterilmiştir. Ayrıca, katılımcıların %62'si "Havuzdan gelen yapı denetim firması esnek yaklaşıyorsa süreci daha kolay yönetim" ifadesine katılmıştır. Bu görüşler, yapı denetim firmalarının teknik yeterliliklerinden ziyade operasyonel esneklikleri üzerinden değerlendirildiğini ortaya koymaktadır. Denetim pratiğine teknik hassasiyetten ziyade ilişkisel yönetimin hâkim olduğu görülmektedir.



Şekil 3. Katı kuralları olan yapı denetim firmaları süreci gereksiz yere zorlaştırır sorusu

3.5. Teknik personele güvenme ve değer verme eğilimi

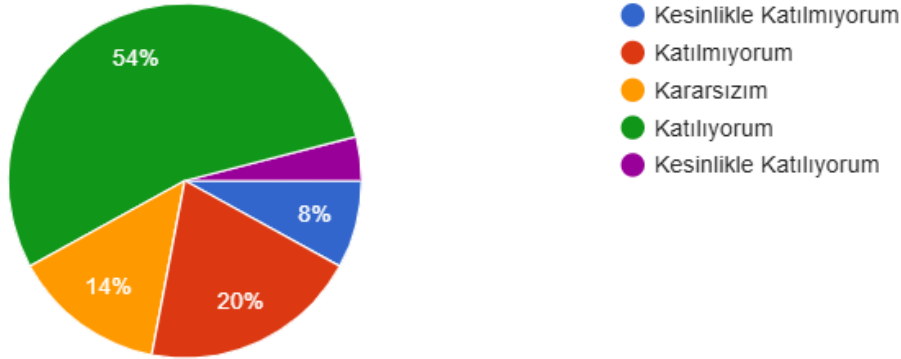
Katılımcıların %80'inin "Ruhsat sürecinde imza atan teknik kişilerin şantiyede etkisi çok sınırlıdır" olarak belirtmesi, mühendis ve mimarların üretim sürecindeki etkinliğinin sembolik düzeye indirildiğini ortaya koymaktadır ve bu durum Şekil 4'te gösterilmiştir. Buna ek olarak, katılımcıların %56'sının "Şantiyede mühendis teknik bir şey söylese bile sahadaki gerçeklik başka olabilir" görüşünde olması, teknik bilginin uygulamada çoğu zaman göz ardı edildiğini göstermektedir. Katılımcıların %42'si "Projelerde şantiye şefi yerine usta ile çalışmak çoğu zaman daha pratiktir." ifadesine katılmaktadır. Bu yaklaşım, teknik kararların mühendislik eğitiminden ziyade mesleki deneyime dayandığı bir yaklaşımı yansıtmaktadır.



Şekil 4. Ruhsat sürecinde imza atan teknik kişilerin şantiyede etkisi çok sınırlıdır sorusu

3.6. Teknik süreçlerde yetki ve resmi rol eksikliği

Katılımcıların %58'i "Beton dökümü sonrasında kür işlemlerini çoğu zaman ekip kendi tecrübesiyle yürütür, şantiye şefi bu sürece karışmaz" şeklinde düşünmektedir ve bu durum Şekil 5'te gösterilmiştir. Benzer şekilde, %38'i "Teknik kararlar çoğu zaman zaman kaybettirir, şantiyede pratik çözüm önemlidir." diyor. Bu sonuçlar, teknik personelin sadece göstermelik bir sorumluluğa sahip olduğu, gerçek kararların ise pratikte yerinde alındığı bir sisteme işaret etmektedir. Mühendislerin önerileri genellikle dikkate alınmamakta ve uygulama süreci beceri ve deneyime dayalı bir kontrol alanı haline gelmektedir.



Şekil 5. Beton dökümü sonrasında kür işlemlerini çoğu zaman ekip kendi tecrübesiyle yürütür, şantiye şefi bu sürece karışmaz sorusu

4. Değerlendirme ve Tartışma

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, uygulamada; inşaat sürecinde teknik karar verme yetkisinin büyük ölçüde müteahhitlerde olduğunu göstermektedir. İnşaat ruhsatlarına ilişkin veriler, ruhsat verilen inşaatların %89'unun (189/212) teknik eğitim almamış müteahhitler tarafından gerçekleştirildiğini ortaya koymaktadır. Bu durum, teknik sorumluluğun sadece ruhsat aşamasında resmi olarak tanımlandığını, ancak uygulamada gerçek bir yetkiye dönüşmediğini göstermektedir.

Anket sonuçları bu gözlemi desteklemektedir. Katılımcıların %80'i "Ruhsat sürecinde imza atan teknik kişilerin şantiyede etkisi çok sınırlıdır." ifadesine katılırken, katılımcıların %72'si "Bir projede kararların çoğunu müteahhit verir, mühendis veya mimar sadece yol gösterir." ifadesine katılmaktadır. Bu yüzdeler, teknik kişilerin şantiyedeki etkinliğinin zayıfladığını ve müteahhitlerin kendisini hem uygulayıcı hem de karar verici olarak konumlandığını göstermektedir.

Benzer şekilde, katılımcıların %68'i "Projeleri şantiyede uygularken bazen kendi tecrübelerime göre değişiklik yaparım" görüşünü desteklemektedir. Bu durum, proje disiplininin sapmaların olağan hale geldiğini ve teknik planların sahadaki gerçekliğe göre ikincil planda kaldığını göstermektedir. Bu bağlamda, zaman ve maliyet baskıları nedeniyle teknik uzmanlık neredeyse göz ardı edilmekte veya arka plana atılmaktadır.

Şantiye şeflerinin rolü de bu dönüşümden güçlü bir şekilde etkilenmektedir. Katılımcıların %54'ünün "Şantiye şefinin sadece imza karşılığı çalışması, bazı projelerde herkes için daha pratiktir." ifadesini desteklemesi, bu görevin büyük ölçüde prosedürel bir zorunluluk haline geldiğini ortaya koymaktadır. Teknik yeterlilikten ziyade maliyet ve formalitelere öncelik veren bu yaklaşım, inşaat mühendisliğinin sistematik olarak marjinalleştirilmesine yol açmaktadır.

Yapı denetim sistemine ilişkin algılar da benzer bir yapısal soruna işaret etmektedir. Katılımcıların %64'ü "Katı kuralları olan yapı denetim firmaları süreci gereksiz yere zorlaştırır" görüşünü desteklerken, %62'si "esnek yapı denetim şirketlerin süreci kolaylaştırdığı" ifadesine katılmaktadır. Bu veriler, yapı denetiminin teknik kalite güvencesinden ziyade sürecin "yönetilebilirliği" açısından değerlendirildiğini ortaya koymaktadır. Mevzuata uygunluk, teknik kontrol ve yapısal güvenlik ilkeleri ilişkisel esnekliğe yol açmaktadır.

Teknik kararların çoğu zaman sahada dikkate alınmadığı, mühendis ve mimarların kağıt üzerindeki temsilcilere indirildiği bu üretim modelinde meslekler arasındaki güç dengesi ciddi biçimde bozulmaktadır. "Projelerde şantiye şefi yerine usta ile çalışmak çoğu zaman daha pratiktir." diyenlerin oranı %42'ye ulaşırken, "betonun kalitesi büyük ölçüde ustabaşının tecrübesine bağlıdır" diyenlerin oranı da benzer bir eğilim göstermektedir. Bu durum, teknik bilgiye dayalı inşaat üretiminden uzaklaştığını ve kararların çoğu durumda sahadaki gerçek aktörler tarafından alındığını ortaya koymaktadır.

Bu sonuçlar ışığında, inşaat sektöründe "yetkisiz sorumluluk" sahibi bir teknik personel profilinin ortaya çıktığı söylenebilir. Ruhsatlandırma aşamasında mühendis ve mimarlar yasal olarak sorumlu iken, karar verme yetkisinin sahadaki pratik aktörlere (müteahhitler, ustalar) devredilmesi, mevzuat ile uygulama arasında ciddi bir boşluk yaratmaktadır. Bu durum, inşaat kalitesinde öngörülemeyen riskler, iş güvenliğinde eksiklikler ve afetlere karşı dayanıklılıkta ciddi eksiklikler yaratmaktadır.

Mevcut mevzuat teknik mesleklerin sürece katılımını öngörse de, uygulamada karar alma süreçlerinin büyük ölçüde müteahhitin inisiyatifinde yürütüldüğü görülmektedir. Bu "gizli güç dağılımı" hem meslek etiği hem de kamu denetimi açısından yeniden değerlendirilmesi gereken bir yapıyı ortaya koymaktadır.

5. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışma, inşaat sürecinde teknik kararları gerçekte kimin verdiğini sormakta ve Kütahya örneğine odaklanarak bu yetkinliğin zaman içinde nasıl geliştiğini analiz etmektedir. Yapı ruhsatları ve müteahhit anketlerinden elde edilen veriler, inşaat sektöründeki karar yetkisinin giderek müteahhitlere kaymasıyla birlikte teknik personelin pratikteki etkisinin azaldığını ortaya koymaktadır.

Ruhsatlandırma aşamasında teknik uzmanların imzası zorunludur; ancak inşaat sürecinde kararlar çoğunlukla teknik bilgiye sahip olmayan müteahhitler ve ustalar tarafından alınmaktadır. Özellikle şantiye şeflerinin sadece belgeleri imzalamakla sorumlu görülmesi ve yapı denetim sisteminin uygulamada bir engel olarak algılanması, mühendisliğin inşaatteki belirleyici rolünü zayıflatmaktadır.

Bu bulgular, sahadaki karar alma mekanizmalarının yasal ve fiili otorite arasındaki mesafeyi artırdığını göstermektedir. Mühendisler ve mimarlar teknik sorumluluğa sahip olmalarına rağmen, uygulamada karar verme yetkisi genellikle teknik olmayan kişilere verilmektedir. Bu durum, inşaat kalitesi, mevzuata uygunluk ve afet riski gibi alanlarda ciddi sonuçlar doğurabilecek bir kırılma noktası teşkil etmektedir.

Kütahya iline odaklanan bu çalışma, inşaat sürecinde teknik kararları gerçekte kimlerin verdiğini ve bu yetkinliğin zaman içinde nasıl evrildiğini ortaya koymaktadır. Yapı ruhsatı verileri ve anket sonuçları birlikte analiz edildiğinde, inşaat sektöründe teknik personelin rolünün sembolik bir düzeye indirildiği ve karar alma süreçlerinin büyük ölçüde müteahhitlerin elinde olduğu görülmektedir.

Ruhsat verilerine göre, 212 yeni inşaatın sadece 23'ünde teknik geçmişi olan bir müteahhit görev almış, geri kalan 189 ruhsat ise teknik geçmişi olmayan kişiler tarafından alınmıştır. Bu bulgu, inşaat işlerinin üretiminin büyük ölçüde mühendislik veya mimarlık eğitimi almamış kişilerin gözetiminde gerçekleştirildiğini göstermektedir.

Anket sonuçları bu durumu doğrulamaktadır. Katılımcıların %80'i ruhsatlandırma sürecinde görev alan teknik personelin şantiyedeki etkisinin sınırlı olduğunu belirtirken, %72'si teknik kararların ağırlıklı olarak yükleniciler tarafından alındığını ifade etmiştir. Şantiye şefleri ve yapı denetim sistemi, şantiyede etkin bir kontrol mekanizması olarak değil, daha ziyade maliyet ve prosedür odaklı bir zorunluluk olarak algılanmaktadır. Bu durum inşaat güvenliği, mevzuata uygunluk ve kentleşme açısından yapısal risklere yol açmaktadır.

Bu bulgulara dayanarak aşağıdaki politika ve uygulama önerileri geliştirilmiştir:

1. Teknik açıdan yetkin müteahhitlik sisteminin yeniden tanımlanması.

Müteahhitlik belgesi alabilmek için sadece yeterli sermayeye değil, aynı zamanda teknik eğitim ve pratik deneyime de sahip olmak zorunlu olmalıdır.

Özellikle yeni başlayan müteahhitler için inşaat alanında eğitim ve sertifikasyon süreçleri oluşturulmalıdır.

2. Müteahhitlik şirketlerinde teknik uzmanların bir araya gelmesi teşvik edilmelidir.

Inşaat sektöründe teknik karar alma süreçlerinde mesleki uzmanlığın temsil edilmesini sağlamak amacıyla, inşaat şirketlerinin en az %51 oranında teknik uzman (mühendis, mimar) bulundurmaları teşvik edilmelidir.

3. Şantiye Şefinin Güçlendirilmesi

Şantiye şefinin sadece imza yetkisine sahip bir makam olmaktan çıkması için, sahada bulunma zorunluluğu, denetimli raporlama sistemleri ve teknik müdahale yetkileri yeniden düzenlenmelidir. Şantiye şefinin iş güvencesini desteklemek için bağımsız ve performans dayalı değerlendirme mekanizmaları oluşturulmalıdır.

4. Yapı denetim sisteminin standartlaştırılması ve güçlendirilmesi

Yapı denetim firmaları arasındaki yaklaşım farklılıklarını azaltmak için denetim süreçleri standartlaştırılmalıdır. Tüm firmaların denetiminde şeffaflık sağlanmalıdır.

5. Fransız sigorta temelli denetim modeli dikkate alınmalıdır.

Teknik sorumluluğun sigorta garantisi ile desteklendiği sistemler incelenmeli ve denetim yükümlülüğünün özel sigorta kuruluşları tarafından yerine getirildiği Fransız modelinin Türkiye'ye uygulanabilirliği tartışılmalıdır.

6. Yerel yönetimlerin uygulamadaki izleme rolünü artırın.

Belediyeler, sadece ruhsatlandırma sürecinde değil, uygulama aşamasında da teknik personelin katılımını gerektiren kontrol mekanizmaları oluşturmalıdır. Proje sahibinin ve şantiye şefinin sahadaki faaliyetleri belediyenin teknik personeli tarafından düzenli olarak izlenmelidir.

7. Meslek odalarının rolünün güçlendirilmesi

Inşaat Mühendisleri Odası ve Mimarlar Odası inşaat süreçlerini sadece izlemekle kalmamalı, aynı zamanda proje ve uygulama süreçlerini denetlemek için temsil modelleri geliştirmelidir.

Bu öneriler sadece müteahhitlik sisteminin düzenlenmesi değil, aynı zamanda yapı üretiminde meslekler arası güç dengesinin yeniden sağlanması, teknik bilginin karar alma süreçlerindeki etkisinin artırılması ve mühendislik disiplininin itibarının korunması için de vazgeçilmezdir. Teknik uzmanlığa dayalı bir karar alma pratiği olmadan afet riski, malzeme kalitesi ve kent estetiği gibi sorunlar tatmin edici bir şekilde çözülemez.

Bu çalışma, Kütahya'da yapılan ilk ampirik çalışmalardan biri olması bakımından önemlidir. Yerel veriler ve saha gözlemleri temelinde geliştirilen politika önerileri, Türkiye'deki yapı üretim sistemine ilişkin daha bütüncül değerlendirmelere kapı aralamaktadır.

Kaynaklar

- Aydın, E. (2025). Yapı üretiminin bileşenleri üzerine Kütahya'da bir alan araştırması (Anket çalışması, yayımlanmamış saha verisi).
- Bilici, E. D. (2021). İnşaat sektöründe yapı denetimi ve Kırşehir ilindeki uygulamaların incelenmesi (Yüksek lisans tezi, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
- Hergüner, M. A., & Laptalı Oral, E. (2015). Şantiye şeflerinin sorumlulukları. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 30(1), 95–104.
- Kütahya Belediyesi. (2025). 2024 ve 2025 yıllarına ait yapı ruhsat verileri (Elektronik arşiv verisi). Kütahya Belediyesi, İmar ve Şehircilik Müdürlüğü.
- Kural, R. (2020). Yapı denetim sisteminde teknik elemanların etkinliği: Afyonkarahisar ili örneği (Yüksek lisans tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
- Şerifoğlu, C. (2019). Mevcut yapı denetim sisteminin eleştirisi ve sertifika esaslı - başarımlı tabanlı bir bütünleşik değerlendirme ve denetim modeli önerisi (Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
- Taşcı, M. (2017). Yapı denetimi uygulamaları ve kalite sorunları: Konya örneği (Yüksek lisans tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
- T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2019). Yapı Müteahhitlerinin Sınıflandırılması ve Kayıtlarının Tutulması Hakkında Yönetmelik (Tarih: 02.03.2019, Sayı: 30702). Resmî Gazete <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2019/03/20190302-8.html>
- Yağız, S. (2021). Bursa ili örneğinde yapı üretim sürecinde teknik meslek mensuplarının rolü (Yüksek lisans tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.



Bakteriyosinler: Yapıları, Etki Mekanizmaları ve Gıda Endüstrisindeki Uygulama Alanları

Tuğba Karaer ^{1,*} ve Gökhan Akarca ¹

¹ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar

* Sorumlu yazar: tkaraer83@gmail.com

Özet

Günümüzde tüketicilerin bilinçlenmesiyle birlikte, doğal içerikli gıdalara talep hızla artmaktadır. Bu yönelim, özellikle gıda sanayisinde kullanılan kimyasal koruyuculara karşı bir mesafe oluşturmakta ve bu yapay koruyucular yerine doğal seçeneklerin aranmasına neden olmaktadır. Bu noktada doğal olarak üretilen antimikrobiyal ajan olan bakteriyosinler son yıllarda büyük bir ilgi görmektedir. Bu doğal koruyucular, farklı bakteri grupları tarafından üretilen, antibakteriyel aktiviteye sahip ribozomal olarak sentezlenen peptitler veya proteinlerdir. Bu biyolojik ajanlar, çeşitli mikroorganizmalar üzerinde farklı etki mekanizmaları gösterirler. Hedef mikroorganizmanın hücre zarına bağlanır ve zar yapısında gözenek oluşumuna neden olur. Oluşan gözenek aracılığıyla hücre içerisindeki düşük molekül ağırlıklı bileşenler dış ortama sızar ve hücre ölümüne yol açar. Özellikle laktik asit bakterileri tarafından üretilen bakteriyosinler gıdanın bozulmasına neden olan bazı mikroorganizmaları inhibe ederken; gıdanın fizikokimyasal yapısını bozmamakta, çevre ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etki yapmamaktadır. Bakteriyosinlerin gıda güvenliğini artırmaları, raf ömrünü uzatmaları, ısıl işleme karşı dirençli olmaları ve farklı pH koşullarında aktif kalabilmeleri, onları özellikle süt ürünleri, et ürünleri ve fermente gıdaların üretiminde vazgeçilmez kılmaktadır. Bu avantajları sayesinde tüketici sağlığını korurken aynı zamanda katkı maddesi içermeyen ve temiz etiketli ürün arayışında olan tüketiciler için önemli bir alternatif oluşturmaktadır. Bakteriyosinlerin gıda koruma yöntemleri arasında doğal ve etkili bir seçenek olarak öne çıkması, önümüzdeki yıllarda daha sağlıklı ve minimal işlenmiş gıda üretiminde kilit bir rol oynamasını mümkün kılacaktır. Bu çalışmanın amacı, bakteriyosinlerin yapısal özelliklerini, sınıflandırılmasını, kullanım alanlarını ve gıda güvenliğine sağladıkları katkıları bilimsel çalışmalar ışığında değerlendirmektir.

Anahtar kelimeler: Bakteriyel koruma, Bakteriyosin, Doğal Koruyucular, Gıda güvenliği, Laktik asit bakterileri

Bacteriocins: Structures, Mechanisms of Action and Application Areas in the Food Industry

Abstract

Today, with the awareness of consumers, the demand for natural foods is rapidly increasing. This tendency creates a distance from chemical preservatives used especially in the food industry and causes natural options to be sought instead of these artificial preservatives. At this point, naturally produced antimicrobial agents, bacteriocins, have attracted great attention in recent years. These natural preservatives are ribosomally synthesized peptides or proteins with antibacterial activity produced by different bacterial groups. These biological agents show different mechanisms of action on various microorganisms. They bind to the cell membrane of the target microorganism and cause pores to form

in the membrane structure. Low molecular weight components in the cell leak into the external environment through the formed pores and lead to cell death. Bacteriocins, especially produced by lactic acid bacteria, inhibit some microorganisms that cause food spoilage; they do not disrupt the physicochemical structure of the food and do not have a negative effect on the environment and human health. Bacteriocins increase food safety, extend shelf life, are resistant to heat treatment and can remain active under different pH conditions, making them indispensable especially in the production of dairy products, meat products and fermented foods. Thanks to these advantages, they protect consumer health while also providing an important alternative for consumers looking for additive-free and clean-label products. The emergence of bacteriocins as a natural and effective option among food preservation methods will enable them to play a key role in the production of healthier and minimally processed foods in the coming years. The aim of this study is to evaluate the structural properties of bacteriocins, their areas of use and their contributions to food safety in the light of scientific studies.

Keywords: Bacterial protection, Bacteriocin, Natural preservatives, Food safety, Lactic acid bacteria

1. Giriş

Günümüzde tüketiciler, daha taze görünümde olan, kimyasal katkı maddeleri içermeyen ve hazırlanması kolay pratik gıdalara yönelmektedir. Bu doğrultuda, minimum düzeyde işlenmiş ürünler bu beklentiyi karşılamada önemli bir yer tutmaktadır. Minimum düzeyde işlenmiş gıdalar; ürünlerin tazeliklerini koruyacak şekilde işlenmesi, hazırlanması, ambalajlanması ve dağıtılması süreçlerini içermektedir. Bu tür gıdaların mikrobiyolojik güvenliği genellikle vakumla paketlenme ve düşük sıcaklıklarda depolama gibi yöntemlerle sağlanmaktadır (Montville ve Kaiser,1993; Hao vd.,1999). Gıda biyokontrolü, gıdalarda istenmeyen mikroorganizmaların gelişimini baskılamak veya tamamen ortadan kaldırmak amacıyla, doğal olarak bulunan antagonistik mikroorganizmalar ve bunların ürettiği antimikrobiyel bileşiklerin kullanılması esasına dayanmaktadır. Bu yaklaşımlar içinde yer alan bakteriyosinler, özellikle minimum düzeyde işlenmiş ürünlerde yaygın olarak karşılaşılan patojenlerin ve bozulma mikroorganizmalarının kontrolünde etkili ve doğal bir alternatif olarak ön plana çıkmaktadır (Schillinger vd.,1996).

Pek çok gram pozitif ve gram negatif mikroorganizma antimikrobiyel bileşikler sentezleyebilsede, laktik asit bakterileri, gıda fermantasyon süreçleriyle yakından ilişkili olmaları ve uzun süredir “gıda sınıfı” olarak kabul edilmeleri nedeniyle gıda biyokontrol uygulamaları açısından özellikle dikkat çekicidir (Montville ve Kaiser,1993; Schillinger vd.,1996; Cleveland vd., 2001). Bu bakteriler, besin maddeleri için diğer mikroorganizmalarla rekabete girmenin yanı sıra; laktik asit, diasetil, hidrojen peroksit ve bakteriyosin gibi antimikrobiyal bileşikler üreterek mikrobiyal gelişmeyi engelleyici etkiler göstermektedir (Schillinger vd.,1996; Daeschel,1989).

Laktik asit bakterileri gibi koruyucu kültürlerin yanı sıra, bu kültürlerin ürettiği bakteriyosinler, bakteriler tarafından üretilip salgılanan, protein yapısına sahip antimikrobiyal bileşiklerdir (De Martinis vd.,2002; Riley 1998). Genellikle kendilerine yakın akrabalıktaki bakterilere karşı etkili olup, geniş çeşitliliğe sahip olmalarına rağmen, gıda güvenliği açısından en yaygın ve güvenli olarak kullanılan formu laktik asit bakterilerinden elde edilen nisin’dir (Chen ve Hoover, 2003). Dolayısıyla, yalnızca nisin’in değil, diğer bakteriyosinlerin de özelliklerinin ayrıntılı olarak incelenmesi, bu biyolojik ajanların çeşitli gıda ürünlerinde daha etkili biçimde kullanılmasına olanak tanıyacaktır.

2. Bakteriyosinlerin Tanımı

Doğallık beklentisinin giderek yaygınlaşması, gıdalarda koruyucu ajan seçimini doğrudan etkilemekte ve doğal alternatifleri öne çıkarmaktadır. Bu çerçevede, fermantasyon süreciyle elde edilen bakteriyosinler, dikkat çekici biyoprezervatifler arasında yer almaktadır. Bakteriyosinler; üretici mikroorganizmaya zarar vermeyen, belirli hedef bakterilere karşı seçici ve inhibitör etkiler gösteren protein yapısındaki bileşiklerdir. (Evren vd., 2006). Genellikle katyonik, hidrofobik özellikte ve düşük

moleküler ağırlığa sahip olan bu peptitler, dar bir antimikrobiyal spektrumla etki ederler (Savadogo vd., 2006). Etkili bir bakteriyosin, protein yapısında olup biyolojik aktivite göstermeli, bakterisidal özellik taşımalı ve özgül hücresele reseptörlere bağlanabilmelidir (Evren vd., 2006).

Bakteriyosinlerin önemli bir kısmı laktik asit bakterileri tarafından sentezlenmektedir. Laktik asit bakterileri, genellikle düşük oksijenli ortamlarda gelişen, gram pozitif, katalaz negatif ve karbonhidratları fermente ederek enerji elde eden mikroorganizmalardır. Bu özellikleri nedeniyle; yoğurt, peynir, turşu, ekmek ve fermente et ürünleri gibi çok çeşitli gıdalarda kullanılırlar. Özellikle *Lactococcus*, *Pediococcus*, *Leuconostoc* ve bazı *Staphylococcus* türleri bakteriyosin üretme kapasitesine sahiptir. Ancak gıda uygulamalarında, çoğunlukla laktik asit bakterileri tarafından sentezlenen bakteriyosinlere öncelik verilmektedir (Mokoena, 2017; Evren vd., 2006).

Bakteriyosinlere ilişkin ilk bilimsel bulgular, 1925 yılında *Escherichia coli* V suşunun, aynı türün farklı bir suşu olan *E. coli* F' ye karşı inhibitör etki gösterdiğinin fark edilmesiyle ortaya konmuştur. Bu antimikrobiyel etkinin nedeni olarak tanımlanan bileşikler, daha sonra "kolisin" adıyla literatüre geçmiştir (Beshkova ve Frengova, 2012). Gram negatif bakterilerde tanımlanan ilk bakteriyosinler kolisinler olup, günümüzde hala en çok araştırılan gruplardan biridir. Kolisinlerin etki mekanizmaları arasında hücre duvarı sentezinin engellenmesi, hücre zarının geçirgenliğinin artırılması ve nükleik asit yıkımına neden olan RNaz/DNaz aktivitelerinin inhibisyonu yer almaktadır (Cleveland vd., 2001). Günümüze kadar 300'ün üzerinde farklı bakteriyosin tanımlanmış ve sınıflandırılmıştır. (Yi vd., 2018).

3. Bakteriyosinlerin Sınıflandırılması

3.1. Grup I Bakteriyosinler (Lantibiyotikler)

Lantibiyotikler, genellikle 5 kDa'dan küçük moleküler ağırlığa sahip, yüksek sıcaklıklara dayanıklı ve post-translasyonel modifikasyonlarla yapısal olarak çeşitlenmiş peptitlerdir. Bu bileşiklerin yapısında lantionin, metil-lantionin gibi çapraz bağlı tiyoeter halkaları içeren amino asitler ile birlikte dehidroalanin ve 2-aminoizobütirik asit gibi doymamış amino asitler yer alır. Elektriksel yük dağılımlarına göre sınıflandırılan lantibiyotikler, başlıca iki alt gruba ayrılır.

A tipi lantibiyotikler, yaklaşık 2–4 kDa büyüklüğünde, pozitif yüklü, esnek ve helikal yapıda olan peptitlerdir. Bu gruptaki bileşikler, hedef mikroorganizmanın zarında porlar oluşturarak membran potansiyelinin bozulmasına neden olurlar. Nisin ve lacticin 3147 bu sınıfa örnek olarak verilebilir (Kaur ve Kaur, 2015).

B tipi lantibiyotikler ise genellikle 2–3 kDa ağırlığında, nötr veya belirgin yük taşımayan, daha kompakt ve küresel yapıya sahip peptitlerdir. Antimikrobiyel etkilerini, hücre duvarı biyosentezine müdahale ederek gerçekleştirirler. Bu gruba ait iyi bilinen bir örnek, *Bacillus* türleri tarafından sentezlenen mersacidindir (Sahl ve Bierbaum, 1998).

3.2. Grup II Bakteriyosinler

Grup II bakteriyosinler, yapılarında lantionin içermeyen, yaklaşık 10 kDa'dan küçük, ısıya dayanıklı peptitlerdir. Bu sınıftaki peptitler, çeviri sonrası sınırlı düzeyde modifikasyona uğrar; genellikle sadece lider peptidin uzaklaştırılması ve N-terminal bölgede disülfür bağlarının oluşumu gözlenir. Amfifilik ve helikal yapı özellikleri sayesinde, hedef hücre zarına entegre olarak membran potansiyelini bozarlar ve hücre ölümüne yol açarlar. Grup IIa bakteriyosinleri, tek zincirli (monomerik) yapıya sahip olup, antimikrobiyel etkinlik açısından özellikle *Listeria monocytogenes* gibi patojenler üzerinde yüksek düzeyde etki gösterirler. Pediocin PA-1 ve sakacin A gibi temsilciler, N-terminal bölgelerinde Tyr-Gly-Asn-Gly-Val-Xaa-Cys motifini içeren özgün bir konsensüs dizisi barındırır. Bu dizilim, hedef özgülüğün ve biyolojik etkinliğin temel belirleyicilerindendir (Kaur ve Kaur, 2015).

Grup IIb bakteriyosinler, antimikrobiyel aktivitenin tam olarak ortaya çıkabilmesi için birlikte işlev gören iki ayrı peptitten oluşur. Bu polipeptitler tek başlarına sınırlı etkiye sahipken, birlikte sinerjik bir mekanizmayla hedef hücre zarında porlar oluşturarak hücre geçirgenliğini bozar ve ölümle sonuçlanan bir etki oluştururlar (Hécharde ve Sahl, 2002).

Grup IIc bakteriyosinleri ise, Sınıf II'nin temel özelliklerini taşımalarına rağmen, IIa ve IIb alt gruplarına dahil edilemeyen peptitleri kapsar. Bu grup, genellikle yapılarında sistein içeren kalıntılar barındırır ve bu nedenle literatürde 'thiolbiotic' ya da 'cystibiotic' olarak adlandırılır. Tiyo-aktif özellik gösteren bu moleküllerin antimikrobiyal etkinliği, yapılarındaki sisteinlerin indirgenmiş formda bulunmasına bağlıdır (De Martinis vd., 2002).

3.3. Grup III Bakteriyosinler

Isıya karşı duyarlılık gösteren ve yüksek moleküler ağırlığa sahip bakteriyosinler, sınırlı sayıda çalışmayla tanımlanmış olan Grup III kategorisinde sınıflandırılmaktadır (Cleveland vd., 2001). Bu grupta yer alan peptitler genellikle 30 kDa'nın üzerindeki büyüklükleriyle dikkat çeker. Zoocin A, lysostaphin, helveticin J ve helveticin V gibi örnekler bu sınıfa dahil edilir. Grup III bakteriyosinleri, ısıya duyarlılıkları ve etki mekanizmalarına göre lizis oluşturanlar ve lizis oluşturmayanlar olarak iki alt sınıfa ayrılır.

Litik etkili olanlar, bakteriyel hücre duvarını hedef alarak endopeptidaz aktivitesi ile hücre lizisini tetikler. Buna karşılık, bazı bakteriyosinler hücre duvarında lizis oluşturmaksızın etki gösterir ve yine de ısıya duyarlılık ile yüksek moleküler yapıya sahip olmalarıyla bu gruba dahil edilir. Örneğin *Lactobacillus helveticus* 481 suşu tarafından üretilen helveticin J, *Streptococcus dysgalactiae subsp. equisimilis* W2580 kaynaklı dysgalactin ve streptococcin A-M57 bu tür bileşikler arasında yer alır (Ahmad vd., 2017).

3.4. Grup IV Bakteriyosinler

Bu gruba ait bakteriyosinler, genellikle büyük ve karmaşık yapıya sahip moleküllerdir ve antimikrobiyel etkinliklerini sürdürebilmeleri için yapılarında karbonhidrat veya lipit gibi yardımcı grupların varlığı gereklidir. Ancak, bu bileşikler üzerine yapılan çalışmalar sınırlı sayıda olup, biyokimyasal yapılarına ilişkin veriler halen yetersizdir. Dolayısıyla, bu bakteriyosinlerin tam olarak anlaşılabilmesi için daha derinlemesine ve çok yönlü araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır (Chen ve Hoover, 2003).

4. Laktik Asit Bakterileri Tarafından Üretilen Bakteriyosinler

Laktik asit bakterileri tarafından bakteriyosin üretiminin ilk kez 1928 yılında bildirilmesiyle birlikte, bu biyolojik açıdan aktif bileşik polipeptit yapıda tanımlanmış ve daha sonra literatürde "nisin" olarak adlandırılmıştır. Bu gelişme, laktik asit bakterilerinin antimikrobiyel yeteneklerine dair bilimsel araştırmaların başlangıç noktası olmuş ve farklı türlerin bakteriyosin üretim kapasitesi giderek artan bir ilgiyle ele alınmıştır. Günümüzde yürütülen çalışmalar, yalnızca bakteriyosinlerin yapısal ve genetik özelliklerini değil, aynı zamanda gıda sanayisindeki uygulama potansiyellerini de derinlemesine incelemektedir (Beshkova ve Frengova, 2012).

5. Bakteriyosinlerin Hedef Hücre Üzerindeki Etki Mekanizmaları

Bakteriyosinler, gösterdikleri etki mekanizmalarına göre sınıflandırıldığında iki ana grupta ele alınabilir: Bazıları hücre lizisini tetikleyerek ya da lizis gerçekleştirmeksizin bakterisidal etki oluştururken, diğerleri hücre çoğalmasını baskılayarak bakteriyostatik özellik göstermektedir (da Silva Sabo vd., 2014). Laktik asit bakterileri tarafından üretilen bakteriyosinlerin önemli bir bölümü, özellikle gram-pozitif bakterilere karşı etkilidir ve bu etkilerini çoğunlukla hücre zarfı yapılarını hedef alan mekanizmalar aracılığıyla gerçekleştirir (Cotter vd., 2013). Lantibiyotikler ile bazı Sınıf II bakteriyosinlerin antimikrobiyel aktivitesi, hücre zarında peptidoglikan biyosentezinde görev alan Lipid II molekülünün inhibisyonuna dayanmaktadır (Silva vd., 2018). Bunun yanında, bazı bakteriyosinler Lipid II'yi gözenek oluşumunu kolaylaştırıcı bir bağlanma noktası olarak kullanarak, hücre membranında geçirgenlik bozulmalarına ve sonrasında hücre ölümüne yol açmaktadır (Machaidze ve Seelig, 2003). Lantibiyotikler içerisinde en kapsamlı şekilde araştırılmış olan nisin, hem hücre duvarı sentezini engelleme hem de hedef hücre zarında por oluşturarak membran bütünlüğünü

bozma gibi iki temel etki mekanizmasını birlikte kullanabilmektedir (Cotter vd., 2005). Bazı bakteriyosinler ayrıca hedef bakterilerin zarında yer alan mannoz fosfotransferaz sistemine bağlanarak por oluşumunu indüklerken, diğer bazıları gen ekspresyonunu ve protein sentezini engelleyerek hücrenin yaşamsal işlevlerini devre dışı bırakmaktadır (Silva vd., 2018).

6. Bakteriyosinlerin Gıda Endüstrisindeki Uygulama Alanları

Laktik asit bakterileri tarafından üretilen bakteriyosinlerin gıda endüstrisinde etkin biçimde kullanılabilmesi için bazı temel kriterleri karşılamaları gerekmektedir. Öncelikle, insan sağlığı açısından güvenilir olmaları ve GRAS (Generally Recognized As Safe) statüsüne sahip bulunmaları beklenir. Ayrıca, bu bileşiklerin ökaryotik hücrelerde toksik etki oluşturmamaları ve bağırsak mikrobiyotasına minimal düzeyde etkili olmaları önemlidir. Sindirim sisteminde yer alan proteazlar tarafından parçalanabilir olmaları vücutta birikim riskini ortadan kaldırması açısından avantaj sağlar. Bakteriyosinlerin gıda işleme koşullarına dayanıklı olması, yani geniş pH aralıklarında ve yüksek sıcaklıklarda stabil kalabilmeleri, uygulama potansiyellerini artırmaktadır. Antimikrobiyel spektrumlarının geniş olması ise, özellikle gıda kaynaklı patojen ve bozulmaya neden olan mikroorganizmalar üzerinde etkinlik göstermelerini sağlar. Genellikle sitoplazmik zar üzerinde etkili olarak hücre bütünlüğünü bozan bakteriyosinler, bu yolla güçlü bir biyolojik koruma işlevi üstlenir (Garcia vd., 2010).

Bu bileşikler, fermente gıdalarda üretici mikroorganizmalar tarafından in situ olarak sentezlenebileceği gibi, saflaştırılmış formları doğrudan gıdalara ilave edilerek de uygulanabilir. Ayrıca bakteriyosin sentezleyen suşların doğrudan ürüne eklenmesi de bir kullanım yoludur (O'Sullivan vd., 2003). Ancak bakteriyosinlerin gıda matrisine adsorbe olarak hızla inaktive olması, antibakteriyel etkinliklerini sınırlayabilmektedir. Bu soruna yönelik geliştirilen alternatiflerden biri, bakteriyosinlerin ambalaj filmleri ya da yenilebilir kaplamalar içine entegre edilmesidir. Böylece bu moleküllerin stabilitesi ve etkinliği artırılarak, özellikle kontaminasyon riskinin yüksek olduğu ürünlerde daha uzun süreli koruma sağlanabilir (Silva vd., 2018). Jelatin, selüloz, kalsiyum aljinat, mısır ve soya proteinleri gibi materyaller kullanılarak kapsül formunda uygulanan bakteriyosinler, hücre içi enzimatik bozulmaya karşı korunarak daha uzun raf ömrü sunar. Bu yöntemler, paketleme materyallerine bakteriyosinlerin doğrudan entegre edilmesi fikrini de gündeme getirmiştir. Örneğin bazı ülkelerde, domuz ve sığır etlerinin paketlenildiği polietilen filmlere *Lactobacillus curvatus* kaynaklı Kurvasin A'nın immobilize edildiği ve bu bakteriyosinin *Listeria monocytogenes* suşlarına karşı etkili olduğu bildirilmiştir (Abriouel vd., 2007).

Öne çıkan bakteriyosinler arasında Nisin, Diplokokin, asidofilin, bulgarikan, helvetisin, laktasin ve plantarinin yer almaktadır. Bunlar arasında en iyi tanımlanmış ve gıda katkı maddesi olarak onaylanmış olan Nisin (E234), *Lactococcus lactis* tarafından sentezlenmektedir. Nisin, konserve ve süt ürünlerinde doğal koruyucu olarak yaygın biçimde kullanılmakta olup, özellikle *Clostridium botulinum* gibi spor oluşturan bakterilere karşı gösterdiği etkisiyle dikkat çekmektedir (Deegan vd., 2006). Buna karşın, Lacticin 3147 ve Lactacin 481 gibi bakteriyosinler henüz ticarileştirilmemiş olsalarda, gıdalarda doğal koruyucu veya aroma geliştirici olarak umut vadetmektedir (Deegan vd., 2006). Ayrıca, Pediocin PA-1'in başta *Listeria monocytogenes* olmak üzere çeşitli gram-pozitif bakterilere karşı gösterdiği yüksek etkinlik, onu gıda ürünlerinde önemli bir biyokoruyucu aday haline getirmiştir (Rodríguez vd., 2002). Gıda ürünlerinde kullanılan çeşitli bakteriyosinlere ilişkin uygulama örnekleri ve bu bileşiklerin mikrobiyel engelleyici etkilerine dair bilgiler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Gıda ürünlerinde kullanılan bazı bakteriyosinler ve etkileri (Cleveland vd., 2001)

Bakteriyosin	Uygulanan Gıda	Etkileri
Nisin A	Tekrar yapılandırılmış et ürünleri	Bakteriyel gelişimin engellenmesi
Nisin A	Ricotta peynirinde <i>L. monocytogenes</i> 'e yönelik biyokoruyucu müdahale	8 haftalık süreçte <i>L. monocytogenes</i> 'in gelişimini durdurmuştur
Pediocin PA-1	Fermente sosis ürününde mikrobiyel başlatıcı olarak <i>P. acidilactici</i> uygulandı	<i>L. monocytogenes</i> 'i baskıladı
Lactocin 705	Kıyılmış sığır etinde hedef patojen olan <i>L. monocytogenes</i> 'e karşı kullanılmıştır	<i>L. monocytogenes</i> gelişmedi
Enterocin	Jambon, domuz eti, tavuk göğüs eti	Çeşitli şartlar altında <i>L. monocytogenes</i> gelişimini kontrol etmiştir

7. Sonuç ve Öneriler

Bakteriyosinler, süt ve et gibi kolay bozulabilen gıdalarda raf ömrünü uzatmak ve patojen mikroorganizmaların çoğalmasını engellemek amacıyla önemli bir biyokoruyucu potansiyel taşımaktadır. Doğal kaynaklı olmaları ve seçici antimikrobiyal etkileri, özellikle sentetik katkı maddelerine karşı artan tüketici hassasiyetine yanıt niteliğindedir. Yapısal çeşitlilik gösteren bu peptitler, hedef hücre zarını bozarak mikrobiyal bütünlüğü sekteye uğratmakta ve böylece antimikrobiyal etki göstermektedir. Güncel araştırmalar, bakteriyosinlerin özellikle gram pozitif bakterilere karşı yüksek etkinlik sergilediğini, belirli koşullarda ise gram negatif bakteriler üzerinde de etkili olabildiklerini ortaya koymaktadır.

Isıl işlem uygulanmamış ya da hafif işlenmiş ürünlerde bakteriyosinlerin koruyucu olarak değerlendirilme potansiyeli artmaktadır. Gıda endüstrisinde bu bileşiklerin doğrudan katkı maddesi olarak ya da bakteriyosin üreten starter kültürler aracılığıyla kullanımı mümkündür. Ancak etkinliğin sürdürülebilir olması, pH, sıcaklık ve mikrobiyal flora gibi çevresel faktörlerle doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle, bakteriyosinlerin farklı biyokoruyucu sistemlerle sinerjik biçimde kullanılması, enkapsülasyon gibi tekniklerle stabilitelerinin artırılması ve yeni formülasyonların geliştirilmesi gibi alanlar gelecekteki çalışmalarda ön plana çıkmaktadır.

Sonuç olarak, bakteriyosinler hem gıda güvenliği sağlamak hem de doğal koruma stratejilerini desteklemek açısından umut verici biyolojik araçlar olarak değerlendirilmektedir. Bununla birlikte, ürün stabilitesi, antimikrobiyal spektrum genişliği ve mevzuata uygunluk gibi kritik parametrelerde daha fazla bilimsel veriye ihtiyaç duyulmaktadır.

Kaynaklar

- Abriouel, H., Gálvez, A., López, R. L., & Omar, N. B. (2007). Bacteriocin-based strategies for food biopreservation. *International Journal of Food Microbiology*, 120(1–2), 51–70.
- Ahmad, V., Khan, M. S., Jamal, Q. M. S., Alzohairy, M. A., Al Karaawi, M. A., & Siddiqui, M. U. (2017). Antimicrobial potential of bacteriocins: In therapy, agriculture and food preservation. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 49(1), 1–11.
- Beshkova, D., & Frengova, G. (2012). Bacteriocins from lactic acid bacteria: Microorganisms of potential biotechnological importance for the dairy industry. *Engineering in Life Sciences*, 12(4), 419–432.
- Chen, H., & Hoover, D. G. (2003). Bacteriocins and their food applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2, 82–100.
- Cleveland, F., Montville, T. J., Nes, I. F., & Chikindas, M. L. (2001). Bacteriocins: Safe, natural antimicrobials for food preservation. *International Journal of Food Microbiology*, 71(1–2), 1–20.

- Cotter, P. D., Hill, C., & Ross, R. P. (2005). Bacteriocins: Developing innate immunity for food. *Nature Reviews Microbiology*, 3(10), 777–788.
- Cotter, P. D., Ross, R. P., & Hill, C. (2013). Bacteriocins—a viable alternative to antibiotics? *Nature Reviews Microbiology*, 11(2), 95–105.
- Daeschel, M. A. (1989). Antimicrobial substances from lactic acid bacteria for use as food preservatives. *Food Technology*, 43(1), 164–167.
- De Martinis, E. C. P., Alves, V. F., & Franco, B. D. G. M. (2002). Fundamentals and perspectives for the use of bacteriocins produced by lactic acid bacteria in meat products. *Food Reviews International*, 18(2–3), 191–208.
- Deegan, L. H., Cotter, P. D., Hill, C., & Ross, P. (2006). Bacteriocins: Biological tools for bio-preservation and shelf-life extension. *International Dairy Journal*, 16(9), 1058–1071.
- Evren, M., Albayram, C., & Apan, M. (2006). Laktik asit bakterilerinin oluşturduğu antimikrobiyel maddeler. *Türkiye 9. Gıda Kongresi Bildiriler Kitabı*, 977–980. Bolu, Türkiye.
- Garcia, P., Rodriguez, L., Rodriguez, A., & Martinez, B. (2010). Food biopreservation: Promising strategies using bacteriocins, bacteriophages and endolysins. *Trends in Food Science & Technology*, 21(8), 373–382.
- Hao, Y. Y., Brackett, R. E., Beuchat, L. R., & Doyle, M. P. (1999). Microbiological quality and production of botulin toxin in film-packaged broccoli, carrots, and green beans. *Journal of Food Protection*, 62(5), 499–508.
- Hécharde, Y., & Sahl, H.-G. (2002). Mode of action of modified and unmodified bacteriocins from Gram-positive bacteria. *Biochimie*, 84(5–6), 545–557.
- Kaur, S., & Kaur, S. (2015). Bacteriocins as potential anticancer agents. *Frontiers in Pharmacology*, 6, 272.
- Machaidze, G., & Seelig, J. (2003). Specific binding of cinnamycin (Ro 09-0198) to phosphatidylethanolamine: Comparison between micellar and membrane environments. *Biochemistry*, 42(43), 12570–12576.
- Mokoena, M. P. (2017). Lactic acid bacteria and their bacteriocins: Classification, biosynthesis and applications against uropathogens: A mini-review. *Molecules*, 22(8), 1255.
- Montville, T. J., & Kaiser, A. (1993). Antimicrobial proteins: Classification, nomenclature, diversity and relationship to bacteriocins. In D. G. Hoover & L. R. Steenson (Eds.), *Bacteriocins of lactic acid bacteria* (pp. 1–22). Academic Press.
- O’Sullivan, L., Ross, R. P., & Hill, C. (2003). *Journal of Applied Microbiology*, 95, 1235.
- Riley, M. A. (1998). Molecular mechanisms of bacteriocin evolution. *Annual Review of Genetics*, 32, 255–278.
- Rodríguez, J. M., Martínez, M. I., & Kok, J. (2002). Pediocin PA-1, a wide-spectrum bacteriocin from lactic acid bacteria. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 42(2), 91–121.
- Sahl, H.-G., & Bierbaum, G. (1998). Lantibiotics: Biosynthesis and biological activities of uniquely modified peptides from Gram-positive bacteria. *Annual Review of Microbiology*, 52(1), 41–79.
- Savado, A., Ouattara, C. A. T., Bassole, I. H. N., & Traore, S. A. (2006). Bacteriocins and lactic acid bacteria: A mini review. *African Journal of Biotechnology*, 5(9), 678–683.
- Silva, C. C. G., Silva, S. P. M., & Ribeiro, S. C. (2018). Application of bacteriocins and protective cultures in dairy food preservation. *Frontiers in Microbiology*, 9, 594.
- da Silva Sabo, S., Vitolo, M., González, J. M. D., & de Souza Oliveira, R. P. (2014). Overview of *Lactobacillus plantarum* as a promising bacteriocin producer among lactic acid bacteria. *Food Research International*, 64, 527–536.
- Yi, L., Luo, L., & Lü, X. (2018). Efficient exploitation of multiple novel bacteriocins by combination of complete genome and peptidome. *Frontiers in Microbiology*, 9, 1567.



Gıda Sanayiinde Atık Yönetimi: Kakao Kabuğu

Beyza Nur Çubuk ^{1*} ve Senem Güner ¹

¹ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar

* Sorumlu yazar: beyzanurcubuk@outlook.com

Özet

Gıda endüstrisinde son yıllarda artan sürdürülebilirlik arayışları, çevresel etkilerin azaltılması ve atıkların yeniden değerlendirilmesi gibi konuları ön plana çıkarmıştır. Özellikle üretim süreçlerinde ortaya çıkan tarımsal ve endüstriyel yan ürünlerin gıda sistemlerine kazandırılması, hem ekonomik hem de çevresel açıdan önemli katkılar sunmaktadır. Bu bağlamda, kakao işleme sürecinde oluşan kakao kabuğu, içerdiği yüksek orandaki diyet lifi, polifenoller, antioksidan bileşikler ve çeşitli biyoaktif maddeler nedeniyle fonksiyonel gıda bileşeni olarak değerlendirilme potansiyeline sahiptir. Kakao kabuğunun bu değerli bileşenleri arasında özellikle lif fraksiyonu ön plana çıkmakta olup, çeşitli işleme yöntemleri ile bu kabuktan kakao lifi elde edilmektedir. Böylece kakao kabuğu yalnızca bir yan ürün olmaktan çıkarak, fonksiyonel özellikleriyle gıda endüstrisi açısından değerli bir bileşen haline gelmektedir. Bu derleme çalışmada, kakao lifinin kimyasal ve fiziksel özellikleri, fonksiyonel gıdalardaki uygulama alanları ve mevcut bilimsel literatürde yer alan çalışmalar kapsamında çok yönlü olarak ele alınmıştır. Kakao lifinin başta unlu mamuller olmak üzere içecekler, barlar, takviye edici gıdalar ve farklı ürün formülasyonlarında kullanımı üzerine yapılan araştırmalar incelenmiş; ürün kalitesi, raf ömrü, yapı özellikleri, besinsel değer ve duyuşal kabul üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Aynı zamanda kakao lifinin gıda endüstrisine entegrasyonunun sağlayabileceği teknolojik katkılar, tüketici eğilimleri, pazarlanabilirlik olanakları ve ekonomik sürdürülebilirlik yönünden önemi tartışılmıştır. Derlenen veriler, kakao kabuğundan elde edilen kakao lifinin yalnızca bir atık üründen ibaret olmadığını; çevresel sürdürülebilirliğe katkı sunan, sağlık açısından olumlu etkiler barındıran ve fonksiyonel gıda bileşeni olarak değerlendirilebilecek çok yönlü bir materyal olduğunu göstermektedir. Bu yönüyle kakao lifinin değerlendirilmesi, gıda israfının azaltılması, atık yönetiminin geliştirilmesi ve fonksiyonel ürün çeşitliliğinin artırılması açısından gelecek çalışmalara temel oluşturabilecek nitelikte önemli bir alanı temsil etmektedir.

Anahtar kelimeler: Kakao Kabuğu, Fonksiyonel Gıda, Sürdürülebilir Gıda üretimi, Atık Değerlendirme, Diyet Lifi

Waste Management in the Food Industry: Cocoa Shells

Abstract

In recent years, the growing pursuit of sustainability in the food industry has brought topics such as reducing environmental impact and re-evaluating waste into the spotlight. Particularly, the integration of agricultural and industrial by-products generated during production processes into food systems offers significant economic and environmental benefits. In this context, cocoa husk, a by-product of cocoa processing, has the potential to be utilized as a functional food ingredient due to its high content of dietary fiber, polyphenols, antioxidant compounds, and various bioactive substances. Among these valuable components, the fiber fraction of the cocoa husk stands out, and cocoa fiber is obtained from the husk through various processing methods. Thus, cocoa husk is no longer merely a by-product, but

becomes a valuable component for the food industry related to its functional properties. This review study comprehensively examines the chemical and physical properties of cocoa fiber, its applications in functional foods, and the relevant scientific literature. Research on the use of cocoa fiber in a variety of product formulations—especially baked goods, beverages, bars, dietary supplements, and more—has been analyzed in terms of its effects on product quality, shelf life, structural properties, nutritional value, and sensory acceptance. In addition, the potential technological contributions of integrating cocoa fiber into the food industry, consumer trends, marketability, and economic sustainability are discussed. The compiled data demonstrate that the cocoa fiber, derived from cocoa husk, is not merely a waste product but a multifunctional material that contributes to environmental sustainability, offering health benefits, and can be used as a functional food ingredient. In this regard, the evaluation of cocoa fiber represents an important area that can serve as a foundation for future studies aimed at reducing food waste, improving waste management, and increasing the diversity of functional food products.

Keywords: Cocoa shell, Functional food, Sustainable food production, Waste utilization, Dietary fiber

1. Giriş

Kakao çekirdeklerinin işlenmesi sırasında ortaya çıkan kakao kabukları, geçmişte genellikle atık olarak değerlendirilen ancak günümüzde fonksiyonel gıda bileşenleri ve biyolojik açıdan faydalı özellikler sunan değerli bir malzeme olarak dikkat çekmektedir. 2014-2018 yılları arasında Türkiye'nin kalkınma planlarında, sürdürülebilir üretim süreçlerini destekleyen ve çevresel bozulmaların önlenmesini sağlayan teknolojilerin geliştirilmesi öncelikli hedefler arasında yer almıştır. Gıda endüstrisinde atıkların değerlendirilmesi, yalnızca çevresel sürdürülebilirliği artırmakla kalmaz, aynı zamanda yüksek katma değerli yeni ürünlerin ortaya çıkmasına olanak tanır. Kakao kabukları da bu bağlamda, antioksidan ve prebiyotik özellikleri ile sağlık açısından önemli faydalar sağlamaktadır (Chang vd. 2016).

Yağlı tohumlar ve özellikle kakao, gıda sanayisinde önemli bir hammadde kaynağıdır ve işlenmesi sırasında ortaya çıkan kabuklar, besleyici öğeler ve fonksiyonel bileşikler bakımından zengin bir potansiyele sahiptir. Kakao çekirdeği kabuğu, kakao çekirdeğinin yaklaşık %12-15'ini oluşturmaktadır ve bu kabuklar genellikle atık olarak kabul edilse de, yapılan araştırmalar bu atıkların besin değeri ve biyolojik aktiviteler açısından son derece değerli olduğunu göstermektedir. Kakao kabuğunda bulunan fenolik bileşikler, antioksidan, antienflamatuar ve prebiyotik özellikler sunar ve bu sayede insan sağlığı üzerinde olumlu etkiler yaratmaktadır (Alasalvar ve Shahidi, 2008). Ayrıca, kakao kabuğunun içerdiği diyet lifi, çeşitli sağlık sorunlarına karşı koruyucu bir etki gösterdiği gibi, gıda sanayisinde emülsiyon kararlılığı, su ve yağ tutma kapasitesi gibi önemli fonksiyonel özellikler de sunmaktadır (Elleuch vd 2011). Ancak, kakao kabuklarında mikrobiyal yük bulunabilmektedir ve bu, gıda güvenliği açısından bir risk oluşturabilir. Özellikle yüksek nem içeriği ve organik bileşenler, mikroorganizmaların çoğalması için uygun bir ortam yaratabilir. Bu nedenle, kakao kabuklarının gıda ürünlerinde güvenle kullanılması için ısıtma işlemi veya UV ışınlatma gibi mikrobiyal kontaminasyonu engelleyen yöntemlerin uygulanması önemlidir (López vd. 2018). Bu yöntemler, mikrobiyal yükün azaltılmasına yardımcı olarak, ürünlerin güvenliğini ve kalitesini artırır.

Gıda endüstrisinde atıkların değerlendirilmesi, özellikle kakao kabukları gibi yan ürünlerin fonksiyonel gıda bileşenleri olarak kullanılması, çevresel sürdürülebilirliği artırmak ve ekonomik katma değer yaratmak açısından önemli bir fırsattır. Kakao kabuklarının gıda ürünlerinde, özellikle fırıncılık ürünlerinde, yağ ve un ikamesi olarak kullanılmasının yanı sıra, bu ürünlerin duyu özelliklerinin de geliştirilmesi mümkündür. Kakao kabukları, sağlık yararlarının yanı sıra gıda ürünlerinin kalitesini artırma potansiyeli taşıyan önemli bir kaynak olarak öne çıkmaktadır. Bu bağlamda, kakao kabuklarının gıda sanayisinde daha etkin bir şekilde kullanılması, sadece çevresel atıkların azaltılmasına katkı sağlamakla kalmaz, aynı zamanda gıda ürünlerinin fonksiyonel değerini

artırarak, tüketici sağlığını destekleyen alternatif ürünlerin ortaya çıkmasına olanak tanır (Chang vd. 2016; Sessa, 2004).

2. Kakao Kabuğunun Kimyasal ve Biyoaktif Bileşenleri

Son yıllarda kakao ürünlerinin kimyasal bileşimi üzerine yapılan bilimsel çalışmalar hız kazanmıştır. Yapılan araştırmalar sonucunda kakao tanesinin %54 yağ, %12 protein, %5 nem ve %1.46 kül içerdiği belirlenmiştir (Pritchard, 1991).

Kakao iç kabuğu üzerine yapılan araştırmalar, kabukta 68.1 g/kg yağ, 181.2 g/kg protein, 81 g/kg kül ve 60.6 g/kg lif bulunduğunu göstermektedir. Ayrıca kakao kabuğunda %3.1-5.2 yağ, %14.5-21.6 protein ve %17.4-20.9 lif oranları saptanmıştır (Adamafio, 2013).

Kakao kabuğunun kül miktarı %8.01, protein miktarı %15.59 ve ham lif oranı %19.70 olarak belirlenmiştir. Kakao kabuğunun zengin bir mineral profiline sahip olduğu, özellikle potasyum, fosfor, magnezyum ve kalsiyum açısından yüksek içerik gösterdiği vurgulanmaktadır (Grembecka ve Szefer, 2012).

Kakao çekirdeğinin yetiştirildiği bölge, fermentasyon ve kurutma yöntemleri gibi çevresel ve üretimsel faktörlerin kimyasal bileşim ve aroma üzerinde etkili olduğu bildirilmiştir (Sukha vd 2014).

Çizelge 1: Kakao Kabuğunun Kimyasal Bileşimi (Adamafio, 2013).

Bileşen	Miktar (g/100g)
Yağ	2.04 - 5.2
Protein	14.5 - 21.6
Lif	17.4 - 20.9
Kül	7.05
Karbonhidrat	20.49

Kakao kabuğunda bulunan teobromin ve kafein miktarları da dikkat çekicidir. Coğrafi farklılıklar ve varyeteye göre değişkenlik gösteren bu bileşikler, kakao kabuğunda belirli oranlarda bulunur. İşlem görmemiş kakao çekirdeği tozunda teobromin 42 mg/g, kafein ise 6 mg/g olarak bulunmuştur. Kavrulmuş kakao çekirdeğinde bu değerler sırasıyla 59.5 mg/g ve 8 mg/g'ye yükselmiştir (Coco vd. 2007).

Altuğ (1987) tarafından yapılan çalışmada, kakao kabuğunun %0.80 teobromin ve %0.06 kafein içerdiği belirlenmiştir. Arlorio ve arkadaşları (2005), süperkritik akışkan ekstraksiyonu ile elde ettikleri kakao kabuğu ekstraktlarında teobromin miktarını 1.29 g/100 g olarak rapor etmişlerdir. Bu bulgular, kakao kabuğunun kafein ve teobromin gibi alkaloid bileşenler açısından da değerlendirilebileceğini göstermektedir.

Redgwell vd. (2003), Batı Afrika'da üretilen kakao kabuklarının toplam diyet lif miktarını %63.6, çözünür lif oranını %11.7 ve çözünmeyen lif oranını %51.9 olarak bulmuşlardır.

Kakao kabuğu, önemli bir antioksidan kaynağıdır. Kakao polifenollerinin antioksidan, antikarsinojenik ve antiradikal özellikler taşıdığı ve kakao kabuğunun toplam fenolik içeriğinin 18.2 g kateşin/kg olduğu belirlenmiştir (Arlorio vd. 2005).

Martinez vd. (2012), kakao kabuklarının metanol:aseton ekstraktlarında toplam fenolik içeriğin 149.63 mg gallik asit/100 g olduğunu ve bu ekstraktların yüksek antioksidan aktivite gösterdiğini rapor etmişlerdir.

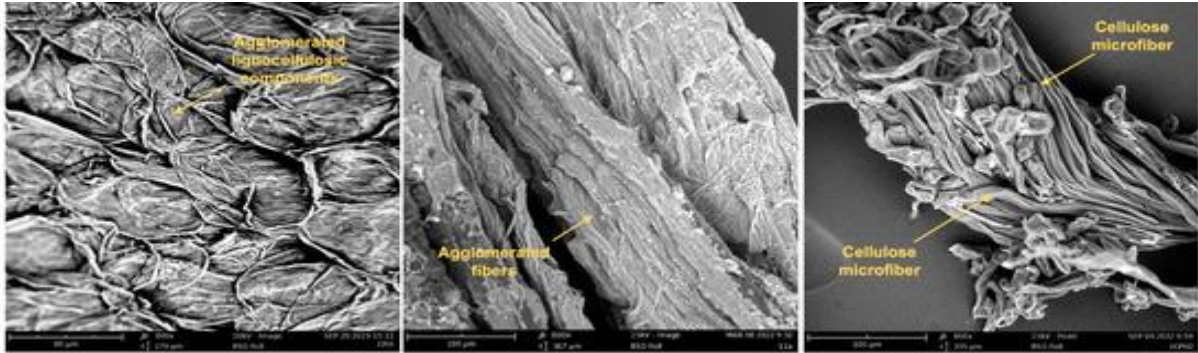
Lecumberri vd. (2007), lif bakımından zengin kakao kabuğu tozunda toplam fenolik içeriği 5.78 g gallik asit/100 g; FRAP değeri 72.32 μ mol Trolox/g ve TEAC değeri 7.73 μ mol Trolox/g olarak bulmuşlar; ayrıca konsantrasyon arttıkça antioksidan aktivitenin yükseldiğini gözlemlemişlerdir.

3. Kakao Kabuğu Lifi Üretim Süreci ve Yapısal Özellikleri

Kakao kabuğu lifi, kakao çekirdeği işleme süreci sonucunda açığa çıkan kakao kabuklarının çeşitli işlemlerden geçirilmesiyle elde edilen ve hem teknolojik hem de besinsel özellikleriyle ön plana çıkan fonksiyonel bir gıda bileşenidir. Üretim süreci, çok aşamalı bir sistematik yapı içermekte olup bu süreç, ilk olarak kakao çekirdeklerinin ısıl işlemle kavrulması ile başlamaktadır. Kavurma işlemi, yalnızca istenilen tat ve aroma bileşenlerinin gelişmesini sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda mikrobiyal yükün azaltılması bakımından da önemli bir işlemdir. Ardından, "winnowing" olarak adlandırılan kabuk ve öz ayrıştırma işlemi uygulanmakta, bu aşamada mekanik yöntemlerle kakao çekirdeğinin dış kabuğu ayrılmaktadır. Elde edilen kabuklar daha sonra belirli sıcaklık ve süre kontrolü altında kurutulmakta, böylece nem oranı düşürülerek mikrobiyal büyümeye elverişli ortam ortadan kaldırılmaktadır. Kurutulan kabuklar öğütülerek daha küçük parçacıklara ayrılır ve lif fraksiyonlarının serbest bırakılması sağlanır. Bu parçacıklar, lif bileşenlerinin ayrıştırılması amacıyla fiziksel (örneğin eleme, santrifüjleme) ya da kimyasal (alkali ekstraksiyon gibi) işlemlere tabi tutulur. Nihai olarak, elde edilen lifin güvenliğini sağlamak ve raf ömrünü artırmak amacıyla dekontaminasyon işlemleri (örneğin UV ışınlama, ısıl işlem, fermentasyon gibi) uygulanır (Arlorio vd. 2005, López vd. 2018).

Kakao lifinin mikroyapısal analizi, bu bileşenin teknolojik işlevselliğini ve gıdalardaki davranışını anlamak açısından oldukça önemli bilgiler sunmaktadır. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile yapılan incelemeler, kakao liflerinin gözenekli, lifsi ve süngerimsi bir yapıya sahip olduğunu ortaya koymuştur. Bu yapısal özellik, yüksek su ve yağ tutma kapasiteleri gibi uygulamalı fonksiyonlara doğrudan katkı sağlamaktadır. Kakao lifinin çok hücreli ve heterojen yapısı, ürüne hacim ve kıvam kazandırıcı etkiler sunarken; bu liflerin yüzeyinde yer alan fenolik bileşikler ise doğal antioksidan özellik göstermektedir. Fenolik bileşiklerin lif matrisine bağlanmış hâlde bulunması, lifin sadece fiziksel değil aynı zamanda biyoaktif bir bileşen olarak değerlendirilmesini sağlamaktadır. Bu özellikleriyle kakao lifi, sadece besinsel lif değil; aynı zamanda sağlık yararları sağlayan bir bileşen olarak da değerlendirilmektedir (Lecumberri vd. 2007, Elleuch vd. 2011).

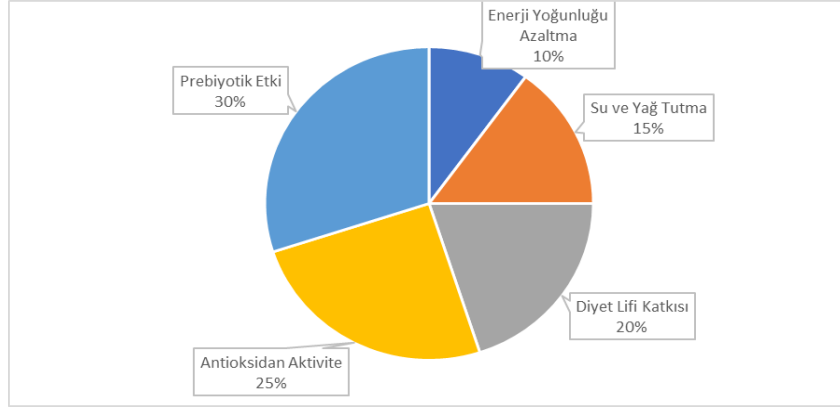
Aşağıda, Hozman ve Jaramillo'nun (2023) çalışmasından alınan ve Kolombiya menşeli kakao kabuğundan izole edilen selüloz mikro liflerinin SEM görüntülerine yer verilmiştir. Bu görüntüler, liflerin lifsi, gözenekli ve kompleks mikroyapısını açıkça göstermektedir. Yapının bu doğası, gıdalarda fonksiyonel katkı maddesi olarak kullanıma potansiyelini desteklemektedir.



Şekil 1. Kakao kabuğundan izole edilen selüloz mikro liflerinin SEM görüntüsü (Hozman ve Jaramillo, 2023).

4. Kakao Kabuğu Lifinin Fonksiyonel Özellikleri ve Sağlık Üzerine Etkileri

Kakao lifi, prebiyotik etki, antioksidan aktivite, düşük enerji yoğunluğu gibi birçok fonksiyonel özelliğe sahiptir. Bu özellikleri ile bağırsak sağlığını destekler, serbest radikallerle savaşır ve düşük kalorili ürünlerin formülasyonuna katkı sağlar (Öztürk, 2017).



Grafik 1. Kakao Kabuğu Lifinin Fonksiyonel Özelliklere Katkısı (Öztürk, 2017)

Kakao kabuğundaki polifenoller, şeker hastalığı ve kardiyovasküler hastalıklar gibi çeşitli sağlık sorunlarının önlenmesine yardımcı olabilmektedir. Literatürde, kakao kabuğunun antioksidan kapasitesinin, potansiyel olarak kanser ve kardiyovasküler hastalıkların önlenmesinde faydalı olabileceği yönünde bulgular bulunmaktadır. Kakao kabuğu, serbest radikalleri temizleyerek hücresel düzeyde hasarı engelleyebilmekte ve inflamasyonu azaltabilmektedir. Bu bağlamda, Martínez et al. (2012) tarafından yapılan bir çalışmada, kakao kabuğu ekstresinin antioksidan aktivitesinin %45 oranında arttığı gözlemlenmiş olup, bu artışın, kardiyovasküler hastalıkların risk faktörleri üzerinde olumlu etkiler yaratabileceği vurgulanmaktadır. Çalışma, kakao kabuğunun içerdiği polifenoller ve flavonoid bileşiklerinin damar sağlığı üzerinde doğrudan etkiler yaratarak kan basıncını %10 oranında düşürdüğünü ortaya koymaktadır.

Kakao lifi, fonksiyonel gıda bileşeni olarak son yıllarda giderek artan bir ilgiyle karşılanmakta olup, hem teknolojik hem de sağlık odaklı işlevleri nedeniyle çok çeşitli gıda ürünlerine entegre edilmektedir. Özellikle unlu mamuller, enerji barları, içecekler, yoğurtlar ve sağlıklı atıştırmalıklar gibi ürün kategorilerinde kullanım potansiyeli yüksek olan kakao lifi, bu ürünlerin yapısal, duyu ve besinsel kalitesini önemli ölçüde artırabilmektedir. Literatürdeki çalışmalar, kakao lifinin prebiyotik etkiler göstererek bağırsak mikrobiyotasını desteklediğini, bağışıklık sisteminin fonksiyonlarını iyileştirdiğini ve bununla birlikte düşük enerji yoğunluğu sayesinde obezite ile mücadelede katkı sağlayabileceğini ortaya koymuştur (Öztürk, 2017). Aynı zamanda yüksek antioksidan kapasitesi sayesinde oksidatif bozulmaları geciktirerek ürünlerin raf ömrünü uzatmakta ve katkı maddesi kullanımını azaltmaktadır. Teknolojik açıdan bakıldığında ise, su ve yağ tutma kapasitesinin yüksek olması nedeniyle ürün hacmini koruyarak yapısal bütünlüğü sağlamaktadır (Martínez vd. 2012).

5. Kakao Kabuğu Lifinin Gıda Ürünlerinde Kullanım Potansiyeli ve Uygulama Alanları

Kakao kabuğu lifinin gıda ürünlerinde kullanımına yönelik çalışmalar umut verici sonuçlar ortaya koymuştur. Kakao kabuğundan elde edilen çözünür liflerin çikolatalı muffin üretiminde yağ ikamesi olarak kullanılabileceği gösterilmiştir.

Denemelerde kakao kabuğu lif oranı arttıkça ürünlerin hacmi azalmış ancak düşük oranlı kullanımda keklerin yapısal özelliklerinde anlamlı bir bozulma gözlenmemiştir. Ayrıca lif ilavesinin ürünlerde hafif acı tat oluşturabileceği rapor edilmiştir (Martínez vd. 2011).

Öztürk (2022) yaptığı çalışmada, kakao çekirdeği kabuğunun biyoaktif bileşen içeriği incelenmiş ve keklerde kullanım potansiyeli değerlendirilmiştir. Ham kakao kabuğu, yıkanmışa göre daha yüksek toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite göstermiştir. %40 un ikamesi ve %50 yağ ikamesi oranlarında ham kabuk kullanımı, keklerin biyoaktif bileşen ve lif içeriğini artırmıştır. Yıkama işlemi ise kül, protein, flavonoid ve teobromin miktarlarında azalmaya neden olmuştur. Çalışmanın sonucunda, fonksiyonel kek üretiminde un ikamesi için %40, yağ ikamesi için %50 oranında ham kakao kabuğu kullanımının önerilebileceği sonucuna varılmıştır.

Felix-Medina ve ark. (2021) tarafından kakao kabuğu lifi içeren fonksiyonel protein bar üretimi üzerine yapılan çalışmada, %10 kakao lifi ilavesinin, ürünün toplam diyet lifi içeriğini %18,1'e çıkardığı ve tat-kabul edilebilirlik skorlarını olumsuz etkilemediği bildirilmiştir. Martínez-Cervera ve ark. (2011), kakao lifi ilavesinin bisküvi formülasyonlarında kullanımını araştırmış ve %10 kakao lifiyle hazırlanan örneklerin su tutma kapasitesinin %23 arttığını, raf ömrünün ise 2 gün uzadığını tespit etmiştir. López-Vargas ve ark. (2013), probiyotik yoğurtlara %1,5 oranında kakao kabuğu lifi ilave edildiğinde, probiyotik canlılıkta %18'e varan artış gözlemlendiğini ve bu lifin prebiyotik etki gösterdiğini raporlamıştır. Andújar ve ark. (2012) tarafından yapılan çalışmada, keklere %5 kakao lifi eklendiğinde, ürünlerin toplam lif içeriğinin %300 arttığı, ayrıca tat ve doku özelliklerinde tüketici kabulü açısından anlamlı bir fark oluşmadığı belirtilmiştir.

Kakao lifi ilavesiyle geliştirilen fırıncılık ürünlerinde gerçekleştirilen duyuusal analizler, lifin ürüne entegrasyon oranına bağlı olarak tat, doku ve genel kabul düzeylerinde değişiklikler gözlemlendiğini ortaya koymuştur. Martínez ve arkadaşlarının (2011) gerçekleştirdiği çalışmada, kek formülasyonlarında %10 ila %40 oranlarında kakao lifi kullanılarak yapılan duyuusal değerlendirmelerde, düşük düzeyde (özellikle %10-20 arası) lif ilavesinin ürün kalitesi üzerinde olumsuz bir etki yaratmadığı, aksine tat ve doku açısından kabul edilebilir sınırlar içinde kaldığı bildirilmiştir. Ancak, %30 ve üzeri oranlarda kakao lifi kullanımında, yapısal bütünlükte bozulmaların başladığı ve acımsı bir tat algısının oluştuğu tespit edilmiştir. Bu bulgular, fonksiyonel bileşen olarak kakao lifinin etkin şekilde kullanılabilmesi için uygun formülasyon geliştirme gerekliliğine işaret etmektedir.

6. Duyusal Analiz Sonuçları ve Grafiksel Değerlendirme

Kakao lifi ilavesiyle geliştirilen fırıncılık ürünlerinde gerçekleştirilen duyuusal analizler, bu fonksiyonel bileşenin ürüne entegrasyon düzeyine bağlı olarak tat, doku ve genel kabul parametrelerinde çeşitli etkiler yarattığını göstermektedir. Özellikle kek gibi yapı hassasiyeti yüksek ürünlerde yapılan denemeler, düşük düzeyde kakao lifi kullanımının (örneğin %10–20 arası) ürünün duyuusal nitelikleri üzerinde anlamlı olumsuzluk yaratmadığını, aksine kabul edilebilir bir yapı ve tat profili sağladığını ortaya koymuştur (Martínez vd. 2011). Ancak lif oranı %30'un üzerine çıktığında, yapısal gevşeme, hacim kaybı ve acımsı tat gibi istenmeyen değişimler belirginleşmiştir.

Aşağıda yer alan Çizelge 1, kakao lifinin artan oranlarda kullanılması durumunda ürünlerin duyuusal skorlarında meydana gelen değişimi özetlemektedir:

Çizelge 2. Kakao Lifi Oranı İle Duyusal Skorlar Arasındaki İlişki (Martínez vd. 2011)

Kakao Lifi (%)	Tat Puanı	Doku Puanı	Genel Kabul
0	9.2	9.0	9.1
10	8.8	8.7	8.7
20	8.3	8.1	8.2
30	7.5	7.0	7.2
40	6.2	6.0	6.1

Bu veriler, kakao lifinin duyuusal nitelikleri koruyarak ürünlere fonksiyonellik kazandırılabilmesi için belirli eşiklerin aşılmaması gerektiğini ortaya koymaktadır. Özellikle %20 ve altındaki kakao lifi oranlarının hem ürün kalitesi hem de tüketici kabulü açısından ideal bir sınır sunduğu anlaşılmaktadır. Bu durum, fonksiyonel ürün geliştiricilerine formülasyon açısından önemli bir kılavuz niteliğindedir.

Fonksiyonel gıdalara yönelik tüketici ilgisinin son yıllarda belirgin şekilde artması, kakao lifi gibi besinsel açıdan zengin bileşenlerin ticari ürünlerde kullanımını da teşvik etmektedir. Yapılan pazar araştırmaları, özellikle lif katkılı barlar ve sağlıklı atıştırmalıklar gibi ürün kategorilerinin 2021-2024 yılları arasında %18 oranında büyüme gösterdiğini ortaya koymuştur (Food Research International,

2023). Kakao lifi içeren ürünler, özellikle sağlıklı yaşamı benimseyen bireyler, sporcular ve özel diyet uygulayan tüketiciler arasında giderek daha fazla tercih edilmektedir. Asya pazarı özelinde değerlendirildiğinde, Güney Kore ve Japonya gibi ülkelerde kakao lifi katkılı çikolata, bisküvi ve içeceklerin üretimi son yıllarda hızlı bir artış göstermektedir. Bu eğilim, fonksiyonel ürünlerin sadece sağlık açısından değil aynı zamanda duyuşal çekicilik ve doğal içerik beklentilerini karşılaması açısından da tüketici nezdinde öncelikli tercih hâline geldiğini göstermektedir (Öztürk, 2022).

7. Sürdürülebilirlik ve Atık Yönetimi Açısından Önemi

Kakao kabuğu, küresel ölçekte yılda yaklaşık 700 bin ton gibi yüksek bir miktarda oluşan tarımsal bir yan ürün olup, geçmişte düşük ekonomik değerli alanlarda kullanılırken günümüzde fonksiyonel gıda bileşeni olarak yeniden değerlendirilmesiyle dikkat çekmektedir. Bu tür atıkların doğrudan gıda sistemlerine entegre edilmesi, hem çevresel sürdürülebilirliği desteklemekte hem de gıda endüstrisinde ekonomik katma değer yaratmaktadır. Özellikle Avrupa Birliği'nin 2030 yılı sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda, tarımsal ve endüstriyel atıkların ileri düzeyde yeniden değerlendirilmesi, stratejik öneme sahip bir yaklaşım olarak kabul edilmektedir (Sessa, 2004). Kakao kabuğunun işlenerek lifi elde edildiğinde, bu lif hem enerji yoğunluğu düşük hem de prebiyotik etkili fonksiyonel bir bileşene dönüşmekte ve böylece gıda israfı azaltılmakta, atık bertaraf maliyetleri düşürülmekte, karbon ayak izi minimize edilmekte ve nihayetinde ekonomik sürdürülebilirlik desteklenmektedir. Chang ve arkadaşları (2016), kakao kabuğunun sürdürülebilirlik açısından taşıdığı potansiyeli ortaya koymuş ve bu tarımsal yan ürünün yüksek selüloz içeriğine dikkat çekmişlerdir. Çalışmada, özellikle kakao kabuğunun lignin ve hemiselüloz gibi bileşenler açısından zengin yapısının, selüloz türevleri üretiminde değerlendirilebileceği vurgulanmıştır. Bu bulgular, kakao kabuğundan izole edilen liflerin gıda endüstrisinde diyet lifi kaynağı olarak kullanılabileceğine işaret etmektedir. Ayrıca, bu doğal liflerin gıdalarda yapı verici, kıvam artırıcı ve prebiyotik özellik kazandırıcı fonksiyonlar sunabileceği düşünülmektedir. Böylece, çevresel atık niteliğindeki kakao kabuğu işlenerek hem sağlık yararları olan hem de sürdürülebilir bir gıda bileşeni haline getirilebilir. Bu yaklaşım, gıda israfının azaltılması, atık yönetimi maliyetlerinin düşürülmesi ve fonksiyonel gıda üretiminin desteklenmesi açısından önemlidir.

8. Sonuç

Kakao lifi, kakao çekirdeğinin işlenmesi sürecinde oluşan ve uzun yıllar boyunca atık olarak değerlendirilen bir yan ürün olmasına rağmen, içerdiği yüksek düzeyde diyet lifi, fenolik bileşikler ve antioksidanlar sayesinde günümüzde önemli bir fonksiyonel gıda bileşeni olarak değerlendirilmektedir. Son yıllarda yürütülen çalışmalar, kakao lifinin bağırsak sağlığını desteklemesinin yanı sıra, gıda ürünlerinde kıvam artırıcı, su ve yağ tutucu, enerji yoğunluğunu düşürücü ve doğal koruyucu özellikler sağladığını ortaya koymuştur.

Özellikle prebiyotik etkisi ile bağırsak mikrobiyotasını destekleyen kakao lifi, bağışıklık sisteminin güçlenmesine katkıda bulunmakta; polifenol içeriği sayesinde de ürünlerin raf ömrünü uzatmaktadır. Ancak, kakao kabuğundaki yüksek mikrobiyal yük, doğrudan kullanımda bazı kısıtlamalara neden olmaktadır. Bu durum, ısıtma işlemi, UV-C ışınlatma ve fermantasyon gibi dekontaminasyon yöntemleriyle kontrol altına alınabilmektedir.

Sürdürülebilir üretim yaklaşımları çerçevesinde kakao kabuğunun değerlendirilmesi, çevresel atıkların azaltılmasına ve ekonomik katma değer yaratılmasına olanak sağlamaktadır. Böylece kakao lifi, hem sağlıklı ürün geliştirme süreçlerine katkı sunmakta hem de gıda endüstrisinde sürdürülebilirliğin desteklenmesine hizmet etmektedir.

Duyuşal analizlere göre, kakao lifi yağ ikamesi olarak kullanıldığında ürün hacminde kısmi azalmalar meydana gelmekte; ancak düşük oranlı kullanımda yapı ve tat üzerinde ciddi olumsuzluklar oluşmamaktadır. Lif ilavesinin hafif acımsı bir tat verebileceği bildirilmiş ve bu etkinin uygun formülasyonlarla kontrol edilebileceği belirtilmiştir.

Giderek artan fonksiyonel ürün talebi doğrultusunda, kakao lifinin özellikle protein barlar, yoğurtlar ve sağlıklı atıştırmalıklar gibi kategorilerde kullanımının yaygınlaşması beklenmektedir. Sonuç olarak kakao lifi, hem insan sağlığına yönelik fonksiyonel ürün geliştirilmesinde hem de sürdürülebilir üretim modellerinin oluşturulmasında yüksek potansiyele sahip değerli bir bileşen olarak öne çıkmaktadır. Bu potansiyelin tam anlamıyla kullanılabilmesi için, kakao lifinin fonksiyonel özelliklerinin daha derinlemesine araştırılması ve mikrobiyolojik güvenliğinin artırılması gerekmektedir.

Teşekkür

Araştırmamda bana büyük destekleri olan sevgili ablam aynı zamanda meslektaşım Emine Koç Eyi ve çok değerli abi, meslektaşım Mustafa Kandal'a sonsuz teşekkürler.

Kaynaklar

- Adamafio N.A., 2013, Theobromine Toxicity and Remediation of Cocoa By products: Overview, *Journal of Biological Science*, 13(7): 570-576.
- Alasalvar, C., & Shahidi, F. (2008). Phenolic compounds in food: Chemistry and health benefits. *Food Reviews International*, 24(4), 391-407.
- Altuğ, T., 1987, Toz kakaoda taşıma metodları üzerine çalışmalar, Doktora Tezi (Yön.: Dr. Meral Gönül), Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 76s (yayımlanmamış).
- Andújar, I., Recio, M. C., Giner, R. M., & Ríos, J. L. (2012). Cocoa polyphenols and their potential benefits for human health. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2012, 1–23.
- Arlorio, M., Coisson, J. D., Travaglia, F., Varsaldi, F., Miglietta, F., & Martelli, A. (2005). Cocoa husk extracts obtained by supercritical fluid extraction: Chemical characterization and antioxidant properties. *Food Research International*, 38(6), 657–663. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2005.01.013>
- Chang, K., Chen, Y., & Lee, S. (2016). Antioxidant and anti-inflammatory properties of cocoa shell. *Food Research International*, 89, 1005–1013. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.11.015>
- Elleuch, M., Bedigian, D., & Karboune, S. (2011). Dietary fiber from different food sources: Chemical and functional properties. *Food Research International*, 44(1), 21–28. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.10.005>
- Felix-Medina, M., et al. (2021). Development of a protein bar enriched with cocoa husk dietary fiber. *Foods*, 10(5), 987.
- Food Research International. (2023). Global functional food market insights. Elsevier.
- Grembecka, M., & Szefer, P. (2012). Mineral profile of cocoa husks: A valuable source of nutrients. *Food Chemistry*, 135(1), 389–395.
- Hozman-Manrique, A. S., & Jaramillo, A. J. (2023). Isolation and characterization of cellulose microfibers from Colombian cocoa pod husk via chemical treatment with pressure effects. *Polymers*, 15(3), 664.
- Lecumberri, E., Mateos, R., Izquierdo-Pulido, M., Rupérez, P., Goya, L., & Bravo, L. (2007). Dietary fibre composition, antioxidant capacity and physicochemical properties of a fibre-rich product from cocoa (*Theobroma cacao* L.). *Food Chemistry*, 104(3), 948–954. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.11.058>
- López-Vargas, J. H., Fernández-López, J., Sendra, E., & Pérez-Alvarez, J. A. (2013). Viability of probiotic bacteria and sensory characteristics of yogurt enriched with cocoa fiber. *Journal of Dairy Science*, 96(7), 4148–4156.
- López, M., Vázquez, J., & García, J. (2018). Microbial safety of cocoa shells: Control methods and antimicrobial treatments. *Food Control*, 89, 18–24. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.01.024>
- Martínez, A., López, M., & García, J. (2011). Cocoa by-product as functional ingredient in chocolate muffins: Sensory and nutritional evaluation. *Journal of Food Processing and Preservation*, 35(6), 798–804.

- Martínez, A., Cilla, A., Alemán, M. D., & Alegría, A. (2012). Antioxidant activity and phenolic content of cocoa husk extracts obtained with methanol-acetone solution. *Food Research International*, 47(1), 156–162. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.06.008>.
- Öztürk, B. (2017). Yağlı tohumlar ve bunların işlenmesi sırasında açığa çıkan yan ürünlerin değerlendirilmesi. *Gıda Bilimleri ve Teknolojisi Dergisi*, 12(3), 45-58.
- Öztürk, E. (2022). Kakao iç kabuğunun biyoaktif bileşenler açısından incelenmesi ve gıdalarda kullanım imkânlarının araştırılması (Yüksek lisans tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Pritchard, J. (1991). Chemical composition of cocoa beans. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 56(1), 67–70.
- Redgwell, R., et al. (2003). Dietary fiber composition of cocoa husks from West Africa. *Food Research International*, 36(5), 561–568.
- Sessa, M. (2004). Innovations in food processing and the use of by-products. *Trends in Food Science & Technology*, 15(5), 228-236.
- Sukha, D., et al. (2014). The effect of fermentation and drying methods on the chemical composition and aroma of cocoa beans. *Food Chemistry*, 158, 361–367.



Kartografyada MapAnalyst Yazılımının Kullanımı

Esra Tüci ¹ve İbrahim Yılmaz¹

¹ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği, Afyonkarahisar

* Sorumlu yazar: esratuci.65@gmail.com

Özet

MapAnalyst Programı 1990'ların sonunda özellikle Coğrafi Bilgi Sistemleri(CBS) ve harita analizlerine odaklanarak geliştirilen bir yazılım programıdır. Bernhard Jenny, Monash Üniversitesi, Melbourne tarafından geliştirilmiştir. Program 2005 yılındaki tanıtımından bu yana çeşitli alanlarda geliştirilmiştir ve en önemli gelişmelerinden biri ise OpeenStreetMap'i referans harita olarak kullanıma sunulması olmuştur. Tarihi haritaların incelenmesinde, üretiliş metotlarının anlaşılmasında ve coğrafi değişimlerin incelenmesi için kullanılan bir yazılım programıdır. Program tarihi harita ve modern haritalar arasındaki farklılıkları ve değişimlerin incelenmesinde kullanılan ücretsiz bir Java uygulamasıdır. Program işlem kolaylığı ile amaca yönelik hazırlanmıştır. Program bozuk gridleri, yer değiştirme vektörlerini, ölçeğini ve dönüklük çizgilerinden kaynaklanan bölgesel harita bozukluklarını göstermektedir. Yer değiştirme vektörlerinin ve bozuk gridlerin anlaşılması ve doğru bir şekilde yorumlanabilmesi için gerekli olan temel bilgileri sağlamaktadır. Programa aktarılabilecek olan tarihi haritaların konumu sol tarafta bulunmaktadır ve modern haritaların konumu ise sağ tarafta bulunmaktadır. Tarihi haritaların ve modern haritaların görüntüleri Import Old Map Image/ Import New Map Image seçilerek tarihi ve modern harita programda açık hale getirilmektedir. Tarihi ve modern haritalarda en az 5 nokta olacak şekilde noktalar seçilip Selected Points kısmından noktalar bağlantılı hale getirilmektedir. Bağlantı noktalarının sayısı arttıkça yapılan işlem o kadar güvenli olmaktadır. Compute aracı ile tarihi haritanın ölçek ve dönüklük farklılıkları hesaplanmaktadır. Bu değerler programın sağ alt köşesinde verilmektedir. MapAnalyst Tarihi haritanın ve yeni referans haritasının aynı projeksiyonu kullandığını varsayarak işlemi gerçekleştirmektedir. Program yapmış olduğu dönüşümler sonucunda tarihi haritaların incelenmesinde ve sonuca bağlanmasında kullanıcıya kolaylık sağlamaktadır. Bu çalışmada MapAnalyst yazılımının genel özellikleri ve uygulamaya dair detaylar incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Coğrafi Bilgi Sistemleri(CBS), MapAnalyst, Tarihi Haritalar, Modern Haritalar

The use of MapAnalyst software in Cartography

Abstract

The MapAnalyst program is a software program developed in the late 1990s which focused on Geographic Information Systems(GIS) and map analysis. It was developed by Bernhard Jenny and Melbourne at Monash University. The program has been developed in various areas since its introduction in 2005 and one of the most important developments has been the use of OpenStreetMap as a reference map. It is a software program that is used to examine historical maps, understand their production methods and examine geographical changes. The program is a free Java application that is used to examine the differences and changes between historical maps and modern maps. The program has been prepared for its purpose with ease of operation. The program shows broken grids, displacement vectors, scale and regional map displacement vectors and broken grids. The position of

historical maps to be imported into the program is on the left side and the position of modern maps is on the right side. The images of historical and modern maps are opened in the program by selecting Import Old Map Image/ Import New Map Image. In historical and modern maps at least 5 points are selected and the points are connected from the the selected points section. As the number of connection points increases, the process becomes more reliable. The scale and rotation differences of the historical map are calculated with the compute tool. These values are given in the bottom right corner of the program. MapAnalyst carries out the process assuming that the historical map and the new reference map use the same projection. The program enables the user in examining historical maps and reaching a conclusion as a result of the transformations it has made. In this study, the general features of the MapAnalyst software and the details regarding the application has been examined.

Keywords: Geographic Information Systems(GIS), MapAnalyst, Historical Maps, Modern Maps

1. Giriş

İnsanoğlu geçmişten günümüze kadar yaşamakta olduğu coğrafyayı hep merak edip araştırma gereğinde bulunmuştur. Yaşadığı bölgeden çıkıp yeni yerler keşfetmeye başlamıştır böylelikle haritalara ihtiyaç duyulmuştur. Haritayı oluşturan kişilere 'kartograf' denir. Kartograflar oluşturmuş olduğu haritalar aracılığı ile Kartografya biliminin oluşmasında etkili olmuştur (Çapadı, 2019, s. 1).

Kartografya haritaların oluşturulması, geliştirilmesi, hangi amaç için yapıldığını gösteren bir bilim dalıdır. Kartografya haritalara ait tüm içerikleri inceleyen bilim dalıdır. Haritalar yaşamış olduğumuz toprakları bize aktarmakta bir aracı görevi üstlenir. (Uluğtekin ve Doğru, 2005, s. 6).

Kartografya haritanın her aşamasını inceleyen, geliştiren ve kullanıcıya aktarımındaki değerleri araştırıp geliştiren bir bilim dalıdır.

MapAnalyst yazılımı aracılığı ile tarihi haritalar üzerinde analizler yapılmakta ve bu analizler sonucunda tarihi haritalar üzerinde yorumlamalar yapıp sonuca bağlanmasında kullanıcıya ileriki çalışmalarda öncülük etmektedir. Yazılımın amacı tarihi haritaların bağlantılı noktalar aracılığıyla geometrik doğruluğunu ve bozulmalarını gösterip ölçek, dönüklük değerlerini hesaplayarak görselleştirmesini oluşturmaktadır (TULGA, 2019, s. 21).

MapAnalyst yazılımı birden fazla tarihi haritayı karşılaştırabilmektedir. Program kullanıcısı her bir tarihi harita için bozuk grid oluşturmaktadır ve bu işlemi gerçekleştirirken referans alınan haritanın koordinat sisteminde üst üste çakıştırarak görsel olarak karşılaştırmaktadır. Bu nedenle görselleştirmeler için eski haritanın ya da referans alınana haritanın koordinat sisteminde olup olmaması önemli değildir. Önemli olan faktör eski haritanın ölçek faktörü ve dönüklük açısının afin dönüşüm ile belirlenmesidir. Program tarihi haritaların doğruluğunu karşılaştırmak için gerekli olan tarihi haritanın ölçeğini, dönüş açısını ve istatistiksel bilgileri hesaplamaktadır (Jenny, 2006, s.242).

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

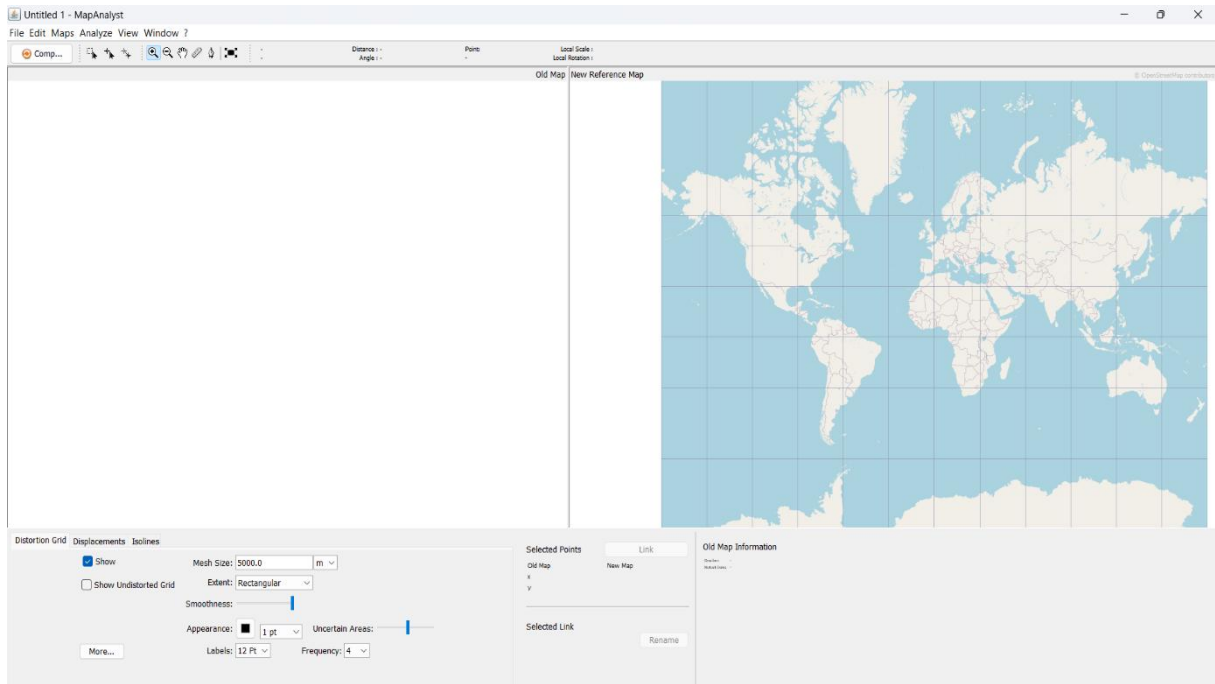
MapAnalyst yazılımı Bernhard Jenny, Monash Üniversitesi, Melbourne tarafından geliştirilmiştir (MapAnalyst, 2025). MapAnalyst yazılımı Tarihi haritaların incelenmesinde, üretiliş metotlarının anlaşılmasında ve coğrafi değişimlerin incelenmesi için kullanılan bir yazılım uygulamasıdır. MapAnalyst yazılımında yapılan işlemler birçok GIS programında da yapılabilmektedir ancak bunlar pahalı ve birçok işlem adımı gerektirmektedir. Yazılım işlem kolaylığı ile amaca yönelik hazırlanmıştır (Çelik, 2016).

MapAnalyst yazılımı 3 farklı dönüşüm yapmaktadır. Bunlar; Helmert (Benzerlik) Dönüşümü, 5 parametrelili Afin Dönüşümü ve 6 parametrelili Afin Dönüşümü. Helmert (Benzerlik) Dönüşümünde 2 öteleme elemanı, 1 dönüklük bileşeni ve 1 ölçek faktörü olmak üzere 4 adet dönüşüm parametresini içerir. Afin (5 parametre) Dönüşümü 2 öteleme elemanı, 1 dönüklük bileşeni ve 2 ölçek faktörü olmak

üzere 5 adet dönüşüm parametresini içerir. Afin (6 parametre) Dönüşümü 2 öteleme elemanı, 2 dönüklük bileşeni ve 2 ölçek faktörü olmak üzere 6 adet dönüşüm parametresini içermektedir (TULGA, 2019, s. 35-s.36).

2.2. Metot

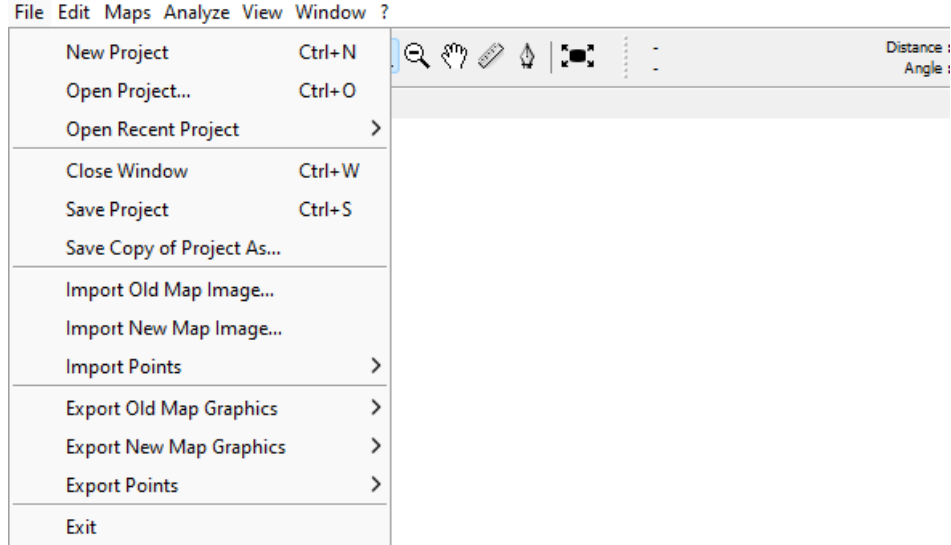
MapAnalyst yazılımının ana yüzünde üst satırda hesaplama aracı, araçlar çubuğu ve dinamik bilgiler bölümü mevcuttur. Dinamik bilgiler bölümü farenin bulunduğu noktanın anlık verilerini göstermektedir ve farenin konumu değiştiğinde bilgiler yenilenmektedir. Tarihi haritaların konumu sol tarafta, yeni haritanın konumu sağ tarafta bulunmaktadır. Görselleştirme araçları yazılımın ana yüzünde sol alt köşede yer almaktadır. Nokta Eşleştirme Aracı (Selected Points) eski ve yeni haritaların alt kısmında ve görselleştirme bölümü ile Eski Harita Bilgileri (Old Map Information) kısmının arasında yer almaktadır. Eski harita bilgileri kısmında ise hesaplama işlemi yapıldıktan sonra eski haritaya ait bilgiler yer almaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. MapAnalyst programının Ana Yüzü

2.2.1. File Menüsü

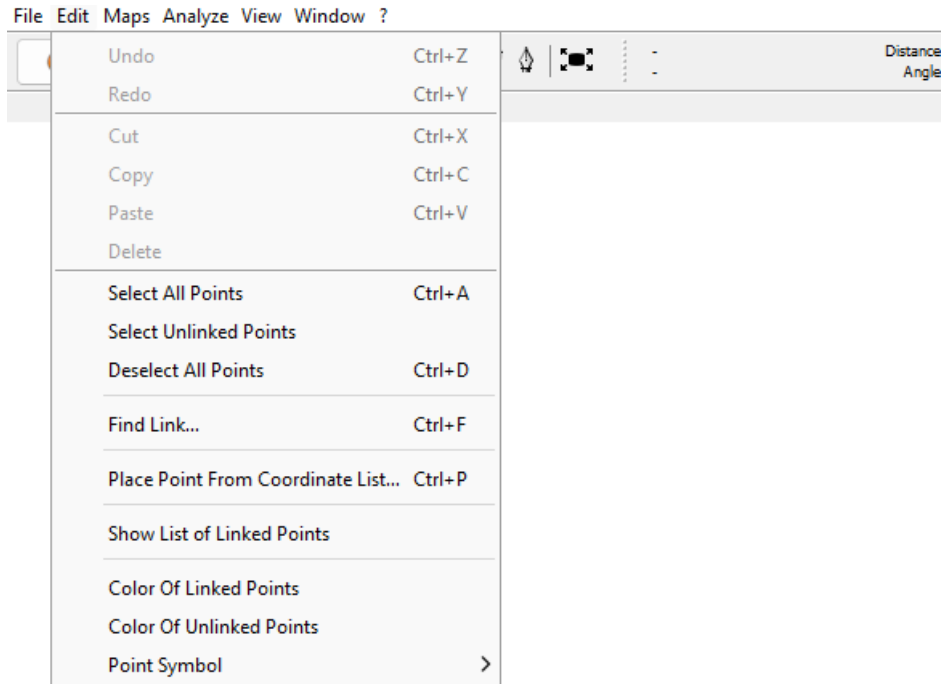
File Menüsü ile projeyi açma işlemi, kapatma işlemi ve kaydetme işlemi yapılmaktadır. Eski ve Yeni Haritaları içe aktarma işlemi yapılmaktadır. Eski ve Yeni haritaların hesaplama işlemi yapıldıktan sonra sonuçları DXF, JPEG, PNG, SVG, WMF, ESRI Shape uzantılı olarak kaydedilip dışarı aktarma işlemleri yapılmaktadır. Eski ve Yeni Haritanın hesaplama işlemi yapıldıktan sonra bağlantı noktalarının koordinatlarına ulaşmak File Menüsü ile gerçekleştirilmektedir (Şekil 2).



Şekil 2. File Menüsü

2.2.2. Edit Menüsü

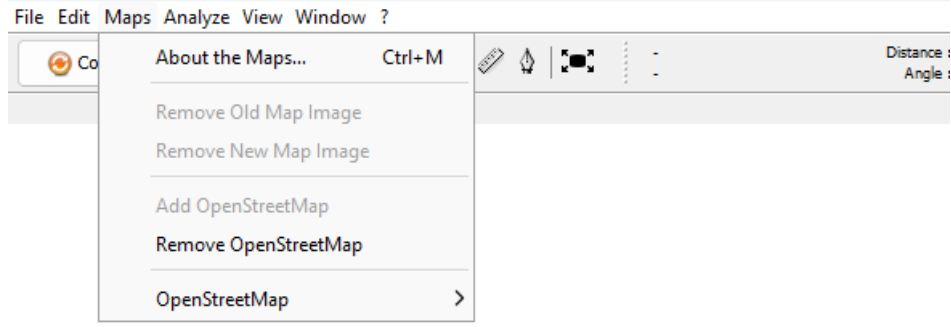
Edit Menüsünde düzenleme işlemleri yapılmaktadır. Seçilen noktaları kopyalama, yapıştırma, silme, tekrarlama, kaydırma işlemlerini geri alma işlemleri mevcuttur. Bağlantı noktalarını bulma ve listeleme işlemleri yapılmaktadır. Bağlantılı ve bağlantısız noktaların rengi ayarlanmaktadır. Noktaların sembol değişikliği Edit Menüsü ile gerçekleştirilmektedir (Şekil 3).



Şekil 3. Edit Menüsü

2.2.3. Maps Menüsü

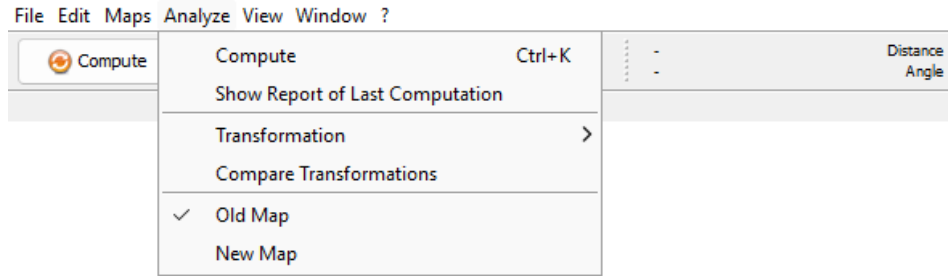
Maps Menüsünde Haritalar hakkında bilgilere ulaşılmaktadır. Eski ve Yeni Haritanın Görüntüsü kaldırılmaktadır. OpenStreetMap'i ekleme ve kaldırma işlemleri yapılmaktadır (Şekil 4).



Şekil 4. Maps Menüsü

2.2.4. Analyze Menüsü

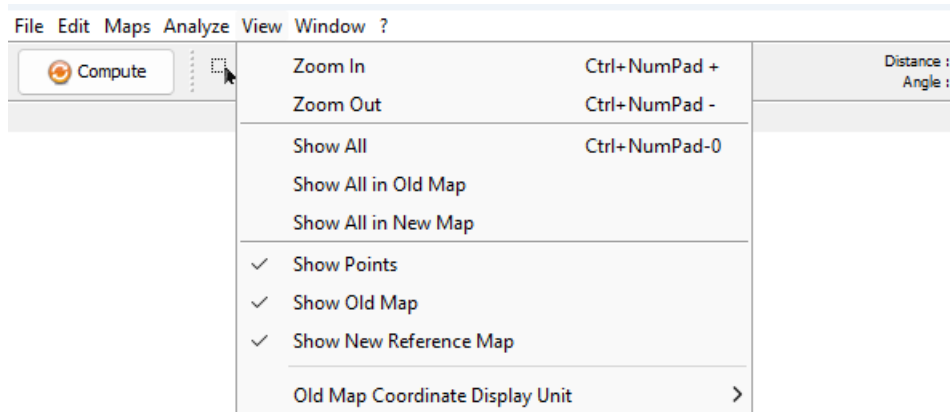
Analyze menüsünde hesaplama işlemi ve son hesaplamamanın raporuna ulaşılmaktadır. Dönüşümler ve Dönüşümler sonucunda elde edilen sonuçların karşılaştırılması yapılmaktadır (Şekil 5).



Şekil 5. Analyze Menüsü

2.2.5. View Menüsü

View Menüsü haritaların mevcut görünürlüğü üzerine işlem yapılabilir. Yakınlaştırma, uzaklaştırma, eski ve yeni haritanın tamamını gösterme işlemleri yapılmaktadır. Noktaların görünümü açık ya da kapalı hale getirilmektedir (Şekil 6).

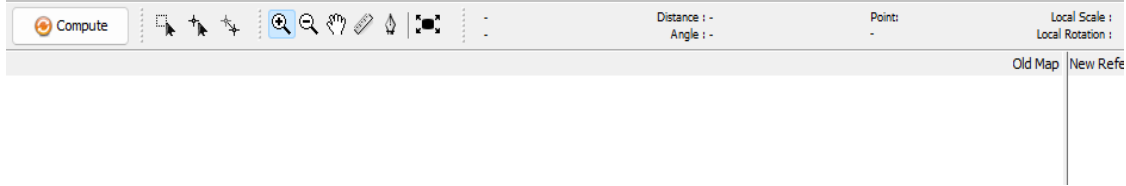


Şekil 6. View Menüsü

2.2.6. Araçlar Çubuğu

Eski haritanın ölçek ve dönüklük farklılıkları hesaplama aracı kullanılarak elde edilmektedir. Noktaların dikdörtgen seçimi, yeni nokta belirleme işlemi ve nokta kaydırma işlemleri yapılmaktadır.

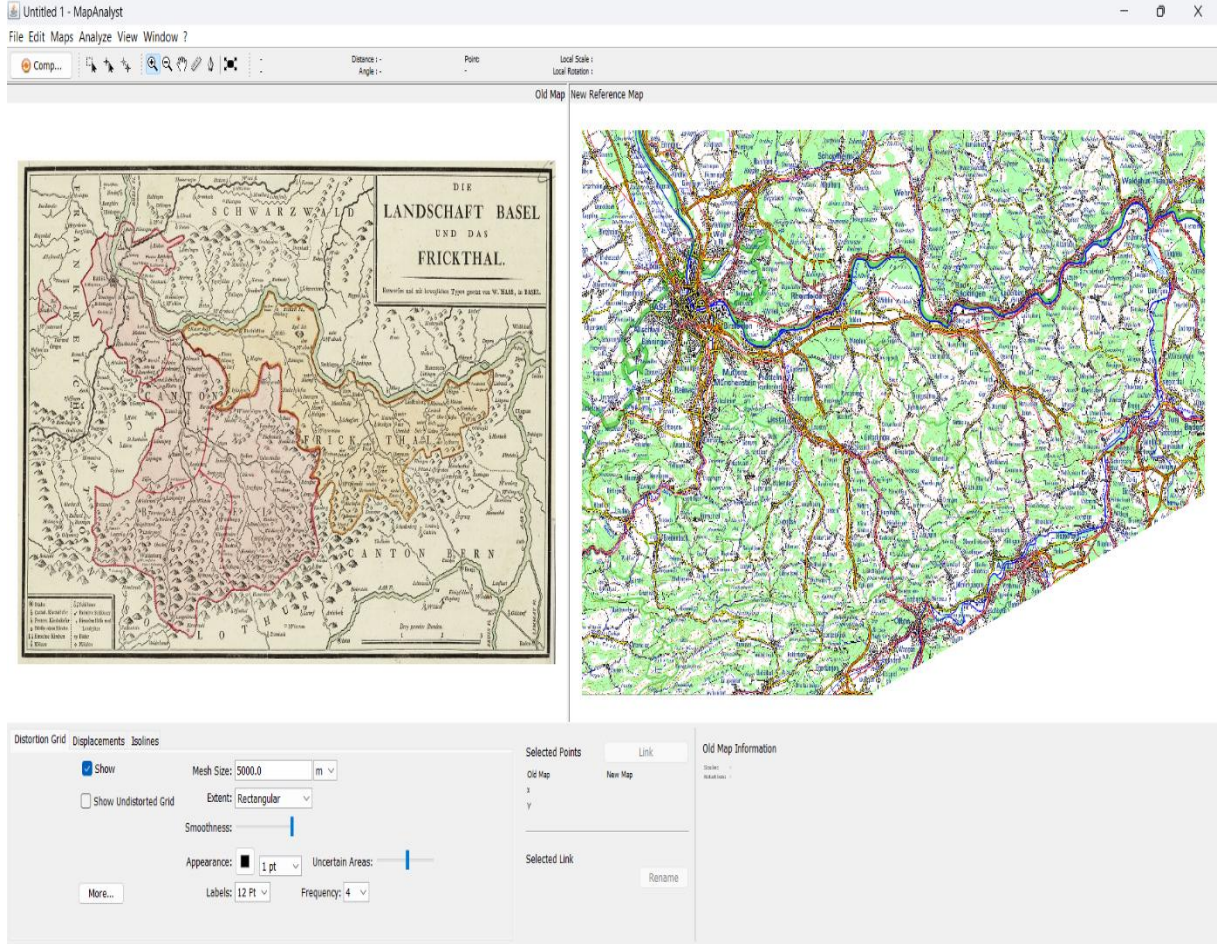
Haritalar üzerinde yakınlaştırma, uzaklaştırma ve 'pan' aracı ile haritalar üzerinde farklı alanlara kaydırma işlemleri yapılmaktadır. İki nokta arasında uzunluk ve açı ölçümü yapılmaktadır. Çokgen seçimi ise bozulma gridlerini sınırlandırmak için kullanılmaktadır. Hesaplama süresi birkaç faktöre bağlı olarak farklılık göstermektedir. Hesaplama süresini etkileyen faktörler; bağlantılı nokta sayısı, seçilen dönüşüm yöntemi, görselleştirme için seçilen ayarlar ve kullanılan bilgisayarın hızına bağlı olarak birkaç saniye sürmektedir. Bağlantılı noktalar aracılığıyla Eski haritadaki noktalar seçilen dönüşüm yöntemine göre referans alınan haritadaki noktalara dönüştürülmektedir. Tarihi ve modern haritalarda en az 5 nokta olacak şekilde noktalar seçilir ve bağlantı noktalar haline getirilmektedir. Bağlantı noktalarının sayısı arttıkça yapılan işlem o kadar güvenli hale gelmektedir (Şekil 7).



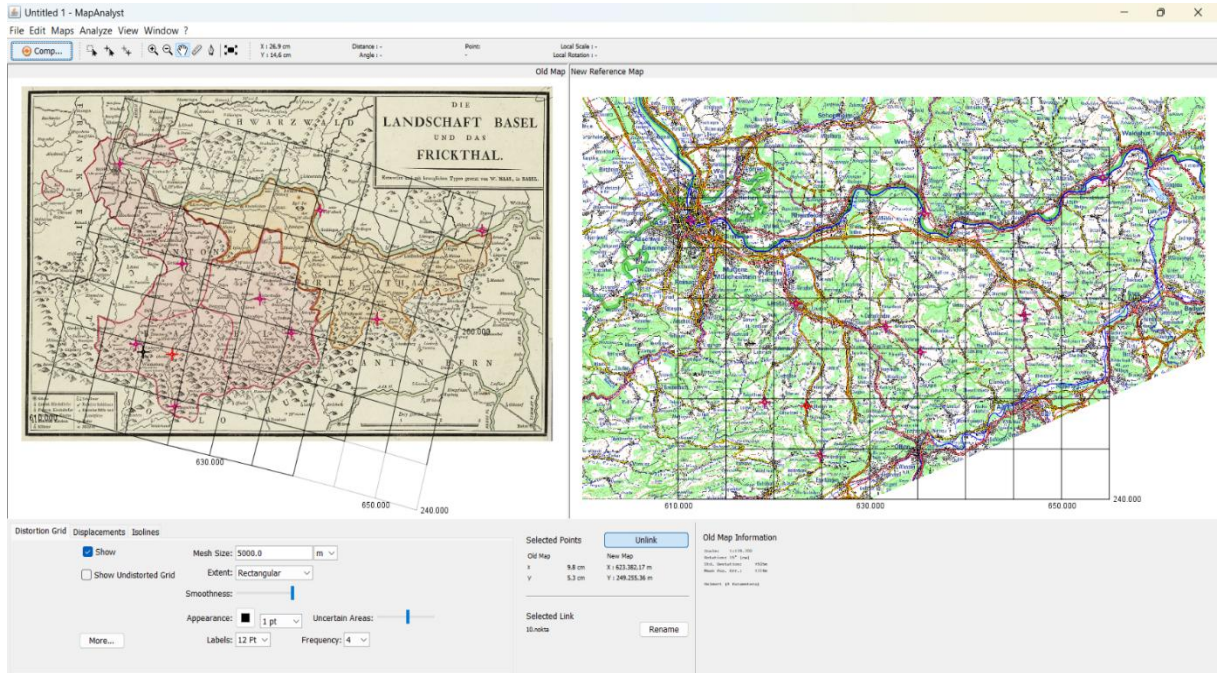
Şekil 7. Araçlar çubuğu

3. Die Landschaft Basel Und Das Frickthal

Die Landschaft Basel Und Das Frickthal haritası Wilhelm Hass tarafından 1798 yılında hazırlanmıştır. İsviçrenin kuzeyinde bulunan Basel ve Frickthal bölgelerini kapsamaktadır. Harita Basel Üniversitesi Kütüphanesi arşivinde bulunmaktadır ve dijital olarak erişime açıktır. Eski haritası ve yeni haritası (MapAnalyst, 2025) sistemden indirilip File Menüsü kullanılarak içe aktarılma işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 8). Haritada en az 5 nokta olacak şekilde noktalar seçilmelidir ve Seçilen Noktalar (Selected Points) kısmında noktalar isimlendirilip bağlantılı hale getirilmektedir. Bağlantı noktalarının seçiminde her iki haritada seçilen noktaların açıkça tanımlanabilen yerler olması gerekmektedir. Seçilen noktalar homojen olarak seçilmelidir ve özellikle tarihi haritada seçilecek olan noktanın zamanla yok olmamış ya da taşınmamış olması gerekmektedir. Eski ve Yeni haritada Seçilen Noktalar kısmında isimlendirme işlemi yapılmaktadır ve noktalar böylelikle bağlantılı hale getirilmektedir. Haritalarda Seçilen Nokta kısmından isimlendirme işlemi yapılmayan bağlantısız noktalar hesaplama işlemi yapıldığında işleme katılmaz sadece isimlendirilen bağlantılı noktalar hesaba katılmaktadır. Noktalar bağlantılı hale getirildikten sonra Analyze Menüsünden dönüşüm yöntemi (helmert-5 parametrelili affine-6 parametrelili affine) seçilir ve hesaplama(compute) tuşu ile sonuçlar elde edilir. Referans alınan modern harita ile eski harita arasında oluşturulan dönüşüm sonucunda gridler oluşturulmuştur. Grid aralığı 5000 m olarak ayarlanmış ve hesaplama sonucunda eski haritadaki gridlerin düzgün olmadığı bozuk gridler program tarafından oluşturulmuştur (Şekil 9). Haritalarda belirtilen kırmızı noktalar bağlantılı noktalardır ve haritada 10 bağlantılı nokta oluşturulmuştur. Eski haritada bulunan siyah nokta ise bağlantısız nokta olduğunu göstermektedir ve hesaplama işleminde bağlantısız noktalar etkisiz bir işleve sahiptir. Uzunluk ve Açı ölçme aracı (Measure Distance and Angle) kullanılarak eski haritanın uzunluğunun yaklaşık olarak enine 34 cm ve boyuna 21 cm olduğu görülmektedir.



Şekil 8. Haritaların programa atılmış hali



Şekil 9. Hesaplama işlemi yapıldıktan sonra oluşturulan bozuk gridler

4. Bulgular ve Tartışma

Eski ve yeni haritanın hesaplama işlemi yapıldıktan sonra seçilen 10 bağlantı noktasının koordinatlarına File Menüsü ile ulaşılmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. Haritada seçilen 10 noktanın koordinat listesi

Bağlantılı Nokta Adları	Eski Haritanın X Koordinatları(m)	Eski Haritanın Y Koordinatları(m)	Yeni Haritanın X Koordinatları	Yeni Haritanın Y Koordinatları
1.Nokta	0.063782	0.171144	611338.813337	267740.484696
2.Nokta	0.104084	0.109335	622303.395847	259452.119594
3.Nokta	0.298637	0.129867	654303.154333	271989.701875
4.Nokta	0.230580	0.075049	646092.479750	258359.082984
5.Nokta	0.154609	0.087570	631662.111244	257149.504946
6.Nokta	0.174966	0.066387	635280.508322	254634.195268
7.Nokta	0.099366	0.021170	624826.786259	244314.545347
8.Nokta	0.193636	0.142429	635657.466366	268432.258033
9.Nokta	0.074154	0.059702	619015.392744	249650.738273
10.Nokta	0.097682	0.053442	623382.174477	249255.355621

Analyze Menüsünde Dönüşümlerin karşılaştırılması (Compare Transformations) kısmında yapılan dönüşüm hesaplamalarının karşılaştırma listesine ulaşılmaktadır. Karşılaştırma listesinde 10 bağlantılı nokta esas alınarak Helmert Dönüşümü, 5 parametrelili Affine Dönüşümü ve 6 parametrelili Affine Dönüşüm sonuçları ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda 3 ayrı dönüşüm içinde ölçek, dönüklük, standart sapma değerleri hesaplanmıştır (Şekil 10).

```

Computation with 10 linked points.

Helmert (4 Parameters)
Scale:                1:178.700
Rotation:             15° [cw]
Std. Deviation:       ±505m
Mean Pos. Err.:       ±714m

Affine (5 Parameters)
Scale Hor.:           1:180.400
Scale Vert.:          1:175.400
Rotation:             15° [cw]
Std. Deviation:       ±497m
Mean Pos. Err.:       ±703m

Affine (6 Parameters)
Scale Hor.:           1:181.000
Scale Vert.:          1:176.000
Rotation X:           15° [cw]
Rotation Y:           16° [cw]
Std. Deviation:       ±505m
Mean Pos. Err.:       ±715m

```

Şekil 10. Hesaplama sonucunda elde edilen dönüşümlerin karşılaştırılma listesi

5. Sonuçlar

İsviçre'nin kuzeyinde Basel ve Frickthal bölgelerini kapsayan "Die Landschaft Basel und as Frickthal" adlı haritanın sonuç listesinden anlaşılağı üzere Helmert Dönüşümü- 5 parametrelili Affine Dönüşümü- 6 parametrelili Affine Dönüşüm sonuçları kıyaslandığında 5 parametrelili Affine Dönüşümü sonucunun standart sapma değeri en küçük değeri olduğı ve diğeri sonuçlara göre daha yüksek konumsal doğruluk sağladığı görülmektedir. Hesaplama sonucunda elde edilen sonuçlara bakıldığında harita yaklaşık olarak 1/180000 ölçeğine sahip bu da orta ölçekli bir harita olduğunu göstermektedir. Dönüklük sonuçları 3 dönüşüm sonucu ile karşılaştırıldığı zaman yaklaşık olarak saat yönünde 16°'lik bir dönüklüğe sahip olduğu görülmektedir. MapAnalyst yazılımı özellikle tarihi haritaların incelenmesinde ve georeferanslama süreçlerinde Haritacılık mesleğine katkı sağlamaktadır. MapAnalyst yazılımı eski haritaları referans alınan haritaya dönüştürür ve elde edilen sonuçlarla Haritacıların bilimsel çalışma yapmasına katkıda bulunmaktadır.

Kaynaklar

- Çapadış, A. (2019). Kartografik harita tasarımı (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü). Afyon Kocatepe Üniversitesi.
- Çelik, G. (2016). Eski Haritaların Modern Haritalar İle Karşılaştırılması: Mapanalyst (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü). İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Jenny, B. ve Hurni, L. (2011). Studying cartographic heritage: Analysis and visualization of geometric distortions. Computers & Graphics, 35-2, s. 402-411.
- Jenny, B. (2006). MapAnalyst-A digital tool for the analysis of the planimetric accuracy of historical maps. Perimetron, Vol-1, No.3, Summer 2006, 239-245.
- MapAnalyst (2025, 16 Haziran), <https://mapanalyst.org/tutorial/tutorial.html> web adresinden edinilmiştir.
- Tulga, H. A. (2019). Portolan haritaların mapanalyst uygulaması ile planimetrik doğruluk analizi (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü). İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Uluğtekin, N., & Doğru, A.Ö. (2005). Coğrafi bilgi sistemi ve harita: kartografya. Ege CBS Sempozyumu , 27 , 29. İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi, İstanbul.



Kuvvete Dayalı Egzersiz Ölçüm Sisteminin Geliştirilmesi

Sevgi Elaskan¹, Simge Acele¹, Ahmet Köycekaş¹ ve Uğur Fidan¹

¹ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar

* Sorumlu yazar: sevgielaskan43@gmail.com

Özet

Günümüz spor bilimlerinde, fiziksel performansın objektif ölçümü ve antrenman süreçlerinin veriye dayalı optimizasyonu kritik öneme sahiptir. Ancak mevcut kuvvet analiz sistemlerinin yüksek maliyetleri ve teknolojik bağımlılıkları, bu sistemlerin yaygın kullanımını önemli ölçüde sınırlandırmaktadır. Bu çalışma, biyomekanik, biyomedikal mühendislik ve spor fizyolojisi disiplinlerinin kesişiminden yararlanarak, yerli imkanlarla geliştirilen düşük maliyetli ve taşınabilir bir kuvvet ölçüm sisteminin tasarımını ve uygulama sonuçlarını sunmaktadır. Geliştirilen sistem, ipli enkoder tabanlı bir mekanizma ile hareketin üç boyutlu dinamiklerini analiz etmekte olup, Arduino mikrodenetleyici platformunda işlenen veriler Bluetooth modülü aracılığıyla kablosuz olarak kullanıcı arayüzüne aktarılmaktadır. Sistemin özgün tasarımı, ip hareketinin yatay (mesafe) ve dikey (yükseklik) bileşenlerini eşzamanlı olarak ölçerek, kuvvet-hız profilinin daha doğru bir şekilde hesaplanmasına olanak tanımaktadır. Gerçek zamanlı veri akışı, antrenörlerin anlık müdahalesini ve kişiselleştirilmiş antrenman programlarının oluşturulmasını mümkün kılmaktadır. Sistemin temel avantajları arasında taşınabilirlik, kullanıcı dostu arayüz ve mevcut ticari çözümlere kıyasla yaklaşık %80'lik bir maliyet avantajı bulunmaktadır. Pilot çalışmalarda, özellikle direnç antrenmanları (squat, deadlift vb.) sırasında yorgunluk seviyelerinin izlenmesi ve sakatlık riskinin azaltılmasında sistemin etkinliği deneysel olarak doğrulanmıştır. Ayrıca, sistemin motivasyonel geri bildirim mekanizmasının sporcuların antrenman bağlılığında %25'lik bir artış sağladığı gözlemlenmiştir. Bu çalışma, spor teknolojilerinde yerli üretimin geliştirilmesinin önemini vurgularken, performans metriklerinin demokratikleştirilmesi yoluyla elit sporculardan rekreasyonel kullanıcılara kadar geniş bir kullanıcı kitlesine erişim sağlamaktadır. Gelecek çalışmalarda, sistemin makine öğrenmesi algoritmaları ile entegrasyonu yoluyla tahmine dayalı analiz yeteneklerinin geliştirilmesi planlanmaktadır.

Anahtar kelimeler: Kuvvet Ölçüm, Biyomekanik, Taşınabilir Sistem, Antrenman Optimizasyonu, Spor Teknolojileri

1. Giriş

1.1. Projenin Konusu

Bu çalışma biyomedikal mühendisliği bakış açısı ile biyomekanik ve fizyoloji (kas iskelet sistemi) konularının birlikte incelenmesi ve somut bir ürüne dönüştürülmesini içermektedir. Spor salonlarında, profesyonel spor yarışmalarında ve laboratuvar araştırmalarında kullanılması hedeflenen kuvvet ölçümüne dayalı antrenman ve ölçüm sisteminin yerli olarak geliştirilmesini ve aktifleştirilmesini temel alır. Güce dayalı performans gösteren spor branşları için cihaz yardımıyla sporcuların hız tekrarlı yüklenme kapasitesi ve antrenman yükü hakkında antrenör ve uzmanlara geri bildirim verilmesi amaçlanmaktadır. Bu sayede sporcuların motivasyonuna pozitif etki sağlamakla birlikte sporcular için daha verimli, kolay ve kişisel antrenmanların düzenlenmesi ve sporcu sakatlanmalarının en aza indirilmesi hedeflenmektedir.

1.2. Özgün Değer:

Spor mühendisliği alanında yapılan çalışmalar diğer mühendislik alanlarında yapılan çalışmalara göre ülkemizde yaygın değildir. Bu alanda ihtiyaç duyulan teknolojik ürünler daha ziyade ithal edilen sistemler ile karşılanmaktadır. Bu sistemler incelendiğinde multidisipliner çalışmalar olarak ortaya konmuş ürünler olduğu görülmektedir. Bu bağlamda ülkemizde yerli, milli ve ulaşılabilir egzersiz ölçüm sisteminin tasarlanması, geliştirilmesi ve milli üretimin yaygınlaşmasına katkı sağlayacak olması bu projenin özgün değerini oluşturmaktadır.

Projemizde ele alacağımız hususlardan biri araştırma konumuz olan Hıza dayalı antrenman (VBT) yöntemidir. Hıza dayalı kuvvet antrenmanları antrenman yükünün belirlenmesinde kullanılan bir metod olarak tanımlanmıştır. Hız Temelli Eğitim herkes içindir. Ağırlık kaldırma ve halter gibi halter sporlarında yaygın olarak kullanılmasına rağmen, Hız Tabanlı Antrenman aynı zamanda çeşitli spor dallarındaki sporcular için de performansı artırmak amacıyla faydalar sağlar; çünkü direnç antrenmanı, maksimum güç, atlama, sprint gibi çeşitli spor görevlerini geliştirmek için etkili bir yöntemdir. Kuvvet antrenmanlarının amacı lokal (tek eklem) ve fonksiyonel (çok eklem) olarak kuvvetin geliştirilmesi ve yaralanmaların önlenmesidir. Kuvvet antrenmanlarını günlük bazda ölçmek için biyometrik geri bildirim aracı olarak hız parametresi kullanır. Kasın hız üretim kapasitesinde ne kadar yük uygulanması gerektiği noktasında antrenöre yardımcı olur. VBT de önemli olan nokta 1RM'de (Kişinin egzersizdeki maksimum kuvvetini ölçmek için kullanılan bir yoğunluk ölçme yöntemidir.) sporcunun bir günlük belirli antrenman yükünün kullanımına uygunluğu değil antrenmanın ortalama hızıdır. Hız verileri antrenörlerin sporcuları eğitmesi, egzersiz yükünü belirlemesi ve antrenmanı izlemesi için bir araç olmaktadır. Hız profili aynı zamanda bireysel sporcu özelliklerini ve bireysel güçlü ve zayıf yönleri de vurgulamaktadır. Hız, gerilim altındaki zamana bir bakış olarak ifade edilmektedir. Hız için, hız/zamana bakmanın bir yolu olan mesafe/zamandır. [1-5] genel araştırma kapsamıdır.

Hız temelli eğitimin faydaları:

- Güç ve kuvvet oranını iyileştirir,
- Nöromüsküler adaptasyonları onarır,
- Daha az hacim ve daha az zamanla verimin fazlası elde edildiği için verimlidir,
- Eğitimin başarısızlıktan büyük oranda uzak olduğu tespit edilmiş olup, sürecin daha güvenli olmasını sağlar.

2. Materyal ve Metot

2.1. İpli Enkoder :

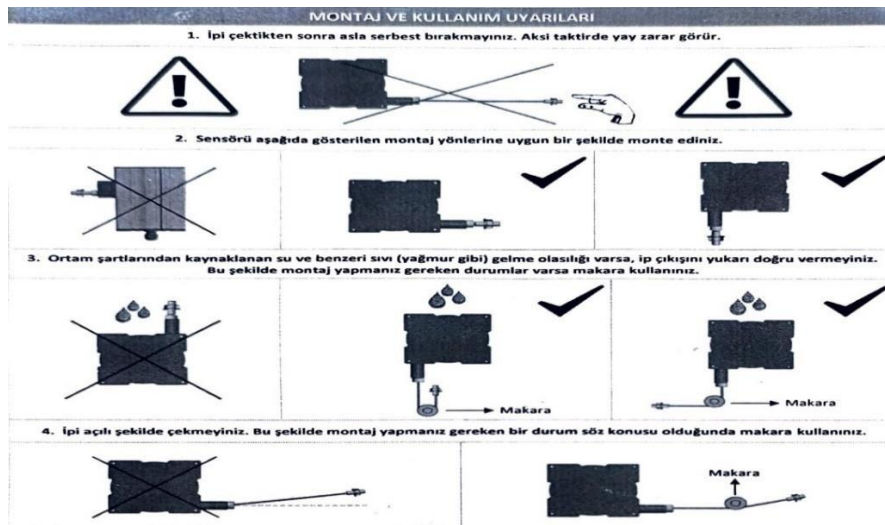
Bir rotatif hareket artımlı konum dönüştürücüsünde işlenir ve bir elektrik sinyali biçiminde çıkar. Açısal artışlar, devir başına sabit sayıda devir sayısı olan bir pals diskle kaydedilir. Entegre optoelektronik sisteme sahip bir tarama ünitesi, elektriksel sinyaller üretir ve tetikleme aşamalarında önceden işlenen palsları dışa aktarır.

Artımlı konum dönüştürücüsünün çözünürlüğü, pals diskindeki açık / koyu bölümlerin sayısı (devir başına seviye işaret sayısı) ile tanımlanır. Örneğin, 1000 seviye işaretli bir enkoder, tek bir devrini tamamlarken 1.000 pals sinyal dizisini dışa aktaracaktır. Kod dizisini değerlendirmek için, kontrol amacıyla 90 ° faz ofsetine sahip bir 2. sinyal dizisi gereklidir. Bir harici kontrol sisteminin sayacı, mekanik kontrol referans noktasını tanımlamak için ek bir sıfır darbesi ile sıfırlanabilir. Bu sayede hız, konum, gibi verileri dışa aktarılan palslar ile elde edilmiş olunur.

Sistemin mekanik yapısında bulunan ipli enkoderden çıkan ipin açısı 90° olması gerekmektedir. Bu sebeple mekanik sistemine makara sistemi eklenerek ipin hareket yönü değiştirilmektedir. Ayrıca ipin çekilme açısının tespit edilebilmesi için sisteme ADXL345 eğim sensörü eklenmiştir. Eğim sensörünün ip açısını ölçebilmesi için rulman ile levhaya lehimleme yöntemiyle sabitlenmiştir.



Şekil 1. İpli enkoder



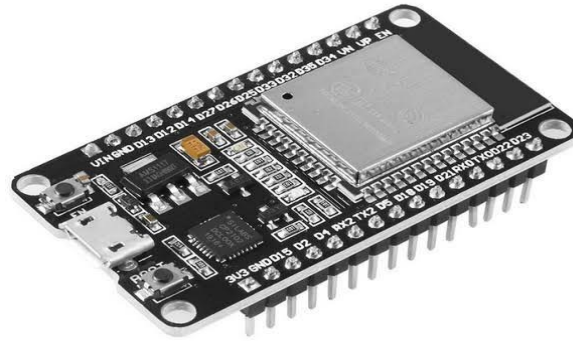
Şekil 2.İpli enkoder montaj şeması

2.2. ESP32 Mikro Denetleyici (MCU)

Mikrodenetleyici (MCU ve μC), tek bir metal oksit yarı iletken tümleşik devre (IC) üzerine kurulmuş, dışarıdan gelen bir veriyi (programı) hafızasına alan, derleyen ve sonucunda da çıktı elde eden bir bilgisayardır. Mikrodenetleyicinin yapısında:

- CPU
- RAM
- ROM
- I/O Portları
- Seri ve Paralel Portlar
- Kristal Osilatör

Sistemin donanım yapısında sistemin tüm işleyişini kontrol etmek için; sensör kontrolü bulunan hem kablosuz internet bağlantısı hem de bluetooth iletişimi sunabilen, çeşitli alanlara olanak tanıyan çift çekirdekli işlemci ve geniş bellek kapasitesi bulunan karmaşık projeleri hızlı ve verimli bir şekilde yönetmek gibi özelliklere sahip ESP32 mikrodenetleyici kullanılmıştır. Sensörlerden gelen veriler mikrodenetleyici ile işlendikten sonra 2.4GHz taşıyıcı frekansına sahip bluetooth üzerinden 115.2kbps veri aktarım hızında PC'ye gönderilmektedir. Sistemin yazılım bölümü Visual Studio C# geliştirme platformu üzerinde form uygulaması olarak geliştirilmiştir.

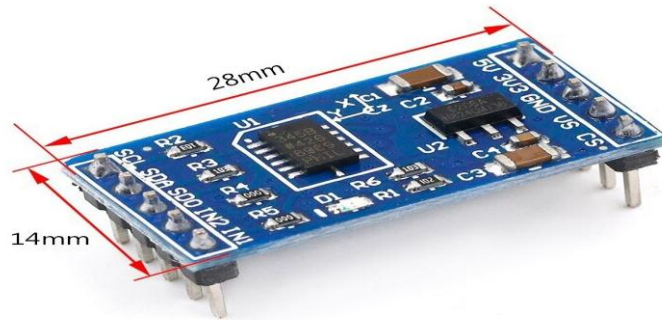


Şekil 3 ESP32 Mikrodenetleyici

2.3. ADXL345

Küçük, düşük güç tüketimine sahip 3 eksenli çıkış verebilen bir açısal ivme ölçer sensörüdür. $\pm 16g$ 'lik bir algılama alanına sahip olup, I²C hattı üzerinden ve SPI hattı üzerinden çıkış alınabilir. Bu modül sayesinde egzersiz sırasında sporcunun hareketleri akabinde karşılaşılan açı değişimlerinin saptanmasında ve bu sayede, yapılan ölçümlerde ki değişimler ile cihazın daha doğru bir veri akışı sağlaması için kullanılacaktır.

Cihazın içerisine eğim sensörü ekleyerek sporcunun antrenman sırasında hangi açıyla performans gösterdiği belirlenir. Eğim sensörü için de geliştirilen visual studio kodları ile eğim sensörünün doğru ölçekli veriler almasını sağlamaktayız. Eğim sensörü tasarımında enkoder ipi destekli ölçümler alınacağı için rulman ile levhaya lehimleme yöntemiyle sabitlenmiştir. Buradaki amaçlanan husus eğim sensörünün ip doğrultusunda doğru sonuçlar alabilmesidir.



Şekil 4. ADXL345 Görünüm

2.4. Mekanik Sistem

Mekanik yapının temel bileşeni ipli enkoderdir. Bu sensör, egzersiz esnasında çekilen ipin uzunluğunu ve hızını ölçerek doğrusal konum verisi sağlar. Enkoderin düzgün çalışabilmesi için ipin çekilme açısı 90° olacak şekilde tasarlanmış ve bu amaçla sistem içerisine makara mekanizması entegre edilmiştir. Ek olarak, ip açısının hassas şekilde tespit edilebilmesi için ADXL345 eğim sensörü kullanılmıştır. Bu sensör, 3D baskılanan parçalarla desteklenerek levhaya sabitlenmiş ve ip doğrultusunda ölçüm yapılması sağlanmıştır.

2.5. Donanım Sistemi

Sistemin işlem merkezi olarak ESP32 mikrodenetleyici kullanılmıştır. ESP32; çift çekirdekli yapısı, geniş bellek kapasitesi ve kablosuz bağlantı olanakları (Wi-Fi, Bluetooth) ile sensör verilerinin hızlı ve güvenilir biçimde işlenmesini ve dışarı aktarılmasını sağlar. İpli enkoderden gelen pals sinyalleri ile

konum ve hız verileri, eğim sensöründen alınan açısal verilerle birlikte mikrodenetleyicide işlenir. İşlenen veriler, 2.4GHz bluetooth frekansı üzerinden 115.2 kbps hızla bilgisayara aktarılmaktadır.

2.6. Yazılım Sistemi

Sistemin yazılım kısmı, Visual Studio C# platformunda geliştirilen bir form uygulaması üzerinden çalışmaktadır. Aynı zamanda qr kod ile giriş yapılan bir mobil mobil uygulama üzerinden de bluetooth bağlantısı yapılarak veriler anlık olarak cep telefonundan alınabilmektedir. Bu arayüz ile sensörlerden gelen veriler gerçek zamanlı olarak izlenebilmekte, kayıt altına alınabilmekte ve analiz edilebilmektedir. Yazılım aynı zamanda kullanıcı dostu bir grafiksel arayüz ile sistemin kullanımını kolaylaştırmaktadır.

2.7. ADXL345 Eğim Sensörü:

Sistemde kullanılan ADXL345, üç eksenli ve $\pm 16g$ ölçüm aralığına sahip düşük güçlü bir ivmeölçerdir. Egzersiz sırasında kullanıcının açısal hareketlerini tespit ederek, egzersizin hangi açılarla yapıldığını ve bu açılardaki performans farklılıklarını belirlemeye yardımcı olur. Bu sensör, sistem doğruluğunu artırmak amacıyla ipli enkoder ile birlikte çalışacak şekilde mekanik olarak sisteme entegre edilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Araştırma

Genel araştırma konumuz olan Velocity-Based Training (VBT) yani hıza dayalı kuvvet ölçümlerinin, sporcular üzerindeki etkileri spor salonları ve üniversitelerin BESYO bölümlerinde test edilmiştir. Bu testler sonucunda elde edilen bulgular, sistemin sporcular üzerinde motivasyon artırıcı ve pozitif rekabeti teşvik edici etkiler yarattığını göstermektedir.

Ayrıca sistemden alınan somut veriler, sadece gözleme dayalı antrenman planlamalarının aksine, antrenörlere sakatlanma risklerinin önlenmesi konusunda yardımcı olmuştur. Bu kapsamda, ölçümlerin güvenilirliği ve doğruluğu, Kinovea analiz sistemi kullanılarak kalibre edilmiştir.

3.2. Tartışma

3.2.1. Kuvvete dayalı egzersiz ve ölçüm sistemi ile sporcuların gelişim süreci takip edilebilir mi?

Evet, sporcuların gelişim süreci bu sistemle detaylı biçimde takip edilebilir. Örneğin, bir sporcunun belirli bir ağırlıkta gerçekleştirdiği eş merkezli (concentric) ve eksantrik (eccentric) kasılma süreleri karşılaştırılarak gelişim düzeyi analiz edilebilir. Kasılma süresindeki azalma veya artış, sporcunun kuvvet üretim kapasitesinin geliştiğini gösterebilir.

3.2.2. Ölçüm verileri, antrenör ve uzmanlara, verilere dayalı sporcu antrenman programı yapmaya katkı sağlar mı?

Avustralya'da profesyonel spor teknolojileri kullanan Koç Ryan Clayton'ın verdiği bilgilere göre, teknolojik sistemler (örneğin motivasyonel iklim üzerinde pozitif etkiler yarattığını, olumsuz sözel olmayan geri bildirimlerin ise motivasyonu olumsuz etkilediğini ortaya koymuştur. Bu da, sistemin sunduğu anlık geri bildirimlerin sporcunun motivasyonunu artırabileceğini göstermektedir.

3.2.3. Geliştirilen ölçüm cihazı, sporcuların sakatlanma durumunu engellemesinde nasıl rol oynar?

Hareket hızı, yorgunluğun etkili bir ölçümüdür. Örneğin, bir sporcu belirli bir yükü normalde 0,45 m/s hızla kaldırırken bu hız 0,37 m/s'ye düşerse bu yorgunluk belirtisidir. Bu durum, sporcunun ya motivasyon eksikliği ya da aşırı yorgunluk yaşadığını gösterir. Her iki durumda da antrenörün müdahalesi gerekir. Bu tür veriler, olası sakatlanmaları önlemede kritik rol oynamaktadır. Veriye dayalı analizler, sporcunun bireysel hazır olma durumuna göre yükleme yapılmasını ve dolayısıyla daha güvenli antrenman süreçlerini mümkün kılar.

4. Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında geliştirilen Kuvvete Dayalı Egzersiz Ölçüm Sistemi, sporcularda motor performansın daha objektif, güvenilir ve anlık olarak izlenmesini mümkün kılmıştır. Sistem; ipli enkoder, ADXL345 eğim sensörü ve ESP32 mikrodenetleyici gibi bileşenlerle oluşturulan entegre bir yapı sayesinde, sporcuların gerçekleştirdiği egzersizler sırasında hız, konum, açı gibi temel parametreleri hassas şekilde ölçebilmektedir.

Gerçekleştirilen testler ve analizler sonucunda şu temel çıkarımlar yapılmıştır:

- 1 **Performansın Takibi:** Sistem aracılığıyla ölçülen veriler, sporcunun antrenman sürecinde gelişim gösterip göstermediğini sayısal verilerle ortaya koymaktadır. Bu durum, antrenörlerin sporcunun ilerlemesini daha sağlıklı bir şekilde değerlendirmesine olanak sağlamıştır.
- 2 **Veriye Dayalı Programlama:** Toplanan veriler sayesinde, sadece deneyime ya da gözleme dayalı antrenman programlarının ötesine geçilerek **veriye dayalı, bireyselleştirilmiş programlamalar** yapılabilir hale gelmiştir.
- 3 **Motivasyon ve Geri Bildirim:** Sistem tarafından sağlanan anlık geri bildirimler, sporcunun yaptığı hareketin hızını ve doğruluğunu göstererek, **antrenman içi motivasyonu** olumlu yönde etkilemiştir. Bilimsel çalışmalarda da belirtildiği üzere, olumlu sözel olmayan geri bildirimler sporcu motivasyonunu artırmakta ve performansa katkı sağlamaktadır.
- 4 **Sakatlanma Riskinin Azaltılması:** Egzersiz sırasında ölçülen performans verileri, sporcunun fiziksel durumuna dair erken uyarılar sunmaktadır. Bu uyarılar sayesinde, antrenörler **yüklemeye dozlarını yorgunluk seviyesine göre ayarlayarak** sakatlanma riskini minimize edebilmektedir.

Sonuç olarak, bu sistem hem **bilimsel hem de uygulamalı alanda** antrenörler, sporcular ve araştırmacılar için önemli bir araç haline gelmiştir. Spor teknolojileri alanında yapılan bu tür yerli ve yenilikçi çalışmalar, Türkiye’de spor bilimlerinin gelişmesine de katkı sağlamaktadır.

Teşekkür

Bu çalışmanın hazırlanma sürecinde değerli bilgi ve tecrübeleriyle bana rehberlik eden, akademik desteklerini esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. Uğur Fidan’a en içten teşekkürlerimi sunarım. Katıldığım bu sempozyumun düzenlenmesinde emeği geçen tüm değerli hocalarımıza ve organizasyon sürecinde görev alan çalışan arkadaşlarımıza, katkı ve desteklerinden dolayı teşekkür eder; bu tür bilimsel etkinliklerin biz genç araştırmacılar için ne kadar kıymetli olduğunu bir kez daha vurgulamak isterim.



Türkiye'de Coğrafi İşaretli Gıda Ürünleri: Genel Durum ve Afyonkarahisar Örneği

Havva Çoşkun ¹, Dilek Demirbükür Kavak ^{2*}, Çiğdem Aşcıoğlu ³

¹ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar

^{2,3} Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar

* Sorumlu yazar: dkavak@aku.edu.tr

Özet

Coğrafi işaretler, gıda ürünlerinin menşeyini ve geleneksel üretim yöntemlerini koruyarak yerel ekonomilere katkı sağlayan önemli araçlardır. Bu çalışma, Türkiye'deki coğrafi işaretli gıda ürünlerinin mevcut durumunu analiz etmekte ve Afyonkarahisar özelinde detaylı bir değerlendirme sunmayı amaçlamaktadır. Türkiye'de coğrafi işaret sisteminin gelişimi incelendiğinde, son yıllarda önemli ilerlemeler kaydedildiği görülmektedir. Ancak, tescil sayısındaki artışa rağmen, bu ürünlerin pazarlanması ve korunması konusunda önemli eksiklikler bulunmaktadır. Özellikle taklit üretim, denetim mekanizmalarındaki bazı sıkıntılar ve tüketici bilincinin düşük olması gibi sorunlar, sistemin etkinliğini sınırlandırmaktadır. Afyonkarahisar örneği, coğrafi işaretlerin bölgesel kalkınmadaki rolünü anlamak açısından önemli bir örnek teşkil etmektedir. İlde Afyon Kaymağı, Afyon Lokumu, Afyon Sucuğu ve Afyon Pastırması gibi tescilli ürünler, yörenin gastronomik kimliğini ve gıda sektöründeki ekonomik potansiyelini yansıtmaktadır. Yapılan araştırmalar, Afyonkarahisar'daki coğrafi işaretli ürünlerin yerel ekonomiye önemli katkılar sağladığını göstermektedir. Ancak, bu ürünlerin pazarlanmasında yaşanan zorluklar, üreticilerin karşılaştığı temel sorunlar olarak öne çıkmaktadır. Özellikle ulusal ve uluslararası pazarlarda yeterince tanıtım yapılamaması, ürünlerin potansiyelini sınırlandırmaktadır. Çalışmanın sonuçları, Türkiye'deki coğrafi işaret sisteminin geliştirilmesi için çeşitli öneriler sunmaktadır. Bunlar arasında üretici birliklerinin güçlendirilmesi, etkin denetim mekanizmalarının kurulması, tüketici bilincinin artırılması ve uluslararası tescillerin teşvik edilmesi yer almaktadır. Afyonkarahisar örneği, bu önerilerin uygulanabilirliğini ve potansiyel faydalarını göstermesi açısından önem taşımaktadır.

Anahtar kelimeler: Coğrafi işaret, Afyonkarahisar, bölgesel kalkınma, geleneksel gıdalar

Geographically Indicated Food Products in Turkey: General Situation and Afyonkarahisar Example

Abstract

Geographical indications are important tools that contribute to local economies by protecting the origin and traditional production methods of food products. This study aims to analyze the current situation of geographically indicated food products in Turkey and present a detailed assessment specific to Afyonkarahisar. When examining the development of the geographical-indication system in Turkey, significant progress has been observed in recent years. However, despite the increase in the number of registrations, there are significant shortcomings in the marketing and protection of these products. In particular, issues such as counterfeit production, certain problems in audit mechanisms, and low consumer awareness limit the effectiveness of the system. The case of Afyonkarahisar serves as an important

example for understanding the role of geographical indications in regional development. Registered products in the province, such as Afyon Cream, Afyon Delight, Afyon Sucuk, and Afyon Pastırma, reflect the region's gastronomic identity and economic potential in the food sector. Research shows that geographically indicated products in Afyonkarahisar make significant contributions to the local economy. However, the difficulties faced in marketing these products emerge as the main challenges for producers. Particularly, insufficient promotion in national and international markets limits the products' potential. The study's findings offer various recommendations for improving Turkey's geographical indication system. These include strengthening producer associations, establishing effective audit mechanisms, increasing consumer awareness, and encouraging international registrations. Afyonkarahisar example is significant in demonstrating the applicability and potential benefits of these recommendations.

Key words: Geographical indication, Afyonkarahisar, regional development, traditional foods

1. Giriş

Coğrafi işaret tanımı "Tüketiciler için ürünün kaynağını, karakteristik özelliklerini, ürünün söz konusu karakteristik özellikleri ile coğrafi alan arasındaki bağlantıyı gösteren ve garanti eden kalite işareti" olarak tanımlanmaktadır (Türk Marka ve Patent Kurumu, 2022). Coğrafi işaret belirgin bir sınırı olan ve alandan kaynaklı spesifik özellikleri olan ürünleri, ülke ya da bölge ile anılan karakteristik özellikleri olan ürünleri, kullanılan ürünleri taklitlerinden ayırt etmeye yarayan ve ürünleri farklılaştıran işaretlerdir (Dağtekin, 2018; Üzülmöz, 2020). Bir coğrafi köken, kırsal bir yerleşim biriminden (köy veya kasaba) geniş bir alana (bölge veya ülke) kadar değişebilir. Coğrafi işaretler çoğunlukla, ürünün kaynağı olan mevkinin adını taşır. Söz konusu mevki, çoğu durumda belirli bir yöreyi ifade eder ve ürün, bu yörenin adıyla anılarak onunla bütünleşmiş ve ün kazanmıştır.

Bir yörenin tanımlanabilmesi için üç temel unsurun bir arada bulunması şarttır. Bunlar; açıkça çizilmiş coğrafi sınırlara sahip bir bölge, bu bölgede var olan kendine has bir ekolojik düzen ve aynı alanda yaşayan insan nüfusedir. Ekolojik faktörler (iklim koşulları, toprak yapısı, su kaynakları vb.) Fenike portakalı, Ezine peyniri veya Malatya kayısı gibi başka coğrafyalarda aynı nitelikte üretimi mümkün olmayan benzersiz tarım ve gıda maddelerinin yetiştirilmesine imkan tanır. Beşeri unsurlar ise, tarihsel süreçte edinilen uzmanlık ve geleneksel yöntemlerle (know-how) şekillenen, Mersin cezeryesi, Çorum leblebisi veya Burdur ceviz ezmesi gibi yöreye özgü spesifik ürünlerin ortaya çıkmasını mümkün kılar. Menşei, isimleri ve şöhretleri bağlı oldukları coğrafyayla özdeşleşen bu tipik ürünler, taklit edilmelerinin önüne geçmek ve haksız rekabetin önlenmesi amacıyla küresel çapta yasal güvence altına alınmıştır. Söz konusu koruma, tescil mekanizmasıyla gerçekleştirilmekte olup, Türkiye’de bu yetki Türk Patent ve Marka Kurumu’nun sorumluluğundadır (Tekelioğlu, 2019).

Coğrafi işaretlerin tarihsel evrimi incelendiğinde, bu uygulamaların kökenlerinin 19. yüzyılın son çeyreğine kadar uzandığı anlaşılmaktadır. Fransız hükümeti tarafından 1883’te imzalanan Paris Konvansiyonu, bu alandaki ilk yasal düzenlemeleri içermektedir. 20. yüzyılın ortalarında, 1958’de kabul edilen Lizbon Anlaşması ile birlikte coğrafi işaretlerin tanımı ve uygulama alanları daha net bir şekilde belirlenmiştir. Bu uluslararası antlaşma çerçevesinde 17 devlet, "Coğrafi Göstergeler" (Geographical Indications) başlığı altında ortak kararlar almış ve tarihte ilk kez 170 farklı ürün coğrafi işaret korumasından yararlanmaya başlamıştır. Günümüze yaklaştıkça, 2000 yılının Ekim ayında bu anlaşmaya taraf olan ülke sayısının 160’a ulaştığı görülmektedir (Türk Patent ve Marka Kurumu, 2022; Ağagündüz, 2020).

Coğrafi işaretli ürünlerin yerel ekonomiye katkıları ve karşılaşılan zorluklar, sürdürülebilir kalkınma politikaları açısından kritik öneme sahiptir. Özellikle Afyon Kaymağı, Afyon Lokumu, Afyon Sucuğu ve Afyon Pastırması gibi tescilli ürünlerin pazarlanmasındaki engeller ve çözüm önerileri, bu araştırmanın odak noktasını oluşturmaktadır. Bu çalışma, coğrafi işaretlerin bölgesel kalkınma ve geleneksel gıda üretimi üzerindeki rolünü ele alarak, Türkiye'deki mevcut durumu Afyonkarahisar özelinde değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

2. Temel Kavramlar ve Coğrafi İşaret Türleri

Coğrafi işaret korumasına sahip ürünler temelde iki kategori altında değerlendirilir: menşe adları ve mahreç işaretleri. Menşe adı statüsü, bir ürünün tüm üretim süreçlerinin -ham madde temininden nihai ürüne kadar- tanımlı coğrafi bölge sınırları içinde gerçekleştirilmesini zorunlu kılar. Mahreç işareti kapsamında ise, ürünün imalat sürecinin en az bir aşamasının (işleme, hazırlama vb.) belirlenen coğrafyada yapılması yeterli görülmekte, bu durum ürünün diğer bölgelerde de üretimine izin vermektedir (Türk Patent ve Marka Kurumu, 2022; Ağagündüz, 2020).

2.1. Menşe Adı

Menşe işareti taşıyan ürünler, karakteristik özelliklerini tamamen yetiştirildikleri bölgenin doğal ve kültürel ortamından alırlar. Bu ürünlerin üretiminin her aşaması -hammadde temininden nihai ürüne kadar- belirlenen coğrafi sınırlar içinde gerçekleşmek zorundadır ve benzer nitelikte başka bir yerde üretilmeleri mümkün değildir. Bu ürünlerin ayırt edici vasıfları, kalite standartları ve şöhreti, bağlı bulundukları yörenin iklim koşulları, toprak yapısı ve geleneksel üretim teknikleri gibi unsurlarla doğrudan ilişkilidir.

Menşe işaretli ürünlerin orijinal bölgeleri dışında üretimi teknik olarak imkansızdır. Zira ürünler ancak ait oldukları coğrafyada üretildiklerinde o eşsiz karakteristik özelliklerini kazanabilmektedir. Örneğin, tescilli belgelerde de vurgulandığı üzere, Ezine peyniri yalnızca Kaz Dağları'nın kuzey ve batı yamaçlarında yer alan Ezine, Bayramiç ve Ayvacık ilçelerinin doğal florası ve su kaynaklarıyla beslenen hayvanların sütlerinden üretilir. Bu durum menşe adıyla koruma altına alınmış tüm ürünler için geçerli bir kuraldır (Tekelioğlu, 2019).

Türkiye'de menşe adıyla tescillenmiş önemli ürünler arasında Kars Kaşarı, Erzincan Tulum Peyniri, Anamur Muzu, Isparta Güğü, Antep Fıstığı, Eskişehir Lületaş, Pervari Balı, Kayseri Pastırması ve Maraş Biberi sayılabilir. Bu ürünlerin tüm temel özellikleri, yetiştirildikleri bölgenin ekolojik koşullarına ve nesiller boyu aktarılan geleneksel üretim bilgisine sıkı sıkıya bağlıdır (Oraman, 2015).

2.2. Mahreç İşareti

Mahreç işareti, belirli bir coğrafi bölgeyle bağlantılı olan ve o yörenin karakteristik özelliklerini taşıyan ürünleri ifade eden bir koruma sistemidir. Resmi tanımına göre; "coğrafi olarak sınırları çizilmiş bir alandan kaynaklanan, bu bölgeyle özdeşleşmiş niteliklere sahip, üretim veya işleme süreçlerinden en az birinin belirlenen coğrafi sınırlar içinde gerçekleştiği ürünlerin adları" olarak açıklanmaktadır (Sarıpek ve Çevik, 2020). Bu sistemde temel şart, ürünün orijinal hammaddelerinin ve üretim tekniklerinin korunmasıyla birlikte kalite standartlarının aynı seviyede tutulmasıdır (Türk Patent Enstitüsü, 2010). Özellikle ürünün kültürel bağlamda ilgili bölgeyle bütünleşmiş olması büyük önem taşımaktadır.

Bu duruma tipik bir örnek olarak İnegöl Köftesi gösterilebilir. Coğrafi işaret tescili alan bu ürünün kapsam alanı "Türkiye geneli" olarak belirlenmiştir. Bu durumda, ülkenin herhangi bir yerinde üretilse bile, belirlenen standartlara uygun olarak hazırlanan köfteler "İnegöl Köftesi" adıyla satılmak zorundadır. Bu sayede ürün, çıkış yeri olan İnegöl’le özdeşleşerek marka değeri kazanmaktadır. Benzer şekilde coğrafi işaret korumasına alınan Keşan Satır Eti, Kemalpaşa Tatlısı ve Edirne Beyaz Peyniri gibi ürünler de bu kapsamda değerlendirilmektedir (Şahin, 2013).

Menşe adı ve mahreç işareti arasındaki temel ayrım üretim coğrafyasıyla ilgilidir. Menşe adıyla tescillenen ürünlerin tüm üretim süreçlerinin belirlenen coğrafi bölgede gerçekleşmesi zorunluyken, mahreç işaretli ürünlerde üretimin belirli aşamalarının o bölgede yapılması yeterlidir. Başka bir deyişle, eğer bir ürünün tüm karakteristik özellikleri sadece belirli bir coğrafyadan kaynaklanıyorsa ve üretimin tamamı o bölgede yapılıyorsa menşe adı alabilir. Üretimin kısmen farklı bölgelerde yapılabildiği, ancak temel özelliklerini yine de belirli bir coğrafyadan aldığı durumlarda ise mahreç işareti uygulanır. Bununla birlikte, mahreç işaretli ürünlerde de orijinal hammadde kullanımı ve geleneksel üretim yöntemlerinin korunması şartı aranmaktadır (Türk Patent Enstitüsü, 2007).

2.3. Geleneksel Ürün

Coğrafi işaret koruması kapsamına girmeyen, ancak en az otuz yıllık geçmişi belgelenebilen ürünler "geleneksel ürün" statüsünde değerlendirilmektedir. Bu ürünlerin temel karakteristik özellikleri arasında; geleneksel hammaddelerin kullanımı ve nesilden nesile aktarılan üretim tekniklerinin uygulanması yer almaktadır (Türk Patent Enstitüsü, 2007).

Coğrafi işaretli ürünler ile geleneksel ürün adlarının tanıtımında kullanılan amblemler, ilgili yönetmelikte belirtilen kurallara tabidir. Söz konusu amblemlerin uygulama esasları ve görsel örnekleri Şekil 1’de sunulmuştur. Bu düzenlemeler, ürünlerin doğru şekilde tanımlanmasını ve tüketicilerin bilgilendirilmesini sağlamayı amaçlamaktadır.



Şekil 1. Coğrafi işaretler ve geleneksel ürün adlarıyla beraber kullanılan renkli amblemler

2.4 Standart Reçete

Standart reçete, bir yemeğin hazırlanış sürecindeki tüm unsurları sistematik şekilde belgeleyen teknik bir dokümandır. Bu doküman; kullanılacak malzemelerin çeşit ve miktarlarını, hazırlık ve pişirme tekniklerini, kullanılacak mutfak ekipmanlarını, maliyet hesaplarını ve porsiyon ölçülerini detaylı olarak içerir (Gönen ve Ergun, 2008). Deneysel çalışmalarla doğrulanmış ve standart hale getirilmiş yemek formüllerine standart reçete adı verilir. Bu standardizasyon çalışmaları sayesinde geleneksel lezzetlerin orijinal nitelikleri korunarak gelecek kuşaklara aktarılması kolaylaşmakta, aynı zamanda coğrafi işaret başvurularında önemli bir referans oluşturmaktadır. Standart reçete oluşturma süreci yoğun emek ve uzun zaman gerektiren bir çalışma olmakla birlikte, uygulama aşamasında önemli zaman tasarrufu sağlar. Uzmanlar tarafından belirtildiğine göre standart reçetelerin hazırlanmasında şu aşamalar takip edilmelidir (Tandoğan ve Şahin, 2014; Aksoy, 2019):

- Öncelikle kapsamlı bir kaynak araştırması yapılır.
- Yemeğin hazırlanması ve pişirilmesi için gerekli araç gereç ve ekipmanlar temin edilir.
- Başlangıç olarak, tarif 10 porsiyonluk denemelerle test edilir.
- Bu denemelerin ardından bir panel düzenlenerek ürün değerlendirilir.
- Paneli geçerek kalitesi onaylanan ürünler, iki katı miktarda, yani 20 porsiyonluk olarak hazırlanır.
- Çoğaltma işlemi 100 porsiyon olarak yapılır.
- Son olarak, hazırlanan standart reçeteler belli kurallara göre yazılır ve böylece yemekler kayıt altına alınmış olur.
- Standart reçeteler, menü planlama ve maliyet analizinde oldukça katkı sağlar, israfı önler ve atık yönetimini kolaylaştırır.

Standart reçeteler, aşçıya rehberlik eden kılavuzlardır. Standart reçeteler, profesyonel mutfak uygulamalarında aşçılar için yol gösterici nitelik taşıyan teknik dokümanlardır. Bu reçeteler, gastronomik ürünlerin üretim süreçlerinin bilimsel metodolojilerle belirlenmesini ve sistematik şekilde arşivlenmesini mümkün kılar. Standardizasyon süreci sayesinde, coğrafi konumdan bağımsız olarak tüm üretim noktalarında aynı yiyecek ve içeceklerin özdeş lezzet profili ve kalite standartlarına ulaşması sağlanır. Bu uygulamanın işletmelere sağladığı temel avantajlar şunlardır:

a)Operasyonel Verimlilik: Mutfak personelinin iş akışını standartlaştırarak üretim süreçlerini optimize eder.

b)Maliyet Kontrolü: Hammadde kullanımını ölçülebilir hale getirerek bütçe yönetimini kolaylaştırır

c)Kalite Güvencesi: Tüketici beklentilerini karşılayacak ürün tutarlılığını garanti altına alır

3. Afyonkarahisar İline Ait Coğrafi İşaretli Ürünler

Afyonkarahisar ili, zengin mutfak kültürüyle öne çıkan ve bu kimliğini coğrafi işaretli ürünleriyle tescilleyen önemli bir şehirdir. Bu ürünler, hem yörenin geleneksel lezzetlerini korumakta hem de yerel ekonomiye katkı sağlamaktadır. Afyonkarahisar iline ait coğrafi işaretli ürünler şunlardır: Ağzıaçık, Bükme, Kaymaklı Ekmek Kadayıfı, Velense Hamur Aşı, Afyon Kaymağı, Afyon Kebabı, Lokum, Manda Yoğurdu, Ak Pide, Pastırma, Patlıcan Böreği, Sucuk, İlibada Sarması, Göce Köftesi, Haşhaş Ezmesi, Haşhaşlı Katmer, Hurma Baklavası, Mercimekli Pilav, Nişan Kurabiyesi, Patatesli Ekmek, Çullama Köfte, Övme, Bolvadin Fırın Eti, Dinar Taptama Köfte, Bolvadin Mantısı, Emirdağ Dolgulu Köfte, Emirdağ Güveci, Sandıklı Leblebisi, Emirdağ Koyun Yoğurdu, Emirdağ Yumurtalı-Pidesi, Sandıklı Alacaşı, Sandıklı Haşhaş-Ezmesi, Sandıklı Haşhaşlı Tahin Pidesi, Sandıklı Kapama Yemeği, Sandıklı Kürek Helvası, Sandıklı Saç Eti, Sultandağı Gilli Kirazı, Sultandağı Kirazı, Çay İlçesi-Vişnesi, İscehisar Mermer Kebabı, Şuhut Keşkeği, Şuhut Patatesi. Bu çeşitlilik, Afyonkarahisar'ın gastronomik mirasının ne denli derin ve köklü olduğunun bir göstergesidir.

4. Coğrafi İşaret Tescil Süreçleri

Bir ürünün coğrafi işaret korumasından yararlanabilmesi için geçmesi gereken süreç çeşitli kritik adımlardan oluşmaktadır. İlk olarak, başvuru sahibi kuruluşlar (Ticaret Odaları, Yerel Yönetimler veya İl İdareleri gibi) ürün için ayırt edici bir isim belirlemelidir. Bu isimlendirme süreci büyük özen gerektirir, çünkü tescil sonrasında bu ismin değiştirilmesi mümkün değildir. Örnekler arasında Eşme Yörük Kilimi, Eskişehir Lületaş ve Oltu Çağ Kebabı gibi artık marka değeri kazanmış isimler sayılabilir. İkinci basamakta, ürünün tüm karakteristik özellikleri detaylı şekilde tanımlanmalıdır. Bu tanım kapsamında; ürünün fiziksel nitelikleri (boyut, renk tonları, yoğunluk vb.), üretimde kullanılan temel

malzemeler, kimyasal bileşenler ve biyolojik özellikler açıkça ortaya konulmalıdır. Üçüncü ve en önemli safhalardan biri olan coğrafi sınırların tespitinde, ürünün karakterini kazandığı bölgenin sınırları kesin hatlarla çizilmelidir. Bu sınırların net bir şekilde belirlenmesi, hem gelecekteki üretim faaliyetleri için standart oluşturmada hem de yasa dışı üretimlerin engellenmesinde etkili olmaktadır. Bu noktada, menşe ve mahreç işaretlerinin kapsam alanlarının doğru şekilde tanımlanması büyük önem taşımaktadır. Dördüncü aşamada, ürünün köken aldığı bölgeyle olan bağlantısı ve bu ilişkinin niteliği ortaya konulmalıdır. Beşinci safhada ise üretim metodolojisi ele alınır. Geleneksel üretim teknikleriyle elde edilen ürünlerde bu yöntemlerin detaylı açıklanması gereklidir. Özellikle şarap üretimi, zeytinyağı eldesi veya dokumacılık gibi geleneksel ile modern teknikler arasında belirgin farklar bulunan alanlarda bu husus daha da kritik hale gelmektedir. Altıncı adımda, ürünün belirlenen coğrafi bölgeyle olan ilişkisinin derecesi analiz edilir. Bu analiz, ürünün o yöreye özgü niteliklerini ortaya koyarak, başka bölgelerde üretilen benzerlerinin ayırt edilmesini sağlamayı amaçlamaktadır. Yedinci adım, bu işleri yürütecek resmî bir kuruluşun varlığı veya müracaat edilecek yetkili birimdir. Ülkemizde bu konuyla ilgili olarak Türk Standartları Enstitüsü yetkili kılınmıştır. Fakat coğrafi işaretlerle ilgili herhangi bir yetkili mercinin bulunmadığı ülkeler, başka ülkelerdeki birimlere de müracaat edebilirler. Örneğin, Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'nde bu amaçla resmî bir kuruluş söz konusu olmadığından, ülke "Hellim/Halloumi" peynirini 2010 yılında Türk Standartları Enstitüsü'ne müracaat ederek coğrafi işaret statüsüne kavuşturmuştur. Son aşamada, coğrafi işaretle korunan ürünlerin markalaşma sürecinde logo (veya etiket) tasarımı belirleyici bir rol oynar. Türkiye’de coğrafi işaretli ürünlerde en fazla eksiklik hissedilen konu, bu görsel kimliğin yeterince güçlü olmayışıdır. Örnek olarak, coğrafi işaret çalışmalarına 1999 yılında başlayan Hindistan’ın ünlü Darjeeling Çayı, tescilli logosu ve ismiyle küresel çapta tanınmaktadır. Ürünlerin pazardaki bilinirliğini ve talep edilirliliğini artırmada bu tür tanıtıcı unsurlar kritik bir öneme sahiptir (Şahin, 2013).

Coğrafi işaretli ürünlerin tescilde belirtilen özelliklere uygunluğunun denetlenmesi, bu sistemin düzgün işleyişi için hayati bir role sahiptir. Denetim mekanizması sayesinde ürünlerin orijinal nitelikleri ve kalite standartları korunurken, üreticiler haksız rekabete karşı korunmakta ve tüketiciler satın aldıkları ürünlerin gerçekliğine güvenebilmektedir. Bu süreç, coğrafi işaret sisteminin güvenilirliğini artırarak hem üreticiler hem de tüketiciler için adil bir pazar ortamı oluşturur. Aynı zamanda, bölgesel ürünlerin geleneksel özelliklerinin gelecek nesillere aktarılmasını sağlayarak kültürel mirasın korunmasına da katkıda bulunur (Yaşar, 2022).

Coğrafi işaret tescili almış ürünlerin, kayıt altına alınmış niteliklere uygun üretilip üretilmediğinin kontrol edilmesi, bu koruma sisteminin etkin biçimde işlemesi açısından büyük önem taşımaktadır. Yapılan bu kontrol mekanizması sayesinde; kayıtlı ürünlerin özgün özellikleri muhafaza edilmekte, üreticilerin haksız rekabet koşullarıyla karşılaşması engellenmekte ve son tüketicinin satın aldığı ürüne olan itimadı güçlendirilmektedir (Yaşar, 2022).

5. Coğrafi İşaretlerin Korunmasının Yararları

Bölgesel ürünlerin turistik çekicilik kazanmasında kilit rol oynayan coğrafi işaret uygulamaları, yerel kalkınmaya sunduğu katkılar nedeniyle büyük önem taşımaktadır. Bu sistem sayesinde, yöreye özgü ürünlerin karakteristik özellikleri temel alınarak hem bölge ekonomisinin hareketlenmesi sağlanmakta, hem de üretim standartlarının korunması yoluyla hem üreticilerin hem de tüketicilerin menfaatleri güvence altına alınmaktadır (Kan vd., 2012).

Bu koruma mekanizmasının etkileri çok boyutludur: Ürünlere ve bulundukları bölgelere yönelik artan ilgi sayesinde; ulusal ve kültürel mirasın tanıtılması ve muhafazası, tarımsal üretimde verimliliğin artması, bölgesel gelişim ve istihdam olanaklarının çoğalması (Üzümcü vd., 2017) gibi avantajlar elde

edilmektedir. Ayrıca kırsal alanların ekonomik olarak canlanması, yöre isimleriyle özdeşleşen markaların oluşması ve kalite standartlarının sürdürülebilirliği gibi kazanımlar da söz konusudur (Şahin, 2013).

Coğrafi işaret koruması, ürün kalitesinin garantisi olarak tüketicilerde marka bağlılığı yaratmakta, bölgesel ürünlerin değer kaybetmesini önlemekte ve sağladığı istihdam imkanlarıyla kırsaldan kentlere göçün azaltılmasına yardımcı olmaktadır (Gökovalı, 2007). Bunlara ek olarak, geleneksel üretim yöntemlerinin devamlılığının sağlanması yoluyla, standartlara uymayan üretimlerin ve haksız kazanç elde etme girişimlerinin de önüne geçilebilmektedir (Doğan, 2015).

Coğrafi işaret uygulamalarının temel işlevlerinden biri, tüketicilere sunduğu güvencedir. Bu sistem sayesinde alıcılar, satın aldıkları ürünlerin kökenini, karakteristik niteliklerini ve tescil kapsamında korunduğunu net bir şekilde görebilmektedir. Tescil sürecinde ürünlerin kalite standartları, menşei, tarihsel bağlantıları ve geleneksel üretim teknikleri resmi olarak tanımlanarak, tüketicilerin bilinçli tercihler yapması teşvik edilmektedir (Üzülmüş, 2020). Bu sistemin ekonomik etkileri oldukça geniş kapsamlıdır. Üretici kesiminin gelir seviyesinde artış sağlarken, kırsal turizm faaliyetlerinin canlanmasına ve kırsal bölgelerde yaşayan nüfus için yeni istihdam olanaklarının oluşmasına katkıda bulunmaktadır. Önemli avantajları arasında, pahalı araştırma-geliştirme çalışmalarına gerek duyulmaması ve patent işlemlerine kıyasla daha düşük maliyetli bir tescil süreci gerektirmesi sayılabilir (Gökovalı, 2007).

Bir ürünün coğrafi işaret statüsü kazanabilmesi karmaşık ve maliyetli bir süreç gerektirmektedir. Tescilin tamamlanmasının ardından, yetkili kişi ve kuruluşların ürün standartlarının korunması ve izinsiz üretimlerin engellenmesi amacıyla etkili bir denetim sistemi oluşturmaları zorunludur. Kalite güvencesinin sürdürülebilirliği ancak bu şekilde mümkün olabilmektedir. Yetkililer, coğrafi işaret koruması altındaki bir ürüne ilişkin standartlara uymayan veya izinsiz üretim yapıldığını belirlediklerinde, hukuki süreç başlatma yetkisine sahiptir. Bu durumda, Türk mevzuatı uyarınca 12 aydan 48 aya kadar hapis cezası, adli para cezası ve faaliyet yasağı gibi yaptırımlar uygulanabilmektedir. Bu alandaki yargı süreçleri, İstanbul, Ankara ve İzmir’de bulunan Fikri ve Sınai Haklar Mahkemeleri tarafından yürütülmektedir (Şahin, 2013).

6. Sonuç ve Öneriler

Bölgesel köken belgesi olarak nitelendirilen coğrafi işaretler, kırsal kalkınmadan kadın istihdamına, işsizlikle mücadeleden tüketici haklarının korunmasına kadar geniş bir yelpazede önemli ekonomik ve sosyal faydalar sunmaktadır. Bu sistem sayesinde tüketiciler, ürün kalitesi konusunda garanti alırken satın alma kararlarını daha bilinçli verebilmektedir. Gastronomik mirasın sürdürülebilirliği açısından bakıldığında, geleneksel yemek kültürünün yaşatılmasında coğrafi işaret tescilleri kilit rol oynamaktadır. Bu uygulama hem sürdürülebilir gastronomi turizminin gelişmesine hem de kırsal alanların ekonomik anlamda canlanmasına önemli katkılar sağlamaktadır.

Ülkemiz, düzenlenen yerel etkinlikler ve geleneksel şenlikler açısından büyük bir çeşitliliğe sahiptir. Özellikle yöresel ürünlerin tanıtımına odaklanan bu organizasyonlar, coğrafi işaret alma potansiyeli taşıyan ürünlerin tespit edilmesinde önemli bir kaynak teşkil etmektedir. Bu bağlamda, Türkiye genelindeki yerel ürün festivallerini kapsayan detaylı bir envanter çalışmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Uluslararası pazarlarda Türk ürünleri olarak bilinen kahve, lokum, çeşitli kuruyemişler, şekerlemeler, peynir çeşitleri, halı ve kilim gibi ürünlerin coğrafi işaret tescili için

öncelikli olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Dünya genelinde artan ilgi göz önüne alındığında, coğrafi işaretli ürünlerin Türkiye'nin ihracat potansiyelini önemli ölçüde artırabileceği açıktır.

Coğrafi işaret tescilleri, yerel üretimin desteklenmesi ve kırsal kalkınmanın hızlandırılması açısından önemli bir araçtır. Tescil almış ürünler, benzerlerine göre daha yüksek fiyatla satılabilmekte ve böylece üretici gelirlerinde artış sağlanmaktadır. Bu koruma sistemi, belirli bir coğrafi bölgeye özgü ürünlerin üretim standartlarını garanti altına alarak, aynı bölgede ve aynı şartlarda üretim yapan tüm üreticilerin haklarını eşit şekilde korumaktadır. Bu sayede, farklı bölgelerde üretilen benzer ürünlerle karıştırılmaların önüne geçilmekte ve gerçek ürünlerin tanınırlığı artmaktadır.

Afyonkarahisar örneği, coğrafi işaretlerin bölgesel kalkınmadaki rolünü anlamak açısından önemli bir örnek teşkil etmektedir. İlde Afyon Kaymağı, Afyon Lokumu, Afyon Sucuğu ve Afyon Pastırması gibi tescilli ürünler, yörenin gastronomik kimliğini ve gıda sektöründeki ekonomik potansiyelini yansıtmaktadır.

Kaynaklar

- Ağagündüz, D. (2020). Coğrafi işaretler ve sürdürülebilirlik. Yaman Ö. & Aksoydan E. (Eds.), *Sürdürülebilir yaşam rehberi* (pp. 55-64). Yeni İnsan Yayınevi, İstanbul.
- Aksoy, M. (2019). *İkram hizmetleri standart reçeteler*. Erişim Adresi: <https://slideplayer.biz.tr/slide/14900921/rundad%C4%B1r.%20%C4%B0kram%20hizmetleri%20stand>
- Dağtekin, E. E. (2018). Coğrafi işaret olarak Diyarbakır bazalt taşı ve tescili. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 17(66), 851-860. <https://doi.org/10.17755/esosder.399309>
- Doğan, B. (2015). Coğrafi işaret korumasının gelişmekte olan ülkeler için önemi. *E-Journal of New World Sciences Academy*, 10(2), 58-75.
- Gökovalı, U. (2007). Coğrafi işaretler ve ekonomik etkileri: Türkiye örneği. *İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 21(2), 141-159.
- Gönen, S., & Ergun, Ü. (2008). Otel işletmelerinin yiyecek içecek bölümünde iç kontrol sisteminin etkinliğinin değerlendirilmesine yönelik bir uygulama. *Ege Akademik Bakış*, 8(1), 183-204.
- Şahin, G. (2013). Coğrafi işaretlerin önemi ve Vize (Kırklareli)'nin coğrafi işaretleri. *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 15, 23-37.
- Kan, M., Gülçubuk, B., & Küçükçongar, M. (2012). Coğrafi işaretlerin kırsal turizmde kullanılma olanakları. *KMÜ Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 14(22), 93-101.
- Oraman, Y. (2015). Türkiye'de coğrafi işaretli ürünler. *Balkan ve Yakın Doğu Sosyal Bilimler Dergisi*, 01,76-85.
- Üzümcü P., Alyakut, Ö., & Akpulat, N. A. (2017). Coğrafi işaretleme kapsamında Kocaeli gastronomik ürünlerinin değerlendirilmesi. *KMÜ Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 19(28), 132-140.
- Sarıpek, S., & Çevik, S. (2020). Oraların nesi meşhur: Şehir pazarlamasında coğrafi işaret tescilli ürünler. *Opus Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi* 16(32), 4907-4938, <https://doi.org/10.26466/opus.772918>
- Türk Patent Enstitüsü. (2010). Marka ve coğrafi işaret başvurularının hazırlanması marka ve coğrafi işaret işlemleri ile ilgili bilgiler ve gerekli belgeler. Ankara.
- Tandoğan, U., & Şahin, Ö. (2014). Yiyecek-içecek işletmelerinde standart reçetelerin ve hedef maliyetlemenin stratejik kararlarda kullanılmasına yönelik bir uygulama. *Niğde Üniversitesi İİBF Dergisi*, 7(1), 242-259.
- Türk Patent Enstitüsü. (2007). Coğrafi işaretler. Erişim Adresi: <http://www.tpe.gov.tr/tpe/index.jsp?sayfa=201>
- Türk Patent ve Marka Kurumu (2025). Coğrafi işaretler. Erişim Adresi: <https://ci.turkpatent.gov.tr/>

- Üzülmez, M. (2020). Osmaniye ilinin coğrafi işaretli ürün potansiyelinin değerlendirilmesi. *Journal of Academic Value Studies*, 6(2), 188-196. <https://doi.org/10.29228/javs.4183>
- Yaşar, Y. D. (2022). Türkiye'de coğrafi işaret sistemi: Iğdır kayısı örneği. *Iğdır Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 31, 220-242.
- Tekelioğlu, Y. (2019). Coğrafi işaretler ve Türkiye uygulamaları. *Ufuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 8(15), 47-75.



Mevcut Binaların Değerlendirilmesinde Karot Numunesi Alınan Kolon Dayanımlarının Davranışa Etkisi

Hamdi KAŞIKCI ^{1,*}, Burak KAYMAK ²

¹ Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, Kütahya

² Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, Kütahya

* Sorumlu yazar: hamdikasikci@gmail.com

Özet

Bu çalışmada, mevcut binaların deprem performanslarının değerlendirilmesinde kullanılan karot numunesi ile beton dayanımının belirlenmesi ele alınmış, doğrusal performans analizleri ile bu dayanım değerlerinin yapı davranışına etkileri irdelenmiş ve karot numunesi sayısının yeterliliği tartışılmıştır. Bu kapsamda yürütülen çalışmada, projede öngörülen beton sınıfı C30/37 olan bir yapı üzerinde beton dayanımının farklı kombinasyonları tanımlanarak doğrusal performans analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma iki aşamalı olarak kurgulanmıştır. İlk aşamada tüm taşıyıcı elemanların aynı beton dayanımına sahip olduğu ancak beton basınç dayanımının 10 - 30 MPa arasında bulunduğu durumlar ele alınmıştır. Yapıda kullanılan beton basınç dayanımının tüm taşıyıcı elemanlarda 17.7 MPa ve üzerinde olduğu durumlarda yapı “Kontrollü Hasar” bölgesinde kalmıştır. İkinci aşamada ise bazı kolonların beton dayanımlarının diğerlerinden daha düşük seviyede olması durumları incelenmiştir. Kapsamlı bilgi düzeyine göre veri toplanmış olduğu durum göz önüne alınarak; numune ortalama basınç dayanım değeri 18 MPa olmasının yanında numuneler içinde 14 MPa, 15 MPa değerlerinin bulunduğu bir ihtimal için kolonların beton basınç dayanımları farklı seviyelerde tanımlanarak performans değerlendirmesi yapıldığında yapının “Göçme Durumu”nda olduğu tespit edilmiştir. İlk aşamada tüm elemanların aynı dayanım özelliğinde olduğu durumda “Kontrollü Hasar” seviyesinde tespit edilen bu durumun önem arz ettiği düşünülmektedir. Sonuç olarak, mevcut binaların deprem güvenliğinin doğru ve güvenilir biçimde belirlenebilmesi için TBDY 2018’in öngördüğü şekilde karot numune sonuçlarına dayalı olarak belirlenen beton dayanımlarının, yapı içindeki dağılımı dikkate alınarak değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu doğrultuda, yapı genelini temsil eden daha kapsamlı analizlerin yapılması gerektiği ve yalnızca sınırlı sayıda karot numunesi ile elde edilen değerlere dayanarak karar verilmesinin yetersiz olabileceği düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Mevcut Binaların incelenmesi, Beton dayanım farklılığı, Deprem performansı, Yapı performans düzeyi

The Effect of Core Sampled Column Strengths on the Behavior of Existing Buildings

Abstract

In this study, the determination of concrete strength with core samples used in the evaluation of earthquake performance of existing buildings is discussed, the effects of these strength values on the behavior of the structure are examined by linear performance analyses and the adequacy of the number of core samples is discussed. In the study carried out in this context, linear performance analyses were carried out by defining different combinations of concrete strength on a structure with concrete class C30/37, which is envisaged in the project. The study was designed in two stages. In the first stage, the

cases where all structural elements have the same concrete strength but the concrete compressive strength is between 10 - 30 MPa are considered. In cases where the compressive strength of the concrete used in the structure was 18 MPa and above in all structural elements, the structure remained in the "Controlled Damage" zone. In the second stage, the cases where the concrete strength of some columns was lower than the others were analyzed. Considering the situation where data was collected according to the level of comprehensive information; when the concrete compressive strengths of the columns were defined at different levels for a possibility where the average compressive strength value of the specimen was 17.7 MPa and there were 14 MPa and 15 MPa values among the specimens, it was determined that the structure was in the "Collapse Condition" when the performance evaluation was made. It is thought that this situation, which is detected at the "Controlled Damage" level in the first stage when all elements have the same strength characteristics, is important. In conclusion, in order to determine the earthquake safety of existing buildings accurately and reliably, it is of great importance to evaluate the concrete strengths determined based on the core sample results as stipulated by TBDY 2018, taking into account their distribution within the structure. In this direction, it is thought that more comprehensive analyses representing the entire structure should be performed and making decisions based only on the values obtained from a limited number of core samples may be insufficient.

Key words: Examination of existing buildings, Concrete strength difference, Earthquake performance, Building performance level

1. Giriş

Ülkemizde, doğal afet olan depremle ilgili ilk bilgilere 1488 yılında rastlanmıştır. Bu kayıtlarda, İstanbul'da yaşanmış depremler yer almaktadır. Yine aynı yılda Osmanlı dönemindeki kayıtlarda İstanbul'da büyük bir deprem yaşandığına yer verilmiştir. İkinci büyük İstanbul depremi ise 1509 yıllarında yaşanmıştır. Bu depreme Küçük Kıyamet (Kıyamet-i Suğra) adı verilmiştir. Yaklaşık 45 gün süren deprem olarak tarih kayıtlarına yerini almıştır. Bu dönemde Sultan 2. Beyazıt ülke yönetimini Edirne'den devam ettirmiştir. Gerçekleşen yıkıcı bu depremden sonra İstanbul'da yeni inşa edilen yapılar depreme dayanıklı olduğu düşünülerek ahşap malzemeden üretilmiştir. Yapıların üretiminde ahşap malzemenin seçilmesi farklı bir afetin yaşanmasına neden olmuştur. 1782 yılında İstanbul Büyük Yangını yaşanmıştır (Biricik, 2001).

Depremler, yapılar üzerinde büyük yıkımlara neden olabilen doğal afetlerdir. Bu nedenle, binaların deprem güvenliği ve depreme dayanıklı yapıların inşa edilmesi inşaat mühendisliği mesleğinin en önemli konularından biri olmuştur. Yeni inşa edilen yapıların depreme dayanıklı imal edilmesinin yanında mevcut yapıların depreme dayanıklılığının değerlendirilmesi de, yapıların güvenliğini sağlamak adına kritik bir öneme sahiptir. Türkiye deprem kuşağında yer alan bir ülke olmasından dolayı mevcut ve yeni inşa edilecek yapıların deprem riski güvenliğinin doğru bir şekilde belirlenmesi ve güçlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu önem doğrultusunda, mevcut yapıların deprem performansını değerlendirmek için kullanılan çeşitli yöntemler yönetmelikler ile belirlenmiştir.

Bu çalışmada, mevcut binaların deprem yönünden incelenmesinde yapıdan belirli sayıda karot numunesi alınması ile belirlenen beton basınç dayanımlarının binanın deprem performansı üzerindeki yeterliliği ele alınmaktadır. TBDY 2018'e göre binaların deprem güvenliklerini etkileyen önemli parametrelerden biri beton basınç dayanımıdır. Deprem sırasında yapılarda meydana gelebilecek hasarlar beton basınç dayanımı ve betonunun kalitesi ile ilişkilendirilebilir (Demir vd., 2007). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018, mevcut binaların deprem performansını belirlerken, yapının taşıyıcı

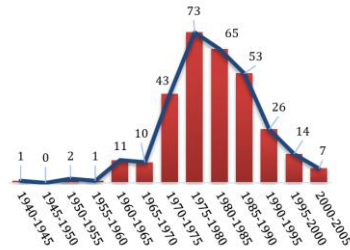
elemanlarının beton basınç dayanımını esas almaktadır. Bu değerlendirme sürecinde, taşıyıcı elemanlardan alınan karot numuneleri ile betonun mevcut basınç dayanımı ölçülmektedir. Ölçülen basınç dayanımından elde edilen veriler binanın yapım yılındaki donatı seçimini de göz önünde bulundurularak yapının deprem performansı değerlendirilmektedir.

Sofuoğlu ve Topçu (2015), 2013 yılında Eskişehir’de yapmış oldukları çalışmada birbirinden farklı beton santrallerinde üretilmiş olan ve farklı şantiyelere dökülen C25/30 sınıfı hazır betonlardan alınmış olan numuneler ile beton basınç dayanımı sonuçlarına göre istatistiksel analiz gerçekleştirmişlerdir. Elde etmiş oldukları 2219 numune ile yapılan beton basınç dayanım deneylerinde TS EN 206 ve TS 500 standartlarını sağlamadığına rastlanmıştır.

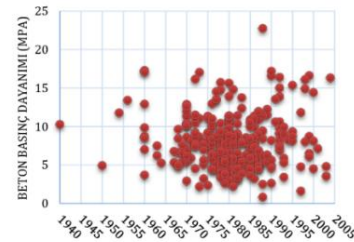
Akçay (2004), İstanbul şehrinin çeşitli semtlerinde farklı yapı türlerinde kullanılmış olan betonların basınç dayanımını ve kalitesini belirlemeye yönelik çalışma yapmıştır. Üretim tipi, yerinde üretim ve hazır beton olma üzere, beton sınıfı detayları hakkında bilgi sahibi olunan 244 binada karot numuneleri üzerinde basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Elde edilen veriler üzerinden gerçekleştirilen istatistiksel analiz sonuçlarında, basınç dayanımlarının 1,61 ile 70,05 MPa arasında dayanım değerlerine sahip olduğu belirtilmiştir. Toplam 1892 karot numunesinin karakteristik basınç dayanımının ortalaması 22,01 MPa olarak hesaplanmıştır. Beton basınç dayanımlarının standart sapması 9,99 MPa çıkmıştır. Betonun üretim tipi ve beton sınıfı C14/17, C16/20, C18/22, C20/25, C25/30 ve C30/37 dikkate alınarak istatistiksel sonuçlar üzerinde inceleme gerçekleştirilmiştir. İncelemeler sonucunda yerinde üretim ve hazır beton kullanılarak üretilen yapıların beton basınç dayanım sonuçları, üretimde kullanılan beton sınıfı değerinin uzaklaştığı görülmüştür.

Erdil (2017), 2011 yılında Van’da meydana gelen depremde Erciş ilçesinde yıkılan 22 bina ve Van merkezde ağır hasar almış veya yıkılmış 41 yapı üzerinde yapmış olduğu çalışmaların sonucunda en düşük basınç dayanımını 2,3 MPa tespit etmiştir, yapıların en yüksek basınç dayanımını ise 15,4 MPa olarak saptamıştır.

Topçu, Akkan ve Aksu (2021) Eskişehir ilinde 6306 sayılı Kanunun yürürlüğe girmiş olduğu tarihten itibaren 24.12.2020’ye kadar 306 riskli betonarme yapıya ait beton basınç dayanımları incelemiştir. Bu inceleme sonucunda yapıların %16,99 kısmının 5 MPa altında basınç dayanıma sahip olduğu görülmüştür. İncelemelerde %59,48 kısmının beton basınç dayanımı ortalaması 5.00-10.00 MPa aralığında olduğu tespit edilmiştir. Gerçekleştirilen incelemelerde yapıların basınç dayanımının %99,67’si 17,30 MPa’nın altında kaldığı görülmüştür. Çalışmada yapılan diğer bir tespit ise uygulama projeleri sahip olan yapıların ortalama basınç dayanımı 9,47MPa herhangi bir projesi olmayan yapıların ise beton basınç dayanımlarının 7,81 MPa olduğu görülmüştür.



Şekil 1. İncelenen Betonarme Binaların Yapım Yıllarına Göre Gözlem Değerleri (Topcu vd., 2021)



Şekil 2. Bina Yapım Yıllarına Göre Ortalama Beton Basınç Dayanımı Değeri Dağılımı (Topcu vd., 2021)

İnel vd.(2018), Simav depreminden sonra 148 yapıda yapmış oldukları araştırmada daha az karot numunesi alınarak beton basınç dayanımını tahminin ne ölçüde geçerli olduğunu incelemişlerdir. Bunun yanı sıra, farklı katlardaki beton basınç dayanımındaki değişkenlik ile zemin kat gibi spesifik bir kattan alınan numunelerin, yapı genelinin ortalama dayanımını yansıtırma düzeyi de incelenmiştir. İncelemede her bir kat için ayrı ayrı elde edilen beton basınç dayanımlarının, bina genel ortalamasıyla ilişki göstermediği ifade edilmiştir. Karot numunesi alınan çoğu binanın beton basınç dayanımı 10MPa altında kalmıştır.

Binici vd.,(2000) Yapmış oldukları laboratuvar araştırmasında beton basınç dayanımına çimento türünün etkisinin %10, granülometrinin etkisinin %11, beton üretim şeklinin etkisinin %21, betonun kompaksiyonunun etkisinin %26, beton kürünün etkisinin %32 olduğunu tespit etmişlerdir çalışma 2000 yılında yapılmış olduğundan dolayı 2000 öncesi yapılan binalarda önem taşımaktadır. O yıllarda inşa edilen yapılarda elle döküm ile doğru bir beton standardına ulaşmanın zor olduğu belirtilmiştir. Yine elle döküm ile beton üst katlara taşınırken karşılaşılan zorluklar sebebi ile üst katlara çıkıldıkça beton basınç dayanımının daha düşük değerlerde olması muhtemeldir.

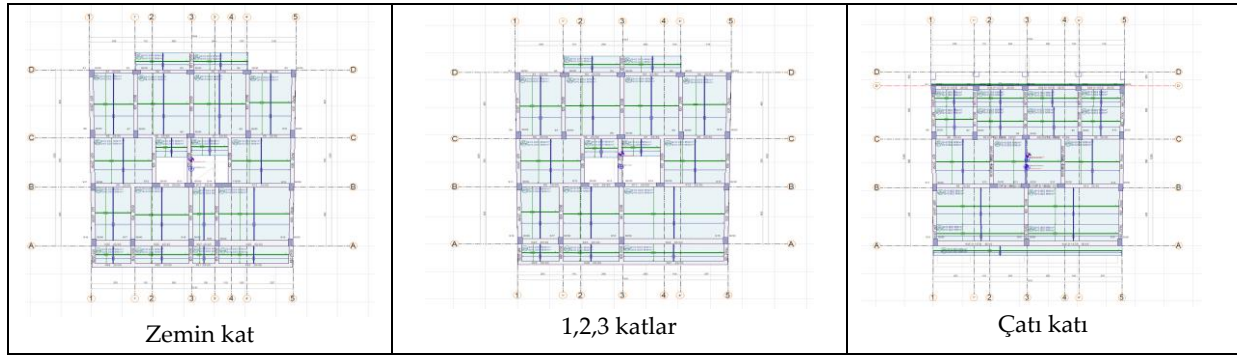
Samadoghli vd. (2019), Karot numunesinde basınç dayanımının etkilenmesi durumunu incelemişlerdir. Yapmış oldukları çalışmada karot numunesinin orta bölgesinde bulunan donatılar, beton içerisindeki agregalarla güçlü bir aderans oluşturduğunu ve donatının agrega benzeri davranış sergilemesi nedeniyle, karot basınç dayanımı değerleri olduğundan daha yüksek ölçüldüğünü belirtmişlerdir. Aynı zamanda döküm yönüne dik olarak alınan karot numunelerinin basınç dayanımlarının, döküm yönüne paralel alınan karot numunelerine kıyasla daha yüksek basınç dayanımı değerleri göstermektedir.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeli mevcut binaların basınç dayanımlarının belirlenmesinde binadan belirli sayılarda karot numunesi alınmasını ifade etmektedir. Mevcut binalarda beton dayanımlarının üretim, yerinde yerleştirme ve çevresel etkenlerden dolayı beton basınç dayanımlarının projede öngörülen değerlerden sapmalar gösterebileceği yapılan araştırmalarda gözlemlenmiştir. Yapım aşamasında ortaya çıkabilecek yetersiz kütleme, betona fazla su ilavesi, karbonatlaşma, düşük kaliteli malzeme kullanımı, betonun uzun süre bekletilmesi, gecikmiş döküm işlemleri, projeye uygun olmayan karışım reçeteleri ile sıcaklık ve çevre koşulları gibi faktörler, betonun basınç dayanımında önemli azalışlara neden olabilmektedir. Projede 30 MPa sınıfı olarak öngörülen betonun basınç dayanımı, uygulamada 25 MPa ve 14 MPa aralığında daha düşük dayanımlarda çıktığı yapılan literatür taraması araştırmalarında gözlemlenmektedir. Özellikle yapım yılı eski olan binalarda bu farkların daha belirgin hale geldiği görülmektedir. Bu durum, belirli sayıda karot numunesinden alınan ortalama beton basınç dayanımları yapının genel beton basınç dayanımının belirlenmesi yapıların deprem güvenliğini değerlendirme sürecinde belirsizliklere yol açabilmektedir. Karot numunesinin tesadüf olarak düşük beton basınç dayanımına sahip kolonlardan alınması durumunda doğrusal performans analizinde gerçekte kontrollü hasar bölgesinde kalan bir yapıyı göçme durumunda değerlendirmesine sebep olabilir. Aynı yapı için tesadüf olarak yüksek basınç dayanımına sahip kolonlardan alınması da göçme durumundaki bir yapıyı kontrollü hasar bölgesinde gösterebilir. Bu bağlamda, çalışmanın amacı, mevcut binalarda alınan beton karot numunelerinin deprem performansı değerlendirmelerine nasıl etki ettiğini incelemek ve doğrusal performans analizleri ile bu etkileşimi sayısal veriler ile değerlendirmektir. Yapıların güvenliğini sağlamak için yalnızca karot numunesi alınmadan önce bir ön hazırlık çalışmasının yapılması binanın tolere edebileceği beton basınç dayanım sınırlarının belirlenmesi karot numunesi alınmadan önce tahribatsız yöntemlerle yapının kontrolünün sağlanmasının kapsamlı analizlerin yapılması gerektiği vurgulanmaktadır. Bu çalışma, binaların deprem performansını daha doğru bir şekilde değerlendirerek, yapıların güçlendirilmesi gereken durumların belirlenmesine ve güvenliğin artırılmasına katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

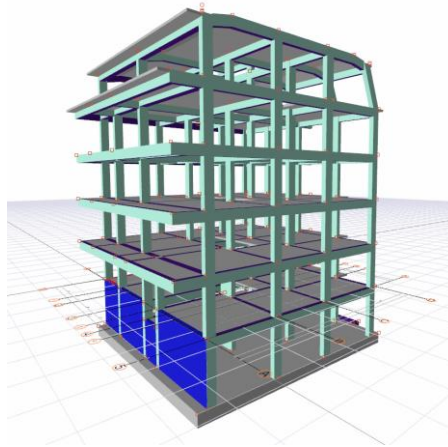
2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Bu çalışmada, mevcut betonarme binanın deprem performansının belirlenmesinde Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018) esas alınmıştır. TBDY 2018'e göre, TS EN 12504-1 standardına uygun olarak sınırlı bilgi düzeyine sahip yapılarda her kattan üç karot numunesi alınması ve en düşük basınç dayanımının yapıdaki mevcut beton dayanımı olarak kabul edilmesi öngörülmektedir. Kapsamlı bilgi düzeyine sahip yapılarda ise, yapı geometrisinin ve eleman detaylarının projeye uygun olması koşuluyla zemin kattan üç ve diğer katlardan en az ikişer adet olmak üzere toplamda dokuz adetten az olmamak koşuluyla, her 400 m² için bir beton numunesi alınması gerekmektedir. Tasarım dayanımının belirlenmesinde ise istatistiksel yöntemler esas alınmaktadır.



Şekil 3. Kat Planları



Şekil 4. Analiz İçin Oluşturulmuş Yapının 3d Modeli

Yapının deprem performansının değerlendirilmesinde beton dayanımındaki farklılıkların etkisini analiz edebilmek amacıyla örnek Şekil 3'te kat planları verilmiş olan Şekil 4'teki bina oluşturulmuştur. Örnek yapı bodrum +5 kattan oluşmakta, taban alanı ise 164,4 m²'dir. Zemin sınıfı ZC seçilmiştir. Kolonların kesitleri 30x50 cm, ana donatılar ise 14 mm çapındadır. Donatı sınıfı B420C olarak belirlenmiştir. Beton sınıfı proje aşamasında C30/37 olarak tanımlanmıştır. Toplam 95 adet kolon bulunmaktadır. Tablo 1'de belirtilen TS 500 beton sınıfları haricinde basınç dayanım değerleri hassasiyet sağlamak adına çalışmaya eklenmiştir. Betonun mevcut durumunu temsil edecek şekilde basınç dayanımları 10, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 25, 30 MPa olarak farklı kombinasyonlarda yapıya

tanımlanmıştır. Yapıdaki mevcut beton dayanımının belirlenmesi amacıyla kolonlardan ve perdelerden TS EN 12504-1 standardına uygun olarak zemin katta 3 diğer katlarda 2’den az olmamak üzere beton karot numunesi alınması ifadesine binaen farklı kolon basınç dayanım seçim kombinasyonları oluşturulmuştur. Alınabilecek karot numune örneklemelerinde beton dayanımının farklı olmasının etkileri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

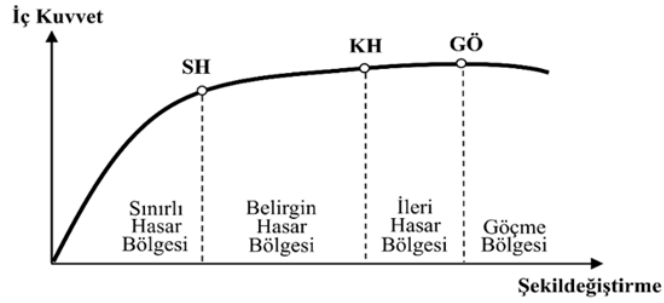
Tablo 1 TS500 beton sınıfları				
Beton Sınıfı	Karakteristik Basınç Dayanımı, f_{ck}	Eşdeğer Küp (150 mm) Basınç Dayanımı	Karakteristik Eksenel Çekme Dayanımı, f_{ctk}	28 Günlük Elastisite Modülü E_c
	MPa	MPa	MPa	MPa
C16	16	20	1,4	27 000
C18	18	22	1,5	27 500
C20	20	25	1,6	28 000
C25	25	30	1,8	30 000
C30	30	37	1,9	32 000
C35	35	45	2,1	33 000
C40	40	50	2,2	34 000
C45	45	55	2,3	36 000
C50	50	60	2,5	37 000

2.2. Metod

Çalışmada yapı beton sınıfı C30/37 olarak kabul edilmiştir. Çalışma iki aşamalı olarak kurgulanmıştır. İlk aşamada tüm taşıyıcı elemanların aynı beton dayanımına sahip olduğu ancak beton basınç dayanımının 10- 30 MPa arasında bulunduğu durumlar ele alınmıştır. İkinci aşamada ise bazı kolonların beton dayanımlarının diğerlerinden daha düşük seviyede olması durumları incelenmiştir. Her iki durumda da beton dayanımı kabul edilen 30Mpa seviyesinden azalma senaryoları uygulanmıştır.

Beton dayanımındaki azalma oranları, TS EN 12504-1 standardına göre kabul edilen numune sayısı ve Eşitlik 7 ile beton dayanımlarının belirlenmiştir. Elde edilen değerler ile her kat için beton basınç dayanımı değerleri girilmiştir. Her bir senaryo için yapı üzerinde doğrusal performans analizleri yapılmış ve yapının deprem performansı değerlendirilmiştir. Yapının doğrusal performans analizi, İdeCAD Statik V11 Deneme Sürümü yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Bu yazılım, mevcut yapının taşıyıcı sistemi ve zemin sınıfına göre deprem yüklerinin yapı üzerindeki etkilerini hesaplamak için kullanılmıştır. Yalnızca beton dayanımındaki değişiklikler dikkate alınmış, yapının geometrisi, donatısı ve zemin özellikleri sabit tutulmuştur.

Betonarme yapıdaki her bir taşıyıcı eleman için hasar sınıfı değerlendirmesi yapılmıştır. Bu değerlendirme, TBDY 2018 Madde 15.3.2’e göre Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH), Göçmenin Önlenmesi (GÖ) ve Göçme olmak üzere dört ana hasar düzeyi kapsamında değerlendirilmektedir. Doğrusal performans analizleri, taşıyıcı elemanların bu hasar düzeyleri altındaki davranışlarını belirlemede kullanılmaktadır.



Şekil 5. Kesit Hasar Bölgeleri (TBDY 2018)

Kritik kesitlerinin hasarı SH'ya ulaşmayan elemanlar Sınırlı Hasar Bölgesi'nde, SH ile KH arasında kalan elemanlar Belirgin Hasar Bölgesi'nde, KH ile GÖ arasında kalan elemanlar İleri Hasar Bölgesi'nde, GÖ'yü aşan elemanlar ise Göçme Bölgesi'nde yer alırlar. Yapının her bir elemanı, beton dayanımındaki azalma oranları doğrultusunda analizlere tabi tutulmuş ve deprem performansı belirlenmiştir. Her bir senaryo için deprem performansı değerlendirilmiş ve yapının güvenliği analiz edilmiştir. Beton dayanımındaki azalma, yapı elemanlarının hasar seviyelerini etkilemiştir. Sonuçlar beton dayanımının azaldığı durumlarda yapı performansının düşebileceğini göstermektedir. Bu doğrultuda yapının deprem güvenliğinin güvenilir bir biçimde belirlenebilmesi için TBDY 2018'in öngördüğü şekilde karot numune sonuçlarına dayalı olarak belirlenen beton dayanımlarının, yapı içindeki dağılımı dikkate alınarak değerlendirilmesi büyük önem taşıdığı, beton çekici gibi hasarsız test yöntemleriyle desteklenmiş değerlendirme süreçlerinin etkili olabileceği tespit edilmiştir.

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (1)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (2)$$

$$\bar{X} - \sigma \quad (3)$$

$$0.85 \times \bar{X} \quad (4)$$

$$\frac{1}{n-1} \sum_{i=1, i \neq X_{\min}}^n X_i \quad (5)$$

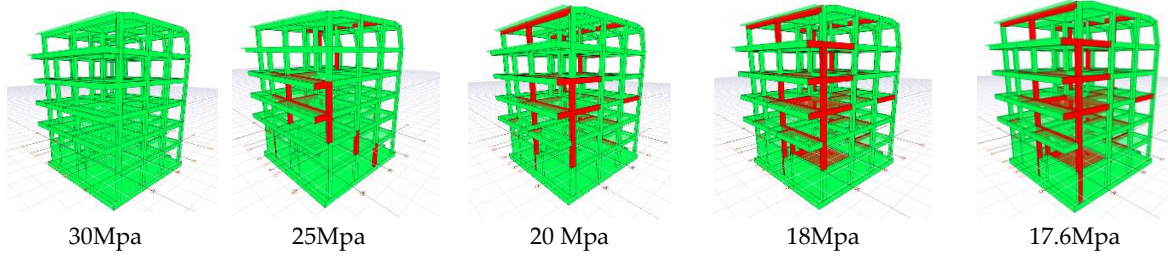
$$X_{\min} \geq 0.75 \times \left(\frac{1}{n-1} \sum_{i=1, i \neq X_{\min}}^n X_i \right) \quad (6)$$

$$\text{Geçerli Beton Dayanımı} = \max \left(\bar{X} - \sigma, 0.85 \times \bar{X}, \min(X) \geq 0.75 \times \left(\frac{1}{n-1} \sum_{i=1, i \neq X_{\min}}^n X_i \right) \right) \quad (7)$$

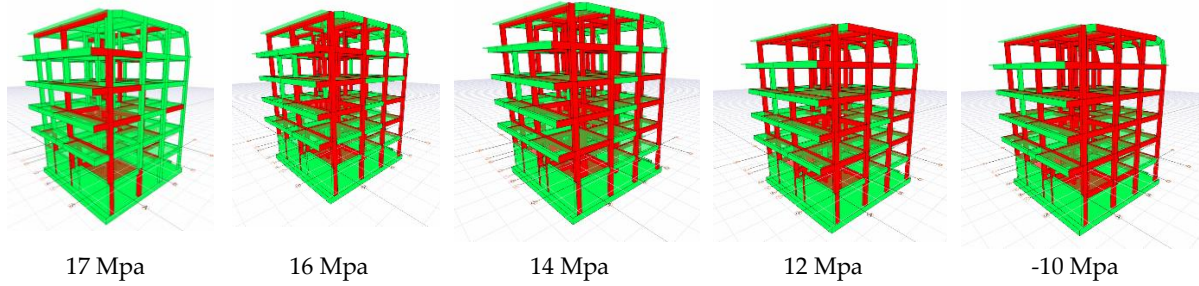
3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Durum 1, Tüm Taşıyıcı Sistemin Aynı Beton Sınıfında Olduğu Varsayımlar

Taşıyıcı sistem ikinci durumdaki analizler ile karşılaştırmak üzere bütün betonarme taşıyıcı elemanlarda beton dayanımı aynı sınıf olacak şekilde modellenmiştir. Analizler başlangıçta 30 MPa beton dayanımı ile yapılmıştır. Dayanımlar sırası ile 25, 20, 18, 17, 16, 14, 12, 10 MPa değerlerine düşürülerek doğrusal performans analizleri gerçekleştirilmiştir. Değerlerin 30 MPa ile 10 MPa aralığında seçilmesi hazır beton üretimi olmadan önce inşa edilmiş yapılar hakkında yorum yapabilmek amacı ile geniş tutulmuştur. Ayrıca yapı, riskli bina analizinde 9 MPa'a kadar tolere edebilmektedir. 17 MPa ve 18 MPa beton dayanımı aralığında yapı göçme durumuna geçmiştir. Aralıktaki analizler tekrarlanarak yapının Göçme durumuna geçtiği beton dayanımı 17.6 MPa tespit edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre yapının durumu Tablo 2'de belirtilmiştir. Burada elde edilen bilgiler yapının göçme durumunun nerede gerçekleştiği hakkında bilgi vermektedir.



Şekil 6. Beton Basınç Dayanımlarına Göre Oluşan Hatalar



Şekil 7. Beton Basınç Dayanımlarına Göre Oluşan Hatalar

Tablo 2. 30 MPa - 10 MPa Arası Beton Basınç Dayanımlarına Göre Hata Sayısı ve Kesit Hasar Bölgeleri												
		Beton Sınıfları										
		10 Mpa	12 Mpa	14 Mpa	16 Mpa	17 Mpa	17.6 Mpa	17.7 Mpa	18 Mpa	20 Mpa	25 Mpa	30 Mpa
SH Performans Düzeyi	Herhangi bir katta kirişlerin en fazla %20'si Belirgin hasar bölgesine geçebilir.	%100	%100	%100	%100	%100	%100	%100	%100	%100	%100	%100
	Diğer taşıyıcı elemanların tümü sınırlı hasar bölgesinde olmalıdır.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Kaşıkcı ve Kaymak, Mevcut Binaların Değerlendirilmesinde Karot Numunesi Alınan Kolon Dayanımlarının Davranışa Etkisi

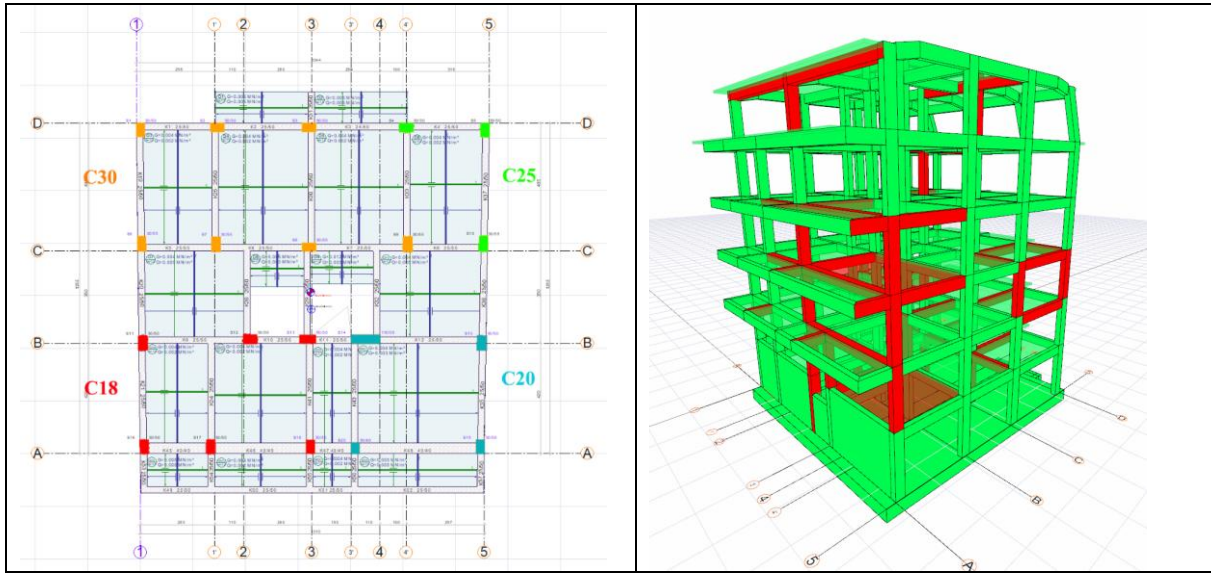
KH Performans Düzeyi	Herhangi bir katta kirişlerin en fazla %35'i İleri Hasar Bölgesi'ne geçebilir	%0	%0	%0	%0	%0	%0	%0	%0	%0	%0	%0
	İleri Hasar Bölgesi'ndeki düşey elemanların kesme kuvvetine katkısı %20'nin altında olmalıdır	%0	%0	%0	%0	%0	%0	%0	%0	%0	%0	%0
	En üst katta İleri Hasar Bölgesi'ndeki düşey elemanların kesme kuvvetine katkısı %40'ın altında olmalıdır	%0	%0	%0	%0	%0	%0	%0	%0	%0	%0	%0
	Belirgin Hasar Sınırı aşılmış olan düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvveti oranı %30'u aşmamalıdır	%62.7	%53.1	%42.1	%30.8	%30.8	%30.8	%25.5	%16.8	%16.8	%4.9	%4.8
	Diğer taşıyıcı elemanların tümü Sınırlı ya da Belirgin Hasar Bölgesi'nde olmalıdır	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
GÖ Performans Düzeyi	Herhangi bir katta kirişlerin en fazla %20'si Göçme Bölgesi'ne geçebilir	%0	%0	%0	%0	%0	%0	%0	%0	%0	%0	%0
	Diğer taşıyıcı elemanların tümü Sınırlı, Belirgin ya da İleri Hasar Bölgesi'nde olmalıdır	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Belirgin Hasar Sınırı aşılmış olan düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvveti oranı %30'u aşmamalıdır	%62.7	%53.1	%42.1	%30.8	%30.8	%30.8	%25.5	%16.8	%16.8	%4.9	%4.8
Bina performansı		G.D.	G.D.	G.D.	G.D.	G.D.	G.D.	K.S.	K.S.	K.S.	K.S.	K.S.

3.1.2. Durum 2, Beton Sınıfının Taşıyıcı Elamanlarda Farklılaştığı Varsayımlar

Taşıyıcı sistem bu durumda farklı beton sınıflarının bir arada olması durumuna göre modellenmiştir. Binada aynı katta farklı beton dayanımlarına yer verilmiştir. Bu kısımda 4 varsayım belirlenerek binanın beton dayanımlarına göre davranışı tespit edilmiştir. Analizler başlangıçta Durum 1'den elde edilen göçme durumu basınç dayanımına kadar farklılaştırılmıştır. İkinci farklılaşma ise düzensizliklerin olduğu bölgede 30 MPa diğer bölgelerde 25, 20, 18, 17, 16, 14 MPa değerleri yer alacak şekilde modellenmiştir. Üçüncü farklılaşmada düzensizliklerin olduğu bölge beton sınıfı 14 MPa seçilerek diğer taşıyıcı elemanlar 30, 25, 20, 18, 17, 16 MPa değerleri ile modellenmiştir. Son olarak

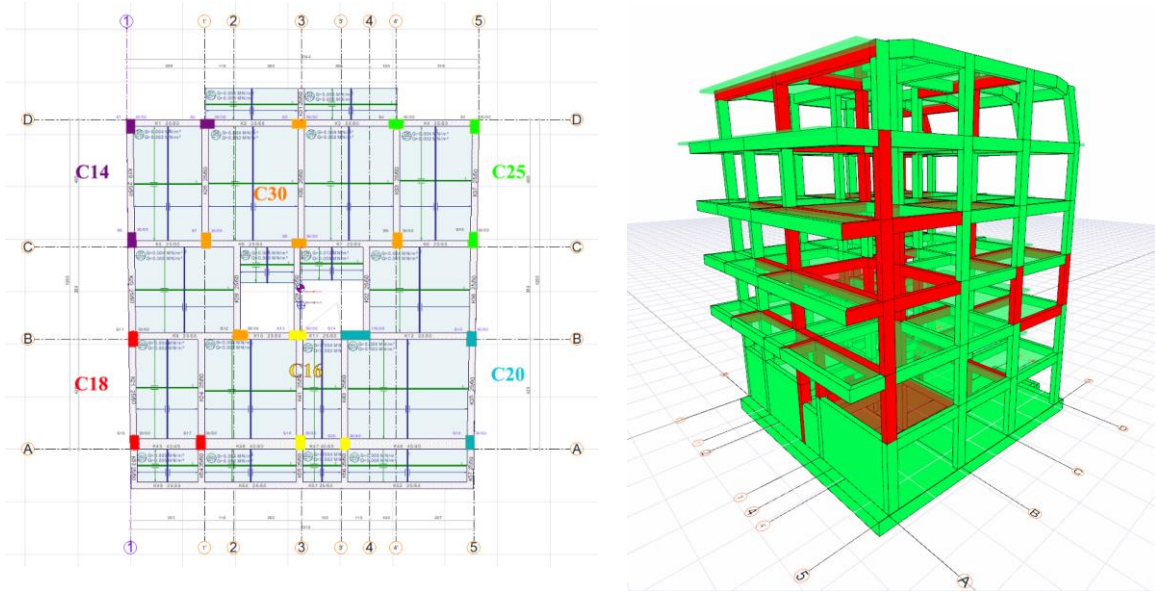
göçme bölgesine yakın bölgede beton sınıfları seçerek bir modelleme gerçekleştirilmiştir. Modellemeler doğrusal performans analizleri yapılarak elde edilmiştir. Verilerin yerleri Tablo 3'te V1, V2, V3, V4 kısaltmaları ile belirtilmiştir. V harfi varsayımları, rakamlar ise varsayım durumlarını ifade etmektedir.

Varsayım 1 : Beton dayanımlarının 30 MPa - 18 MPa aralığında, göçme durumuna kadar farklılaşma göstermesi incelenmiştir. Yapı Şekil 8'de verilen duruma göre analiz yapıldığında kontrollü hasar bölgesinde yer almaktadır. Modele ait kesit hasar bölgeleri Tablo 3'te V1 olarak belirtilmiştir. Bu varsayımda alınan karot numunelerinin hepsi en düşük beton dayanımı olan 18 MPa denk gelmiş olsa dahi bina kontrollü hasar bölgesinde kalmaktadır. Karot numuneleri ile karar verme sürecinde güvenlik oluşmaktadır.



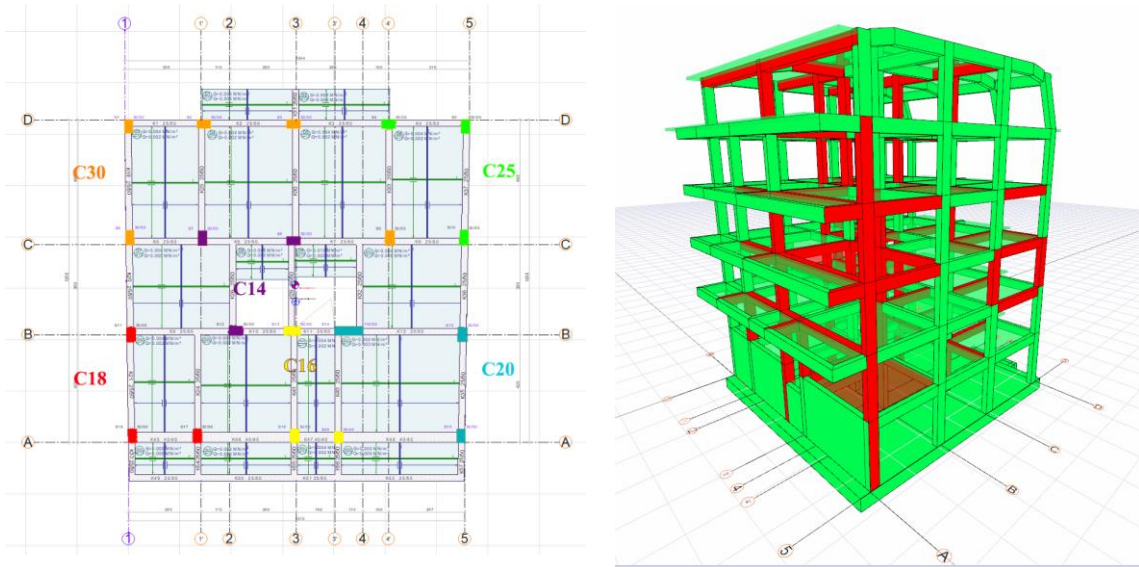
Şekil 8. Beton dayanımlarında 30-18 MPa arasında farklılaşma ve yapınız analiz sonrası modeli

Varsayım 2: Beton dayanımları 30 MPa ve 14 MPa aralığında farklılaşma ve düzensizliklerin olduğu bölümde 30 MPa kullanımı incelenmiştir. Yapı Şekil 9'de verilen duruma göre analiz yapıldığında kontrollü hasar bölgesinde yer almaktadır. Bu varsayımda karot numuneleri 18 MPa üzerinde olduğu sürece güvenlik oluşturmaktadır. Karot numunelerinin 18 MPa beton dayanımının altında, kolonlardan alınması durumunda ya da Şekil 9'de geçerli beton dayanımı Eşitlik 7'den 18 MPa altında çıkması durumunda analiz sonuçları binayı göçme durumunda gösterecektir. Fakat yapılan analizde bina kontrollü hasar bölgesindedir. Modele ait kesit hasar bölgeleri Tablo 3'te V2 olarak verilmiştir.



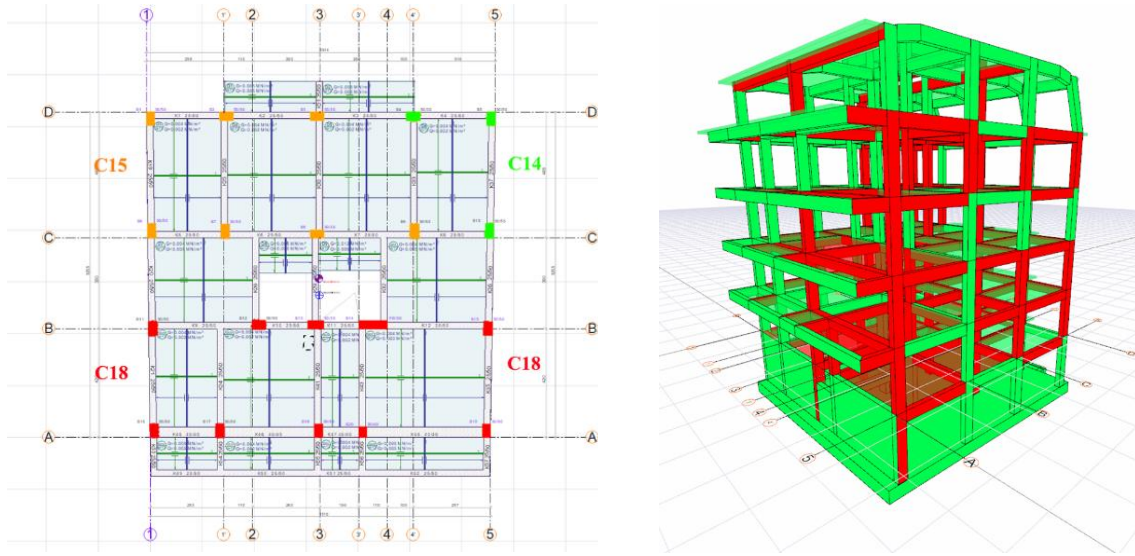
Şekil 9. Beton dayanımlarında 30-14 MPa arasında farklılaşma ve yapınız analiz sonrası modeli

Varsayım 3: Beton dayanımları 30 MPa ve 14 MPa aralığında farklılaşma düzensizliklerin olduğu bölümde 14 MPa kullanımı incelenmiştir. Yapı Şekil 10'da verilen duruma göre analiz yapıldığında göçme durumunda yer almaktadır. Karot numuneleri 30, 25, 20, 18 MPa olan bölgelerden alınmış olsaydı bina kontrollü hasar bölgesinde yer alacaktı. Böyle bir ihtimalin yaşanması ve düzensiz bölgede düşük beton sınıfının olması varsayımı güvenlik açısından önem arz etmektedir. Modele ait kesit hasar bölgeleri Tablo 3'te V3 olarak verilmiştir.



Şekil 10. Beton dayanımlarında 30-14 MPa arasında farklılaşma düzensizlik olan bölgede zayıf beton dayanımı olduğu durum ve yapınız analiz sonrası modeli

Varsayım 4 : Beton dayanımları yapılan analizlere göre göçme durumuna yakın seviyelerde beton dayanım değerlerin incelenmesi. Yapı Şekil 11'de verilen duruma göre analiz yapıldığında göçme durumunda yer almaktadır. Birinci bölümde yapının göçme durumuna geçtiği 18 MPa altında olduğu görülmektedir. Bu sebepten dolayı beton sınıfı göçme bölgesine yakın seçilmiştir. Beton sınıfı olarak 18, 15, 14 MPa değerleri seçilmiştir. Modele ait kesit hasar bölgeleri Tablo 3'te V4 olarak verilmiştir.



Şekil 11. Beton dayanımlarında 18, 15, 14 MPa arasında farklılaşma ve yapınız analiz sonrası modeli

Tablo 3 Varsayımların Kesit Hasar Bölgelerinin Beton Dayanımları İle Karşılaştırılması														
		Beton Sınıfları ve varsayımlar (varsayım1 V1, varsayım2 V2, varsayım3 V3, Varsayım3 V4)												
		14 Mpa	V 3	16 Mpa	V4	17 Mpa	17.6 Mpa	17.7 Mpa	18 Mpa	20 Mpa	V2	V 1	25 Mpa	30 Mpa
SH Performans Düzeyi	Herhangi bir katta kirişlerin en fazla %20'si Belirgin hasar bölgesinde geçebilir.	%100	%100	%100	%100	%100	%100	%100	%100	%100	%100	%100	%100	%100
	Diğer taşıyıcı elemanların tümü sınırlı hasar bölgesinde olmalıdır.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
KH Performans Düzeyi	Herhangi bir katta kirişlerin en fazla %35'i İleri Hasar Bölgesi'ne geçebilir	%0	%0	%0	%0	%0	%0	%0	%0	%0	%0	%0	%0	%0
	İleri Hasar Bölgesi'ndeki düşey elemanların kesme kuvvetine katkısı %20'nin altında olmalıdır	%0	%0	%0	%0	%0	%0	%0	%0	%0	%0	%0	%0	%0
	En üst katta İleri Hasar Bölgesi'ndeki	%0	%0	%0	%0	%0	%0	%0	%0	%0	%0	%0	%0	%0

	düşey elemanların kesme kuvvetine katkısı %40'ın altında olmalıdır													
	Belirgin Hasar Sınırı aşılmış olan düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvveti oranı %30'u aşmamalıdır	%42 .1	% 33 .6	% 30. 8	%3 0.6	% 30 .8	%30 .8	%25 .5	%16 .8	%16 .8	%14 .2	%9, 7	% 4. 9	%4.8
	Diğer taşıyıcı elemanların tümü Sınırlı ya da Belirgin Hasar Bölgesi'nde olmalıdır	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
GÖ Performans Düzeyi	Herhangi bir katta kirişlerin en fazla %20'si Göçme Bölgesi'ne geçebilir	%0	% 0	% 0	%0	% 0	%0	%0	%0	%0	%0	%0	% 0	%0
	Diğer taşıyıcı elemanların tümü Sınırlı, Belirgin ya da İleri Hasar Bölgesi'nde olmalıdır	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Belirgin Hasar Sınırı aşılmış olan düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvveti oranı %30'u aşmamalıdır	%42 .1	% 33 .6	% 30. 8	%3 0.6	% 30 .8	%30 .8	%25 .5	%16 .8	%16 .8	%14 .2	%9, 7	% 4. 9	%4.8
	Bina performansı	G.D.	G .D	G. D.	G. D.	G. D.	G.D .	K.S.	K.S.	K.S.	K.S.	K.S.	K. S.	K.S.

4. Sonuçlar

Sonuç olarak, mevcut binaların deprem güvenliğinin doğru ve güvenilir biçimde belirlenebilmesi için TBDY 2018'in öngördüğü şekilde karot numune sonuçlarına dayalı olarak belirlenen beton dayanımlarının, yapı içindeki dağılımı dikkate alınarak değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Hasarsız test yöntemleriyle desteklenmiş değerlendirme süreçleri, dayanımı belirgin biçimde düşmüş bölgelerin daha net tespitine olanak sağlaması ve bu bölgelerin daha detaylı incelenmesi mümkün olacaktır. Bu doğrultuda, yapı genelini temsil eden daha kapsamlı analizlerin yapılması gerektiği ve yalnızca sınırlı sayıda karot numunesi ile elde edilen değerlere dayanarak karar verilmesinin yetersiz olabileceği düşünülmektedir. Karar verme sürecinde yapının göçme bölgesine geçtiği beton dayanımının analizler ile tespit edilmesi önem taşımaktadır. Yapıdan alınan numune değerleri yapının göçme bölgesi beton sınıfına yaklaşmış ve altında ise analizlerin senaryolaştırılıp yapılması büyük önem taşımaktadır. Aynı zamanda Karot numunesi alırken mühendislik tecrübesi, yapı geçmişi, yapıdaki düzensizlerin dikkate alınması, şantiye alışkanlıkları inşaat kültürü gibi bütüncül yaklaşımlar,

yapıların güçlendirme ihtiyaçlarının doğru şekilde belirlenmesi ve deprem güvenliğinin artırılması açısından kritik öneme sahiptir.

Kaynaklar

- Öztoprak, B., Sözen, Ş., & Çavuş, M. (2018). Bolu Bölgesindeki Hazır Beton Tesislerinin Durumu ve Beton Kalitesini Etkileyen Faktörler. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 7(3), 1-11.
- Biricik, A. S. (2001). Yeryuvarı'nda Doğal Olaylar Ve Afetler. *Marmara Coğrafya Dergisi*, (3), 7-26.
- Sofuoğlu, T., & Topçu, İ. B. (2015). ESKİŞEHİR'DE 2013 YILINDA FARKLI ŞANTİYELERDE DÖKÜLEN BETONLARIN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ. *Journal of Science and Technology of Dumlupınar University*, (035), 17-28.
- Özmen, H. B. (2011). Düşük ve orta yükseklikteki betonarme yapıların deprem performanslarını etkileyen faktörlerin irdelenmesi.
- Ergün, A., Kürklü, G., & Başaran, V. (2012). Mevcut betonarme binaların deprem güvenliğinin incelenmesi ve güçlendirilmesi çalışmaları için Afyonkarahisar'dan bir hastane örneği. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12(2), 1-11.
- Kap, T., Özgan, E., & Uzunoğlu, M. M. (2019). Betonarme bir okul binasının 2018 deprem yönetmeliğine göre incelenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(3), 1140-1150.
- Sallio, N. (2005). Mevcut yığma yapıların deprem bakımından incelenmesi ve güçlendirilmesi (Master's thesis, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Binici, H., ÇAĞATAY, İ. H., & KAPLAN, H. (2000). Experimental study on effect of various factors on compressive strength of concrete. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 6(3), 203-209.
- Topçu, İ. B., Akkan, E., & Aksu, M. (2021). ESKİŞEHİR KENTSEL DÖNÜŞÜM BETON DAYANIMLARININ İSTATİSTİKSEL ANALİZİ. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29(2), 202-209.
- Şengöz, A., & Sucuoğlu, H. (2009). 2007 Deprem Yönetmeliğinde Yer Alan "Mevcut Binaların Değerlendirilmesi" Yöntemlerinin Artıları ve Eksileri. *Teknik Dergi*, 20(96), 4609-4633.
- Demir, F., Korkmaz, K. A., Gençoğlu, M., & Tekeli, H. (2007). Beton Basınç Dayanımının Yapısal Davranışa Etkisi, *7. Ulusal Beton Kongresi*, 323-332.
- Samadoghli, E., Kamanlı, M., Cengiz, S., & Ünal, A. (2019). Karot Basınç Dayanımının Etkileyen Faktörlerin Araştırılması.

<http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/03/20180318M1-2.htm>



İstanbul'daki T1 Kabataş-Bağcılar Tramvay Hattının Etkinliğinin Değerlendirilmesi

Rouchdane Alassane ^{1,*}, Yaşar Vitoşoğlu ²

¹ Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kütahya

² Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kütahya

* Sorumlu yazar: rouchdane.alassane@ogr.dpu.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, öncelikle İstanbul'daki T1 Kabataş-Bağcılar tramvay hattı tanıtılarak toplu taşıma sisteminin önemli bir parçası olduğu vurgulanmıştır. Daha sonra, bu hattın hizmet kalitesi, kullanılabilirlik, konfor ve rahatlık gibi çeşitli parametreler açısından değerlendirilmiştir. Bu yüzden, öncelikle tramvay hattının kullanılabilirliği, günlük sunulan hizmet saati ve saatlik sefer sayısı bakımından incelenmiştir. İkinci olarak, hattın sunduğu konfor ve rahatlık ele alınmıştır. Bu amaçla, ilk olarak oturarak veya ayakta yolculuk yapma açısından sunulan hizmet düzeyini ortaya koymak için araçlardaki genel doluluk seviyeleri saptanmıştır. Daha sonra, sefer aralığına bağlılık hizmet düzeyi, T1 Kabataş-Bağcılar tramvay hattının sağladığı rahatlık ve kullanım kolaylığını değerlendirmek amacıyla belirlenmiştir. Son olarak, yolculuk süresi farkı kriterine göre hizmet düzeyini değerlendirmek için tramvay ile özel otomobil yolculuk süreleri arasındaki fark incelenmiştir. Bu analizleri gerçekleştirmek için, Toplu Taşıma İşbirlikçi Araştırma Programı Raporu 100'deki (TCRP Report 100) prosedürler takip edilmiştir. Bununla birlikte, tramvay yolculuk sürelerini özel otomobil yolculuk süreleriyle karşılaştırarak tramvay ve özel otomobil yolculuk sürelerinin farkı açısından hizmet düzeyinin belirlenmesi bu çalışmanın en kapsamlı kısmını oluşturmuştur. Bu amaçla, Google Haritalardaki "yol tarifleri" özelliğinden, özel otomobil kullanımına bir referans olması bakımından özel otomobil yolculuk sürelerinin saptanmasında yararlanılmıştır. Böylece, T1 Kabataş-Bağcılar tramvay hattında çeşitli seyahat başlangıcı ve sonu çiftleri arasındaki yolculuk süreleri, aynı başlangıç-son çiftleri için Google Haritalar tarafından belirlenen özel otomobil yolculuk süreleriyle karşılaştırılmıştır. Dolayısıyla, tramvay hattının hizmet düzeyi tramvay ve özel otomobil yolculuk süreleri arasındaki fark olarak değerlendirilmiştir. Son olarak, özel otomobil kullanımını azaltmayı ve tramvay kullanımını artırmayı amaçlayan bazı öneriler verilmiştir.

Anahtar kelimeler: Toplu Taşıma, T1 Kabataş-Bağcılar Tramvay Hattı, Hizmet Düzeyi, Google Maps

Evaluation of the Efficiency of the T1 Kabataş-Bağcılar Tram Line in Istanbul

Abstract

In this study, firstly, the T1 Kabataş-Bağcılar tram line in Istanbul is introduced and emphasized as an essential part of the public transportation system. Then, the service quality of this line is evaluated in terms of various parameters such as usability, comfort, and convenience. Therefore, the usability of the tram line is examined first in terms of daily service hours and hourly frequency. Secondly, the comfort and convenience offered by the line are addressed. For this purpose, firstly, the general occupancy levels in the vehicles are determined to reveal the service level provided in terms of sitting or standing. Then, the service level of headway adherence is defined to evaluate the comfort and usability provided by the T1 Kabataş-Bağcılar Tram Line. Finally, the difference between tram and private car travel times is

examined to assess the service level according to the travel time difference criterion. The procedures in the Public Transport Cooperative Research Program Report 100 (TCRP Report 100) were followed to perform these analyses. However, determining the service level in terms of the difference between tram and private car travel times by comparing tram travel times with private car travel times constitutes the most comprehensive part of this study. For this purpose, the “driving directions” feature in Google Maps was used to determine private car travel times as a reference for private car usage. Thus, the travel times between various origin and destination pairs on the T1 Kabataş-Bağcılar Tram Line were compared with the private car travel times determined by Google Maps for the same origin and destination pairs. Consequently, the service level of the tram line was evaluated in terms of the difference between tram and private car travel times. Finally, some suggestions were given to reduce the use of private cars and increase the use of trams.

Key words: Public Transport, T1 Kabataş-Bağcılar Tram Line, Level of Service, Google Maps

1. Giriş

Sanayi Devrimi, dünyada büyük bir üretim patlamasına yol açmıştır. Bu durum, hammaddelerin ve yarı mamullerin üretim merkezlerine taşınmasını, burada işlenip tüketime hazır hale getirilmesini ve ardından nihai ürünlerin farklı bölgelere ulaştırılmasını zorunlu kılmıştır. Bu süreç, ulaşım ihtiyacını önemli ölçüde artırmıştır. Yalnızca yük taşımacılığı değil, ekonomik gelişmeye paralel olarak yolcu taşımacılığı da büyük bir artış göstermiştir. Sonuç olarak, kara, deniz ve hava ulaşımında trafik yoğunluğu olağanüstü düzeyde artmıştır.

Sanayi Devrimi, şehirlerin büyümesine de neden olmuştur. Çeşitli ulaşım araçlarının icadı ve diğer teknolojik gelişmeler, bu büyümeyi hızlandıran önemli faktörler arasında yer almıştır. Şehirlerin genişlemesiyle birlikte, ulaşım ihtiyacı da ciddi şekilde artmıştır. Bu durum, pek çok şehirde trafik sıkışıklığı ve buna bağlı olumsuz etkilerin ortaya çıkmasına yol açmıştır. Bu sorunların üstesinden gelmek amacıyla şehirler, olumsuz yan etkileri en aza indiren, ekonomik sürdürülebilirliği gözetken ve yaşam kalitesini artıran intermodal ulaşım sistemlerini hayata geçirmeye çalışmaktadır. Şehir yönetimleri, dengeli bir ulaşım sistemine ulaşmada kentsel toplu taşımayı kilit bir unsur olarak görmektedir. Toplu taşıma, insanların günlük yaşamlarını kolaylaştıran ve temel ihtiyaçlarını karşılayan önemli bir araçtır. Bu sistemin merkezinde insan yer alır. Bu nedenle, toplu taşıma aracı tercihinde seyahat süresi, maliyet ve konfor gibi faktörler büyük önem taşımaktadır.

Özel araç kullanımının hızla artması, büyük şehirlerdeki toplu taşıma sistemlerinin atıl kalmasına ve bazı hatların tamamen kapanmasına neden olmuştur. Bu durumdan özellikle raylı sistemler ciddi şekilde etkilenmiştir. Yol ağlarının yetersizliğiyle birleşen araç sayısındaki hızlı artış, şehirlerde ciddi trafik sorunlarına yol açmıştır. Bu sorunlara çözüm bulmak amacıyla çeşitli çalışmalar ve projeler hayata geçirilmiştir.

1950'li yıllarda gerçekleştirilen ulaşım planlamalarında, demiryolu sistemlerinin iyileştirilmesine yönelik herhangi bir kayda değer çalışma yapılmamıştır. Bu dönemde ulaşım politikaları, büyük ölçüde trafik sıkışıklığı sorununa odaklanmış; çözüm olarak ise özel otomobillerin hareketliliğini artırmaya yönelik yeni otoyol projeleri hayata geçirilmiştir. Bu yaklaşım, toplu taşıma sistemlerine olan ilgiyi azaltmış ve özel araç kullanımının hızla yaygınlaşmasına neden olmuştur. Söz konusu anlayış, Colin Buchanan tarafından 1963 yılında yayımlanan rapora kadar etkisini sürdürmüştür (Buchanan, 1963). Bu raporla birlikte, özel araç kullanımının kent içi trafik problemlerini derinleştirdiği ilk kez açık

biçimde dile getirilmiştir. Raporda, kent içi ulaşım sorunlarının çözümünde toplu taşımanın vazgeçilmez bir unsur olduğu vurgulanmış ve bu doğrultuda toplu taşıma sistemleri yeniden gündeme taşınmıştır. Bu dönemde hazırlanan ulaşım planlarında, özel araç kullanımının sınırlandırılmasına yönelik politikalar benimsenmiş; hakkaniyet, çevresel sürdürülebilirlik, güvenlik ve konfor gibi kriterler çerçevesinde raylı sistemlere öncelik verilmiştir (Lawrence ve Pivo, 1997).

Ulaşım sistemleri, karar alma süreçlerinde yeterli özen gösterilmediğinde, temel amaçlarından saparak işlevselliklerini yitirebilmektedir. Bu nedenle, şehir plancıları yalnızca ulaşım ağlarını değil, aynı zamanda kentlerin mekânsal gelişimini ve büyüme dinamiklerini de eş zamanlı olarak değerlendirmek durumundadır. Bu bütüncül yaklaşım çerçevesinde, kullanıcı odaklı ve sürdürülebilir bir ulaşım sisteminin taşıması gereken başlıca özellikler aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Bireylerin bir noktadan başka bir noktaya ulaşımı sırasında yüksek düzeyde güvenlik sağlamalıdır.
- Zaman ve maliyet açısından verimliliği esas alarak minimum sürede ve en düşük maliyetle ulaşım imkânı sunmalıdır.
- Kullanıcı konforunu en üst düzeyde tutacak şekilde tasarlanmalıdır (Vuchic, 2007).

Ulaştırma yatırımları, yüksek maliyetli olmalarının yanı sıra, uzun vadeli ve yapısal etkiler doğuran nitelikleriyle öne çıkmaktadır. Bu nedenle, söz konusu projelerin planlanmasında önceliklerin doğru şekilde belirlenmesi ve mevcut ekonomik kaynakların etkin biçimde kullanılması büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, ulaştırma sistemlerinin yalnızca fiziksel altyapı boyutuyla değil, aynı zamanda arazi kullanım kararlarıyla olan karşılıklı etkileşimi dikkate alınarak bütüncül bir yaklaşımla planlanması gerekmektedir (De Corla-Souza vd., 1997).

Ulaştırma yatırımları; trafik tıkanıklığı, hava kirliliği, gürültü, arazi kullanımı, ekonomik maliyetler, enerji tüketimi ve güvenlik gibi çok boyutlu kriterler çerçevesinde değerlendirilmelidir. Benzer şekilde, hangi toplu taşıma sisteminin tercih edileceğine karar verilirken; taşınan yolcu sayıları, sistem kapasiteleri, sefer sıklıkları ve yolcu hacimleri gibi parametreler dikkate alınmalıdır. Bu tür değişkenler şehirler arasında farklılık göstermekle birlikte, tercih edilen ulaşım sisteminin temel özellikleri arasında güvenlik, hız, uygun maliyet, dakiklık ve yüksek sefer sıklığı yer almalıdır (Murat ve Uludağ, 2008). Dolayısıyla, herhangi bir şehir ya da bölge için ulaşım sisteminin seçimi yapılırken; bölgenin topografik, jeolojik, iklimsel ve sosyoekonomik yapısı ile mevcut ulaşım altyapısının kalitesi ve verimliliği gibi çeşitli yerel koşulların ayrıntılı biçimde analiz edilmesi gerekmektedir (Sallis vd., 2004).

Toplu taşımada hizmet kalitesinin değerlendirilmesi ve sürekli iyileştirilmesi, toplu taşıma işletmecileri açısından öncelikli hedefler arasında yer almaktadır. Hizmet sektörü bileşenlerinden biri olan toplu taşıma sistemlerinin kalite düzeyinin düzenli aralıklarla ölçülmesi ve kullanıcı geri bildirimleriyle bu düzeyin denetlenmesi, uzun vadede kullanıcı memnuniyetini, güvenini ve bağlılığını artırma potansiyeline sahiptir. Öte yandan, kentsel alanlarda sunulan toplu taşıma hizmetleri çoğu zaman tekel niteliği taşımakta olup, özellikle düşük gelir gruplarına mensup bireyler açısından, hizmetin kalitesinden bağımsız olarak bu sistemleri kullanmak zorunlu bir hâl almaktadır. Ancak, özellikle büyükşehirlerde giderek ağırlaşan trafik sıkışıklığı karşısında, bireysel araç kullanıcılarını toplu taşımaya yönlendirecek stratejik önlemlerin alınması kaçınılmaz hâle gelmiştir. Nitekim bu kentlerde, toplu taşıma sistemleri arasında (örneğin otobüs, minibüs, taksi dolmuş ve İstanbul ile İzmir gibi şehirlerde deniz ulaşımı) rekabetin mevcut olduğu da görülmektedir. Bu bağlamda, her toplu taşıma türünün sunduğu hizmetin kalitesini düzenli olarak ölçmesi, elde edilen veriler doğrultusunda

hizmet düzeyini değerlendirmesi ve gerekli hâllerde iyileştirme çalışmalarına gitmesi, sürdürülebilir ve kullanıcı odaklı bir ulaşım sistemi inşa etmek açısından kritik öneme sahiptir.

Toplu taşımada hizmet kalitesi, yolcuların sunulan hizmetin performansına ilişkin algılarını yansıtan temel bir göstergedir. Bu kalite düzeyinin tanımlanması ve değerlendirilmesi amacıyla literatürde çeşitli yaklaşım ve teknikler geliştirilmiştir. Söz konusu yöntemler genel olarak üç ana başlık altında sınıflandırılabilir:

- **Müşteri Memnuniyeti:** Toplu taşımada müşteri memnuniyeti, bireylerin beklentilerinin ne ölçüde karşılandığını değerlendiren bir ölçüttür. Genellikle, gerçek hizmet deneyiminin bireyin önceden belirlenmiş beklentileriyle örtüşme oranı şeklinde tanımlanır ve karşılanan müşteri beklentilerinin yüzdesi üzerinden nicel olarak ifade edilir.
- **Müşteri Sadakati:** Müşteri sadakati; tutumsal ve davranışsal boyutların birleşimiyle tanımlanır ve çoğunlukla müşteri memnuniyetinin sürekliliğine bağlı olarak gelişir. Bununla birlikte, toplu taşıma hizmetiyle sürdürülen uzun vadeli ilişki, yalnızca memnuniyete değil, aynı zamanda kullanıcının hizmet sağlayıcısına duyduğu bağlılığa ve yatırım yapma eğilimine de dayanmaktadır.
- **Kıyaslama:** Hizmet kalitesini değerlendirmek amacıyla farklı zaman dilimlerinde gerçekleştirilen karşılaştırmalar (zaman serisi analizi) ya da farklı güzergâhlar veya toplu taşıma işletmecileri arasında yapılan eş zamanlı karşılaştırmalar (kesit analizi) yaygın olarak kullanılmaktadır (Tyrinopoulos ve Antoniou, 2008).

Yukarıda belirtilen hizmet kalitesi yaklaşımları, başta Avrupa Birliği (AB) ülkeleri ve Kuzey Amerika olmak üzere çeşitli ülkelerde farklı öncelik dereceleriyle ele alınmıştır. Toplu taşıma hizmet kalitesinin değerlendirilmesi ve iyileştirilmesine yönelik olarak geliştirilmiş birtakım rehber belgeler, bu alandaki standartlaşma çabalarının somut örnekleri arasında yer almaktadır. Bu kapsamda; Ulaştırma Araştırma Kurulu (Transportation Research Board - TRB) tarafından yayımlanan **Toplu Taşıma Kapasite ve Hizmet Kalitesi El Kitabı** (Transportation Research Board - TRB, 2003) ile **Müşteri Memnuniyetini ve Hizmet Kalitesini Ölçme El Kitabı** (Transportation Research Board - TRB, 1999), Kuzey Amerika'daki örneklerin başında gelmektedir. Ayrıca, Avrupa Standardizasyon Komitesi (European Committee for Standardization - CEN) tarafından hazırlanan **Toplu Yolcu Taşımacılığı: Hizmet Kalitesinin Tanımı, Hedeflenmesi ve Ölçümü Rehberi**, bu alanda Avrupa Kıtası'ndaki başlıca kaynaklardan biridir (European Committee for Standardization - CEN, 2002).

Toplu taşıma hizmet kalitesinin artırılmasına yönelik bu kapsamlı süreç; öncelikle kullanıcıların beklenti ve ihtiyaçlarının sistematik biçimde belirlenmesini, ardından memnuniyet düzeylerinin uygun göstergeler aracılığıyla ölçülmesini içermektedir. Elde edilen geri bildirimlerin hizmete ilişkin parametrelerin değerlendirilmesinde kullanılması ve son aşamada, bu bilgiler doğrultusunda hizmet kalitesini iyileştirmeye yönelik somut önlemlerin tanımlanması ve uygulamaya konulması, sürecin temel adımlarını oluşturmaktadır.

Toplu Taşıma Kapasite ve Hizmet Kalitesi El Kitabı kullanılarak Kütahya'daki toplu taşıma sisteminin hizmet kalitesini değerlendirmek için kapsamlı bir çalışma yapılmıştır (Yaliniz vd., 2011). Yine aynı yazarlar tarafından Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Evliya Çelebi Yerleşkesi'ne gelen toplu taşıma araçlarının hizmet düzeyleri TCRP 100 ve TCRP 165 Raporları'na göre değerlendirilmiştir (Yaliniz vd., 2020).

Bu çalışmada, İstanbul'daki T1 Kabataş-Bağcılar tramvay hattının hizmet kalitesi, kullanılabilirlik, konfor ve rahatlık gibi çeşitli yönlerden değerlendirilmiştir. Bu amaçla, öncelikle tramvay hattının kullanılabilirliği, günlük hizmet saati ve saatlik sefer sayısı açısından incelenmiştir. İkinci olarak, T1

Kabataş-Bağcılar tramvay hattının sağladığı konfor ve rahatlık ele alınmıştır. Bu nedenle, araçlar içindeki genel doluluk seviyeleri, sefer aralığına bağlılık ve tramvay ile özel otomobil seyahat süreleri arasındaki fark (her iki ulaşım türü için yürüme ve bekleme süreleri dahil olmak üzere otomobil ve tramvay seyahat süreleri arasındaki kapıdan kapıya fark) dikkate alınmıştır. Bu analizlerin çoğunu gerçekleştirmek için, Transit Kooperatif Araştırma Programı (TCRP) Raporu 100'deki prosedürler takip edilmiştir (Transportation Research Board - TRB, 2003). Ancak, tramvay seyahat sürelerinin otomobil seyahat süreleriyle karşılaştırılması yoluyla tramvay ile özel otomobil seyahat süreleri arasındaki fark açısından tramvay hattının hizmet düzeyinin belirlenmesi bu çalışmanın esasını oluşturmuştur. Bu amacı gerçekleştirmek için, Google Haritalar'daki "sürüş talimatları" özelliği, otomobil kullanımına referans olması açısından kullanılmıştır. Böylece, T1 Kabataş-Bağcılar tramvay hattındaki seyahat süreleri, aynı güzergâhlar için Google Haritalar tarafından belirlenen özel otomobil seyahat süreleriyle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, tramvay hattının hizmet düzeyi tramvay ve özel otomobil seyahat süreleri arasındaki fark açısından değerlendirilmiştir.

2. İstanbul'daki Mevcut Toplu Taşıma Sistemi ve Güncel Sorunları

Avrupa ve Asya kıtaları arasında tarihi bir kavşak noktası olan İstanbul şehri, 18 milyonu aşkın nüfusuyla dünyanın en dinamik ve kalabalık metropollerinden biridir. Bu stratejik konum, hızlı kentsel büyümeyle birleşince kentsel hareketlilikte önemli zorluklar ortaya çıkmaktadır. Toplu taşıma, yalnızca kent sakinlerinin günlük ihtiyaçlarını karşılamada değil, aynı zamanda trafik sıkışıklığından kaynaklanan çevresel ve sosyal etkilerin azaltılmasında da önemli bir rol oynamaktadır.

Metro, otobüs, tramvay, vapur ve Marmaray gibi çok çeşitli sistemleri içeren İstanbul'un toplu ulaşım ağı, kentsel hareketliliğin omurgasını oluşturmaktadır. Ancak, bu ağ modernleştirme ve genişletme yönündeki kayda değer çabalara rağmen, talep çoğu zaman mevcut kapasiteyi aşmakta ve bu altyapının verimliliği, erişilebilirliği ve sürdürülebilirliği hakkında soru işaretleri yaratmaktadır. İstanbul'daki toplu taşıma sistemi, geniş ve çok türlü yapısına rağmen, çeşitli yapısal ve operasyonel sorunlarla karşı karşıyadır. Bu sorunlar kullanıcı deneyimini olumsuz etkilemekte ve sistemin sürdürülebilirliğini tehdit etmektedir.

Metrobüs, metro ve otobüs hatlarında özellikle sabah ve akşam saatlerinde ciddi yoğunluk vardır. Bu durum, yolcuların konforunu azaltmakta ve seyahat sürelerini uzatmaktadır. Özellikle yeni yerleşim alanlarında otobüs seferlerinin yetersiz kalması, ulaşımında aksaklıklara sebep olmaktadır. Ayrıca, toplu taşıma sistemlerinde yaşanan teknik arızalar ve bakım eksiklikleri, hizmette kesintilere yol açmaktadır. Bazı bölgelerde toplu taşıma hatlarının yetersizliği ve mevcut hatların entegrasyon eksiklikleri, yolcuların seyahatlerini zorlaştırmaktadır. Bundan başka, dil bariyerleri ve yetersiz yönlendirme tabelaları, özellikle yabancı turistler için sorun teşkil etmektedir.

İstanbul gibi bir metropolde toplu taşımanın önemi pratik hususların çok ötesine geçmekte ve sakinlerin yaşam kalitesini, ekonomik kalkınmayı ve çevresel sürdürülebilirliği doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle bu konu, kapsayıcı ve sürdürülebilir hareketlilik için yenilikçi çözümler keşfetmek isteyen karar vericilerin, şehir plancılarının ve araştırmacıların özellikle ilgisini çekmektedir.

Bu altyapılar arasında tramvay, şehrin farklı bölgelerini birbirine bağlayan hızlı, güvenilir ve erişilebilir bir ulaşım aracı olarak stratejik bir yer tutmaktadır. Şehrin işlek bölgelerini birbirine bağlayan tramvay hatları bu bölgelerin ve hatta tüm kent sakinlerinin çoğunun günlük yaşamlarında önemli bir rol oynamaktadır.

İstanbul'un toplu taşıma sistemindeki bu sorunlar hem günlük yaşamı olumsuz etkilemekte hem de uzun vadeli şehir planlaması açısından ciddi bir meydan okuma oluşturmaktadır. Bu sorunların çözümü için altyapı yatırımlarının artırılması, bakım ve onarım süreçlerinin iyileştirilmesi, personel ve ödeme sistemlerinin düzenlenmesi, trafik yönetiminin etkinleştirilmesi ve toplu taşıma hatlarının entegrasyonunun sağlanması gerekmektedir.

3. İstanbul'daki Tramvay Sisteminin Kısa Tarihi ve Gelişimi

İstanbul'da toplu taşımacılık tarihinde önemli bir yere sahip olan atlı tramvay sistemi, 1871 yılında hizmete girmiş ve 1912 yılına kadar faaliyet göstermiştir. Bu tarihten itibaren elektrikli tramvaylar devreye alınmış ve 1966 yılına kadar kent içi ulaşımın temel taşı haline gelmiştir. Özellikle 1956 yılında, 56 hat üzerinde sunulan 270 seferle toplamda 108 milyon yolcu taşınarak sistem zirve noktasına ulaşmıştır.

1950'li yıllarda, şehirde otomobil trafiğinin hızla artması ve tramvaya uygun dar sokakların kapasite sınırlarına ulaşması, mevcut ulaşım altyapısının yetersiz kalmasına yol açmıştır. Artan göçler ve kentsel büyüme nedeniyle İstanbul'un yeniden imarı kaçınılmaz hale geldiğinden birçok ana arter genişletilmiştir. 1914 Yılından beri kullanılan elektrikli tramvayların 1960'larda trolleybüslerle değiştirilmesi yönünde karar alınmıştır. Bu doğrultuda tramvay hattı 1960'ların ortalarında tamamen kapatılmış, yerine geçen trolleybüs hizmeti ise 23 yıl boyunca sürdürülmüştür.

Uzun bir aradan sonra İstanbul, 1990 yılında Avrupa Yakası'nda yeni bir tramvay hattını pilot uygulama olarak devreye sokmuştur. Bu gelişmeyi takiben, 2003 yılında Asya Yakası'nda da yeni bir tramvay hattı hizmete açılmıştır.

İstanbul'da günümüzde faal olan tramvay hatları, 1990 sonrası dönemde hizmete alınan modern ve nostaljik sistemlerden oluşmaktadır. Avrupa Yakası'nda çalışan T1 (Kabataş - Bağcılar), T2 (Taksim - Tünel), T4 (Topkapı - Mescit-i Selam) ve T5 (Eminönü - Alibeyköy Cep Otogarı) hatlarının yanı sıra, Asya Yakası'nda bulunan T3 (Kadıköy - Moda) hattı da sistemin bir parçasıdır. T2 ve T3 hatları, geçmişte hizmet veren hatların tekrar canlandırılmasıyla kurulduğundan dolayı nostaljik tramvaylar olarak tanınmaktadır. Buna karşın, T1, T4 ve T5 hatları çağdaş tramvay teknolojisiyle inşa edilmiş olup modern hatlar kategorisine girmektedir (https://en.wikipedia.org/wiki/Trams_in_Istanbul).

Daha önce de değinildiği gibi, İstanbul'da tramvay seferleri, 1966 yılında sonlandırılmıştır. Ancak bu durum 24 yıl sonra, 1990'da Avrupa Yakası'nda hizmete giren T2 (Taksim - Tünel) Nostaljik Tramvay Hattı ile değişmiş ve tramvay sistemi şehre geri dönmüştür. Bu gelişmeyi takiben, 1992'de T1 (Kabataş - Bağcılar) Modern Tramvay Hattı, 2003'te Kadıköy - Moda arasında çalışan T3 Nostaljik Ring Hattı, 2007'de T4 (Topkapı - Mescit-i Selam) ve 2021'de T5 (Eminönü - Alibeyköy Cep Otogarı) hizmete girerek şehrin tramvay ağını şekillendirmiştir.

T1 hattı, 1992'de ilk olarak Aksaray - Beyazıt arasında yolcu taşımaya başlamış ve zamanla çeşitli etaplarla uzatılmıştır. Bu etaplar, Beyazıt - Sirkeci, Aksaray - Topkapı, Topkapı - Zeytinburnu, Sirkeci - Eminönü, Eminönü - Fındıklı ve son olarak Fındıklı - Kabataş bağlantılarından oluşmaktadır. 2006'da hizmete giren Zeytinburnu - Bağcılar arasındaki T2 hattı, 2011 yılında T1 ile birleştirilmiş ve bugünkü Kabataş - Bağcılar güzergâhı oluşmuştur. T4 hattı ise, ilk olarak 2007'de Şehitlik - Mescit-i Selam arasında faaliyete geçmiş ve 2009'da Şehitlik - Topkapı kesiminin devreye girmesiyle tam hattın işletimi

Topkapı'dan başlamıştır. T5 hattı ise Türkiye'nin katenersiz sistemle çalışan ilk tramvayı olarak 2021'de Cibali - Alibeyköy Cep Otogarı arasında devreye girmiştir. 2023'te Cibali - Eminönü hattının tamamlanmasıyla bugünkü Eminönü - Alibeyköy güzergâhına ulaşmıştır. Yapılan son uzatmalarla birlikte toplam hat uzunluğu 44,7 kilometreye (27,8 mil) ulaşmıştır.

Çalışmaya konu olan T1 Kabataş-Bağcılar Tramvay Hattı Kabataş bölgesinde, M2 Yenikapı-Haciosman Metro Hattı ve F1 Taksim-Kabataş Füniküler Hattı ile entegre bir ulaşım ağı oluşturmuştur. Bu bağlantılar sayesinde 4. Levent gibi iş merkezlerine ve Atatürk Havalimanı gibi önemli ulaşım noktalarına doğrudan erişim sağlanmıştır. T1 Kabataş-Bağcılar Tramvay Hattı'nın teknik özellikleri ise aşağıdaki gibidir:

- Toplam uzunluk: 19,3 kilometre
- İstasyon sayısı: 31
- Toplam araç sayısı: 92
- Hat üzerindeki tam yolculuk süresi: Yaklaşık 65 dakika
- Günlük sefer sayısı (tek yön): 295
- Günlük yolcu taşıma kapasitesi: 370.000
- Sefer aralığı: Yoğun saatlerde 2 dakika
- Hizmet saatleri: 06:00 - 23:59.

T1 Kabataş-Bağcılar Tramvay Hattı boyunca yer alan tüm istasyonlar alçak tabanlı araçlara uygun şekilde inşa edilmiş ve engelli bireylerin erişimini kolaylaştıracak rampalarla donatılmıştır. Topkapı İstasyonuna ise Topkapı alt geçidinde yer aldığı için sadece asansör aracılığıyla erişilebilmektedir.

T1 hattı, güzergahı boyunca çok sayıda toplu taşıma aracıyla kesişmekte olup, şehir içi ulaşımında önemli bir omurga işlevi görmektedir. Hat üzerindeki entegrasyon noktaları ise aşağıdaki gibidir:

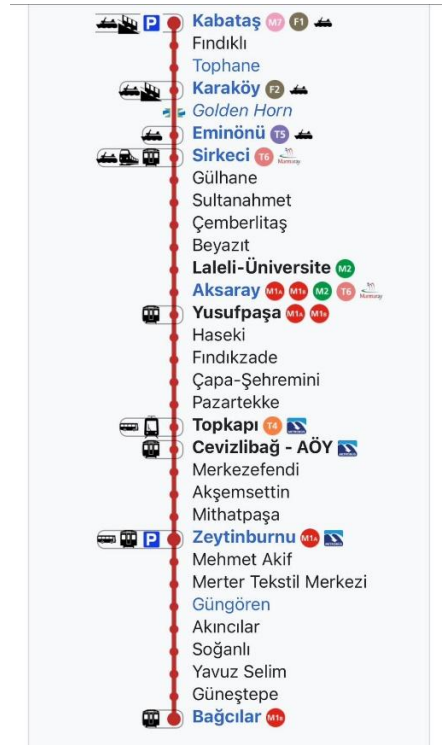
- Bağcılar: M1B Yenikapı - Kirazlı Metro Hattı
- Zeytinburnu: M1A Yenikapı - Atatürk Havalimanı Metro Hattı ve Metrobüs
- Cevizlibağ - Atatürk Öğrenci Yurdu: Metrobüs bağlantısı
- Topkapı: T4 Topkapı - Mescid-i Selam Tramvay Hattı
- Yusufpaşa: M1A ve M1B Metro Hatları
- Aksaray: M2 Metro Hattı ve Marmaray
- Laleli - İstanbul Üniversitesi: M2 Metro Hattı
- Sirkeci: T6 Tramvay Hattı ve Marmaray bağlantısı
- Eminönü: T5 Tramvay Hattı ve deniz taşımacılığı
- Karaköy: F2 Karaköy-Beyoğlu Tünel Hattı ve deniz motorları
- Kabataş: F1 Füniküler, şehir hatları vapurları, İDO ve motor seferleri.

T1 Kabataş-Bağcılar Tramvay Hattı'nın istasyonları ve bir fotoğrafı sırasıyla Şekil 1'de ve Şekil 2'de verilmektedir.

4. T1 Kabataş-Bağcılar Tramvay Hattının Etkinliğinin Değerlendirilmesi

Daha önce de belirttiğimiz gibi T1 Kabataş-Bağcılar Tramvay Hattının hizmet kalitesi, hattın kullanılabilirliği, konforu ve rahatlığı gibi çeşitli açılardan değerlendirilmiştir. Bu amaçla öncelikle tramvay hattının kullanılabilirliği sefer saatleri, sefer sıklığı ve hizmet kapsamı açısından incelenmiştir.

Daha sonra hattın sağladığı konfor ve rahatlık ele alınmıştır. Bu nedenle, tramvay araçları içindeki genel doluluk seviyeleri, sefer aralığına bağlılık ve tramvay-otomobil seyahat süresi farkı (her iki ulaşım türü için yürüme ve bekleme süreleri dahil olmak üzere kapıdan kapıya otomobil ve tramvay seyahat süreleri arasındaki fark) dikkate alınmıştır. Bu analizlerin çoğunu yürütmek için Toplu Taşıma İşbirlikçi Araştırma Programı Raporu 100'deki (TCRP Report 100) prosedürler takip edilmiştir (Transportation Research Board - TRB, 2003).



Şekil 1. T1 Kabataş-Bağcılar Tramvay Hattı'nın istasyonları



Şekil 2. T1 Kabataş-Bağcılar Tramvay Hattı'nın bir fotoğrafı

4.1. T1 Kabataş-Bağcılar Tramvay Hattının Kullanılabilirliğinin Değerlendirilmesi

T1 Kabataş-Bağcılar Tramvay Hattının kullanılabilirliğini değerlendirmek amacıyla, hattın sefer aralığı ve servis saati dikkate alınmıştır. Bununla birlikte, tramvay hattının şehrin tamamı için hizmet kapsamı açısından kullanılabilirliği değerlendirilmemiştir. Bunun nedeni, İstanbul şehrinin çok büyük olması ve tek bir tramvay hattının bu büyük şehrin sadece çok küçük bir bölümüne hizmet sunacak olmasıdır. Sonuç olarak, TCRP Raporu 100'de açıklanan prosedüre göre, öncelikle T1 Kabataş-Bağcılar Tramvay Hattı için servis saati hizmet düzeyi belirlenmiştir. Servis saatini hesaplamak için, son seferin hareket saati ilk seferin hareket saatinden çıkarılmış ve bu çıkarıma 1 saat eklenmiştir. Bu ek saat, hizmetin sağlandığı son saati kapsamaktadır. Daha sonra, kesirli saatler aşağı yuvarlanmış ve bulunan sonuç Tablo 1'e (Transportation Research Board - TRB, 2003) göre hizmet düzeyini belirlemede kullanılmıştır. Servis saati hizmet düzeyi (Tablo 1), yalnızca hizmetin esasen en az saatte bir sıklıkta (yani, sefer sıklığı hizmet düzeyinin "E" veya daha iyisi) sunulduğu saatlere dayanmaktadır.

T1 Kabataş-Bağcılar Tramvay Hattı sabah 06:00'dan gece yarısı 23:59'a kadar hizmet vermektedir. Bu nedenle hizmet süresi 18 saat olup TCRP Raporu 100'de açıklanan prosedüre göre ve Tablo 1'e göre eşdeğer hizmet seviyesi B'dir. B hizmet düzeyine ilişkin yorum şu şekildedir: "Akşam geç saatlere kadar hizmet verilmektedir."

Tablo 1. TCRP Raporu 100'e göre gün içerisinde sunulan toplam hizmet saati değerlendirmesi

Servis Seviyesi	Servis Saatleri	Yorum
A	(19-24)	Gece saatlerinde de hizmet sunulmaktadır.
B	(17-18)	Akşam geç saatlere kadar hizmet sunulmaktadır.
C	(14-16)	Akşam erken saatlerde hizmet sona ermektedir.

D	(12-13)	Sadece gündüz saatlerinde hizmet sunulmaktadır.
E	(4-11)	Sadece zirve saatlerde veya sınırlı öğlen hizmeti verilmektedir.
F	(0-3)	Çok sınırlı hizmet sunulmaktadır veya hizmet yoktur.

İkinci olarak, T1 Kabataş-Bağcılar Tramvay Hattının kullanılabilirliğini değerlendirmek amacıyla servis sıklığı veya sefer aralığı hizmet düzeyi belirlenmiştir. TCRP Raporu 100'de açıklanan prosedür tekrar kullanılmıştır. Bilindiği üzere, servis sıklığı bir kullanıcının saatte kaç defa toplu taşıma aracına erişebildiğini belirler. Servis sıklığı ayrıca, toplu taşıma hizmetinin tercih hakkı olan yolcular için rahatlığını ölçer ve toplam toplu taşıma seyahat süresinin bir bileşenidir. Ancak, kullanılan servis ölçüsü genellikle ortalama servis sıklığının tersi olan ortalama sefer aralığıdır. Bu yüzden, TCRP Raporu 100'den alınan Tablo 2, hem aralık hem de sıklık bazında servis sıklığı hizmet düzeylerini listelemektedir. Bu analizi gerçekleştirmek amacıyla, T1 Kabataş-Bağcılar Tramvay Hattının ortalama sefer aralığı belirlendikten sonra, Tablo 2 kullanılarak hattın servis sıklığı hizmet düzeyi belirlenmiştir.

T1 tramvay hattının sefer aralığı 2 dakika olup servis sıklığı da saatte 30 tramvaydır. Dolayısıyla hattın sefer aralığı 10 dakikadan az olduğundan servis sıklığı hizmet düzeyi A'dır. Bu hizmet düzeyine ilişkin yorum şu şekildedir: "Yolcular tarifeye ihtiyaç duymaz."

Tablo 2. TCRP Raporu 100'e göre saatlik sefer sayısı hizmet düzeyi değerlendirmesi

Servis Seviyesi	Sefer Aralığı	Araç/Saat	Yorum
A	< 10	> 6	Yolcuların tarifeye ihtiyacı yoktur.
B	(10-14)	5-6	Sık servis vardır, yolcular tarifeye bakar.
C	(15-20)	3-4	Eğer otobüs/tren kaçırılsa maksimum kabul edilebilir bekleme zamanı sunar.
D	(21-30)	2	Tercih hakkı olan yolcular için servis çekici değildir.
E	(31-60)	1	Bir saat boyunca tek bir servis vardır.
F	> 60	< 1	Servis bütün yolcular için çekici değildir.

4.2 T1 Kabataş-Bağcılar Tramvay Hattının Sunduğu Konfor ve Kolaylığın Değerlendirilmesi

T1 Kabataş-Bağcılar Tramvay Hattının sağladığı konfor ve kolaylığı değerlendirmek için araçlardaki genel doluluk seviyeleri ve sefer aralığı uyumunun yanında tramvay ve otomobil ile yolculuk sürelerinin farkı dikkate alınmıştır. Bu amaçla, öncelikle araçlardaki genel doluluk seviyeleri yoğun ve yoğun olmayan saatlerde gözlenmiş ve yolcu yükü hizmet düzeyi, yolcu yükleri için hizmet düzeyi eşiklerini veren Tablo 3'teki değerler dikkate alınarak kabaca belirlenmiştir. Tablo 3 de ayrıca TCRP Raporu 100'den alınmıştır. Bu gözlem ve analizlerden, yolcuların günün saatine ve hattın kesimine bağlı olarak çok çeşitli yolcu yükü hizmet düzeylerini deneyimlediği gözlemlenmiştir.

T1 tramvay hattında Alstom Firmasının ürettiği tramvaylar kullanılmakta olup bu tramvaylar 60 koltuğa ve ayakta yolculuk yapanlarda dahil olmak üzere 270 kişilik kapasiteye sahiptir. T1 hattında işleyen tramvaylarda yoğun saatlerde ve hattın bazı kesimlerinde metrekare başına düşen ayakta yolcu sayısının yaklaşık 4 ila 5 kişi olduğu gözlemlenmiştir. Dolayısıyla, ayakta yolculuk yapanlar göz önüne alındığında servis seviyesi E'dir. Bu hizmet düzeyine ilişkin yorum şu şekildedir: "Tasarlanabilecek maksimum tarife yolcu yüküdür.". Hatta bazen F hizmet düzeyi bile bu yoğun saatlerde ve bazı kesimlerde söz konusu olabilmektedir. Yoğun olmayan saatlerde ise hattın çoğu kesimlerinde E'den daha iyi hizmet düzeyleri (C ve D) gözlemlenebilmektedir. Gecenin ilerleyen saatlerinde de hattın bazı kesimlerinde daha da iyi hizmet düzeylerinin (A ve B) tecrübe edilmesi mümkündür.

Tablo 3. TCRP Rapor 100'e göre yolculuk sırasında oturma veya ayakta durma durumu için hizmet düzeyleri

Yolculuk Sırasında Oturma veya Ayakta Durma Durumu			
Servis Seviyesi	(yolcu/koltuk)	m ² /yolcu	Yorum
A	0,00-0,50	> 1,00+	Hiçbir yolcunun diğerinin yanına oturmasına gerek yoktur.
B	0,51-0,75	0,76-1,00+	Yolcular nereye oturacağını seçebilir.
C	0,76-1,00	0,51-0,75+	Bütün yolcular oturabilir.
D	1,01-1,25	0,36-0,50	Tasarımda dikkate alınabilecek konforlu ayakta yolculuk yüküdür.
E	1,26-1,50	0,20-0,35	Tasarlanabilecek maksimum tarife yolcu yüküdür.
F	> 1,50	< 0,20	Sıkışık (tasarımın üzerinde) yükleme olduğu düşünülür.

Daha sonra, T1 Kabataş-Bağcılar Tramvay Hattının sağladığı konfor ve rahatlığı değerlendirmek için sefer aralığına uyum hizmet düzeyi belirlenmiştir. Bilindiği üzere, 10 dakika veya daha az sefer aralıklarında çalışan toplu taşıma hizmeti için, güvenilirliği belirlemek için sefer aralığı uyumu kullanılmaktadır. T1 tramvay hattının sefer aralığı da 2 dakika olduğu için güvenilirlik bu yolla belirlenmiştir. Bu amaçla, TCRP Raporu 100'de açıklanan prosedür tekrar kullanılmıştır. Bu prosedürde, bir durağa gelen ve belli bir güzergâhta servis sunan toplu taşıma araçlarının sefer aralıkları, tek tek kayıt altına alınarak sefer aralıklarının varyasyon katsayıları ve toplu taşıma araçlarının sefer aralıklarının planlanan sefer aralıklarının yarısından daha fazla sapması olasılıkları belirlenmektedir.

Bir durağa ulaşan ve belirli bir güzergâhta servis sunan toplu taşıma araçlarının sefer aralıklarının varyasyon katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$c_{vh} = \frac{\text{sefer aralıklarının sapmasının standart sapması}}{\text{ortalama tarifelenmiş sefer aralıkları}} \quad - \quad (1)$$

Bu denklemde c_{vh} , sefer aralıklarının varyasyon katsayısıdır. Burada, sefer aralığı sapmaları, tarifelenmiş sefer aralıklarının gerçek sefer aralıklarından çıkartılması suretiyle hesaplanmaktadır. TCRP Raporu 100'den alınan Tablo 4'te gösterildiği gibi, sefer aralıklarının varyasyon katsayısı, belirli bir toplu taşıma aracının sefer aralığının tarifelenmiş sefer aralığının (h) yarısından daha fazla sapması olasılığı (P) ile ilişkilendirilebilir. Bu olasılık, Z 'nin sağında, normal dağılım eğrisinin bir kuyruğu üzerindeki alanın iki katı ile ölçülmektedir. Burada, Z , 0,5'in c_{vh} ile bölünmesiyle elde edilir. Tablo 4'te, TCRP Raporu 100'e göre, sefer aralıklarının varyasyon katsayıları ve toplu taşıma araçlarının sefer aralıklarının tarifelenmiş sefer aralıklarının yarısından daha fazla sapması olasılıkları gösterilmektedir.

Tablo 4. TCRP Raporu 100'e göre sabit güzergâhlı toplu taşıma sistemleri için sefer aralığı uyumu hizmet düzeyi değerleri

Servis Seviyesi	c_{vh}	$P(h_i > 0,5h)$	Yorum (Araçların Zamanlaması)
A	0,00-0,21	$\leq 1 \%$	Hizmet saat gibi çok dakiktir.
B	0,22-0,30	$\leq 10 \%$	Araçların sefer aralıkları biraz sapar.
C	0,31-0,39	$\leq 20 \%$	Araçların sefer aralıkları oldukça sık sapar.
D	0,40-0,52	$\leq 33 \%$	Düzensiz sefer aralıkları yüzünden bazen araç kümelenmeleri olabilir.
E	0,53-0,74	$\leq 50 \%$	Sık sık araç kümelenmeleri meydana gelebilir.
F	$\geq 0,75$	$> 50 \%$	Araçların çoğunda kümelenmeler meydana gelir.

Yapılan hesaplamalar sonucunda T1 Kabataş-Bağcılar Tramvay Hattının sefer aralıklarının varyasyon katsayısı (c_{vh}) 0,77 olarak elde edilmiştir. Yukarıdaki Tablo 4'ten değerin F hizmet düzeyine denk geldiği görülmektedir. Bu hizmet düzeyine ilişkin yorum şu şekildedir: "Araçların çoğunda kümelenmeler meydana gelir."

Potansiyel bir toplu taşıma kullanıcısının toplu taşımayı düzenli olarak kullanma kararındaki en önemli faktörlerden biri, yolculuğun otomobile kıyasla ne kadar daha uzun süreceğidir. Bunu analiz etmek için kullanılan hizmet düzeyi ölçüsü toplu taşıma ile otomobil seyahat sürelerinin farkıdır. Yani, her iki ulaşım türü için de yürüme, bekleme ve varsa aktarma süreleri dahil olmak üzere kapıdan kapıya otomobil ve toplu taşıma seyahat süreleri arasındaki farktır. Diğer bir deyişle, toplu taşıma ile bir yolculuğun otomobille kıyaslandığında ne kadar daha uzun veya daha kısa süreceğinin bir ölçüsüdür. Bu nedenle, bu çalışmada, T1 Kabataş-Bağcılar Tramvay Hattının sağladığı konfor ve kolaylığı değerlendirmek için tramvay ile otomobil seyahat süresi arasındaki fark da dikkate alınmıştır.

Toplu taşıma için seyahat süresi, kişinin yolculuk başlangıcı noktasından toplu taşıma hattına yürüme süresini, bekleme süresini, toplu taşıma aracında seyahat süresini (değişken), toplu taşıma hattından varış noktasına yürüme süresini ve gereken herhangi bir aktarma süresini içermektedir. Diğer taraftan, otomobil için seyahat süresi, otomobildeki yolculuk süresini, kişinin otomobiline yürümesi için geçen süreyi, kişinin arabasını park etmesi ve varış noktasına yürüme süresini kapsamaktadır. Yürüme süresi, ortalama 5 km/sa'lık bir yaya hızıyla toplu taşıma durağına kadar maksimum 400 m'lik bir yürüme mesafesine dayanmakta olup bu da yaklaşık 5 dakika olmaktadır. Tüm toplu taşıma kullanıcıları maksimum mesafeyi yürümediğinden, genellikle ortalama 3 dakikalık bir ortalama yürüme süresinin olduğu varsayılmaktadır.

Küçük şehirlerde bu ölçüt için yüksek hizmet düzeylerine ulaşılması büyük şehirlerle karşılaştırıldığında daha zordur. Örneğin, büyük şehirlerde, raylı hızlı toplu taşıma gibi yüksek kaliteli toplu taşıma sistemleri ile şehir merkezi ve bir banliyö bölgesi arasında daha hızlı yolculuk yapılabilmektedir. Diğer taraftan, nüfusu 50.000'den az olan küçük bir şehirde, toplu taşıma için erişim ve bekleme sürelerinin toplamı, otomobille seyahat süresinin toplamına neredeyse eşittir. Bu yüzden, hizmet düzeyi çok daha düşük olarak belirlenecektir. Dolayısıyla, küçük şehirler veya kısa yolculuklar için, toplam toplu taşıma ile seyahat süresi otomobil ile seyahat süresinden genellikle çok daha uzun olacaktır.

Toplu taşıma ile otomobil seyahat sürelerinin farkı bir sistem ölçümü olduğundan, veri ihtiyaçları toplu taşıma durağı ve güzergâh kesimi ölçümlerinden çok daha fazladır. Manuel olarak hesaplanabileceği gibi bir ulaşım planlaması modeli kullanılarak da belirlenebilir. Diğer birçok hizmet ölçümünde olduğu gibi, toplu taşıma ile otomobil seyahat sürelerinin farkı yoğun ve yoğun olmayan zamanlarda ölçülebilir. Yoğun saatlerdeki trafik sıkışıklığı otomobil seyahat sürelerini uzatma eğiliminde olduğundan, yoğun saatler için belirlenen hizmet düzeyi genellikle günün geri kalan kısmı için belirlenenden daha iyi olacaktır. Tablo 5, toplu taşıma ile otomobil seyahat sürelerinin farkı cinsinden hizmet düzeyi eşiklerini göstermektedir.

Tablo 5. TCRP Raporu 100'e göre sabit güzergâhlı toplu taşıma sistemleri için toplu taşıma ve otomobil ile yapılan yolculukların süreleri arasındaki fark

Servis Seviyesi	Seyahat Süresi Farkı (dk)	Yorum
A	≤ 0	Toplu taşıma otomobilden daha hızlı ulaşım sağlar.
B	1-15	Toplu taşıma otomobil kadar hızlı ulaşım sağlar.
C	16-30	Tercih hakkı olan için kabul edilebilir ulaşım sağlar.
D	31-45	Toplu taşıma ile gidiş dönüş yolculuğu en az bir saat daha uzun sürer.
E	46-60	Tüm yolcular için sıkıcıdır; küçük şehirlerde en iyi seçenek olabilir.
F	> 60	Yolcuların çoğu yolcu için kabul edilemez.

Manuel yöntem, bir ulaştırma modeli olmayan bölgelerde veya seyahat süresi hizmet düzeyinin daha hızlı değerlendirilmesinin istendiği durumlarda kullanışlıdır. Bu yüzden, bu çalışmada da TCRP Raporu 100'de açıklanan manuel yöntem analizin gerçekleştirilmesi için tercih edilmiştir. T1 tramvay hattı için 24 konum çiftinden oluşan bir örneklemden yararlanılmıştır. Önemli seyahat yaratım bölgeleri, konut ve istihdam yaratım bölgelerinin ve coğrafi konumlarının dengesi dikkate alınarak analizde kullanılmıştır. Tablo 6, 24 konum çifti için tramvay ve otomobil yolculuk sürelerini göstermektedir.

Analizin gerçekleştirilmesi, üç aşamada olmuştur. Birinci aşamada hem tramvay hem de otomobil için konum çiftleri arasındaki seyahat süreleri tahmin edilmiştir. Sonraki adımlarda kullanılmak üzere, konum çiftleri arasındaki seyahat sürelerinin bir elektronik tablosu oluşturulmuştur. Birinci aşamada yalnızca konum çiftleri arasındaki seyahat süreleri dikkate alınmış olup erişim ve bekleme süreleri bu aşamada dikkate alınmamıştır. Mevcut koşullar analiz edildiğinden, tramvay ile seyahat süreleri çeşitli konum çiftleri için tramvayda yolculuk yapılarak belirlenmiştir. Öte yandan, otomobil ile seyahat süreleri Google Haritalar'daki "sürüş talimatları" özelliğinden yararlanılarak saptanmıştır. Bilindiği üzere Google Haritalar, çevrimiçi ve ücretsiz bir haritalama hizmetidir. Yol tarifi özelliği, iki konum arasındaki en kısa yolu belirli koşullara göre tanımlar. Ayrıca, tanımlanan en kısa yolun otomobil veya yaya olarak kat edilmesi durumunda harcanan tahmini süre de hesaplanabilir. İlk konum ile ikinci konum arasındaki en kısa sürüş talimatları da Google Haritalar kullanılarak elde edilebilir. Google Haritalar kullanılarak belirlenen otomobil ile yolculuk sürelerinin sürücülerin gerçekten tecrübe ettiği yolculuk sürelerine yakın olup olmadığını doğrulamak için bazı konum çiftleri arasında test sürüşleri gerçekleştirilmiştir. Gerçek otomobil ile yolculuk süreleri Google Haritalar tarafından belirlenenlerle karşılaştırılmış ve aralarında oldukça yakın bir uyuma olduğu belirlenmiştir.

Tablo 6. 24 konum çifti için tramvay ve otomobil yolculuk süreleri

Konum Çiftleri	Otomobile yolculuk süresi	Tramwayla yolculuk süresi
Cevizlibağ-Topkapı	2 dk	5 dk
Cevizlibağ-Pazartekke	3 dk	7 dk
Cevizlibağ-Çapa Şehremini	9 dk	9 dk
Cevizlibağ-Fındıkzade	8 dk	12 dk
Cevizlibağ-Haseki	9 dk	13 dk
Cevizlibağ-Yusufpaşa	9 dk	14 dk
Cevizlibağ-Aksaray	12 dk	16 dk
Cevizlibağ-Laleli	15 dk	18 dk
Cevizlibağ-Beyazıt	22 dk	20 dk
Cevizlibağ-Çemberlitaş	21 dk	22 dk
Cevizlibağ-Sultanahmet	20 dk	23 dk
Cevizlibağ-Gülhane	20 dk	26 dk
Cevizlibağ-Sirkeci	16 dk	27 dk
Cevizlibağ-Eminönü	16 dk	29 dk
Topkapı-Beyazıt	28 dk	16 dk
Gülhane-Pazartekke	19 dk	22 dk
Sirkeci-Aksaray	22 dk	12 dk
Fındıkzade-Sultanahmet	20 dk	12 dk
Laleli-Topkapı	15 dk	14 dk
Eminönü-Beyazıt	19 dk	9 dk
Çemberlitaş-Topkapı	23 dk	18 dk
Yusufpaşa-Sirkeci	14 dk	14 dk
Haseki-Sirkeci	16 dk	15 dk
Beyazıt-Çapa Şehremini	16 dk	11 dk

İkinci aşamada, konum çiftleri arasındaki tramvay ve otomobil ile seyahat süresi farkları hesaplanmıştır. Bu yüzden, her bir konum çifti için, öncelikle tramvay ve otomobil ile yolculuk süreleri belirlenmiştir. Daha sonra, tramvay ile yolculuk sürelerine tramvay için erişim ve bekleme süreleri ilave edilirken otomobil ile yolculuk sürelerine de otomobil için erişim süreleri (örneğin, otopark garajlarından veya garajlara yürüme) eklenmiştir. Son olarak, erişim ve bekleme süreleri ilave edilmiş tramvay ile yolculuk sürelerinden erişim süreleri eklenmiş otomobil ile yolculuk süreleri çıkarılmıştır. Bu analizde, birkaç varsayım da yapılmıştır. İlk olarak, tramvay yolcularının seyahatlerinin her iki ucunda erişim için ortalama 4 dakika yürüdükleri kabul edilmiştir. İkinci olarak, tramvay için bekleme süresinin, T1 hattının 2 dakika olan sefer aralığının 10 dakikadan daha az olması nedeniyle, hattın sefer aralığının yarısı olan 1 dakikaya eşit olduğu varsayılmıştır (Vuchic, 2007). Ve son olarak, otomobil ile yolculuk sürelerine, yolculuğun her iki ucunda park etmek ve yürümek için ortalama 2 dakika eklendiği kabul edilmiştir.

Üçüncü aşamada, tramvay ve otomobil ile seyahat süreleri arasındaki fark açısından hizmet düzeyi belirlenmiştir. Bu amaçla, T1 hattında seçilen her bir konum çifti için tramvay ve otomobil ile seyahat süreleri farklarının ortalaması hesaplanmış ve elde edilen değer, hattın tramvay-otomobil seyahat süresi hizmet düzeyini bulmak için Tablo 5 ile birlikte kullanılmıştır.

T1 Kabataş-Bağcılar Tramvay Hattında çeşitli konum çiftleri arasındaki yolculuk sürelerinin aynı çiftler arasındaki otomobil ile yolculuk sürelerinden farklarının ortalaması 5,42 dakika olarak hesaplanmıştır. Bu değer Tablo 5'te B hizmet düzeyine denk geldiği görülmektedir. Bu seviyeye ilişkin yorum şu şekildedir: "Toplu taşıma otomobil kadar hızlı ulaşım sağlar." Bu kriter bakımından hizmet düzeyinin B olmasının en büyük sebebi, T1 Kabataş-Bağcılar Tramvay Hattının bazı kesimlerinde yolun otomobil kullanımına kapalı olması ve bu kesimlerde yer alan bazı konum çiftleri arasında tramvayın otomobilden daha hızlı ulaşım sağlamasıdır.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, İstanbul kentindeki T1 Kabataş-Bağcılar Tramvay Hattının hizmet kalitesi çeşitli açılardan değerlendirilmiştir. Bu amaçla, tramvay hattının öncelikle kullanılabilirliği günlük hizmet saati ve saatlik sefer sayısı açısından incelenmiştir. Daha sonra T1 Kabataş-Bağcılar Tramvay Hattının sağladığı konfor ve rahatlık incelenmiştir. Bu amaçla, tramvay araçları içindeki genel doluluk seviyeleri, sefer aralığına bağlılık ve tramvay ile özel otomobil seyahat süreleri arasındaki fark dikkate alınmıştır. T1 Tramvay Hattı için, ele alınan toplu taşıma parametresine göre farklı hizmet düzeyleri elde edilmiştir. Bu hizmet düzeyleri, tramvay hattının verimliliği ve sürdürülebilirliği açısından önemli bilgiler sağlamıştır.

T1 tramvay hattında, özellikle sabah ve akşam saatlerinde, tramvay vagonlarının aşırı kalabalık olması ve sefer aralıklarının uyumunun iyi olmaması, yolcuların konforunu ve seyahat sürelerini olumsuz etkilemektedir. Altyapı çalışmaları nedeniyle bazı istasyonların geçici olarak kapatılması da olumsuzluklar yaratmaktadır. Ayrıca hemzemin geçitler, kazalara ve güvenlik risklerine yol açabilmektedir.

Sürdürülebilir ulaşımın sağlanması için otomobil sürücülerinin toplu taşımaya yönlendirilmesi gerekmektedir. Şehir içi toplu taşıma seferlerinin daha kısa sürede yapılması özel araç sürücülerini toplu taşımaya yönlendirebilir. Dolayısıyla otomobil sürücülerini, otomobile göre 2-3 kat daha uzun toplu taşıma süreleri ile toplu taşımaya çekmek mümkün değildir. Toplu taşıma sürelerinin kısaltılması ve daha konforlu ulaşım hizmeti sağlanması otomobil sürücülerini toplu taşımaya yönlendirecektir. Dolayısıyla, toplu taşımayı cazip hale getirmek için T1 tramvay hattı ile otobüs hatları arasında

koordinasyon sağlanmalıdır. Sonuç olarak hızlı ve konforlu bir toplu taşıma sistemi hem yaşam kalitesini artıracak hem de gelecekte ortaya çıkabilecek büyük trafik sorunlarını çözecektir.

Kaynaklar

- Buchanan, C. (1963). *Traffic in Towns*. H.M. Stationery Office, London, United Kingdom.
- De Corla-Souza, P., Everett, J., Gardner, B., Culp, M. (1997). Total cost analysis: an alternative to benefit-cost analysis in evaluating transportation alternatives. *Transportation*, 24/2, 107-123.
- European Committee for Standardization (CEN). (2002). *Transportation - logistics and services - public passenger transport - service quality definition, targeting and measurement*, CEN-EN 13816. CEN, Brussels.
- Frank, L. D. and Pivo, G. (1997). Impacts of mixed use and density on utilization of three modes of travel: single-occupant vehicle, transit, and walking, *Transportation Research Record* 1466, 44-52.
- https://en.wikipedia.org/wiki/Trams_in_Istanbul.
- Murat, Y. Ş. and Uludağ, N. (2008). Bulanık mantık ve lojistik regresyon yöntemleri ile ulaşım ağlarında geçki seçim davranışının modellenmesi. *İMO Teknik Dergi*, 2008 4363 -4379, Yazı 288.
- Sallis, J. F., Frank, L. D., Saelens, Brian, E. M. and Kraft, K. M. (2004). Active transportation and physical activity: opportunities for collaboration on transportation and public health research. *Transportation Research Part A Policy and Practice*, Volume 38, Issue 4, 249-268.
- Transportation Research Board (TRB). (2003). *Transit Capacity and Quality of Service Manual*, Transit Cooperative Research Program (TCRP) Report 100, Second Edition. Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C.
- Transportation Research Board (TRB). (1999). *A handbook for measuring customer satisfaction and service quality*, TRCP Report 47. TRB, Washington, D.C.
- Tyrinopoulos, Y. and Antoniou, C. (2008). Public transit user satisfaction: variability and policy implications. *Transport Policy*, 15: 260-272.
- Vuchic, V. R. (2007) *Urban Transit Systems and Technology*. John Wiley and Sons, New Jersey, USA.
- Yaliniz, P., Bilgic, S., Vitosoglu, Y. and Turan, C. (2011). Evaluation of urban public transportation efficiency in Kutahya, Turkey. *Procedia-Social and Behavioral Sciences* 20: 885-895.
- Yaliniz, P., Vitosoglu, Y. and Bilgic, S. (2020). Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Evliya Çelebi Yerleşkesi'ne gelen toplu taşıma araçlarının hizmet düzeyinin TCRP 100 ve TCRP 165 raporlarına göre değerlendirilmesi. *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 9 (4), 1621-1640.



Geri Kazanılmış Agreganın Kullanımının Betonun Mekanik Özelliklerine ve Korozyon Dayanıklılığına Etkisi

Beyza Girgin ¹, Abdullah Demir ²

¹ Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kütahya

² Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kütahya

* Beyza Girgin: beyza.girgin0@ogr.dpu.edu.tr

Özet

Türkiye’de hammadde ve işçilik kolaylığı nedeniyle en yaygın yapı iskeleti türü betonarmedir. 1980’lere kadar yapı stoğu ağırlıklı olarak yığma yapıdan oluşurken, sonrasında kentleşme ve göçle birlikte betonarme yapılar öne çıkmıştır. Ama bu yapılar çoğunlukla mühendislik hizmetlerinden yoksun ve denetimsizdir. Ancak 2000 sonrasında yeni deprem yönetmelikleri ve gelişen inşaat teknikleriyle daha güvenli bir yapı stoğu oluşmaya başlamıştır.

2012’de yürürlüğe giren 6306 sayılı Kanun ile kentsel dönüşüm hız kazanmıştır ve bu kapsamda 6.7 milyon yapının riskli olduğu tespit edilmiştir. Riskli yapı tanımı sadece deprem riskiyle sınırlı olmayıp, ekonomik ömrünü dolduran yapıları da kapsamaktadır. Bunların dönüştürülmesi sonucu oluşması beklenen inşaat yıkıntı atığı (İYA) yanında depremler sonucunda da büyük miktarda İYA oluşmaktadır. İYA’ların geri dönüştürerek yeniden kullanıldığı ülkeler olmasına rağmen Türkiye’de bu oran %0’dır. İYA’lar genellikle dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır. İYA’lardan elde edilen geri kazanılmış agregaların (GKA) beton üretiminde kullanılarak aynı sistem içerisinde değerlendirilmesi kentsel dönüşümü sürdürülebilir ve çevre dostu bir süreç haline getirecektir.

Yapılan çalışmada yapı test laboratuvarından alınan numunelerden GKA elde edilmiş ve doğal agregayla üretilen betona %30 oranında ikame edilerek bir beton serisi oluşturulmuştur. Üretilen beton karışımının fiziksel, mekanik özellikleri ve korozyon dayanıklılığı incelenmiştir.

GKA’nın yeniden beton içinde kullanılması durumunda oluşacak betonun özelliklerinin betonarme yapıda kullanılmaya uygunluğu ve korozyon gelişiminin nasıl olacağı izlenmiştir. Ne tür çevresel etki sınıflarına sahip bölgelerdeki yapılarda kullanılabileceği irdelenmiştir. Bu sayede, sürdürülebilir kentsel dönüşüm uygulamalarına bilimsel katkı sağlanması amaçlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Beton, Geri Dönüşüm, Geri Kazanılmış Agreganın, İnşaat Yıkıntı Atığı, Sürdürülebilirlik

The Effect of Recycled Aggregate Usage on the Mechanical Properties and Corrosion Durability of Concrete

Abstract

Due to the availability of raw materials and the prevalence of modest workmanship quality, reinforced concrete is the most common structural system in Turkey. Until the 1980s, the building stock primarily consisted of masonry structures. However, with increasing urbanization and migration, reinforced concrete buildings began to dominate. Nevertheless, most of these structures lack proper engineering services and supervision. Since 2000, the implementation of new seismic codes and the advancement of construction techniques have contributed to the development of a safer building stock.

Urban renewal gained momentum with the enactment of Law No. 6306 in 2012, under which approximately 6.7 million buildings were identified as being at risk. The definition of a "risky building" includes not only those vulnerable to earthquakes but also those that have exceeded their economic lifespan. In addition to the construction and demolition waste (CDW) expected to be generated from the transformation of these buildings, earthquakes also result in a significant amount of CDW.

Although some countries recycle and reuse CDW, the recycling rate in Turkey is currently 0%. CDW is mostly utilized as filler material. However, integrating recycled aggregates (RA) obtained from CDW into concrete production within the same system would render urban renewal a more sustainable and environmentally friendly process.

In this study, RA was obtained from samples provided by a structural testing laboratory and was used to replace 30% of natural aggregates in a new concrete mix. The physical and mechanical properties, as well as corrosion resistance, of the produced concrete mix were examined.

The study monitored the suitability of concrete made with RA for use in reinforced concrete structures and assessed the potential for corrosion development. Furthermore, the environmental exposure classes in which such concrete can be used were evaluated. This research aims to contribute scientifically to sustainable urban transformation practices.

Key words: Concrete, Recycling, Recycled Aggregate, Construction and Demolition Waste, Sustainability

1. Giriş

Türkiye’de cumhuriyetin ilanının ardından 1950’li yıllarda savaş ve yangınlarla hasar alan kentlerin yeniden imarı konusu gündeme gelmiştir. Ancak 1980’li yıllara kadar yapılan yapıların çoğunluğu yığma yapı olarak inşa edilmiştir. 1980’li yıllarda ise kentlerin yoğun göç almaları sebebiyle yapı üretimi hızlanmış, bu dönemde betonarme yapılara ağırlık verilmiştir. Bu dönemde üretilen betonarme yapılarınsa mühendislik hizmetlerinin ve denetimlerin yetersizliği, malzemelerin kalitesindeki düşüklük gibi nedenlerle güvenlikleri şüphelidir. Bunun dışında aynı dönemde kaçak olarak inşa edilen yapıların bir kısmının imar affıyla sisteme dahil oldukları bilinmektedir (Özer Ay & Eroğlu Azak, 2021).

17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminin ardından hem yaşanan can kayıpları hem milli ekonomiye olan zararıyla yapıların deprem güvenliği açısından önemi anlaşılmış ve bu konunun üstüne düşülmüştür. 2000 sonrası betonarme daha da yaygınlaşmış ve deprem yönetmelikleri, gelişen yapı malzemeleri ve inşaat teknikleriyle nispeten daha güvenli bir yapı stoğu oluşmaya başlamıştır (Özer Ay & Eroğlu Azak, 2021).

2011 Van depreminde yaşanan yıkım ve can kayıplarının ardından Kocaeli depreminden sonra alınan önemlerin yeterli olmadığı anlaşılmış ve daha güvenli bir yapı stoğu oluşturmak amacıyla kentsel dönüşüm çalışmaları afet riski olan bölgelere ve riskli yapıların yerine daha güvenli bir yapı stoğu oluşturma amacına odaklandırılmıştır. Bu 2012 yılında 6306 sayılı “Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun”un çıkartılmasıyla yapılmıştır. Bu kanunun kapsamında değerlendirilen yapılardan 6.7 milyonunun ‘Riskli Yapı’ kapsamına girdiği tespit edilmiştir. Bu kanunun ‘Riskli Yapı’ tanımında sadece deprem durumunda hasar alması beklenen yapılar değil, ekonomik ömrünü tamamlamış yapılarda girmektedir. Bu durum, her yıl yenilenmesi gereken yapıların artacağı anlamına gelmektedir (Bahşi vd., 2023).

Sadece riskli yapıların yıkımıyla değil yaşanan depremlerin sonrasında da inşaat yığıntıları oluşmaktadır. 1939 yılında Erzincan'da yaşanan 7.9-8 büyüklüğündeki deprem sonucunda bölgede 116.720 bina yıkılmıştır. 17 Ağustos 1999'daki Kocaeli depremi ise 7.4 büyüklüğünde olmuştur ve 98.175 konutun yıkılmasına neden olmuştur (Görür, 2020).

Depremler, düzensiz kentleşme ve yapı stoğunun durumu yoğun bir inşaat yığıntı atığı (İYA) varlığına ve bunun artacağına işaret etmektedir. Kentsel dönüşüm sürecinin sonunda ortaya çıkması beklenen inşaat yığıntı atıklarından sadece atık betonun tahmini miktarı 117.127.760 tondur. Beton ise toplam İYA'larının %40'ına tekabül etmektedir. İYA'ları şu anda moloz hâlinde atık döküm sahalarında, boş arazilerde depolanmakta; belediyelerin gösterdiği alanlarda dolgu malzemesi olarak kullanılmakta veya doğrudan bertaraf edilmektedir (Aktaş, 2015).

Türkiye'de ise kentsel dönüşüm çalışmalarının yoğunlukta olmasına ve yüksek miktarda İYA oluşumu beklenmesine rağmen atık yönetimi konusunda bir program geliştirilmemektedir. Kentsel dönüşüm bağlamında hammadde sınırsızmışçasına bir yöntem kullanılmaktadır. Bu süreçte oluşan atıkların aynı sistem içerisinde kullanımı %0'dır (Yalçın & Negiz, 2021). Oysa yıkım süreçleri öncesinde yapılabilecek bir geri dönüşüm planlamasıyla inşaat yığıntı atıklarını oluşturan malzemeler optimum oranda kullanılabilir.

Betonun hacimsel olarak yaklaşık %70'ini oluşturan agreganın hem beton atığı hacminde kapladığı alan hem de yeniden yapı üretimindeki kullanım hacminin büyüklüğü açıktır. Dolayısıyla bu agregaların yeniden aynı sistem içinde kullanılmasıyla kentsel dönüşüm sürdürülebilir ve daha yeşil bir uygulama haline getirilebilir.

Ancak geri kazanılmış agregalar (GKA), doğal agregalardan farklı özelliklere sahiplerdir. Bu farklılığın sebebi büyük oranda agreganın yüzeyinden temizlenemeyen eski harç kalıntılarıdır. Oluşan GKA'nın yaklaşık %65-70'i doğal agregaya, %30-35'i ise eski çimento harcı kalıntısıdır (Zhang vd., 2015). Agregaya ve harç arası arayüzey bağlantısı normal betonlarda bir taneyken GKA kullanılarak üretilen betonlarda agregayla eski harç kalıntısı arasında ve eski harç kalıntısıyla yeni harç arasında olmak üzere daha fazla arayüzey alanı bulunmaktadır (Otsuki vd., 2003)

Eski harç kalıntısı gözenekli yapısı ve üstündeki çatlaklar sebebiyle betonun en zayıf bölgesidir dolayısıyla geri kazanılmış betonların performansını yöneten bölge de burasıdır. GKA'nın agregaya kısmında da çatlaklar görülmektedir, ayrıca yüzeyi pürüzlüdür. Bu özellikleriyle düşünüldüğünde betonda GKA kullanımının hem taze hem sertleşmiş beton özelliklerinde değişiklik oluşturacağı öngörülebilir (Otsuki vd., 2003).

Üzerinde bulunan çatlaklar ve gözenekli yapısı GKA'yı su emme oranı daha yüksek ve birim hacim ağırlığı daha az olan bir malzeme haline getirir. Betonda kullanımında aynı S/Ç oranı için çökme değeri azalır, daha zor işlenen bir beton oluştuğu görülür (Maleşev vd., 2010).

GKA'nın betonda kullanımıyla, ne oranda olursa olsun betonda basınç dayanımı zafiyeti gösterdiğine dair çalışmalar bulunmaktadır (Pourghadri Sefidehkhani & Şimşek, 2018). Ancak basınç dayanımının gelişiminin ve miktarının GKA'nın belirli bir oranda ikame edilmesi durumunda kontrol betonuna göre önemli bir azalma göstermediğine dair de çalışmalar mevcuttur. Kullanılan kaynağın araştırılması ve gerekli beton tasarımıyla GKA'nın kullanımı için basınç dayanımı bir problem olmamaktadır. Betonu oluşturan diğer parametreler değiştirilerek bu düşüş telafi edilebilmektedir (Maleşev vd., 2010). Eğilme-çekme dayanımında ise %10'dan az bir düşüş görülür (Maleşev vd., 2010). GKA'ların üzerinde bulunan harç kalıntısının agregaya kısmına göre daha esnek yapıda olması sebebiyle

elastisite modülünde de düşüş gözlenir. Bu da özellikle plastik deformasyon bölgesinde betonun daha fazla şekil değiştirmesine neden olur (Belén vd., 2011).

Bu çalışmanın amacı, kentsel dönüşüm süreçleri sonucunda ortaya çıkan inşaat yıkıntı atıklarından özellikle geri kazanılmış agregaların aynı sistem içerisinde geri dönüştürülebilmesi için betonarme yapı üretiminde kullanılabilirliğini değerlendirmektir. Bu bağlamda, GKA'nın fiziksel ve mekanik özelliklerinin beton performansına etkileri incelenmiş, donatılı betonda kullanımını araştırmak içinse korozyon dayanıklılığı araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

2.1.1. Agregalar

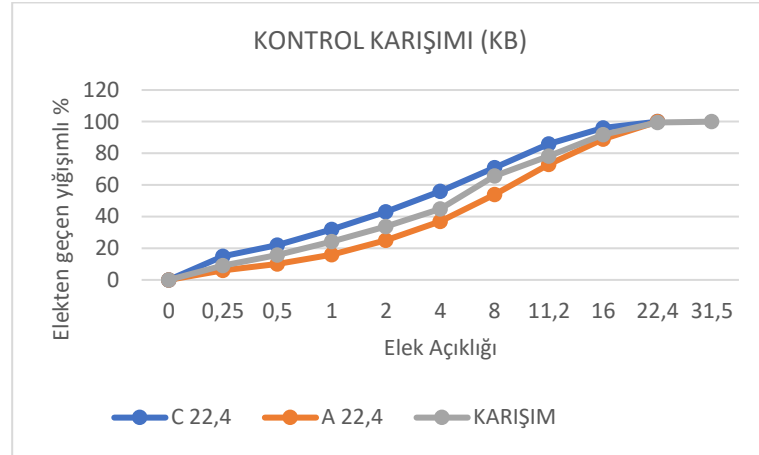
Bu araştırmada kullanılan geri kazanılmış agregalar Dermen Yapı İnşaat Laboratuvarında test edilmiş beton numunelerden elde edilmiştir. Söz konusu beton atıkları elle parçalandıktan sonra çeneli kırıcıda 16 mm altı boyutlara getirilmiştir. Ardından 4mm altı malzeme atılarak 4-16 mm aralığındaki geri kazanılmış agreganın kullanılabilir hâle getirilmiştir.

Doğal agreganın olarak ise kalker esaslı kırma kum ve kırmataşlar kullanılmıştır. Maksimum tane büyüklüğü 22.4 mm'dir.

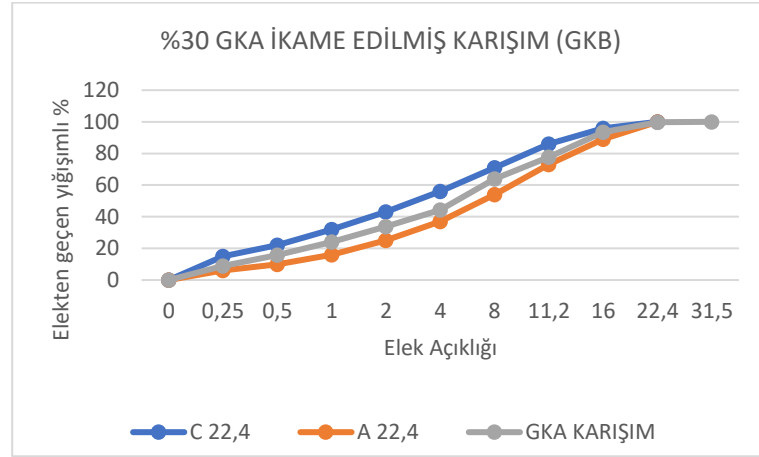
Bu agregalarla granülometrisi; ince, orta ve iri agregalar sırasıyla %20, 35 ve 45 oranlarında kullanılan bir kontrol karışımı (KB) hazırlanmıştır. İnce agreganın, orta agreganın ve iri agreganın incelik modülleri sırasıyla 3.19, 6.45 ve 8.39 olarak bulunmuştur. Bu karışıma geri kazanılmış agreganın %30 oranında ikame edilerek granülometrisi; GKA, ince, orta ve iri agregalar sırasıyla %30, 45, 10 ve 15 oranlarında olan bir deney karışımı (GKB) hazırlanmıştır. Geri kazanılmış agreganın elek analizi sonuçları ve incelik modülü Tablo 1'de verilmiştir. Kontrol ve GKA ile üretilen karışımların granülometri eğrileri ise Şekil 1 ve Şekil 2'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Geri Kazanılmış Agreganın Elek Analizi Sonuçları

Elek Açıklığı, mm	GERİ KAZANILMIŞ AGREGA			
	Elek Üstü Kalan Malzeme Miktarı, (gr)	Elek Üstü Kümülatif Kalan, (gr)	Elek Üstü Kalan, %	Elekten Geçen Miktar, %
31,5	0	0	0,00	100,00
22,4	0	0	0,00	100,00
16	42	42	1,40	98,60
11,2	681	723	24,10	75,90
8	972	1695	56,50	43,50
4	1294	2989	99,63	0,37
2	4	2993	99,77	0,23
1	0	2993	99,77	0,23
0,5	0	2993	99,77	0,23
0,25	0	2993	99,77	0,23
Altta Kalan	7	3000	100,00	0,00
TOPLAM	3000		İncelik Mod.	6,81



Şekil 1. Kontrol Karışımı İçin Granülometri Eğrisi



Şekil 2. Geri Kazanılmış Agregalı Karışım İçin Granülometri Eğrisi

2.1.2 Karışım Suyu

Karışım suyu olarak Kütahya bölgesinin suyu kullanılmıştır.

2.1.3 Çimento

Çalışmada kullanılan çimento TS EN 197-1 standartlı CEM I 42.5 R Portland Çimentosudur. Bu çimentoya ait fabrikadan elde edilen kimyasal ve fiziksel analiz sonuçları Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Çimentonun Fiziksel ve Kimyasal Özellikler

Kimyasal Özellikler	Kimyasal Bileşim, %		CEM I 42.5 R
	SiO ₂		19,31
	Al ₂ O ₃		5,17
	Fe ₂ O ₃		2,51
	CaO		62,93
	MgO		2,08
	Na ₂ O		0,14
	K ₂ O		0,58

Fiziksel Özellikler	MnO	-
	SO ₃	2,8
	Cl ⁻	0,007
	Kükürt (S)	-
	Serbest Kireç	1,9
	Çözünmeyen Kalıntı	0,4
	Kızdırma kaybı	3,9
	Fiziksel Özellikler	
	Özgül ağırlık	3
	Özgül yüzey, cm ² /gr	3415
	Priz Başlama Süresi, dk	185
	Priz Sona Erme Süresi, dk	250
	Hacim Genleşmesi, mm	1
	Standart Kıvam Su Miktarı, %	28,5
	0.090 mm Elek Kalıntısı, %	0,3
	0.045 mm Elek Kalıntısı, %	5,1

2.1.4 Beton Karışım Oranı

Beton karışım tasarımı TS 802'ye göre yapılmıştır. Beton karışımında, su/çimento oranı 0,46 oranında sabit tutulmuş ve çimento dozajı 485 kg/m³ olarak belirlenmiştir. Karışım oranları Tablo 3'te verilmiştir. Üretilen numuneler 7 ve 28 gün olmak üzere iki farklı kür süresine tabi tutulmuştur. Deneyler için 2 seri beton karışımı üretilmiştir.

Tablo 3. Beton Karışım Oranları (kg/m³)

KARIŞIM KODU	ÇİMENTO (kg)	SU (kg)	İRİ AGREGA (kg)	ORTA AGREGA (kg)	İNCE AGREGA (kg)	GKA (kg)
KB	485	257	311	544	700	0
GKB	485	264	229	153	687	458

2.2. Metot

Bu çalışma kapsamında yapılacak olan mekanik ve fiziksel deneyler için 150 × 300 mm boyutlarında silindir, 150 × 150 × 150 mm boyutlarında küp ve 150 × 150 × 600 mm boyutlarında prizma numuneler üretilmiştir. Kalıplara yerleştirilen taze betonlar, laboratuvar koşullarında 24 saat bekletilmiştir. Dökülen tüm numuneler 20 ± 1 °C sıcaklıktaki kirece doygün kür havuzlarında 7 ve 28 gün süreyle muhafaza edilmiştir.

Betonların mekanik özelliklerini değerlendirmek amacıyla 7 ve 28 gün kür edilen numuneler üzerinde hasarlı ve hasarsız deneyler yapılmıştır. Hasarlı deneyler kapsamında basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve üç nokta eğilme dayanımı deneyleri uygulanmıştır. Basınç dayanımı için standart küp numuneler kullanılmıştır ve deney TS-EN 206-1 standardına uygun şekilde gerçekleştirilmiştir. Çekme dayanımının dolaylı olarak tespiti silindir numuneler üzerinde yapılan yarmada çekme deneyi ile yapılmıştır ve bu deney TS-EN 12390-6 standardına uygun şekilde gerçekleştirilmiştir. Eğilme dayanımı ise prizmatik numunelere üç nokta yükleme uygulanarak ölçülmüştür ve bu deneyi TS EN 12390-5 standardına uygun şekilde gerçekleştirilmiştir. Hasarsız deneyler kapsamında ise, betonun birim hacim ağırlığı, Schmidt çekici sertlik ölçümü ve ultrases geçiş hızı (UGH) deneyleri uygulanmıştır. Schmidt

çekici ile yüzey sertliği tayini de yapılmıştır. Bu deney TS EN 12504-2 standardına uygun şekilde gerçekleştirilmiştir.

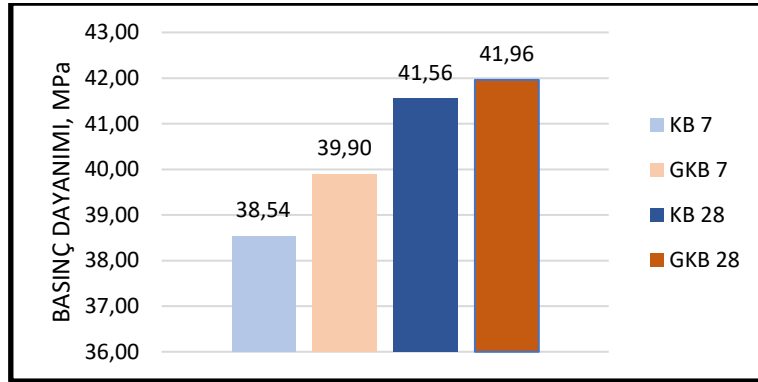
Malzemenin fiziksel özelliklerini değerlendirmek amacıyla 7 ve 28 gün kür edilen küp, silindir ve prizmatik numuneler üzerinde birim hacim ağırlık tayini ve ultrases geçiş hızı (UGH) deneyleri yapılmıştır. Birim hacim ağırlık tayini TS-EN 12390-7 standardına uygun şekilde gerçekleştirilmiştir. Ultrases geçiş hızı (UGH) deneyi ise TS EN 12504-4 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Farklı beton serilerinin korozyona karşı dayanıklılığını belirlemek amacıyla ise 28 gün kür edilen silindir numuneler üzerinde elektriksel direnç ölçümü yapılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Basınç Dayanımı

Farklı kür sürelerinde elde edilen basınç dayanımı sonuçları Şekil 2’de verilmiştir. Bu değerler, GKA kullanımının basınç dayanımına etkisini göstermektedir.



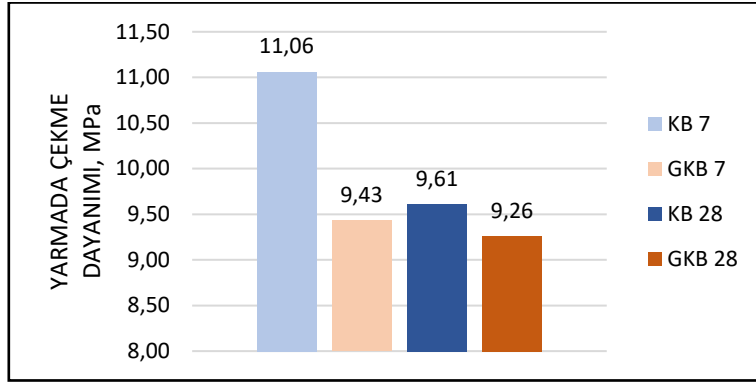
Şekil 2. Basınç Dayanımı

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, 7 günlük sonuçlara göre GKB 39,90 MPa, KB’dan 38,54 MPa daha yüksek dayanım göstermiştir. 28 günlük sonuçlarda ise her iki karışımın dayanımı artmış, GKB 41,96 MPa ve KB 41,56 MPa sonuç vererek birbirlerine yakın basınç dayanımına sahip oldukları görülmüştür.

Deney için kullanılan GKA kaynağının kullanılmış bir yapı değil, laboratuvar numunesi olması dolayısıyla kaliteli bir kaynak olarak düşünülebilir. Dolayısıyla basınç dayanımında büyük bir etkisinin olmaması literatürle uyumlu bir sonuçtur.

3.2. Yarmada Çekme Dayanımı

GKA katkılı ve katkısız numuneler için yarmada çekme deneyi sonuçları Şekil 3’te verilmiştir.



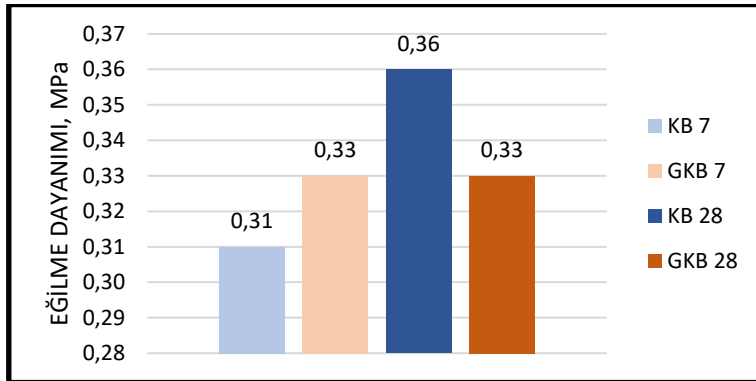
Şekil 3. Yarmada Çekme Dayanımı

7 günlük sonuçlarda KB 11,06 MPa, GKB 9,43 MPa, 28 günlük verilerde de KB 9,61 MPa, GKB 9,26 MPa dayanım elde edilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre GKA kullanımının nihai sonucunda 28 günlük değerler için %5'e yakın çekme dayanımını düşürdüğü gözlenmektedir. Bu sonuçlar literatürle uyumlu bir sonuçtur.

3.3. Eğilme Dayanımı

GKA katkılı ve katkısız numuneler için eğilme deneyi sonuçları, Şekil 4'te verilmiştir.



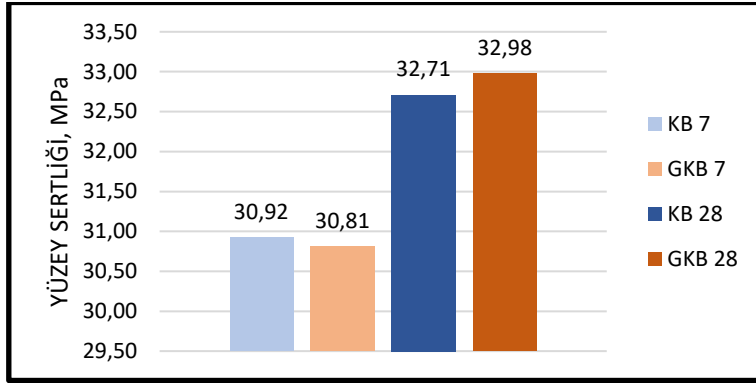
Şekil 4. Eğilme Dayanımı

7 günlük sonuçlarda KB 0,31 MPa, GKB 0,33 MPa, 28 günlük verilerde de KB 0,36 MPa, GKB 0,33 MPa dayanım elde edilmiştir.

Deneyler sonucunda eğilme dayanımının 28 günlük sonuçlara göre %10'a yakın azaldığı görülmekte. Bu sonuçlar literatürle uyumludur.

3.4. Yüzey Sertliği

GKA katılmış ve katılmamış numuneler için elde edilen yüzey sertliği değerleri Şekil 5'te karşılaştırılmıştır.



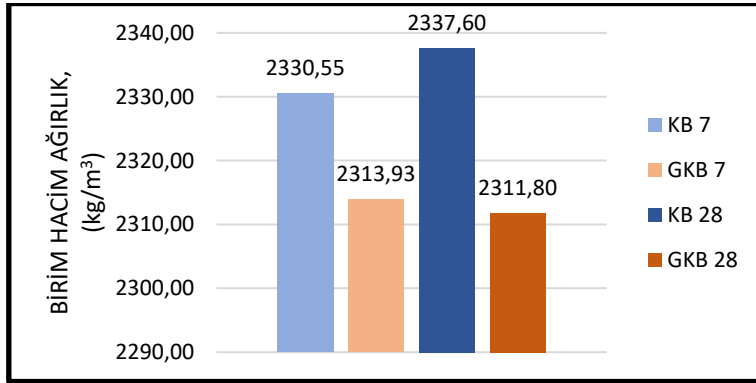
Şekil 5. Yüzey Sertliği

7 günlük sonuçlarda KB 30,91 MPa, GKB 30,81 MPa, 28 günlük verilerde de KB 32,71 MPa, GKB 32,98 MPa dayanım elde edilmiştir.

Deney sonuçlarına göre yüzey sertliği değerlerinin birbirine yakın sonuç verdiği görülmektedir. Basınç dayanımına paralel bir sonuçtur. Ayrıca bu durumun sebebi olarak yüzey sertliğinin agregayla yüzeye yakın olduğu ölçüde alakalı olması düşünülebilir.

3.5. Birim Hacim Ağırlık

GKA katılmış ve katılmamış numuneler için elde edilen birim hacim ağırlığı değerleri Şekil 6'da karşılaştırılmıştır.



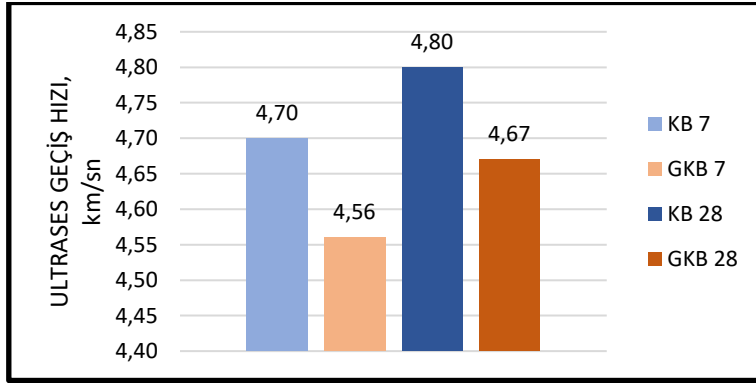
Şekil 6. Birim Hacim Ağırlık

7 günlük sonuçlarda KB 2330,55 kg/m³, GKB 2313,93 kg/m³, 28 günlük verilerde de KB 2337,60kg/m³, GKB 2311,80 kg/m³ birim hacim ağırlık bulunmuştur.

Deney sonuçlarına göre GKA kullanımının betonun BHA'nı azalttığı görülmektedir. Bunun sebebi olarak harç kalıntılarının GKA'nın hacmindeki oranını ve doğal agregaya göre daha hafif ve boşluklu olmasını düşünebiliriz. Bunun dışında GKA bünyesindeki çatlaklar da bunun bir sebebi olarak görülebilir.

3.6. Ultrases Geçiş Hızı (UGH)

GKA katılmış ve katılmamış numuneler için elde edilen UGH değerleri Şekil 7'de yer almaktadır.



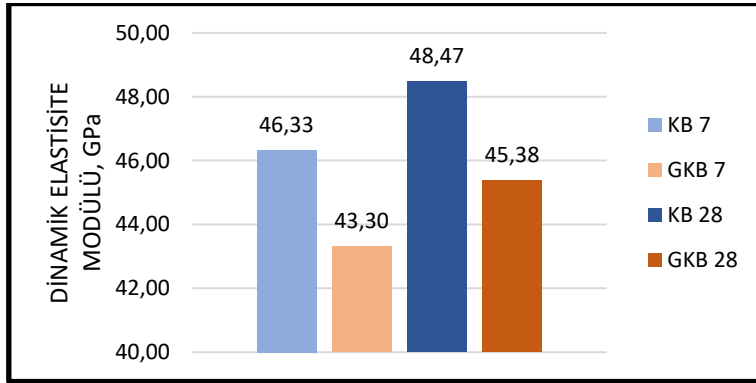
Şekil 7. Ultrases Geçiş Hızı

7 günlük sonuçlarda KB 4,7 km/sn, GKB 4,56km/sn, 28 günlük verilerde de KB 4,8 km/sn, GKB 4,67km/sn ultrases geçiş hızı değeri elde edilmiştir.

Deney sonuçlarından hem 7. hem de 28. Günde GKA kullanımının daha düşük UGH'na sahip olduğu görülüyor. Bu durum, GKA'nın daha gözenekli ve çatlaklı bir yapıya sahip olmasıyla ilişkilendirilebilir. İki seride de zaman içinde UGH'nın yükseldiği görülmekte, bu da kür süresinin artmasıyla daha iyi bir iç yapı oluştuğunu bize göstermektedir.

3.7. Dinamik Elastisite Modülü

Farklı serilerin dinamik elastisite modülü değerleri karşılaştırmalı olarak Şekil 8'de gösterilmiştir.



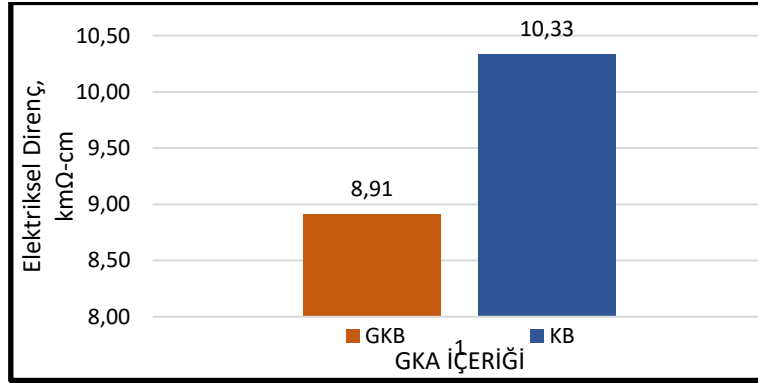
Şekil 8. Dinamik Elastisite Modülü

7 günlük sonuçlarda KB 46,33 MPa, GKA 43,3 MPa, 28 günlük verilerde de KB 48,47 MPa, GKB 45,38 MPa dayanım elde edilmiştir.

Deney sonuçlarından hem 7. Hem de 28. günde GKA kullanımının daha düşük dinamik elastisite modülüne sahip olduğu görülmektedir. Bu durum, GKA'nın daha gözenekli ve çatlaklı bir yapıya sahip olmasıyla, özellikle de üstünde agregaya göre esnek olan eski harç tabakasının kalmış olmasıyla açıklanabilir.

3.8. Elektriksel Direnç

Farklı serilerin elektriksel direnç değerleri karşılaştırmalı olarak Şekil 9'de gösterilmiştir.



Şekil 9. Elektriksel Direnç.

Yapılan deneyde KB'nin elektriksel direnci 10,33 kΩ·cm iken, GKB'de bu değer 8,91 kΩ·cm olarak ölçülmüştür. Bu, GKA'nın kullanılmasıyla betonun elektriksel direncinin %13,7 oranında azaldığını göstermektedir.

Bu sonuçlara göre GKA kullanımının betonun elektriksel direncini düşürdüğü görülür. Bu durumu GKA'ların gözenekli yapısı sebebiyle su emme değerlerinin yüksek olmasıyla açıklanabilir. Su içeriği yüksek olan agregalar sayesinde iyonlar beton içinde daha kolay ilerleyebilir. Bu durum, betonu korozyona daha açık hâle getirecektir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, geri kazanılmış agregaların betonun mekanik ve fiziksel özelliklerine etkisi araştırılmış ve korozyon dayanıklılığı üzerinden betonarme yapılarda kullanılabilirliği değerlendirilmiştir.

GKA kullanımı sonucunda betonun basınç dayanımında kayda değer bir düşüş olmadığı, kontrol betonuna benzer veya daha yüksek bir basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür. Buna karşın, çekme ve eğilme dayanımlarında azalma gözlenmiştir. Bu durum, GKA'nın gözenekli ve çatlaklı bir yapıda olması, ayrıca eski harç kalıntıların agregaya kıyasla daha zayıf ve esnek yapıda olmasıyla açıklanabilir. GKA betonun homojenliğini etkileyerek daha gözenekli bir iç yapı oluşturmaktadır. GKA'ların gözenekli, dolayısıyla daha yüksek su emme değerine sahip olmasının aynı zamanda betonu korozyona daha açık hâle getirdiği görülmüştür.

Bu sonuçlar doğrultusunda GKA'nın beton üretiminde kullanılmasının kentsel dönüşümün sürdürülebilirliği ve atık yönetimi açısından faydalı olmasına karşın, özellikle korozyon direnci gerektiren yapılarda kullanımında tasarım bu dezavantajları göz önüne alınarak yapılmalıdır.

GKA'ların betonarme yapılarda kullanımında betonun bütün karakter özelliklerini tanımlayan çatlaklı yapısı ve eski harç kalıntısı özelliklerini iyileştirme yöntemlerine gidilebilir. Veya betonun farklı katkı maddeleriyle iyileştirilmesi incelenebilir. Gerekli iyileştirmeler araştırılarak GKA'ların daha yaygın bir alanda kullanılarak hem çevresel hem de ekonomik fayda sağlanması mümkün hâle gelebilir. Bu sayede atık yönetimi uygulanarak doğal kaynakların tüketimi azaltılır ve sürdürülebilir inşaat uygulamaları desteklenmiş olur.

Kaynaklar

- Aktaş, Z. (2015). *Bina Yıkım Atıklarının Altyapı Projelerinde Değerlendirilmesi* [Uzmanlık Tezi]. İller Bankası Anonim Şirketi.
- Bahşi, E., Dada, A., Gümüş, E., & Cenikli, S. (2023). 6306 Sayılı Kanun Kapsamında Riskli Yapıların Tespit Edilmesine İlişkin Esaslar Uyarınca Riskli Yapı Tespiti Yapılan Binaların Sayısal Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi. *Resilience*, 7(1), Article 1. <https://doi.org/10.32569/resilience.1198753>
- Belén, G.-F., Fernando, M.-A., Diego, C. L., & Sindy, S.-P. (2011). Stress-strain relationship in axial compression for concrete using recycled saturated coarse aggregate. *Construction and Building Materials*, 25(5), 2335-2342. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.11.031>
- Görür, N. (2020). *Türkiye’de Deprem Az Gittik Uz Gittik* (1. bs). Doğan Kitap.
- Malešev, M., Radonjanin, V., & Marinković, S. (2010). Recycled Concrete as Aggregate for Structural Concrete Production. *Sustainability*, 2(5), 1204-1225. <https://doi.org/10.3390/su2051204>
- Otsuki, N., Miyazato, S., & Yodsudjai, W. (2003). Influence of Recycled Aggregate on Interfacial Transition Zone, Strength, Chloride Penetration and Carbonation of Concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 15(5), 443-451. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2003\)15:5\(443\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2003)15:5(443))
- Özer Ay, B., & Eroğlu Azak, T. (2021). Türkiye’de Değişen Yapı Özelliklerinin Karşılaştırmalı İncelemesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 36(4), 1111-1126. <https://doi.org/10.21605/cukurovaumfd.1048380>
- Pourghadri Sefidehkan, H., & Şimşek, O. (2018). Farklı Oranlarda Geri Dönüşüm Agregası Kullanılarak Üretilen Betonun Bazı Mühendislik Özelliklerinin Araştırılması. *Journal of Polytechnic*, 21(1), 83-91. <https://doi.org/10.2339/politeknik.391789>
- Yalçın, Ö., & Negiz, N. (2021). Türkiye’de Kentsel Dönüşüm Uygulamalarının Döngüsel Ekonomik Yaklaşım Çerçevesinde Değerlendirilmesi: Antalya Örneği. *Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 40, Article 40.
- Zhang, J., Shi, C., Li, Y., Pan, X., Poon, C.-S., & Xie, Z. (2015). Performance Enhancement of Recycled Concrete Aggregates through Carbonation. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 27(11), 04015029. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.000129](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.000129)



Eşdüzey Kavşakların Farklı Denetim Koşulları Altında İncelenmesi: Kütahya İbrik Kavşağı Örneği

Koray CANŞE¹, Yaşar VİTOŞOĞLU^{2,*}

¹ Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kütahya

² Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kütahya

* Sorumlu yazar: yasar.vitosoglu@dpu.edu.tr

Özet

Eşdüzey kavşaklar için yaygın olarak kullanılan farklı denetim türleri mevcuttur. Son yıllarda ülkemizde bulunan eşdüzey kavşaklarda, özellikle kentiçi yollarda sinyalizasyonlu kavşak denetim türü sıkça tercih edilmektedir. Bu çalışmada; Kütahya kent merkezinde inşa edilmiş bulunan, merkez ada çapı yeterince büyük olan, yaklaşım kollarında önemli trafik hacmi bulunan, kamerayla kayıt imkânı olan, gözlem yapılan tarihler arasında aktif olarak çalışan ve sinyalizasyonlu kavşak denetim türü uygulanmış bulunan “İbrik Kavşağı” seçilerek bu kavşakta trafik sayımları ve gerekli gözlemler yapılmıştır. Öncelikle trafik sayımı verileri, yapılan gözlemlerle birlikte analiz edilerek Birleşik Devletler Ulaştırma Bakanlığı Federal Karayolu İdaresi (FHWA) tarafından geliştirilen CAP-X Tool (Kavşakların Planlaması için Kapasite Analizi) Programı’na girilmiş ve sinyalizasyonlu kavşak denetim türü ile sinyalizasyonsuz dönel kavşak denetim türü kapasite (c) ve doygunluk oranı (v/c) performans parametreleri açısından kıyaslanmıştır. Ardından seçilen kavşağın mevcut durumu ile sinyalizasyonlu kavşak denetim türü, Çakıcı-Murat Yöntemi ile sinyalizasyonu iyileştirilmiş sinyalizasyonlu dönel kavşak denetim türü ve sinyalizasyonsuz dönel kavşak denetim türü uygulanarak Ulaşım ve Trafik Planlama A.Ş. (PTV) tarafından geliştirilen VISSIM (Kentiçi Trafik Simülasyon Modeli) Programı ile simüle edilmiştir. Daha sonra uygulanmış olan farklı kavşak denetim türleri; gecikme, hız, kuyruk uzunluğu, karbon emisyonu ve yakıt tüketimi gibi performans parametreleri bakımından kıyaslanmıştır. Çalışma sonucunda en iyi performans parametresi değerleri sinyalizasyonsuz dönel kavşak denetim türünde elde edilmiştir. Çakıcı-Murat Yöntemi ile sinyalizasyonu iyileştirilmiş sinyalizasyonlu dönel kavşak ve sinyalizasyonlu kavşak denetim türleri birbirine yakın performans göstermiştir. Ancak mevcut durumdaki sinyalizasyonlu dönel kavşak denetim türü en kötü performans parametrelerine sahip olmuştur. Bu gözlemlerin ve hesaplamaların ardından gerekli önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Trafik, Kavşak, Denetim, Simülasyon, Performans Parametresi

Investigation of At-Grade Intersections under Different Control Conditions: Example of Kütahya İbrik Intersection

Abstract

There are different types of control commonly used for at-grade intersections. In recent years, the signalized roundabout control type has frequently been preferred in at-grade intersections in our country, especially on urban roads. In this study, “İbrik Intersection,” which was built in Kütahya city center and actively operating during the observation dates, was selected because it has a sufficiently large central island diameter, has a significant traffic volume on the approach arms, has camera recording capability, and has a signalized roundabout control type. Traffic counts and necessary observations were made at this intersection. First of all, traffic count data were analyzed together with the observations. They were entered into the CAP-X Tool (Capacity Analysis for Planning Intersections)

Program developed by the United States Department of Transportation, Federal Highway Administration (FHWA) and the signalized intersection control type and the unsignalized roundabout control type were compared in terms of capacity (c) and saturation ratio (v/c) performance parameters. Then, the current status of the selected intersection and the signalized intersection control type were simulated with the VISSIM (Urban Traffic Simulation Model) Program developed by Transportation and Traffic Planning Inc. (PTV) by applying the signalized roundabout control type with improved signalization with the Çakıcı-Murat Method and the non-signalized roundabout control type. Then, the different intersection control types applied were compared regarding performance parameters such as delay, speed, queue length, carbon emission, and fuel consumption. As a result of the study, the best performance parameter values were obtained in the non-signalized roundabout control type. The signalized roundabout with improved signalization with the Çakıcı-Murat Method and the signalized intersection control types showed similar performance. However, the current signalized roundabout control type had the worst performance parameters. After these observations and calculations, necessary suggestions were made.

Key words: Trafik, Kavşak, Denetim, Simülasyon, Performans Parametresi

1. Giriş

İnsanlık tarihinde ulaşım konusu çok önemlidir. Ulaşım bir eşya ya da bir canlının bulunduğu konumdan farklı bir konuma taşınmasıdır. Ulaştırma ise bu yer değişimlerin sağlanması faaliyetidir. İnsanlar ticaret, salgın hastalıklar, kıtlık ya da savaş gibi sebeplerden dolayı göç etmek, coğrafi keşiflerde bulunmak ya da günlük ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla yolculuk yapmışlardır. Sanayi Devrimi'nden sonra ise motorlu taşıtların yaygınlaşması ulaşımında hızlı ve köklü değişimlerin yaşanmasına sebep olmuştur. Günümüzde devletlerin sosyal ve ekonomik yapılanmasının gelişmesiyle ulaştırma faaliyeti insanlık için para ve zaman değeri yüksek bir hizmet halini almıştır. Fakat bu gelişmeler hem ekosistem hem de insanlar için hayati önem teşkil eden sorunları da beraberinde getirmiştir. İnsanların yerleşik hayata geçmesi, kentlerin oluşması ve daha sonrasında sanayileşmeyle beraber büyümesi özellikle kent içinde kalan bölgelerde bu sorunların yoğunlaşmasına sebep olmuştur. Gelişen ve değişen dünya yapısı, kontrolsüz nüfus artışı ve taşıt sahipliğine olan ihtiyacın artması sebebiyle özellikle kentiçi yollarda sera gazı emisyonlarının artması, yakıt tüketiminin çoğalması, trafik kazalarının artması, taşıt ömürlerinin azalması ve gecikmelerin ya da duraklamaların artması gibi olumsuzluklar ortaya çıkmıştır (Çırak, 2023). Bu sebeplerden dolayı doğal çevrenin bozulmasıyla birlikte insan psikolojisi ve sirkadiyen döngüsü de olumsuz etkilenmektedir. Dolayısıyla, dünyada ve ülkemizde bu sorunların azaltılması amacıyla çalışmalar yapılmaktadır.

Ülkemizde kentiçi yollarda çoğunlukla sinyalize dönel kavşak, sinyalize kavşak ve dönel kavşak tipleri tercih edilmektedir. Ülkemiz sürücülerinin alışkanlıkları sebebiyle kavşak yaklaşım kollarından en az birindeki trafik hacminin fazla olduğu durumlarda, Avrupa'ya kıyasla Avustralya ve Çin'de daha sık tercih edilen sinyalize dönel kavşaklar kullanılmaktadır. Kent içi yollarda farklı düzey kavşak çözümleri de denenmiştir. Bununla birlikte, ana akım doğrultusunda düz devam eden trafik akımından ziyade farklı doğrultulara ayrılan ve yan akımlara dağılan trafik hacimlerinin fazla olması bu tür farklı düzey kavşakların fonksiyonelliğini azaltmaktadır. Ayrıca bu tür kavşaklar genellikle kent mimarisıyla uyum sağlayamamaktadır. Ancak ana akımda doğru devam eden taşıt oranının daha yüksek olduğu şehirlerarası yollarda özellikle ayrılma ve katılmaların sağ şeritten olduğu ve ayrılma-katılma şeritleriyle desteklendiği durumlarda etkili çalışmaktadır.

Kavşaklar, yol ağlarında, çakışan trafik akımlarının etkileşime girmeye zorlandığı kritik noktalar. Kentsel ortamlardaki kavşaklarda en yaygın trafik kontrol stratejileri, dur-kalk veya trafik sinyalleridir. Kavşaklarda sinyalizasyon sistemlerinin bulunması, trafiği etkin yönetme ve kazaları azaltma amacı gütsen de bazen gereksiz gecikmelere (duraklamalara) ve kuyruk uzunluklarında artışa sebep olmaktadır. Bunun sonucunda zaman kayıpları, stres seviyeleri, yakıt tüketimi ve taşıt yıpranmaları artmaktadır (Tanyel, 2001; Yayla, 2015). Dolayısıyla, etkin kavşak denetim yöntemleri, seyahat gecikmeleri ile trafik sıkışıklığını azaltmanın ve araçların daha güvenli hareket etmelerini sağlamanın en pratik yolu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Çakışan trafik akımlarını yönetmek için önerilen çözümlerden biri, dönel kavşakların kullanılmasıdır. Dönel kavşaklar, trafiğin kavşaktaki merkezi bir ada etrafında döndüğü ve giren trafiğin dolaşımdaki trafiğe yol verdiği trafik kontrol yapılarıdır. Bunların hem çatışma noktalarının şiddetini hem de sıklığını azalttığı gösterilmiştir. Bu kapsamda gerçekleştirilen bir çalışmada, yoğun bir kentsel ağdaki kavşaklarda uygulanan dönel kavşakların operasyonel performans üzerindeki etkisi incelenmiş ve üç kavşak stratejisi karşılaştırılmıştır. Bu stratejiler, sola dönüşlere izin veren sinyalize kavşaklar, sola dönüşü yasaklayan sinyalize kavşaklar ve modern dönel kavşaklardır. Sonuçlar, tek şeritli dönel kavşakların, sola dönüşlere izin veren sinyalize kavşaklardan daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuştur. Dönel kavşaklar, ayrıca serbest akım hızı ve akım hareket kapasitesi açısından sola dönüşü yasaklayan sinyalize kavşaklardan daha iyi performans göstermiştir. Ancak, çok şeritli ağlarda iki şeritli dönel kavşaklar kullanıldığında, sola dönüşü yasaklayan sinyalize kavşaklar performans bakımından dönel kavşakları geride bırakmıştır (Taglieri vd., 2024).

Çalışma kapsamında Kütahya kent merkezinde bulunan ve yaklaşım kollarında önemli trafik hacmine sahip olan bir adet sinyalize dönel kavşak seçilmiş olup bu kavşakta sabah ve akşam zirve saatlerde video kamerayla desteklenen taşıt sayımları gerçekleştirilmiştir. Bu sayımlardan elde edilen verilerden hesaplanan performans parametreleri, aynı kavşağın sinyalizasyonunun iyileştirilmesi, dönel kavşak veya sinyalize kavşak yapılması durumunda ortaya çıkacak olan performans parametreleriyle kıyaslanarak sonuçların ve önerilerin oluşturulmasında kullanılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, analizlerin gerçekleştirilmesi için Kütahya kent merkezinde yer alan ve merkez ada çapı yeterli büyüklükte olan “İbrik Kavşağı” seçilmiştir. Bu kavşağın seçilmesinin diğer sebepleri, yaklaşım kollarında yüksek trafik hacminin gözlemlenmesi, kamera ile kayıt yapılabilmesi, gözlem tarihleri arasında aktif olarak çalışması ve sinyalize dönel kavşak denetim türü uygulanmasıdır. Daha sonra, adı geçen kavşakta trafik sayımları gerçekleştirilmiş ve gerekli saha gözlemleri yapılmıştır. Elde edilen trafik verileri ve gözlem sonuçları, Birleşik Devletler Ulaştırma Bakanlığı Federal Karayolu İdaresi (FHWA) tarafından geliştirilen CAP-X (Kapasite Analizi Planlama Aracı) programına girilerek analiz edilmiştir. Bu analizde, sinyalize kavşak denetim türü ile sinyalizasyonsuz dönel kavşak denetim türü, kapasite (c) ve doyumluk oranı (v/c) gibi performans parametreleri açısından karşılaştırılmıştır. Daha sonra, çalışmada, İbrik Kavşağı’na ilişkin dört farklı kavşak denetim türü senaryosu ele alınmıştır: mevcut durumda kullanılan sinyalize dönel kavşak, klasik sinyalize kavşak, Çakıcı-Murat Yöntemi ile sinyalizasyonu iyileştirilmiş sinyalize dönel kavşak ve sinyalizasyonsuz dönel kavşak. Bu senaryolar, Ulaşım ve Trafik Planlama A.Ş. (PTV) firması tarafından geliştirilen VISSIM (Kentsel Trafik Simülasyon Modeli) programı kullanılarak simüle edilmiştir. Son olarak, göz önüne alınan bu farklı kavşak denetim türleri, ortalama gecikme süresi, araç hızı, kuyruk uzunluğu, karbon emisyonu ve yakıt tüketimi gibi performans ölçütleri açısından karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

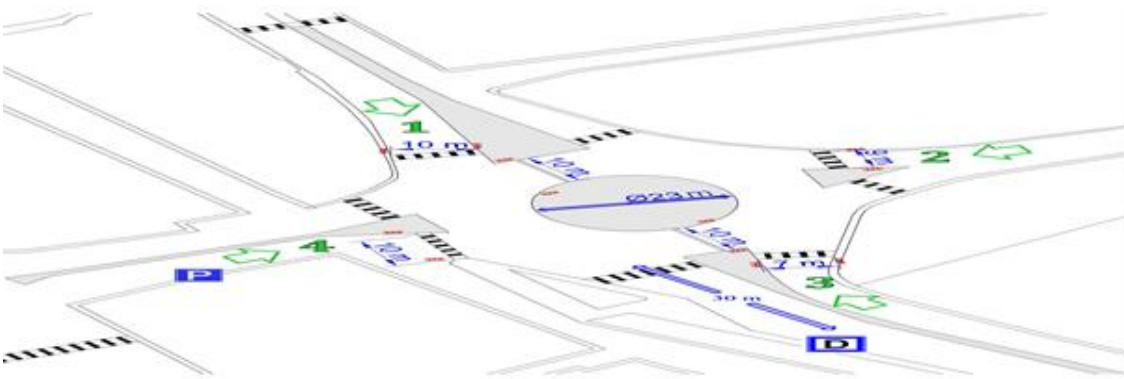
2.1. Kütahya İbrik Kavşağı

Daha önce de ifade edildiği gibi, çalışma kapsamında veri toplamak ve analizleri gerçekleştirmek amacıyla, Kütahya İli Merkez İlçesi Alipaşa Mahallesi'nde bulunan ve Fevzi Çakmak Caddesi ile Mehmet Akif Ersoy Caddesi'nin kesişim noktasında yer alan İbrik Kavşağı isimli sinyalizasyon döne kavşak seçilmiştir. Bu kavşağın tercih edilmesinin başlıca sebepleri; kent merkezi trafiği açısından önemli sayılabilecek arterler üzerinde yer alması, en az bir yaklaşım kolunda yüksek giriş hacimlerine sahip olması, kent merkezinde yer alan en büyük merkez ada çapına sahip sinyalizasyon döne kavşaklardan biri olması, yakın çevresinde toplu taşıma durağı ve trafik çekimi oluşturan bir merkezin (pazar yeri) bulunması, video kamerayla kayıt alma olanağı sunması ve gözlem yapılan dönemde aktif bir sinyalizasyon sistemine sahip olmasıdır. Trafik sayımları ise sabah ve akşam zirve saatlerinde, gözlemlerle desteklenen video kamera kayıtları aracılığıyla gerçekleştirilmiştir.

Yapılan gözlemler ve trafik sayımları sonucu elde edilen veriler, çalışmanın tamamında temel veri kaynağı olarak kullanılmış olup, bulunan sonuçların değerlendirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Şekil 1'de İbrik Kavşağı'na ait uydu görüntüsü, Şekil 2'de ise kavşağın geometrik özelliklerini gösteren ve AutoCAD programı ile çizilmiş plan yer almaktadır. İbrik Kavşağı'nın koordinatları ise, 39°24'54.30" Kuzey enlemi ve 29°59'45.90" Doğu boylamıdır.



Şekil 1: İbrik Kavşağı uydu görüntüsü



Şekil 2: İbrik Kavşağı geometrik özellikleri

Kavşaklarda sinyalizasyon sistemlerinin bulunması, trafiği etkin yönetme ve kazaları azaltma amacı gütsede bazen gereksiz gecikmelere (duraklamalara) ve kuyruk uzunluklarında artışa sebep olmaktadır. Bunun sonucunda zaman kayıpları, stres seviyeleri, yakıt tüketimi ve taşıt yıpranmaları artmaktadır (Tanyel, 2001; Yayla, 2015).

2.2. Metot

Sinyalize dönel kavşaklarda tasarım sürecinde karşılaşılan temel sorunların başlıcaları; özellikle sola dönüşlerde kavşak içindeki depolama hacminin yetersizliği ve bu durumun doğru yönde devam eden araçlarda ilave gecikmeler yaratması, kavşak geometrisinin uygun şekilde tasarlanmamış olması ve uygulanan faz planlarının performans açısından yetersiz kalmasıdır. Bununla birlikte, sinyalize dönel kavşakların temel amacı; kavşağa yaklaşan kollardaki trafik hacminin artmasıyla birlikte, ada etrafında sirküle olan ve kollardan devam eden taşıt akımlarının çakışması sonucu artabilecek kaza riskini, sinyalizasyon sistemi yardımıyla en aza indirmektir.

Bu çalışma kapsamında, kamera konumu ve zaman sınırlamaları nedeniyle sahada kuyruk uzunluğu ve gecikme ölçümleri yapılamadığından analizlerde VISSIM yazılımı aracılığıyla elde edilen simülasyon verileri kullanılmıştır. Sinyalize dönel kavşağa yönelik önerilen sinyalizasyon iyileştirmeleri, Çakıcı-Murat Yöntemi kullanılarak yapılan hesaplamalardan elde edilen faz ve devre süreleri esas alınarak gerçekleştirilmiştir (Çakıcı ve Murat, 2016). Ayrıca, sinyalize kavşak olması senaryosu için saptanan faz ve devre süreleri, Webster Yöntemi temel alınarak ve Çetinkaya'nın 2008 yılında yaptığı çalışmadan da yararlanılarak belirlenmiştir (Çetinkaya, 2008).

Bu çalışmada, dört farklı senaryo CAP-X Tool ve VISSIM simülasyon programları kullanılarak analiz edilmiş ve karşılaştırmalı sonuçlara ulaşılmıştır. Analiz edilen senaryolar şu şekildedir:

1. Sinyalize dönel kavşak – mevcut durum,
2. **Webster Yöntemi'ne göre çözümlenmiş sinyalize kavşak (Webster ve Cobbe, 1966),**
3. **Çakıcı-Murat Yöntemi ile sinyalizasyonu iyileştirilmiş sinyalize dönel kavşak (Çakıcı ve Murat, 2016),**
4. **Sinyalsiz dönel kavşak.**

Daha sonra, her bir senaryo için araç gecikmeleri, kuyruk uzunlukları ve kapasite değerleri belirlemiş; elde edilen bulgular karşılaştırmalı olarak yorumlanmıştır.

2.2.1. Webster Yöntemi

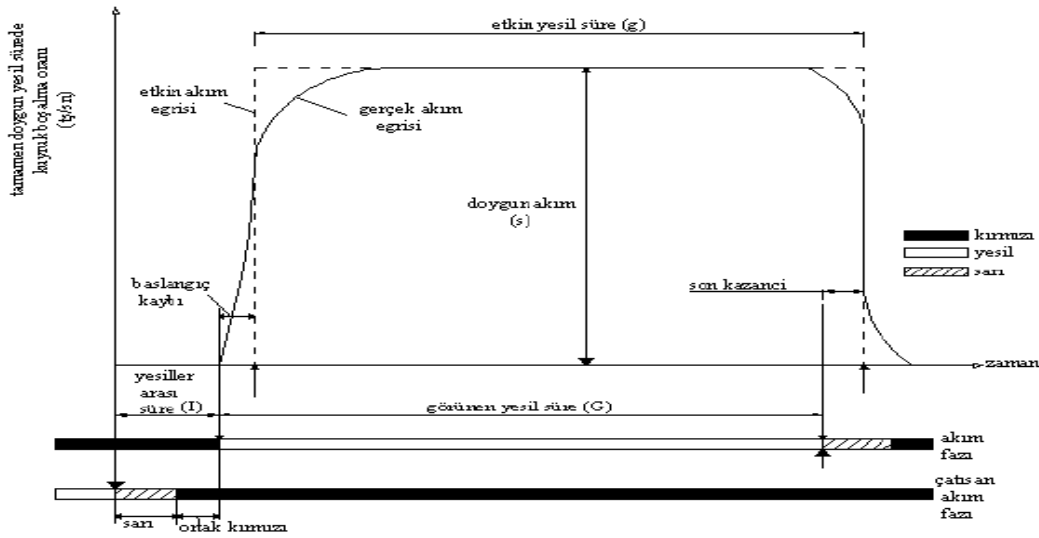
Webster Yöntemi, sinyalize kavşakların optimum sinyal sürelerini (faz süreleri ve devre süresi) hesaplamak için kullanılan analitik bir yöntemdir. Bu yöntem, gecikmeleri en aza indirmek ve kavşak verimliliğini artırmak amacıyla geliştirilmiştir. Kavşaktaki toplam gecikmeyi en aza indirecek optimum devre süresini verir. Bu süre belirlendikten sonra, yeşil süreler her yaklaşıma, doyunluk derecesiyle orantılı olarak dağıtılır. Bu yöntemle ortalama gecikme değerleri de yaklaşık olarak hesaplanabilir ve bu sayede sinyalizasyonun performansı değerlendirilebilir.

Webster Yöntemi'nde doyun akım değeri, öncelikle kavşak kolunun genişliğine bağlı olarak belirlenmekte, ardından eğim, taşıt kompozisyonu, sağa veya sola dönüş yapan araç hacimleri, yaya geçişleri ve park şeridi etkisi gibi faktörler dikkate alınarak düzeltilmektedir. Ülkemiz koşulları göz önüne alındığında, Çalışkanelli ve Tanyel (2018) tarafından temel doyun akım değerleri; sinyalize

kavşaklar için 1720 taşıt/saat/şerit, sinyalize dönel kavşaklar için ise 1634 taşıt/saat/şerit olarak önerilmiştir (Çalışkanelli ve Tanyel, 2018). Ancak, bu çalışma kapsamında Webster Yönetimi'nde belirtilen hesaplama yaklaşımı esas alınarak analizler gerçekleştirilmiştir. Şekil 3, doymuş akım eğrisini göstermektedir.

2.2.2. Çakıcı-Murat Yöntemi

Çakıcı-Murat Yöntemi, özellikle sinyalize dönel kavşaklar için uygun faz ve devre sürelerinin belirlenmesini amaçlayan bir hesaplama yöntemidir. Bu yöntem, klasik Webster yaklaşımının bazı sınırlamalarını dikkate alarak, dönel kavşak geometrisini ve trafik davranışlarını daha iyi dikkate alan bir sistem sunmayı hedefler. Bu yöntemde, geleneksel sinyalize kavşaklardan farklı olarak, araçların kavşak içinde sirkülasyon yapması ve çakışma noktalarının daha fazla olması göz önüne alınır. Ayrıca, her bir yaklaşım kolu için giriş ve çıkış hareketleri analiz edilerek optimum faz süreleri hesaplanır. Böylece kavşağın trafik akışı üzerindeki etkisi daha bütüncül bir şekilde analiz edilir.



Şekil 3. Doymuş akım eğrisi (Çetinkaya, 2008)

Yaklaşım kollarından kavşağa giriş yapmakta olan taşıtlar Şekil 4'te belirtildiği gibi bir yörünge izlemekte ve üç farklı gecikmeye maruz kalmaktadır. Bu gecikmeler, yavaşlama gecikmesi, durma gecikmesi ve hızlanma gecikmesi olarak sıralanabilir. Bir taşıt genel olarak en fazla gecikmeye ve yıpranmaya durma eylemi sırasında maruz kalmaktadır. Bu nedenle tasarlanan kavşağa giriş yapan taşıtların dur-kalk hareketi yapmasının mümkün olduğunca azaltılması hem trafik akışının sürekliliği hem de taşıt performansı ve kullanıcı konforu açısından önemli bir tasarım hedefi olmalıdır.

Şekil 5, sinyalize dönel kavşaklar için Çakıcı -Murat Hesap Yöntemi aşamalarını göstermektedir (Çakıcı ve Murat, 2016). Bu akış diyagramında da belirtildiği üzere merkez ada etrafındaki sinyalizasyon sisteminin yeşil süresi, Çakıcı (2016) tarafından geliştirilen aşağıdaki denklem ile kolayca hesaplanabilmektedir.

$$\phi = \alpha + [(n - 1) \times \lambda] + \epsilon \quad (1)$$

Bu denklemde;

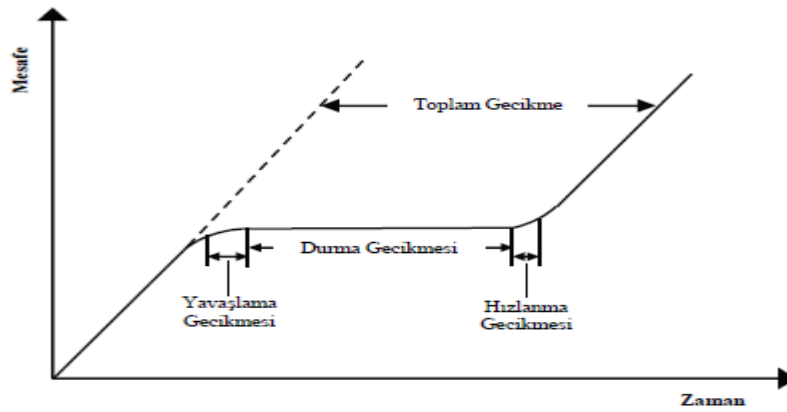
ϕ : Merkez ada etrafındaki sinyalizasyon sisteminin yeşil süresi (sn),

α : Sinyalizasyon sisteminin ön kısmındaki taşıtların başlangıç hareket kayıpları (sn),

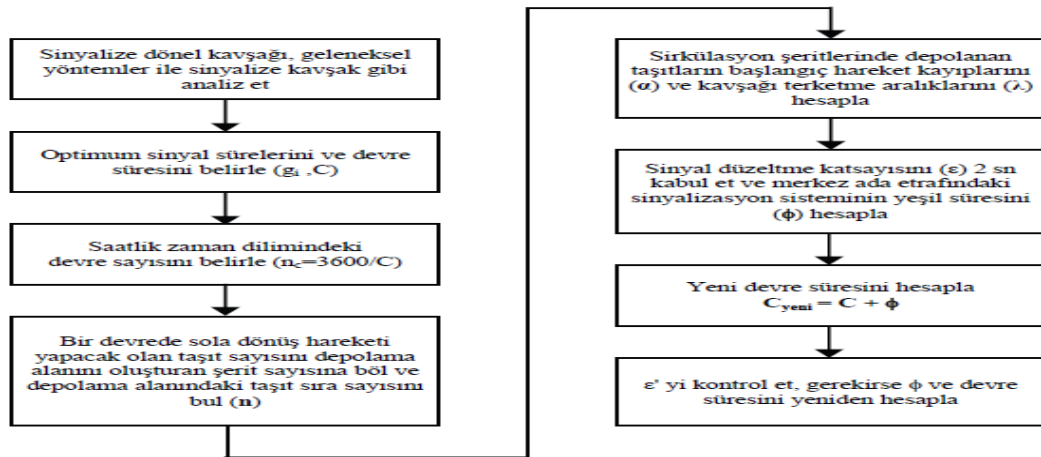
n : Depolama alanındaki taşıt sıra sayısı,

λ : Taşıtların kavşağı terk etme aralığı (sn),

ϵ : Sinyal düzeltme katsayısıdır (sn).



Şekil 4. Sinyalize kavşak yaklaşım kolundaki bir taşıtın yörünge diyagramı (Çakıcı ve Murat, 2016)



Şekil 5. Sinyalize dönel kavşaklar için Çakıcı -Murat Hesap Yöntemi aşamaları (Çakıcı ve Murat, 2016).

3. Bulgular

İbrik Kavşağı'na ilişkin taşıt sayımları, biri sabah ve biri akşam olmak üzere iki ayrı zirve saatte gerçekleştirilmiştir. Sabah zirve saat sayımı 01.08.2024 Perşembe günü 08:00 ile 0900 saatleri arasında; akşam zirve saat sayımı ise 07.08.2024 Çarşamba günü 17.00 ile 18.00 arasında yapılmıştır. Saha gözlemleri sırasında, 1 ve 4 numaralı yaklaşım kollarındaki sağa dönüş şeritlerinin oldukça kısa olması nedeniyle, bu şeritlerin kullanımında işlevsel sıkıntılar gözlemlenmiştir. Genellikle 2 numaralı (sağ) şeritte bekleyen ve düz devam eden araçlar nedeniyle, sağa dönüş yapacak taşıtlar ilgili şeridi kullanamamakta, bu durum da trafik akışını olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle, simülasyon ve analiz çalışmalarında kullanılan yazılımlara veri girişi yapılırken, tüm yaklaşım kolları iki şeritli olarak kabul edilmiştir. Taşıt hacimleri, analiz öncesinde Tablo 1’de verilen TS 6407 standardına uygun eşdeğer birim otomobil (EBO) dikkate alınarak düzeltilmiş ve bu şekilde modelleme sürecine dâhil edilmiştir.

Tablo 1. TS 6407 Standardı Eşdeğer Birim Otomobil (EBO) değerleri

Araç Cinsi	Şehir İçi Yolda	Dönel Kavşakta	Işık Kontrollü Kavşakta
Özel otomobil, taksi, sepetli motosiklet, üç tekerlekli motosiklet (triportör), yüksüz 1500 kg’a kadar olan pikap	1,00	1,00	1,00
Minibüs, dolmuş, taksi	1,15	1,30	1,27
Yüksüz 1500 kg’dan ağır ticari kamyon, at arabası	2,00	2,80	1,75
Kent içi ve dışı yolcu otobüsü (körüklü dahil), servis otobüsü, trolleybüs, tramvay	3,00	2,80	2,25
Motosiklet, mopet	0,75	0,75	0,33
Bisiklet	0,33	0,50	0,20

Not: Işıklı trafik işaretleriyle donatılmış dönel kavşakta “ışık kontrollü kavşak” katsayıları alınır.

3.1. Yaya Sayımları

Tablo 1 ve Tablo 2’de görüldüğü üzere, yaya trafiği sayıları oldukça düşük düzeydedir. Ayrıca yapılan saha gözlemlerinde, mevcut sinyalizasyon sürelerinin yaya geçişleri için yeterli olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle, çalışma kapsamında yaya hareketleri analizlerde dikkate alınmamıştır. Ancak, gelecekte yaya trafiğinde artış meydana gelmesi durumunda, sinyal sürelerinin yeniden değerlendirilmesi ve yayaların geçiş sürelerinin sinyal planlamasına entegre edilmesi gerekecektir.

Tablo 2. Sabah zirve saati yaya trafiği sayımları

Sabah Sayımı (01.08.2024 – Perşembe)	
Yön	Yaya Sayısı
Batı - Doğu	65
Doğu - Batı	20
Güney - Kuzey	20
Kuzey - Güney	15
Toplam	120

Tablo 3. Akşam zirve saati yaya trafiği sayımları

Akşam Sayımı (07.08.2024 – Çarşamba)	
--------------------------------------	--

Canşe ve Vitoşoğlu, Eşdüzey Kavşakların Farklı Denetim Koşulları Altında İncelenmesi: Kütahya İbrik Kavşağı Örneği

Yön	Yaya Sayısı
Batı - Doğu	18
Doğu - Batı	10
Güney - Kuzey	50
Kuzey - Güney	45
Toplam	123

3.2. Sabah Zirve Saat Taşıt Sayımları

Tablo 4'te sunulan veriler, 01.08.2024 Perşembe günü 08:00-09:00 saatleri arasında gerçekleştirilen sabah zirve saati gözlemlerine ait tüm devrelerin trafik sayımı sonuçlarının toplamını ifade etmektedir. Bu veriler, TS 6407 standardında belirtilen sinyalize kavşak ve sinyalize dönel kavşaklar için öngörülen taşıt türü katsayıları dikkate alınarak, eşdeğer birim otomobil (EBO) cinsinden düzeltilerek analiz edilmiştir.

Tablo 4. Sabah zirve saat trafiği devre sayımı (sinyalize kavşak ve sinyalize dönel kavşak katsayıları ile EBO cinsinden düzeltilmiş değerler)

Sabah Devre Sayımı Toplamı (Perşembe) Düzeltilmiş - Sinyalize Kavşak ve Sinyalize Dönel Kavşak															
1 Numaralı Yaklaşım Kolu								2 Numaralı Yaklaşım Kolu							
Sağa Dönen		Düz Devam Eden		Ada Etrafında Sola Dönen Taşıtlar				Sağa Dönen		Düz Devam Eden		Ada Etrafında Sola Dönen Taşıtlar			
Sağ Şerit	Sol Şerit	Sağ Şerit	Sol Şerit	1. Şerit	2. Şerit	3. Şerit		Sağ Şerit	Sol Şerit	Sağ Şerit	Sol Şerit	1. Şerit	2. Şerit	3. Şerit	
Toplam	23	9	174	131	16	15	14	Toplam	56	8	76	39	5	38	43
3 Numaralı Yaklaşım Kolu								4 Numaralı Yaklaşım Kolu							
Sağa Dönen		Düz Devam Eden		Ada Etrafında Sola Dönen Taşıtlar				Sağa Dönen		Düz Devam Eden		Ada Etrafında Sola Dönen Taşıtlar			
Sağ Şerit	Sol Şerit	Sağ Şerit	Sol Şerit	1. Şerit	2. Şerit	3. Şerit		Sağ Şerit	Sol Şerit	Sağ Şerit	Sol Şerit	1. Şerit	2. Şerit	3. Şerit	
Toplam	42	18	238	276	8	16	18	Toplam	51	2	33	40	63	19	13

Tablo 5'te yer alan veriler ise, 01.08.2024 Perşembe günü 08:00-09:00 saatleri arasında gerçekleştirilen sabah zirve saati gözlemleri kapsamında, tüm devrelere ait trafik sayımı değerlerinin toplamını ifade etmektedir. Bu veriler, TS 6407 standardında belirtilen dönel kavşak katsayıları kullanılarak eşdeğer birim otomobil (EBO) cinsinden düzeltilmiş ve bu şekilde analiz sürecine dâhil edilmiştir.

Tablo 5. Sabah zirve saat trafiği devre sayımı (dönel kavşak katsayıları ile EBO cinsinden düzeltilmiş değerler)

Sabah Devre Sayımı Toplamı (Perşembe) _Düzeltilmiş - Dönel Kavşak															
1 Numaralı Yaklaşım Kolu								2 Numaralı Yaklaşım Kolu							
Sağa Dönen		Düz Devam Eden		Ada Etrafında Sola Dönen Taşıtlar			Sağa Dönen		Düz Devam Eden		Ada Etrafında Sola Dönen Taşıtlar				
Sağ Şerit	Sol Şerit	Sağ Şerit	Sol Şerit	1. Şerit	2. Şerit	3. Şerit	Sağ Şerit	Sol Şerit	Sağ Şerit	Sol Şerit	1. Şerit	2. Şerit	3. Şerit		
Toplam	25	10	208	141	17	18	15	Toplam	61	9	80	42	6	45	53
3 Numaralı Yaklaşım Kolu								4 Numaralı Yaklaşım Kolu							
Sağa Dönen		Düz Devam Eden		Ada Etrafında Sola Dönen Taşıtlar			Sağa Dönen		Düz Devam Eden		Ada Etrafında Sola Dönen Taşıtlar				
Sağ Şerit	Sol Şerit	Sağ Şerit	Sol Şerit	1. Şerit	2. Şerit	3. Şerit	Sağ Şerit	Sol Şerit	Sağ Şerit	Sol Şerit	1. Şerit	2. Şerit	3. Şerit		
Toplam	48	20	274	289	10	16	21	Toplam	55	3	38	40	69	21	13

3.3. Akşam Zirve Saat Taşıt Sayımları

Tablo 6’da sunulan veriler, 07.08.2024 Çarşamba günü 17:00-18:00 saatleri arasında gerçekleştirilen akşam zirve saati gözlemleri kapsamında, tüm devrelere ait trafik sayımı değerlerinin toplamını göstermektedir. Bu veriler, TS 6407 standardında belirtilen sinyalize kavşak ve sinyalize dönel kavşak katsayıları esas alınarak, eşdeğer birim otomobil (EBO) cinsinden düzeltilmiş ve analizde bu şekilde kullanılmıştır.

Tablo 7’de yer alan veriler ise, 07.08.2024 Çarşamba günü 17:00-18:00 saatleri arasında gerçekleştirilen akşam zirve saati gözlemleri kapsamında, tüm devrelere ait trafik sayımı değerlerinin toplamını ifade etmektedir. Söz konusu veriler, TS 6407 standardında belirtilen dönel kavşak katsayıları kullanılarak eşdeğer birim otomobil (EBO) cinsinden düzeltilmiş ve bu şekilde analiz sürecine dâhil edilmiştir.

Tablo 6. Akşam zirve saat trafiği devre sayımı (sinyalize kavşak ve sinyalize dönel kavşak katsayıları ile EBO cinsinden düzeltilmiş değerler)

Akşam Devre Sayımı Toplamı (Çarşamba) Düzeltilmiş - Sinyalize Kavşak ve Sinyalize Dönel Kavşak															
1 Numaralı Yaklaşım Kolu								2 Numaralı Yaklaşım Kolu							
Sağa Dönen		Düz Devam Eden		Ada Etrafında Sola Dönen Taşıtlar				Sağa Dönen		Düz Devam Eden		Ada Etrafında Sola Dönen Taşıtlar			
Sağ Şerit	Sol Şerit	Sağ Şerit	Sol Şerit	1. Şerit	2. Şerit	3. Şerit		Sağ Şerit	Sol Şerit	Sağ Şerit	Sol Şerit	1. Şerit	2. Şerit	3. Şerit	
Toplam	19	27	351	334	38	34	10	Toplam	51	4	47	21	15	70	33
3 Numaralı Yaklaşım Kolu								4 Numaralı Yaklaşım Kolu							
Sağa Dönen		Düz Devam Eden		Ada Etrafında Sola Dönen Taşıtlar				Sağa Dönen		Düz Devam Eden		Ada Etrafında Sola Dönen Taşıtlar			
Sağ Şerit	Sol Şerit	Sağ Şerit	Sol Şerit	1. Şerit	2. Şerit	3. Şerit		Sağ Şerit	Sol Şerit	Sağ Şerit	Sol Şerit	1. Şerit	2. Şerit	3. Şerit	
Toplam	43	22	212	249	13	20	11	Toplam	141	4	81	96	88	9	3

Tablo 7. Akşam zirve saat trafiği devre sayımı (dönel kavşak katsayıları ile EBO cinsinden düzeltilmiş değerler)

Akşam Devre Sayımı Toplamı (Çarşamba) Düzeltilmiş - Dönel Kavşak															
1 Numaralı Yaklaşım Kolu								2 Numaralı Yaklaşım Kolu							
Sağa Dönen		Düz Devam Eden		Ada Etrafında Sola Dönen Taşıtlar				Sağa Dönen		Düz Devam Eden		Ada Etrafında Sola Dönen Taşıtlar			
Sağ Şerit	Sol Şerit	Sağ Şerit	Sol Şerit	1. Şerit	2. Şerit	3. Şerit		Sağ Şerit	Sol Şerit	Sağ Şerit	Sol Şerit	1. Şerit	2. Şerit	3. Şerit	
Toplam	23	29	399	348	39	38	10	Toplam	54	4	50	23	16	74	36
3 Numaralı Yaklaşım Kolu								4 Numaralı Yaklaşım Kolu							
Sağa Dönen		Düz Devam Eden		Ada Etrafında Sola Dönen Taşıtlar				Sağa Dönen		Düz Devam Eden		Ada Etrafında Sola Dönen Taşıtlar			
Sağ Şerit	Sol Şerit	Sağ Şerit	Sol Şerit	1. Şerit	2. Şerit	3. Şerit		Sağ Şerit	Sol Şerit	Sağ Şerit	Sol Şerit	1. Şerit	2. Şerit	3. Şerit	
Toplam	49	23	249	265	16	20	11	Toplam	144	4	88	97	92	11	3

Daha önce belirtildiği gibi, gözlemler ve trafik sayımları 01.08.2024 Perşembe günü 08:00-09:00 saatleri ile 07.08.2024 Çarşamba günü 17:00-18:00 saatleri arasında gerçekleştirildiğinden verilerin mevsimsel dağılımı ve temsiliyeti konusunda herhangi bir istatistiksel çalışma yapılmamıştır.

4. Hesaplamalar ve Tartışma

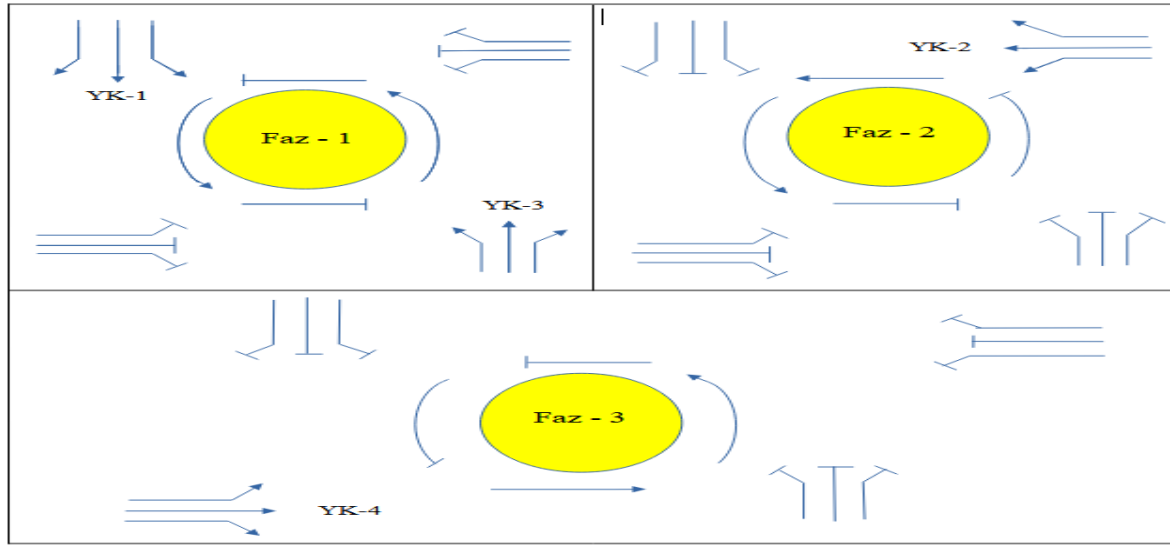
Bu çalışmada, daha önce de değinildiği gibi dört farklı durum senaryosu CAP-X Tool ve VISSIM simülasyon programları kullanılarak analiz edilmiştir.

4.1. İbrik Kavşağı’nın Mevcut Durumundaki Faz Planı ve Devre Süreleri

Mevcut durumda İbrik Kavşağı’nın faz planı Şekil 6’da görüldüğü gibidir. Yeşil süreler ve devre süreleri ise şu şekildedir: g_1 ve $g_3 = 25$ sn; $g_2 = 15$ sn; $g_4 = 15$ sn; $L = 16$ sn; $C = 71$ sn.

4.2. Webster Yöntemi Sinyalizasyon Hesabı

Webster Yöntemi'ne göre gerçekleştirilen çözümleme sonuçları, Tablo 8 ve Tablo 9'da sunulmuş olup oluşturulan faz planı ise Şekil 7'de gösterilmiştir. Gün içerisinde sabit zamanlı sinyalizasyon uygulanmasına karar verildiğinden ilgili hesaplamalar Tablo 8 ve Tablo 9'da belirtilen faz ve çevrim süreleri esas alınarak gerçekleştirilmiştir.



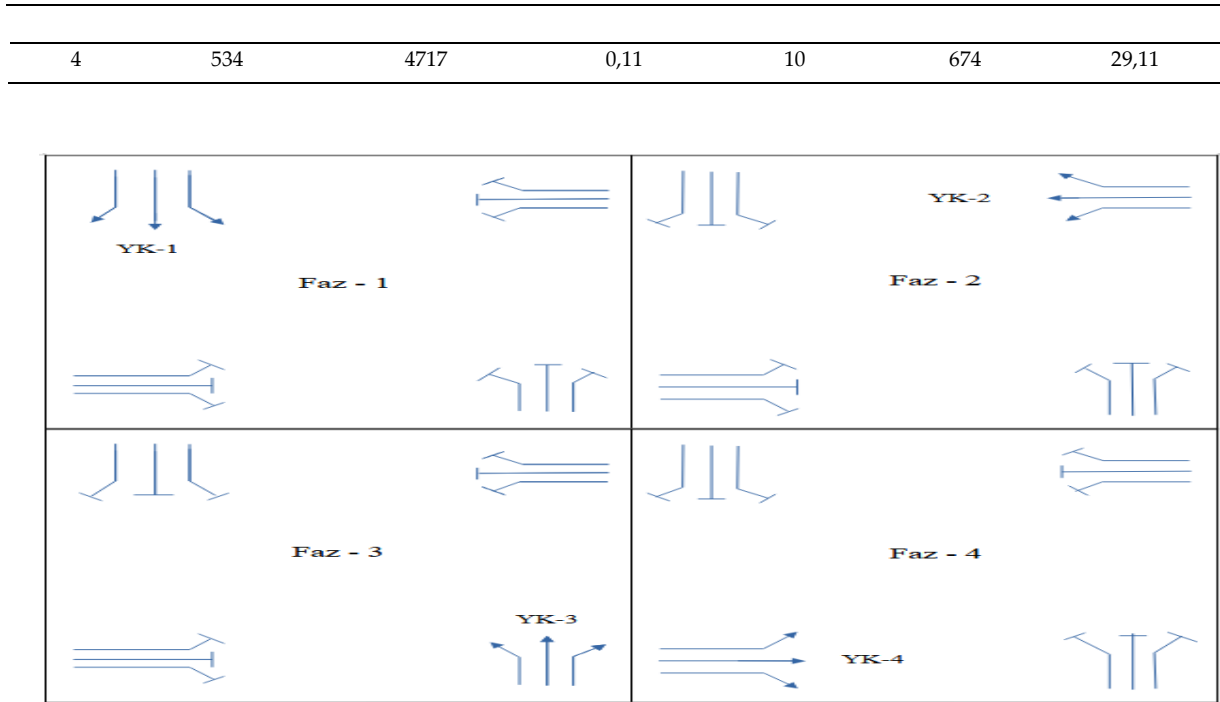
Şekil 6. Sinyalize dönel kavşak mevcut durum faz planı

Tablo 8. Sabah zirve saat trafiği Webster Yöntemi sonuçları (Devre Süresi (C) = 70 sn)

Yaklaşım Kolu	Düzeltilmiş Akım (taşıt/saat)	Düzeltilmiş Doygun Akım (taşıt/saat)	Akım Oranları	Yeşil Süre (sn)	Kapasite (c)	Gecikme (sn/taşıt)
1	466	5248	0,09	15	1125	23,90
2	387	4723	0,08	10	675	28,13
3	727	3674	0,20	15	787	27,07
4	206	4717	0,044	10	674	27,06

Tablo 9. Akşam zirve saat trafiği Webster Yöntemi sonuçları (Devre Süresi (C) = 70 sn)

Yaklaşım Kolu	Düzeltilmiş Akım (taşıt/sa)	Düzeltilmiş Doygun Akım (taşıt/sa)	Akım Oranları	Yeşil Süre (sn)	Kapasite (c)	Gecikme (sn/taşıt)
1	875	5248	0,17	15	1125	26,12
2	344	4723	0,07	10	675	27,87
3	685	3674	0,19	15	787	26,72



Şekil 7. Webster Yöntemi faz planı

4.3. Çakıcı-Murat Yöntemi

İbrik Kavşağı'na yönelik olarak Çakıcı-Murat Yöntemi'ne göre gerçekleştirilen sinyalizasyon iyileştirmesine ait faz ve çevrim süreleri Tablo 10 ve Tablo 11'de sunulmuştur. Uygulanan faz planı ise Şekil 8'de gösterilmiştir. Söz konusu sinyalizasyon düzenlemesi, Çakıcı ve Murat'ın 2016 yılında gerçekleştirdiği çalışma ile Tracz ve Choudur'un 2012 tarihli çalışmasından esinlenerek oluşturulan iki fazlı bir devre planı çerçevesinde kurgulanmıştır. Bu iyileştirme senaryosuna ilişkin detaylı performans parametresi analizleri, VISSIM Simülasyon Programı kullanılarak yapılmış olup, sonuçlar 4. Bölümde ayrıntılı şekilde açıklanmıştır.

Şekil 6, 7 ve 8'deki faz planlarında oklar (→) fazın o bölümünde taşıtların ok yönünde hareket edebileceklerini, önünde dik yönde küçük bir çizgi bulunan çizgiler (—|) ise taşıtların söz konusu yön için durmaları gerektiğini ifade etmektedir.

Tablo 10. Sabah zirve saat trafiği Çakıcı-Murat Yöntemi sonuçları (Devre Süresi (C) = 50 sn)

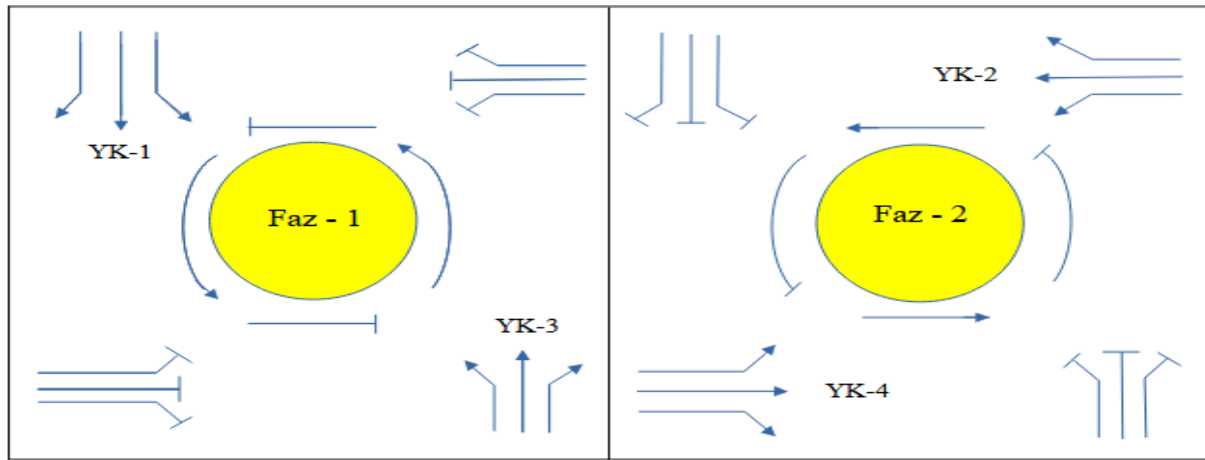
Yaklaşım Kolu	Düzeltilmiş Akım (taşıt/saat)	Düzeltilmiş Doygun Akım (taşıt/saat)	Yeşil Süre (sn)
1	466	5248	25
2	387	4723	15
3	727	3674	25
4	206	4717	15

5. Sonuçlar ve Öneriler

CAP-X Tool Programı aracılığıyla elde edilen verilere göre, İbrik Kavşağı'nda hem sabah hem de akşam zirve saatlerine ait trafik verileri kullanılarak hesaplanan performans parametreleri Tablo 12'de sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, iki giriş ve dönüş şeritli dönel kavşağın, sinyalizasyon kavşak çözümüne kıyasla hem trafik hacmi hem de kapasite açısından daha yüksek performans sergilediği görülmüştür.

Tablo 11. Akşam zirve saat trafiği Çakıcı-Murat Yöntemi sonuçları (Devre Süresi (C) = 50 sn)

Yaklaşım Kolu	Düzeltilmiş Akım (taşıt/saat)	Düzeltilmiş Doygun Akım (taşıt/saat)	Yeşil Süre (sn)
1	875	5248	25
2	344	4723	15
3	685	3674	25
4	534	4717	15



Şekil 8. Çakıcı-Murat Yöntemi'ne göre sinyalizasyonu iyileştirilmiş sinyalizasyon dönel kavşak faz planı

Tablo 12. CAP - X Tool Programı'na göre performans parametrelerinin kıyaslanması

Kavşak Türleri	Performans Parametreleri					
	Sabah Zirve Saat Trafiği			Akşam Zirve Saat Trafiği		
	Hacim (v) (taşıt/saat)	Kapasite (c) (taşıt/saat)	v/c	Hacim (v) (taşıt/saat)	Kapasite (c) (taşıt/saat)	v/c
Sinyalizasyon Kavşak	781	1700	0,46	1039	1700	0,61

(4 Faz)						
Dönel Kavşak (2 x 2)	781	2800	0,28	1039	2800	0,37

VISSIM Simülasyon Programı aracılığıyla elde edilen verilere göre, İbrik Kavşağı'nda sabah ve akşam zirve saatlerine ilişkin trafik koşulları altında hesaplanan performans parametreleri Tablo 13'te sunulmuştur. Bu sonuçlara göre dönel kavşak denetim türü diğer denetim türlerine göre daha yüksek performans göstermiştir.

Tablo 13. VISSIM Programı'na göre performans parametreleri kıyaslaması

Kavşak Türleri	Performans Parametreleri									
	Sabah Zirve Saat Trafiği					Akşam Zirve Saat Trafiği				
	Ortalama Taşıt Gecikmesi (sn/taşıt)	Hız (km/sa)	Kuyruk Uzunluğu (metre)	CO Emisyonu (gr/sa)	Yakıt Tüketimi (lt/sa)	Ortalama Taşıt Gecikmesi (sn/taşıt)	Hız (km/sa)	Kuyruk Uzunluğu (metre)	CO Emisyonu (gr/sa)	Yakıt Tüketimi (lt/sa)
Sinyalize Dönel Kavşak - Mevcut Durum (3 Faz)	14,27	15,45	10,94	116,76	1,68	15,39	14,64	16,56	187,14	2,70
Sinyalize Kavşak (4 Faz)	12,84	17,17	5,97	89,88	1,26	14,84	13,56	8,25	129,12	1,86
Sinyalize Dönel Kavşak - İyileştirilmiş Durum (2 Faz)	13,55	16,04	5,24	91,62	1,32	15,51	14,46	5,82	112,86	1,62
Dönel Kavşak	2,70	26,01	1,04	80,28	1,14	6,32	22,16	5,34	123,42	1,74

4.1. Sonuçlar

- Gecikmelerin büyük kısmı duraklama gecikmesidir.
- Dönel kavşak denetim türünde gecikmeler, çalışmada test edilen diğer kavşak denetim türlerine göre yaklaşık 10 saniye daha düşüktür. Bu da gecikme parametresi esas alındığında dönel kavşak denetim türünün diğer denetim türlerine göre %69 daha iyi performans gösterdiği anlamına gelmektedir.
- Kuyruk uzunlukları dönel kavşak denetim türünde sinyalizasyonlu denetim türlerine kıyasla ortalama olarak 5,61 metre daha kısadır. Bu fark dönel kavşak denetim türünün kuyruk uzunluğu parametresi esas alındığında oransal olarak %64 daha iyi performans gösterdiğini kanıtlamaktadır.
- Dönel kavşak denetim türünde sinyalizasyonlu denetim türlerine göre 0,3 litre/saat yakıt tasarrufu sağlanmıştır. Bu fark %17'lik bir orana karşılık gelmektedir. Karbon salınımı ve taşıt yıpranması değerleri de yaklaşık olarak yakıt tüketimi değerleriyle orantılı olacaktır. Ayrıca sinyalizasyon sistemi için gerekli elektrik tüketiminden de tasarruf sağlanacaktır.
- Çakıcı-Murat Yöntemi'ne göre sinyalizasyonu iyileştirilmiş sinyalize dönel kavşağın gecikme parametresi değerleri mevcut duruma göre ortalama 30 saniye daha azdır. Ancak sinyalize kavşağın gecikme parametresi değerleri Çakıcı-Murat Yöntemi'ne göre sinyalizasyonu iyileştirilmiş sinyalize dönel kavşağın gecikme parametresi değerlerinden ortalama olarak 0,69 saniye daha azdır ki bu fark depolama alanının boşaltılması için gereken yeşil sürenin uzunluğundan kaynaklanmaktadır.

- Sinyalizasyonu iyileştirilmiş sinyalize dönel kavşak durumunda kuyruk uzunluğu parametresi mevcut ve sinyalize kavşak durumlarına göre sırasıyla ortalama olarak 2,69 metre ve 3,16 metre daha kısadır.
- Yakıt tüketimi parametresinde ise sinyalizasyonu iyileştirilmiş sinyalize dönel kavşak; mevcut duruma göre ortalama 0,72 litre/saat, sinyalize kavşağı göre ise ortalama 0,09 litre/saat daha düşük sonuçlar vermiştir.
- Dönel kavşaklarda genellikle klasik sinyalize kavşaklara göre daha düşük hızda gerçekleşen çarpışmalar meydana geldiği için, bu tür kavşaklarda ağır yaralanma ve ölüm riski azalır.
- Dönel kavşakların kullanımı, özellikle bu sisteme alışkın olmayan sürücüler için sorun yaratabilir.

4.2. Öneriler

- Mevcut durumda merkez ada çapı ve şerit genişlikleri mini dönel kavşak standartlarına göre yeterli sayılabilecek düzeyde olup depolama alanı mevcut trafik koşullarında fazlasıyla yeterlidir. Buna göre kavşaktaki sinyalizasyon sistemi kaldırılarak İbrik Kavşağı'nın dönel kavşak olarak işletilmesi daha az gecikmelere ve daha yüksek hızlara olanak sağlayacaktır. Ayrıca, taşıt yıpranmaları azalacak, karbon emisyonu, yakıt tüketimi ve işletme maliyetleri de düşecektir.
- Minimum 6 metre ve üzerinde olması gereken merkez ada yarıçapı küçültülerek sola dönüş hareketi yapacak taşıtlar için daha büyük depolama alanı oluşturulabilir.
- Merkez ada kaldırılarak sinyalize dönel kavşak türü yerine sinyalize kavşak türü tercih edilebilir. Bu tercih gecikmelerin ve taşıt yıpranmalarının azalmasına olanak sağlayacaktır. Ayrıca ilerleyen yıllarda kavşağı kullanacak taşıt hacminin artmasıyla depolama alanı yetersiz kalabilecek ve sinyalize dönel kavşak denetim türü tüm parametrelerde sinyalize kavşağı göre daha düşük performans gösterecektir.
- Sinyalize dönel kavşak türü denetime devam edilecekse mevcut trafik koşulları göz önünde bulundurularak sinyalizasyon iyileştirilmesi yapılmalıdır.
- Bir numaralı yaklaşım kolunun kavşaktan çıkış yapan kısmında bulunan otobüs durağının ileriye taşınması kavşaktan çıkış yapan taşıtların daha rahat kavşağı boşaltmasına sebep olacaktır.

Kaynaklar

- Çakıcı, Z. ve Murat, Y. Ş. (2016). Sinyalize dönel kavşaklar için hesap yöntemi önerisi ve performans analizi. İMO Teknik Dergi, 2016, 7569 – 7592, Yazı 461.
- Çetinkaya, G. (2008). Işıklı Kavşaklarda Değişik Hesaplama Yöntemlerinin Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Çırak, G. (2023). Sinyalize Dönel Kavşakların Tasarım Yöntemlerinin Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.
- Planung Transport Verkehr GmbH's (PTV), VISSIM Multimodal Traffic Simulation Software, Student Version, 2025.
- Taglieri, D., Liu, H. and Gayah, V. V. (2024). Network-wide implementation of roundabouts versus signalized intersections on urban streets: analytical and simulation comparison. Transportation Research Record 2024, Vol. 2678(5) 719 – 735.
- Tanyel, S. (2001). Türkiye'deki Dönel Kavşaklar için Kapasite Hesap Yöntemi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Tracz, M. and Choudur, J. (2012). Performance and Safety of Roundabouts with Traffic Signals. Cracow University of Technology, Institute of Road and Railway Engineering, Warszawska Str. 24, 31-155 Krakow, Poland.

Türk Standartları Enstitüsü, TS 6407 Şehir İçi Ulaşım Hesaplamalarında Kullanılan Araç Tiplerine Göre Otomobil Eşdeğeri Katsayıları. Türk Standartları Enstitüsü, TS 6407, Ankara, 2013.

U. S. Department of Transportation, Federal Highway Administration (FHWA), CAP – X Tool, 2018.

Webster, F.V. and Cobbe, B. M. (1966). Traffic Signals, First Edition. Her Majeste's Stationery Office, London,.

Yayla, N. (2015). Karayolu Mühendisliği, Birsen Yayınevi, İstanbul.



Afyon Kocatepe Üniversitesi Yayınevi