



GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

Gümüşhane University Journal of Science

GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ YAYINI

PUBLISHED BY GÜMÜŞHANE UNIVERSITY

ISSN 2146 - 538X

CILT/VOLUME: 14

SAYI/NUMBER : 2

YIL/YEAR : 2024

$$\text{Arf}(q) = \sum_{i=1}^n q^{(a_i)g(b_i)} \in \mathbb{Z}_2$$

$a_i, b_i \quad i = 1, 2, 3, \dots, n.$



EBSCO



TÜBİTAK

ULAKBİM
TRIZIN



Sahibi / Owner

Prof. Dr. Halil İbrahim ZEYBEK

Gümüşhane Üniversitesi Adına / *On the behalf of Gümüşhane University*

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü / Editor in Chief

Dr. Öğr. Üyesi Hasan Tahsin BOSTANCI

Baş Editörler / Executive Editors

Doç. Dr. Mehmet Ali GÜCER

Öğr. Gör. Salih TÜRK

Editörler / Editors

Prof. Dr. Duygu ÖZDEŞ	Doç. Dr. Osman KOMUT
Prof. Dr. Ebru Emine ŞÜKÜROĞLU	Dr. Öğr. Üyesi Bülent AKAR
Prof. Dr. Enver AKARYALI	Dr. Öğr. Üyesi Lale CONA
Prof. Dr. Fatih DÖNER	Dr. Öğr. Üyesi M. Tuğçe TUNÇ ODABAŞ
Prof. Dr. Halil YOLCU	Dr. Öğr. Üyesi Recep ÇAKMAK
Prof. Dr. İbrahim TURAN	Dr. Öğr. Üyesi Samet TONYALI
Prof. Dr. Mehmet MERDAN	Dr. Öğr. Üyesi Şener ALİYAZICIOĞLU
Prof. Dr. Necati ÇELİK	Dr. Öğr. Üyesi Şeyda Merve KARATAŞ
Prof. Dr. Selçuk ALEMDAĞ	Dr. Öğr. Üyesi Yasin OĞUZ
Prof. Dr. Serkan ÖZTÜRK	Dr. İlker ERKAN
Doç. Dr. Fevzi TOPAL	Dr. Berna GENÇ
Doç. Dr. Nihan GÜNGÖR	Dr. Serdar KESKİN
Doç. Dr. Onur ARAZ	

Yayın Türü / Publication Type

Yaygın süreli ve hakemli/ *Common term and refereed*

Yayın Tarihi / Publication Date

15 / 06 / 2024



Yayın Danışma Kurulu / Editorial Advisory Board

Abdelhai ELAZZOZI-Sidi Mohamed Ben Abdellah U.
Abdon ATANGANA-Free State University
Abdullah KAYGUSUZ-Gümüşhane Üniversitesi
Abdulveli SİRAT-Gümüşhane Üniversitesi
Abdurrahman DOKUZ-Gümüşhane Üniversitesi
Abdurrahman LERMİ-N. Ömer Halisdemir Üni.
Abedallah RABABAH-Jordan Uni. Sci. and Tech.
Adem DOĞANGÜN-Uludağ Üniversitesi
Afşin Ahmet KAYA-Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Ahmet TUTUŞ-Kahramanmaraş Sütçü İmam Üni.
Alaaddin VURAL-Ankara Üniversitesi
Ali Osman YILMAZ-Karadeniz Teknik Üniversitesi
Ayberk KAYA- Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi
Ayhan TOZLUOĞLU-Düzce Üniversitesi
Bahri BAYRAM-Atatürk Üniversitesi
Bilge BAHAR-Gümüşhane Üniversitesi
Birgül KURAL-Karadeniz Teknik Üniversitesi
Biol ŞAHİN- Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi
Cahit HELVACI-Dokuz Eylül Üniversitesi
Candan GÖKÇEĞLU-Hacettepe Üniversitesi
Cem YÜCEL-Gümüşhane Üniversitesi
Cemal KÖSE-Karadeniz Teknik Üniversitesi
Cemalettin BALTACI-Gümüşhane Üniversitesi
Charyyar Ashyralyyev- Bahçeşehir Üniversitesi
Chokka RAVICHANDRAN-Bharathiar University
Coşkun GÜLSER-Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Çetin CÖMERT- Karadeniz Teknik Üniversitesi
Çiğdem SAYDAM EKER-Gümüşhane Üniversitesi
Eda Feyza AKYÜREK-Atatürk Üni.
Elif Çelenk KAYA-Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Emel ABDİOĞLU YAZAR-Karadeniz Teknik Üniversitesi
Emine TANIR KAYIKÇI-Karadeniz Teknik Üniversitesi
Emre AYDINÇAKIR-Gümüşhane Üniversitesi
Emre ÖZKOP-Karadeniz Teknik Üniversitesi
Ertan GÖKALP-Karadeniz Teknik Üniversitesi
Ferkan SİPAHİ-Gümüşhane Üniversitesi
Fetullah ARIK-Konya Teknik Üniversitesi
Fikri BULUT-Karadeniz Teknik Üniversitesi
Gökhan APAYDIN- Karadeniz Teknik Üniversitesi
Günay ÇAKIR-Gümüşhane Üniversitesi
Hacı Alim BARAN-Batman Üniversitesi
Hakan KARSLI-Karadeniz Teknik Üniversitesi
Halim MUTLU-Ankara Üniversitesi
Hasan BALTAŞ-Recep Tayyip Erdoğan Üni.
Hazan ALKAN AKINCI-Artvin Çoruh Üniversitesi
Hilal YILDIZ-Neşehir Hacı Bektaş Veli Üni.
Hüseyin DEMİR-Samsun Üniversitesi
Ilyas KHAN- Majmaah University
İbrahim ÇAVUŞOĞLU-Gümüşhane Üni.
İbrahim DÜZGÜN-Gümüşhane Üniversitesi
İlhan ÇELİK-Samsun Üniversitesi
İsmail Hakkı ALTAŞ-Karadeniz Teknik Üni.
İsmet SEZER-Gümüşhane Üniversitesi
Jose Francisco Gomez Aguilar-Cenidet
Kamil COŞKUNÇELEBİ-Karadeniz Teknik Üni

Keewook YI-Korea Basic Science Institute
Kemal ÇELİK-Gümüşhane Üniversitesi
Kemal KUVVET- Recep Tayyip Erdoğan Üni
Kolade M. OWOLABI-Federal Uni. of Technology
Levent GÜMÜŞEL-Karadeniz Teknik Üniversitesi
M. Burhan SADIKLAR-Karadeniz Teknik Üni.
Mehmet ARSLAN-Karadeniz Teknik Üniversitesi
Mehmet BAŞOĞLU-Gümüşhane Üniversitesi
Mehmet Teyfik SEFEROĞLU-Gümüşhane Üniversitesi
Melih OKÇU-Atatürk Üniversitesi
Mualla YALÇINKAYA-Karadeniz Teknik Üni.
Muazzez ÇELİK KARAKAYA-Konya Teknik Üniversitesi
Muhammet M. KAHRAMAN-İstanbul Teknik Üni.
Murat EKİNCİ-Karadeniz Teknik Üniversitesi
Murat KÜÇÜK-Karadeniz Teknik Üniversitesi
Mustafa KUMRAL-İstanbul Teknik Üniversitesi
Mustafa Nuri URAL-Gümüşhane Üniversitesi
Müdahir ÖZGÜL-Atatürk Üniversitesi
Nafiz MADEN-Gümüşhane Üniversitesi
Necati KARAKAYA-Selçuk Üni.
Nurçin KÜÇÜK KENT-Gümüşhane Üni.
Oğuz GÜNGÖR-Karadeniz Teknik Üniversitesi
Okay ÇİMEN-Munzur Üniversitesi
Osman ÜÇÜNCÜ-Karadeniz Teknik Üniversitesi
Özcan YİĞİT-Çanakkale 18Mart Üniversitesi
Özlem ÇAVDAR-Gümüşhane Üniversitesi
Ramazan LİVAOĞLU-Uludağ Üniversitesi
Rizwan Ul HAQ-Bahria University
S. Beyza Ö. SARIKAYA-Gümüşhane Üniversitesi
Saffet ERDOĞAN-Harran Üniversitesi
Salim Serkan NAS-Gümüşhane Üniversitesi
Sefa YALVAÇ-Gümüşhane Üniversitesi
Selami KESLER-Pamukkale Üniversitesi
Selim KAYA-Gümüşhane Üniversitesi
Selim ŞEN-Gümüşhane Üniversitesi
Sultan ÖZTÜRK-Karadeniz Teknik Üniversitesi
Sunil PROHİT- Rajasthan Technical University
Şükrü YETGİN-Gümüşhane Üniversitesi
Tayfur KÜÇÜKÖMEROĞLU-Karadeniz Teknik Üni.
Tufan ÇAKIR-Gümüşhane Üniversitesi
Uğur ŞİMŞEK-Iğdır Üniversitesi
Vecihi AKSAKAL-Bayburt Üniversitesi
Yener EYÜBOĞLU-Karadeniz Teknik Üniversitesi
Yener TOP-Gümüşhane Üniversitesi
Yong WANG- University of Manchester
Yusuf AŞIK-Gümüşhane Üniversitesi
Zafer ASLAN-Balıkesir Üniversitesi
Zafer ÇAKIR-Alaaddin Keykubat Üniversitesi
Zakia HAMMOUCH-Moulay Ismail University
Zehra ŞAHİN- Karadeniz Teknik Üni.
Zuhal OKCU-Atatürk Üniversitesi
Zülfü GÜROCAK-Fırat Üniversitesi

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Araştırma Makalesi / Research Article

Ahmet DüNDAR ŞEN	Kızıldağ (Hatay) ofiyolitine ait manto peridotitlerinin petrografisi, tüm-kayaç jeokimyası ve eriyik-kayaç etkileşim izleri <i>Whole-rock and petrological properties of mantle peridotites from Kızıldağ (Hatay) ophiolite, tracing melt-rock interaction process</i>	379
Deniz ŞUMNULU	Investigation of the molecular effects of isatin on HepG2 and AML12 cell lines <i>İsatinin HepG2 ve AML12 hücre hatları üzerindeki moleküler etkilerinin araştırılması</i>	394
Çağla AYDEMİR Büşra CESUR DURMAZ	Isparta kentinin doğal ve kültürel kimlik değerlerinin korunmasına yönelik irdeleme <i>An investigation into the protection of the Isparta urban's natural and cultural identity values</i>	402
Çağlar SÖZEN Hasan BULUT	Clustering of countries according to programme for international student assessment (PISA) scores <i>Uluslararası Öğrenci Değerlendirme Programı skorlarına göre ülkelerin kümelmesi</i>	424
Zeynep ATAŞ	Gaziantep kent akslarının 100 yıllık değişimi <i>100-year change of Gaziantep city axes</i>	435
İbrahim Çağdaş BAŞ Ramazan Alpay ABBAK	30 Ekim 2020 Ege denizi depreminin kabuk deformasyonuna etkisinin TUSAGA-Aktif verileri ile incelenmesi <i>Investigation of the effect of 30 October 2020 Aegean sea earthquake on crustal deformation by TUSAGA-Active data</i>	450
Levent ŞENDOĞDULAR Mehmet TAŞ Selda T. ŞENDOĞDULAR	Vakum yöntemi ile beton yüzeyine uygulanan epoksi reçinenin mukavemeti üzerindeki etkileri <i>Effects on the strength of epoxy resin applied to the concrete surface by vacuum method</i>	464
Önder YALÇIN Mehmet TOKATLI Ahmet TIĞLI Murat ÇOLAK	A356 alüminyum alaşımının dökümünde katılaşma zamanı ve Nb ilavesinin mikroyapıya etkisinin incelenmesi <i>Investigation of the effect of solidification time and Nb addition on the microstructure of A356 aluminum alloy castings</i>	479
İsmail TOZLU Şenol GÜRSOY	Farklı yüksekliğe sahip betonarme binalarda perde duvar yerleşiminin bina davranışına etkisinin doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlerle incelenmesi <i>Investigation of the effect of shear wall placement on building behavior in reinforced concrete buildings with different heights using linear and non-linear methods</i>	493
Serhat DEMİRHAN Necim KAYA Selahattin AKALP	Ultras ses dalga hızının tahmininde farklı makine öğrenimi yöntemlerinin karşılaştırılması <i>Comparison of different machine learning methods for prediction of ultrasonic pulse velocity</i>	510
Begüm Ü. ABDİOĞLU	Potential controlled electrochemical coating and characterization of nanocrystalline Sn-Zn based thin films <i>Nanokristal Sn-Zn bazlı ince filmlerinin gerilim kontrollü elektrokimyasal kaplanması ve karakterizasyonu</i>	526
Yavuz Selim BALCIOĞLU	Small object detection method with k-detector for metal parts surface defect detection <i>Metal parçaların yüzey kusurlarını tespit için k-dedektörü ile küçük nesne tespit yöntemi</i>	538
Havva ÖZDOĞAN Sonay ÇEVİK	Kentsel odak mekânlarındaki “görsel odakların” sokak sistemleriyle ilişkileri: Anadolu Yerleşmeleri örneği <i>Relationships between “visual foci” on urban nodes and street systems: The case of Anatolian settlements</i>	550
Barış SEMİZ	Çal (Denizli) bölgesi killerin mineralojik özellikleri ve seramik hammaddesi olarak kullanılabilirliklerinin araştırılması <i>Investigation of mineralogical properties of Çal (Denizli) region clays and their usability as ceramics raw material</i>	568

Yasemin A. TOPÇUOĞLU Zülfü GÜROCAK	Fiber takviyesi ile killi zeminlerin kıvam limitlerinde meydana gelen değişimler <i>Changes in the consistency limits of clay soils with fiber reinforcement</i>	582
Mine ALACALI	Environmental effects of geothermal energy utilizations: A case study of the Seferihisar geothermal system, İzmir, Türkiye <i>Jeotermal enerji kullanımının çevresel etkileri: Seferihisar jeotermal sistemi örneği, İzmir, Türkiye</i>	592
Nafiz MADEN Serkan ÖZTÜRK Levent PEHLİVAN Mahmut SARI Yasemin BEKER	Gümüşhane ilinde deprem ivme ve manyetik alan istasyonlarının kurulumu ve işletilmesi <i>Installation and operation of earthquake acceleration and magnetic field stations in Gümüşhane</i>	608
Emre KARA Kübra ÖZTÜRK	Numerical analysis of a mini wind tunnel and experimental investigation of the mini wind tunnel utilizing a portable, three-axis load/balance measurement system <i>Mini rüzgar tünelinin sayısal analizi ve taşınabilir, üç eksenli bir yük/denge ölçüm sistemi kullanılarak mini rüzgar tünelinin deneysel incelenmesi</i>	623
Yasemin BEKER USTA Nilgün SAYIL	Aktif ve pasif kaynaklı yüzey dalgası verileri kullanılarak yer etkisine dayalı mikrobölgelendirme: Gümüşhane örneği <i>Microzonation based on site effect using active and passive source surface waves data: The case of Gümüşhane</i>	639
Suna ALTUNDAŞ Hakan ÇINAR	Sarıçiçek ve Sarıhan plütonlarının petrofiziksel karakterleri: Yerinde jeofiziksel ölçümlerle manyetik suseptibilite ve radyojenik ısı üretimi ilişkisinin irdelenmesi <i>Petrophysical characteristics of Sarıçiçek and Sarıhan plutons: Investigation of the relationship between magnetic susceptibility and radiogenic heat production with in-situ geophysical measurements</i>	654

Kızıldağ (Hatay) ofiyolitine ait manto peridotitlerinin petrografisi, tüm-kayaç jeokimyası ve erigişik-kayaç etkileşim izleri

Whole-rock and petrological properties of mantle peridotites from Kızıldağ (Hatay) ophiolite, tracing melt-rock interaction process

Ahmet Dündar ŞEN* 

Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 29100, Gümüşhane

• Geliş tarihi / Received: 14.12.2023

• Kabul tarihi / Accepted: 03.01.2024

Öz

Kızıldağ ofiyoliti (G-Türkiye) Neotetis okyanusunun güney kolunda oluşmuş okyanusal litosfer kalıntısı kayalar topluluğu olarak bilinmektedir. Ofiyolit istifi tabandan tavana doğru manto peridotitleri, ultramafik-mafik kümülatlar, izotrop gabrolar, levha dayk kompleksi ve yastık şekilli bazaltik örtü kayaları şeklindedir. Manto peridotitleri harzburjit bileşimindedir ve değişen oranlarda serpantinleşme gözlenmektedir. Manto peridotitlerinin tüm kayaç ana oksit-iz element ve Lantanit Grubu Element (LGE) içerikleri harzburjitlerin değişen derecelerde kısmi ergime kalıntısı kayalar olduğuna işaret etmektedir. Harzburjitler düşük tüm-kayaç Al ve Ca kompozisyonlarına sahiptir ve SSZ peridotitlerin tüketilmiş karakterini yansıtmaktadır. Tüketilmiş manto harzburjitleri, bazı büyük iyon yarıçaplı elementler (LILE) ve hafif lantanit grubu elementler (HLGE) bakımından zenginleşme gösterdiği tespit edilmiştir ve bu durum yitim sırasında meydana gelen erigişik manto etkileşimine işaret etmektedir. Harzburjitlerin tüm kayaç MgO içerikleri ile CaO ve Al₂O₃ içerikleri kıyaslandığında bu kayaların %20-30 arası kısmi ergime kalıntısı kayalar olduğu görülmektedir. Ayrıca kısmi ergime sırasında uyumsuz davrandığı bilinen Ti ve Yb içeriklerindeki zenginleşmeler erigişik-kayaç etkileşimine işaret etmektedir.

Anahtar kelimeler: Ergişik-kayaç etkileşimi, Harzburjit, Kızıldağ ofiyoliti

Abstract

Kızıldağ ophiolite (G-Turkey) is known as oceanic lithosphere remnant rocks formed in the southern arm of the Neotethys ocean. The ophiolite sequence, from bottom to top, mantle peridotites, ultramafic-mafic cumulates, isotropic gabbros, sheet dyke complex and pillow-shaped basaltic cover rocks. Mantle peridotites are in harzburgite composition and varying degrees of serpentinization are observed. Whole-rock major oxide-trace element Lanthanide Group Element (LGE) contents of mantle peridotites indicate that harzburgites are residues after partially molten layers of upper mantle. Harzburgites have low whole-rock Al and Ca compositions and reflect the depleted character of SSZ peridotites. Depleted mantle harzburgites have been found to be enriched in some large ionic radius elements (LILE) and light rare earth elements (LREE), indicating the melt-mantle interaction occurring during subduction. When whole rock MgO contents and CaO and Al₂O₃ contents of harzburgites are compared, it is seen that these rocks are partial melt residue rocks of 20-30% additionally Ti and Yb contents, which are known to behave incompatibly during partial melting, indicate melt-rock interaction.

Keywords: Melt-rock interaction, harzburgite, Kızıldağ ophiolite

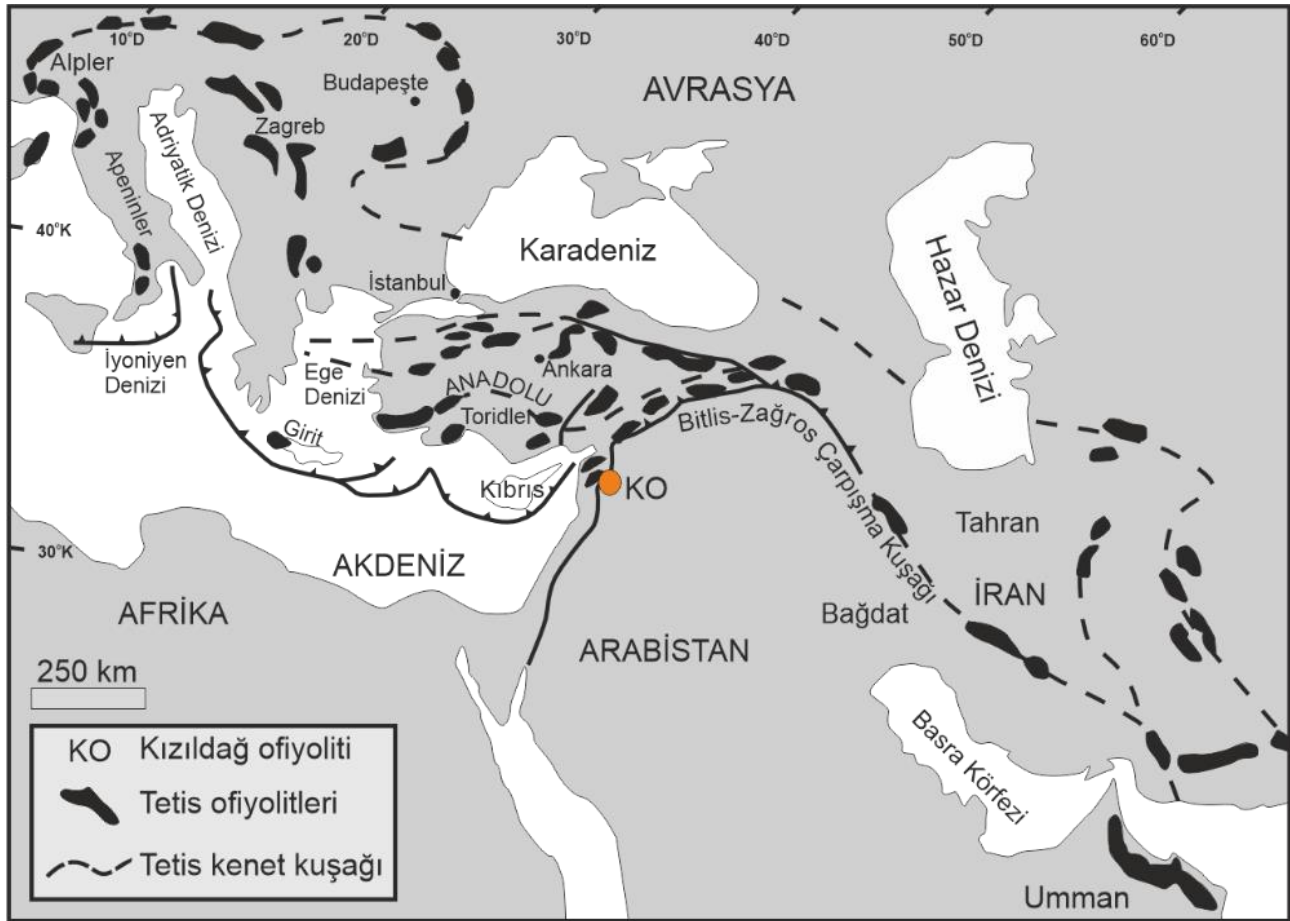
*Ahmet Dündar ŞEN; ahmetsen@gumushane.edu.tr

1. Giriş

1. Introduction

Ofiyolitler, okyanus ortası sırtlarda veya yitim zonlarında oluşan okyanusal kabuğun, kıtasal veya okyanusal kabuk üzerine yerleşmesi ile oluşan kayaç serileri olarak bilinmektedirler (Bodinier & Godard 2003). İdeal bir ofiyolitik istif tabandan tavana doğru manto peridotitleri, ultramafik kümülatlar, tabakalı gabrolar, izotrop gabrolar, levha dayk karmaşığı, yastık bazaltlar ve sedimanter örtü kayaçları şeklinde sıralanmaktadır. Neotetis oluşumu süresince oluşan ve bu çarpışma zonu boyunca yerleşen kayaçlar olmaları sebebiyle “Neo-Tetis ofiyolitleri” olarak adlandırılırlar. Neo-Tetis ofiyolitleri Alp’lerden Himalayalara kadar uzanmaktadır ve en karakteristik özellikleri ultramafik blokların tektonik dokanak ile Arap plakasına ait karbonatlı kayaçlar üzerine yerleşmesidir (Şekil 1, 2). Kızıldağ ofiyoliti Geç Kretase döneminde okyanus içi yay sistemlerinin kıta kenarı ile çarpışması sonucu kıtasal kabuk üzerine yerleşen okyanusal kabuk kalıntılarını temsil etmektedir (Dilek & Fumes, 2007; Dilek & Thy, 2009; Okay, 1989; Okay & Şahintürk, 1997; Robertson, 2002). Kızıldağ ofiyoliti supra subduction zone (SSZ) tipi tektonik ortamı temsil etmektedir (Dilek & Thy, 2006,2009; Flower & Dilek, 2003; Uysal vd., 2016) ve istifin taban kesimini harzburjitler oluştururlar. Bilinen önemli ofiyolit istiflerinde 10 km’ ye varan kalınlıklarda gözlenmiştir (Semail ofiyoliti/Umman; Trodos ofiyoliti/Kıbrıs) (Lippard vd., 1986; Pamic & Desmons 1989).

Bu çalışma ile SSZ tipi Kızıldağ ofiyolitinin manto harzburjitleri petrografik özellikleri ve tüm kayaç ana oksit-iz element içerikleri bakımından irdelenmiş ve bu kayaçların oluşumu sırasında meydana gelen kısmi ergime ve ergiyik-kayaç etkileşim süreçleri yorumlanmıştır.



Şekil 1. Neotetis ofiyolitlerinin dağılımları ve Kızıldağ ofiyolitinin Alp-Himalaya çarpışma kuşağı üzerindeki konumu.

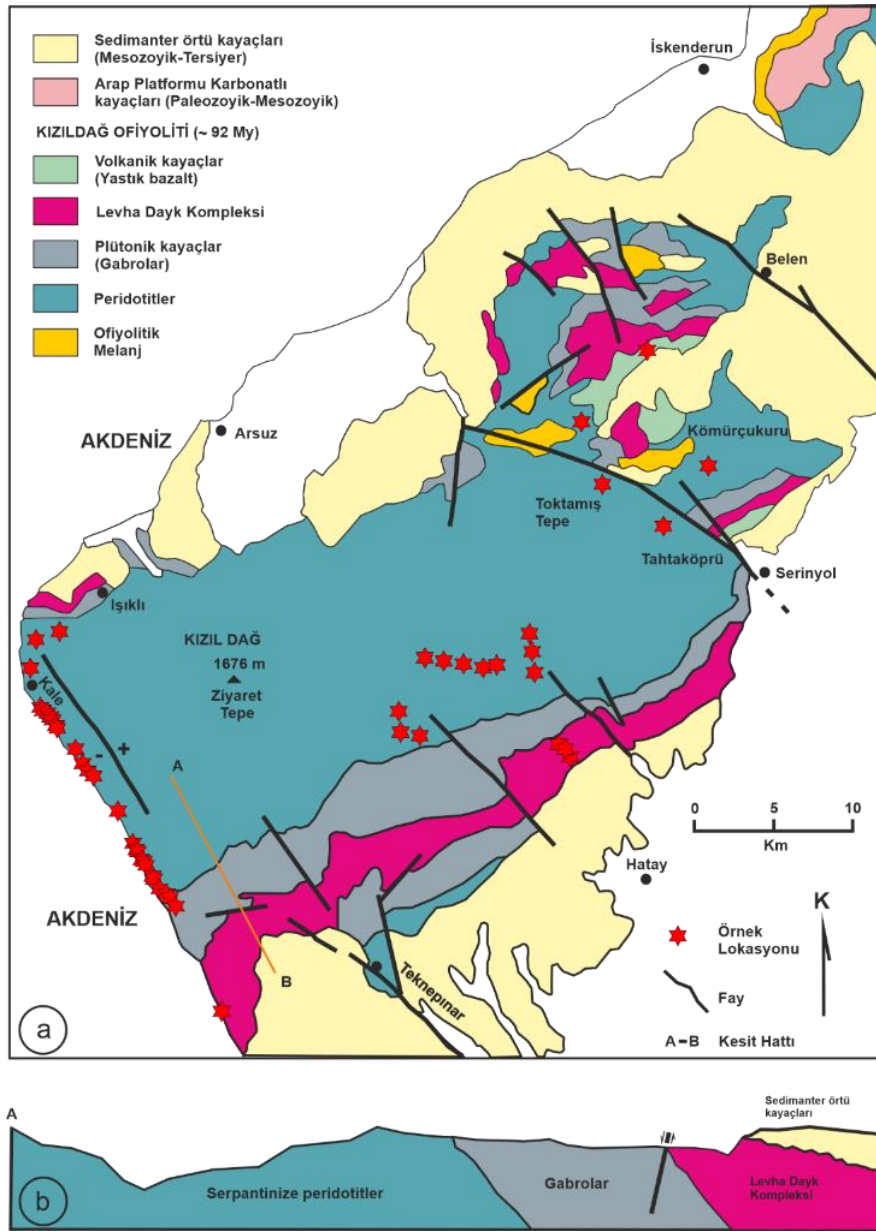
Figure 1. Distribution of Neotetian ophiolites through Alpine-Himalayan orogenic belt and the location of Kızıldağ ophiolite (KO).

2. Bölgesel jeoloji

2. Regional geology

Arap levhası ile Anadolu platformu çarpışması ile Anadolu çarpışma kuşağı bugünkü yerini almıştır (Yılmaz, 1993). Bu çarpışma kuşağı güneyden kuzeye doğru; Arap plakası, bindirme zonu ve nap zonu olacak şekilde yer almaktadır. En güneydeki Arap plakasına ait Tersiyer yaşlı sedimanter birimin üzerine gelen bindirme ve nap zonu ise sırasıyla metamorfik ve ofiyolitik komplekslerden oluşmaktadır (Şekil 2). Nap birimi içerisinde ofiyolitik/subofiyolitik istifler iki farklı kayaç grubunu temsil etmektedirler (Koçali ve Karadut kompleksleri). Bu kompleksler 10km'ye yakın stratigrafik kalınlığa sahip olmasına karşılık subofiyolitik naplar ise yaklaşık 3-4 km kalınlığa kadar ulaşabilmektedir (Yılmaz, 1993).

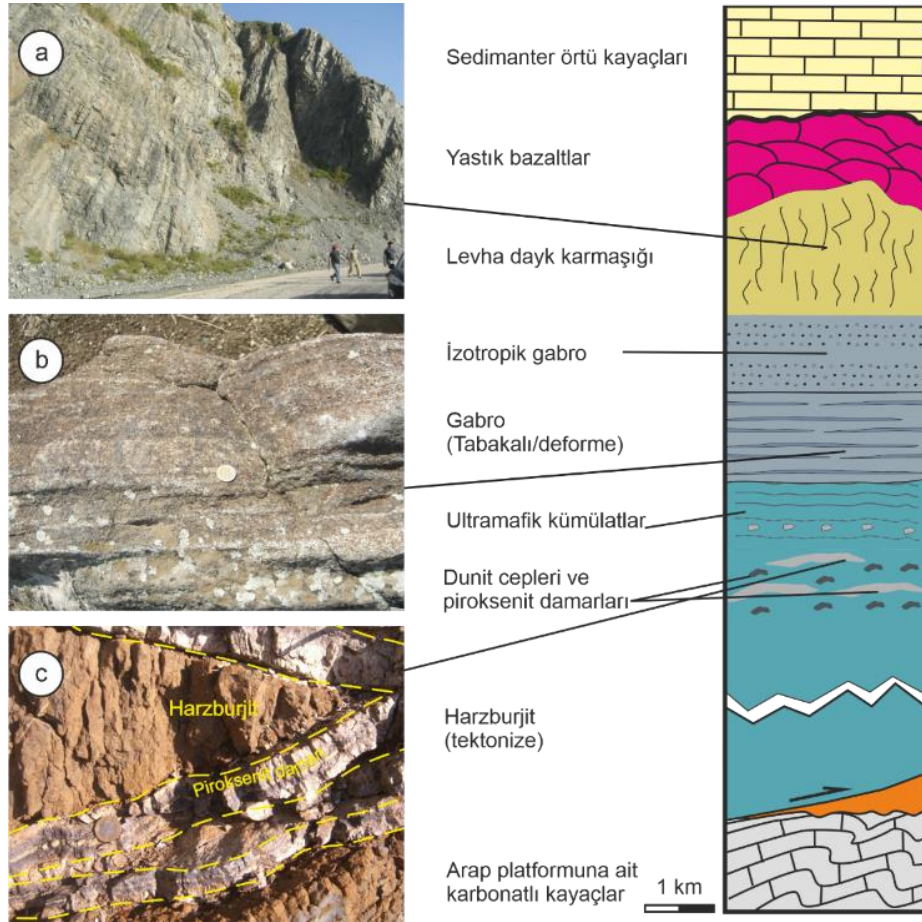
Amanosların G-GB'sında yüzeyleme veren Kızıldağ ofiyoliti ve bu ofiyolit istifinin kuzeyinde Miyosen yaşlı birimler yer almaktadır. Kızıldağ ofiyoliti ve bu istife ait aynı okyanusal litosfer kalıntısı kayaçlar yaklaşık olarak 1000km²'lik bir yüzey alanına sahiptirler. Kızıldağ ofiyoliti bu napların güney ucunda bulunmakta ve yaklaşık olarak 900km²'lik bir alana sahiptir. (Şekil 2).



Şekil 2. Manto harzburjitlerinin Kızıldağ ofiyoliti içerisindeki dağılımı. (Selçuk, 1981; Erendil 1984; Dilek & Thy 2009). Kırmızı yıldızlar örnek lokasyonlarını gösterir. b. A-B hattını temsil eden enine kesit.

Figure 2. Simplified geological map of studied area (Selçuk, 1981; Erendil 1984; Dilek & Thy 2009). Red stars are showing sampling locations.

Kızıldağ ofiyoliti dünyada en iyi korunmuş Neotetis okyanusal litosfer kalıntısı istiflerden birisi konumunda olup, Tahtaköprü mevkindeki KB yönlü bir ters fay ile iki ana parçaya ayrılmış şekilde bulunmaktadır. Koyu renkli serpantinleşmiş manto harzburjitleri ofiyolit istifinin en alt birimini oluşturmaktadır. Bu kayalar ofiyolit istifinin manto kesimini oluşturmaktadır. Harzburjitler içerisinde yer yer dünit cepleri ve serpantinize harzburjitleri kesen piroksenit daykları bu kayaların karakteristik bir özelliğidir. Ofiyolit istifinin manto kesiminin üzerindeki kabuk kesimi, tabanında kümülat gabrolar ve üzerine gelen izotropik gabrolar ile başlamaktadır. Bu birimler üzerine levha dayk kompleksi ve yastık şekilli bazaltik volkanik kayalar ile kabuk kısmı son bulur. (Bağcı vd., 2004; Parlak vd., 2009; Dilek & Thy 1998) (Şekil 3).



Şekil 3. Eksiksiz bir okyanusal kabuğu temsil eden Kızıldağ ofiyolitinin kolon kesiti a: levha dayklar, b: Kümülat gabrolar, c: harzburjitler.

Figure 3. Stratigraphic columnar section of Kızıldağ ophiolite and field photographs of main units a: sheeted dykes, b: layered gabbros, c: mantle harzburgites.

3. Analitik yöntemler

3. Analytical methods

3.1. Tüm kayaç ana oksit analizleri

3.1. Whole-rock major oxide analysis

Kızıldağ ofiyolitine ait manto harzburjitleri önemli derecelerde serpantinleşmeye uğramış kayalar olmaları sebebiyle örnek alımı sırasında mümkün olduğunca büyük kütleler seçilerek bu kütlelerin merkezlerinden alterasyondan etkilenmemiş en taze kısımları seçilmiştir. El örnekleri daha sonra Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü örnek hazırlama laboratuvarında elmas uçlu bıçak kullanılarak altere kısımları tekrar temizlenmiş ince kesit hazırlamak için 4x7 cm boyutlarında levhalar çıkarılmıştır. İnce kesitlerden yapılan petrografik çalışmalar neticesinde Tüm kayaç Analizlerine gönderilecek örnekler seçilmiş ve halkalı öğütücüler yardımıyla yaklaşık 50 µm boyutunda toz numuneler hazırlanmıştır. Toz numuneler ACME (Kanada) laboratuvarına gönderilerek LiBO₂ eritilip asidik çözeltide seyreltilmiştir. Ardından Inductively Coupled Plasma Emission Spectrometer (ICP-ES) analizleri gerçekleştirilmiştir.

3.2. Tüm kayaç iz element ve Lantan Grubu Element (LGE) analizleri

3.2. Whole-rock trace and Rare Earth Element (REE) analysis

Manto harzburjitlerinin LGE ve bazı iz element içerikleri (Rb, Sr, Y, Zr, Cs, Ba, Hf, Nb, Ta, U ve Th) Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) cihazı kullanılarak İngiltere'deki Durham Üniversitesinde gerçekleştirilmiştir. Örneklerin çözülmesi için HCl (hidro klorik asit) çözeltisi kullanılmıştır. Manto harzburjitleri tüketilmiş karakterlerinden ötürü iz element içerikleri bakımından fakir olmaları dikkate alınarak örnek hazırlanması sürecinde kontaminasyonu engellemek için titiz çalışılmış ve laboratuvar ortamında tek yönlü düzenli hava akışı sağlanmıştır.

100mg öğütülmüş toz örnek ve 4 ml HF karıştırılır ve deney tüpü içerisinde 48 saate kadar bekletilir. Takip eden 48 saat süresinde aynı karışım 150 °C sıcaklıktaki levha üzerinde bekletilir ve asitli karışımın buharlaşması sağlanır. Arta kalan kuru karışıma 1ml HNO₃ eklenir ve aynı kurutma işlemi tekrarlanır (Bu işlem 1 kez daha tekrarlanır) ve florit partiküllerinin nitrata (çözülebilir) dönüşmesi sağlanır. En son adımda 2.5 ml HNO₃ eklenir ve ardından 20 ppb Re ve Rh bileşimindeki standart ilâve edilerek 50 ml olacak şekilde seyreltme yapılır. Eklenen standart madde analitik yanılmayı (sapma) ve mask efekti engellemek amacıyla kullanılır. ICP-MS kalibrasyonu için GP13 standart maddesi kullanılmaktadır (Ottley vd., 2003).

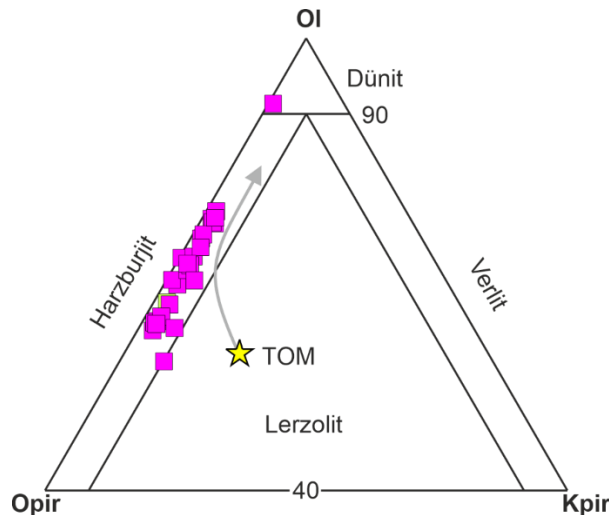
4. Bulgular

4. Results

4.1. Manto peridotitlerinin petrografisi

4.1. Petrography of the mantle peridotites

Kızıldağ ofiyolitinin yaklaşık %70'i manto harzburjitlerinden oluşmaktadır ve 900 km²'lik bir yüzey alanına sahiptirler. Ofiyolit istifinin manto kesiminin tabanını temsil ederler (Selçuk, 1985). Harzburjitler yüzeysel alterasyon sebebiyle kızıl-kahve renkleriyle arazide kolayca tanınırlar. Harzburjitler ayrıca serpantinleşmenin gözlemlendiği çatlakları boyunca koyu yeşil renklindedir. Şekil 2'de görülen örnek lokasyonlarından 35 adet peridotit örneği alınmış ve mineralojik-petrografik olarak incelenmiştir. Swift marka nokta sayım aletiyle mineral bollukları belirlenmiş bu işlem sırasında nokta aralığı 0.5mm olarak belirlenmiştir. Modal analizler sonucunda manto peridotitlerinin harzburjit bileşiminde oldukları ayrıca Tahtaköprü civarından alınan K14H numaralı 1 adet peridotit örneğinin %90 oranında olivin içerdiği ve dünit bileşiminde olduğu gözlenmiştir (Şekil 4) (Tablo 1). Alp-Himalaya kenet kuşağı boyunca tektonik olarak arap platformu üzerine yerleşen okyanusal kabuğun en alt kesimini temsil etmelerinden ötürü harzburjitler plastik deformasyona uğramışlardır.



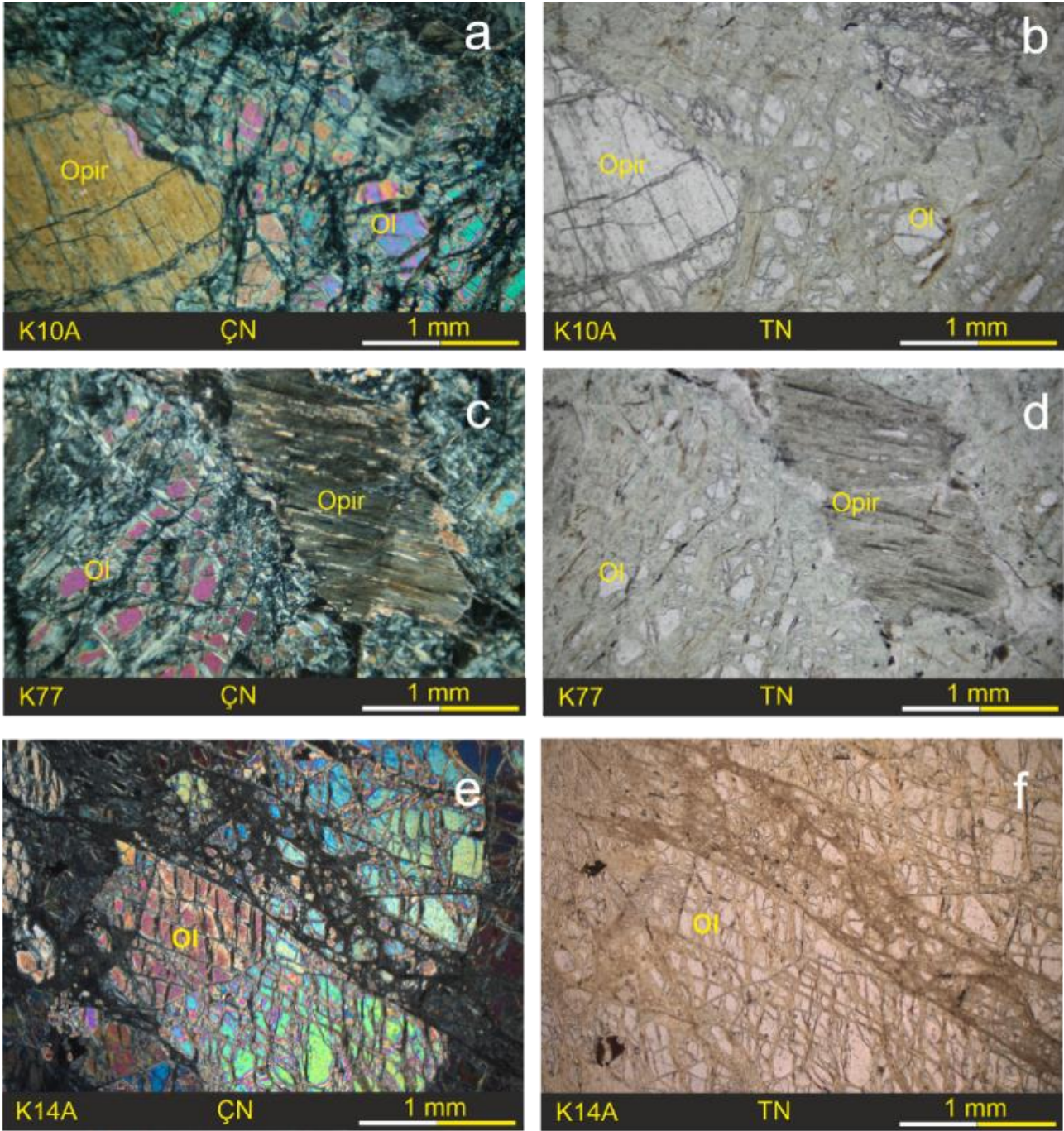
Şekil 4. Manto peridotitlerinin Olivin-Ortopiroksen-Klinopiroksen üçgenindeki yerleri. TOM: Tüketilmiş okyanus ortası sırt mantosu.

Figure 4. Distribution of mantle peridotites from Kızıldağ ophiolite on olivine, orthopyroxene, clinopyroxene classification triangle. TOM=DMM: Depleted MOR Mantle.

Tablo 1. Kızıldağ Ofiyolitine ait peridotitlerin modal mineralojileri MP: Manto Peridotiti; Opir: Orttopiroksen; Kpir: Klinopiroksen; Spl: Spinel.
Table 1. Modal mineralogical compositions of mantle peridotites from Kızıldağ ophiolite. MP: Mantle peridotite, Opir: Orthopyroxene, Kpir: Clinopyroxene, Spl: Spinel

Örnek No	K10-A	K13A	K14H	K17A	K19A	K22A	K23A	K24AH	K45	K46	K67	K71	K72	K74	K75	K76	K77	K61	
Kayaç	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	
Ol	64.0	70.0	90.0	72.5	75.0	74.0	74.0	76.0	70.0	60.0	66.0	67.0	68.0	73.0	75.0	70.0	69.0	61.0	
Opir	33.0	27.0	8.0	25.0	22.5	22.3	22.5	21.5	28.5	36.3	30.5	31.0	28.5	24.5	22.0	27.0	28.0	35.0	
Kpir	1.5	1.5	0.5	1.2	1.1	1.8	1.4	1.1	0.2	1.7	1.5	0.6	1.7	1.2	1.4	1.5	1.7	1.7	
Spl	1.5	1.5	1.5	1.3	1.4	1.9	2.1	1.4	1.3	2.0	2.0	1.4	1.8	1.3	1.6	1.5	1.3	2.3	
Örnek No	K16AH	K21A	K26B	K44	K64	K68	K27AH	K65	K66										
Kayaç	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP										
Ol	71.0	68.7	67.0	61.0	64.0	62.0	56.0	60.1	60.5										
Opir	25.5	28.0	28.5	35.5	33.0	34.5	37.0	33.5	35.2										
Kpir	1.9	1.4	3.2	1.5	1.9	1.8	5.0	4.2	1.7										
Spl	1.6	2.0	1.2	2.0	1.0	1.6	1.7	2.2	2.5										

Taneli dokuya sahip harzburjitler, olivin (%65-80), ortopiroksen (%10-20), spinel (%5>) ve eser miktarda klinopiroksen içermektedir (Şekil 5). Olivinler genellikle serpantinleşme sonucu yuvarlak kenarlı kırıklı kristaller halinde bulunurlar ve ÇN'de canlı renklerde TN'de ise renksiz öz şekilsiz kristaller halindedirler. Ortopiroksenler, olivinlerden sonra en bol bulunan minerallerdir. Paralel sönme gösteren ortopiroksenler dilinimleri boyunca klinopiroksen eksolüsyon lamelleri içermektedir. Klinopiroksenler tüketilmiş manto kalıntısı harzburjitler içerisinde çok az miktarda korunabilmiştir. Genellikle ortopiroksen-olivin sınırlarında öz şekilsiz kristalleri halinde gözlenen klinopiroksenler eğik sönme göstermektedir ve canlı renklere sahiptir. (Şekil 5c). Manto harzburjitlerinde gözlenen lineasyon ve foliasyon gibi tektonik deformasyon izleri bu kayaların yitim zonu ortamı kökenleri ile uyumludur. Harzburjitler içerisinde karakteristik olarak kahverengi kristaller şeklinde gözlenen spineller %1-3 arasında değişen bir bolluğa sahiptir. (Şekil 5d).



Şekil 5. a-d: Harzburjitlerin polarizan mikroskop görüntüleri. e-f: Manto dünitinin (K14A numaralı örnek) mikroskopik görünümü.

Figure 5. a-d: Polarizing microscope images from mantle harzburgites. e-f: Microscopic image of a dunite sample (K14A) from mantle section of the ophiolite body

4.2. Manto peridotitlerinin tüm kayaç jeokimyası

4.2. Whole-rock geochemistry of mantle peridotites

Manto harzburjitlerine ait 24 adet örnek seçilerek tüm kayaç ana oksit jeokimyası, Lantanit Grubu Element (LGE) ve iz element jeokimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla Tablo 2'de verilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

4.2.1. Ana oksit jeokimyası

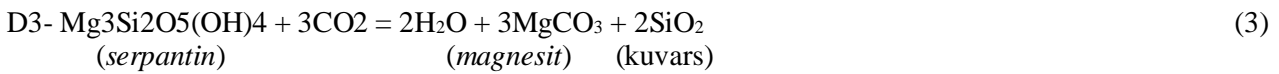
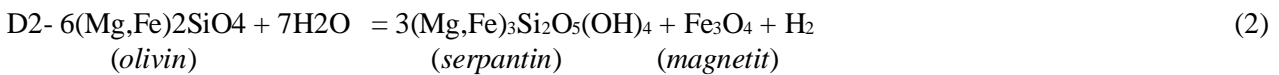
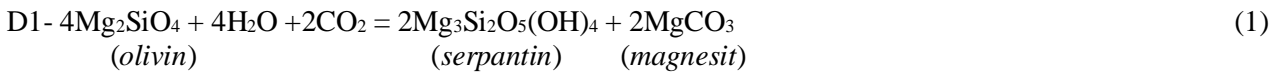
4.2.1. Major oxide geochemistry

Manto harzburjitleri yüksek derecede serpantinleşme (AUK=4.4-14 %ağ.) göstermektedir. MgO içerikleri 44.3-50.2 %ağ., TiO₂ içerikleri 10-370ppm ve FeO_T içerikleri ise 8.20-10.9 %ağ. arasındadır. Na₂O içerikleri <0.02 %ağ. Olup, Al ve Ca içerikleri tüketilmiş karakterlerine uyumlu bir aralıktadır (Al₂O₃=0.23-0.95 %ağ., CaO=0.10-0.92 %ağ.). Harzburjitlerin MgO içeriklerindeki azalmaya karşılık SiO₂, CaO, Al₂O₃ içeriklerinde artış gözlenmektedir. Tüm kayaç ana oksit değerleri dikkate alındığında Kızıldağ ofiyolitine ait manto harzburjitleri ilksel mantoya göre tüketilmiş bir bileşime sahiptir. (Şekil 6, 7).

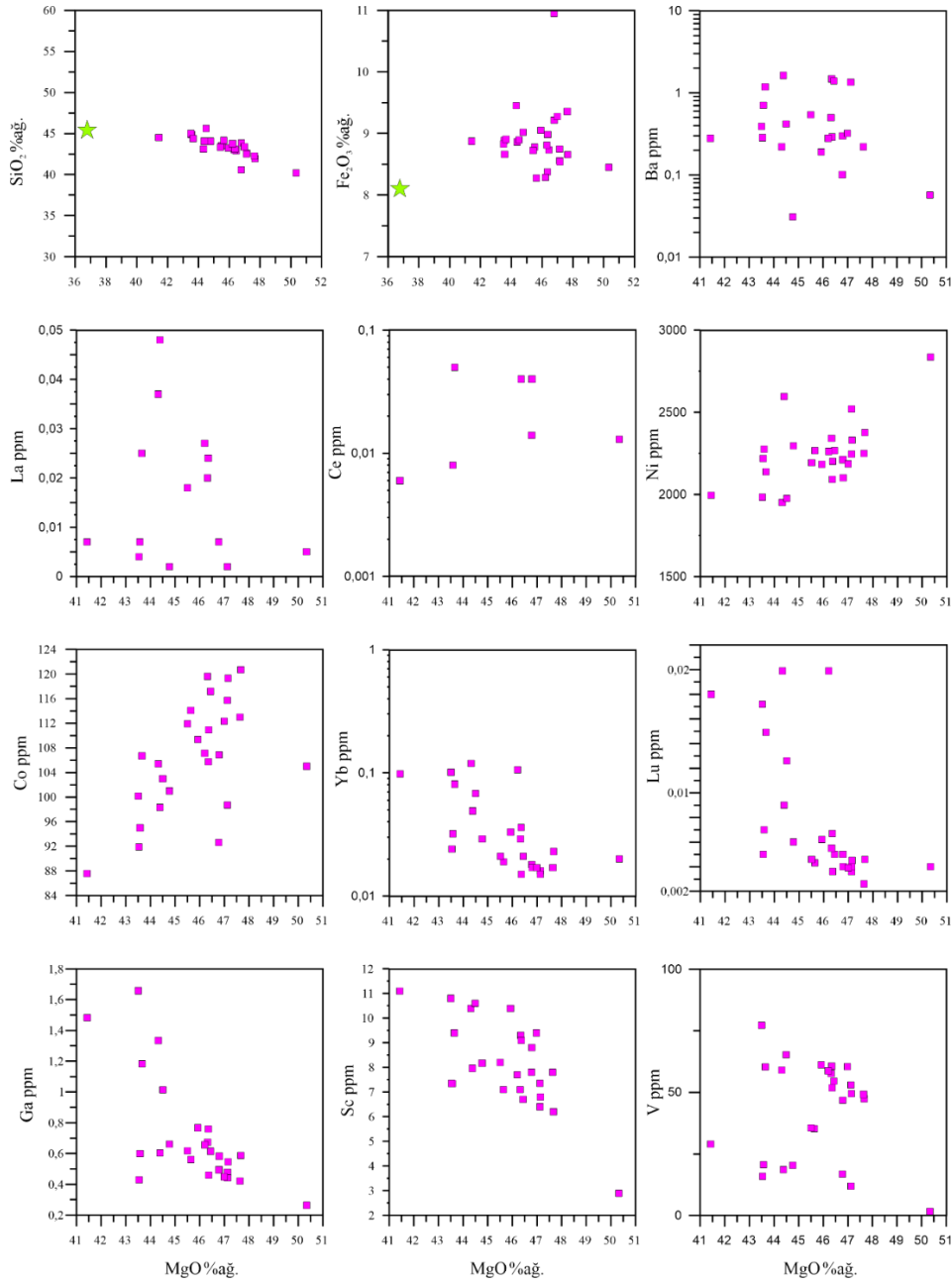
4.2.2. İz element jeokimyası

4.2.2. Trace element geochemistry

Manto harzburjitlerinin iz element ve LGE içerikleri MgO içerikleri ile karşılaştırılmıştır ve kısmi ergime veya ergiyik kayaç etkileşimine bağlı olarak değişen element dağılımları Şekil 6'da verilmiştir. Harzburjitlerin MgO içerikleri tüketilme derecesindeki artışa bağlı olarak artmaktadır. Ni ve Co kısmi ergime sırasında uyumlu karaktere sahiptir ve MgO içeriğindeki azalmaya bağlı olarak bu elementlerde belirgin bir azalma gözlenmektedir. Kısmi ergime sırasında uyumsuz davrandığı bilinen Yb, Lu, Ga ve Sc gibi elementler ergiyiğe karışarak kalıntı kayaç içerisindeki konsantrasyonları azalmaktadır. Dolayısıyla azalan MgO içeriklerine karşılık uyumsuz elementlerin arttığı gözlenmektedir. La, Ce ve Gd içerikleri MgO ile kıyaslandığında belirgin bir dağılım sunmamaktadır. Harzburjitlerdeki Cr içerikleri, bu kayaçlar içerisinde bulunan ortopiroksen ve spineller ile orantılı olarak değişmektedir ve 1489-3292 ppm arasındadır (Şekil 6, Tablo 2). Hidrotermal alterasyon, tüketilmiş üst manto kalıntısı peridotitlerin bileşimindeki Cu'nun azalmasına sebep olmaktadır (Coleman, 1977, Engler, 2002). Hidrotermal alterasyon ürünü olan serpantinleşme harzburjitlerde genel olarak olivinlerin alterasyonu sonucu gerçekleşir:



Kızıldağ ofiyolitine ait manto kayaçları serpantinleşmeden ötürü düşük Cu içeriklerine sahiptir. Harzburjitlerin MgO içeriklerindeki azalmaya bağlı olarak Yb, Lu, Ga ve Sc içeriklerinin pozitif korelasyon sunduğu gözlenmektedir (Şekil 6).



Şekil 6. Kızıldağ ofiyolitine ait peridotitlerin bazı ana oksit ve iz element bolluklarının MgO (%ağ.)'a karşı dağılımları.

Figure 6 Major oxide and various trace element compositions versus MgO wt.% diagrams of mantle harzburgites from Kızıldağ ophiolite.

4.2.3. Lantanit Grubu Element (LGE) jeokimyası

4.2.3. Rare Earth Element (REE) geochemistry

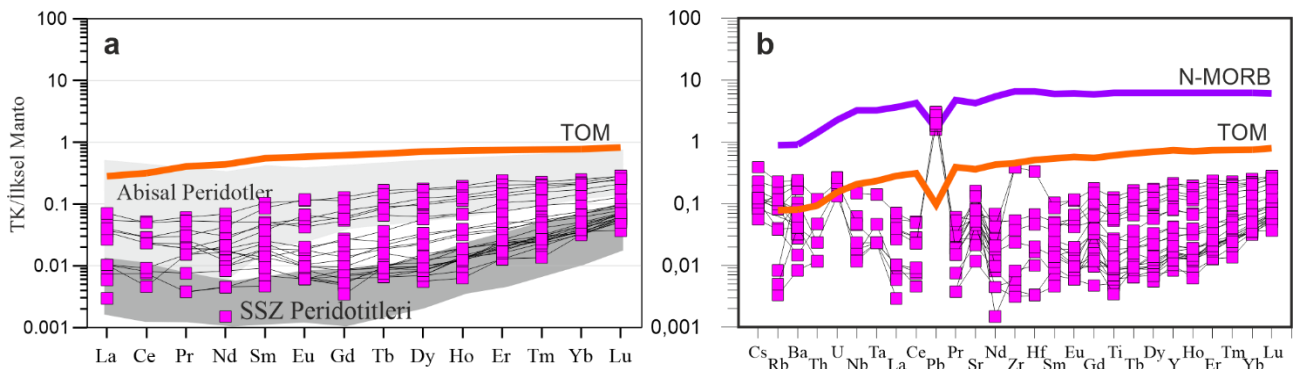
Lantanit Grubu Element dağılımları kayaçların magmatik süreçler hakkında önemli bilgiler sunmaktadır. Postmagmatik süreçler, metamorfizma ve hidrotermal alterasyon LGE'lerin tüm kayaç konsantrasyonları üzerinde major bir etkiye sahip değildir. Şekil 7a'da harzburgitlerin LGE (ilksel mantoya göre normalize) dağılımları verilmiştir. Harzburgitlerin tamamı Tüketilmiş Okyanus Ortası Sırt Mantosu (TOM) bileşimine göre yaklaşık 10 kat tüketilmişlerdir. Analiz edilen harzburgitler ortaç lantanit grubu elementlerden (OLGE) hafif lantanit grubu elementlere (HLGE) doğru tüketilme göstermektedir. Bazı örnekler La bakımından zenginleşmiştir ($La_N/Ce_N=0.99-18.1$ N: İlksel mantoya göre normalize) ancak belirgin bir kaşık şekilli desen oluşturmamıştır. Ağır lantanit grubu elementler (ALGE) bakımından (Tm, Yb, Lu) manto harzburgitleri TOM bileşimine göre yaklaşık 5-9 kat arasında tüketilmiştir ($H_{ON}/Lu_N=0.11-0.55$). Harzburgitlerin bir kısmı diğerlerine göre LGE içerikleri bakımından daha fazla tüketilmiş ve SSZ peridotitler için belirlenen alan

içerisinde konumlanmıştır. LGE içerikleri daha zenginleşmiş olan harzburjitler abisal peridotitlere benzer bileşimdedirler. Eu (Evropium) Eu^{2+} ve Eu^{3+} şeklinde doğada bulunmaktadır ve plajiyoklaz içerisindeki Ca^{2+} ile değişmektedir (Berger vd., 2001). Manto kayaçlarının negatif Eu^{2+} anomalisi sunması beklenmektedir ancak tüketilmiş Kızıldağ manto harzburjitlerinin Eu^{2+} bakımından zenginleşmiş olması plajiyoklaz kristallenmesi ve serpantinleşme etkisiyle açıklanabilir (Parkinson vd., 1992, Bodinier & Godard, 2004; Engler vd., 2002). İncelenen harzburjitler içerisinde bir grup örnekte plajiyoklaz tespit edilmiştir ve plajiyoklaz ile klinopiroksenler arasında LGE ve Eu^{2+} alışverişi olduğu bilinmektedir (Pun vd., 1997).

Manto harzburjitlerinin ilksel mantoya normalize edilmiş çoklu element dağılımları incelendiğinde LGE'lerde olduğu gibi TOM'a göre tüketilmiş bir dağılım sundukları görülmektedir (Şekil 7b). İyon yarıçapı yüksek elementlerden (IYYE) olan baryum (Ba) ve stronsiyum (Sr) bakımından zenginleşme görülmektedir. Peridotitlerde IYYE zenginleşmesi Kim vd., 2003 tarafından yapılan bir çalışmada metasomatik alterasyon ile ilişkilendirilmiştir. IYYE'ler genellikle sıvı faz kontrolündedir ve artan sıcaklık ile uyumsuz bir karaktere sahiptirler. Harzburjitlerin IYYE zenginleşmesi sunması sıcak yeraltı sıvıları (hidrotermal sıvılar) etkisi ile açıklanabilir. Manto peridotitlerinin alkali toprak elementler bakımından (Rb, Cs, Sr ve Ba) zenginleşme göstermesi bu kayaçların SSZ ortamında oluştuğunu göstermektedir (Bodinier & Godard, 2004, Choi vd., 2008; Chen vd., 2019;). Kısmi ergime sırasında daha az mobil olan YÇAE'ler kaynak kaya bileşimi ile kontrol edilmektedir. Harzburjitlerin YÇAE bakımından bir zenginleşme göstermeyip Tb-Lu arası yataya yakın bir dağılım sunması sebebiyle yitim zonunda meydana gelen kısmi ergime süreçlerinde bu elementlerin kalıntı kayalarda bileşimlerini muhafaza ettiği söylenebilir.

Yitim zonu ortamlarında bulunan magma odası içerisindeki ergiyikler İYYE ve HLGE bakımından zengin bir bileşime sahiptir. Üst mantonun kısmi ergimesi sırasında iz elementler bakımından zengin ergiyiklerin harzburjitler ile metasomatizması sonucu Nb, Ta ve Ti gibi elementler bakımından zenginleşme meydana gelmiştir. Yitim okyanusal kabuğun üst kısmında meydana gelen bu süreçler 10-20kbar lık bir basınç altında gerçekleşmekte ve bu şartlarda Nb ve Ta gibi elementler Al bakımından zengin klinopiroksen benzeri fazlarda kalmayı tercih ederler. Dolayısıyla negatif Nb anomalisi manto harzburjitlerinin oluşum ortamı için yitim ile ilişkili bir kökene işaret etmektedir (Kimura vd., 2017).

Okyanusal kabuğun üst kısmını oluşturan bazaltik örtü kayaçları içerisindeki silikat ve sulu mineraller, yitim sonrası başlayan kısmi ergime süreçleri ile kaynak kayadan ayrılarak yükselir ve daha önceden tüketilmiş manto kayaçları ile etkileşime girerler (Hildenbrand vd., 2004). Yükselen ergiyikler zengin H_2O , CO_2 ve ClO_2 iyonları içerirler ayrıca Rb, Ba, Sr bakımından da zengindirler ve Nb bakımından tüketilmişlerdir. Kızıldağ manto harzburjitlerinin yitim zonu karakteri sergilemesi ile uyumlu bir iz element jeokimyasal içeriğine sahip olduğu görülmektedir.



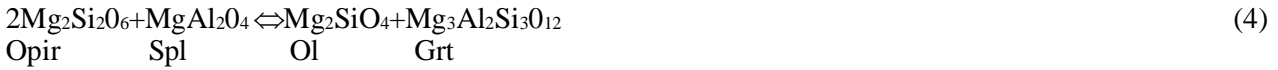
Şekil 7. a: Manto harzburjitlerinin normalize (ilksel manto) tüm kayaç LGE dağılımları b: Multi-element bollukları. Tüketilmiş Okyanus Ortası Sirt Manto (TOM) ve Normal Okyanus Ortası Sirt Bazalt (N-OOSB) bileşimleri (Palme & O'Neill 2014).

Figure 7. Primitive mantle normalized whole-rock REE and multi-element variations of residual mantle harzburgites from Kızıldağ ophiolite. N-MORB and DMM values are from Palme & O'Neill, 2014.

5. Tartışma ve sonuçlar

5. Discussion and conclusions

Okyanus Ortası Sırtlar (OOS) ve Yitim Zonları (SSZ), okyanusal kabuk oluşumunun devam ettiği aynı zamanda eski okyanusal kabuk kalıntısı kayaçların üst mantoya daldığı ortamlardır. OOS'larda yeni okyanusal kabuk oluşumu sürerken ve %20'lere varan kısmi ergime süreçleri manto peridotitlerinin bileşimini kontrol etmektedir. SSZ ortamları, daha önceden %5-10 kısmi ergimeye uğramış ve tüketilmiş okyanusal kabuğun başka bir okyanusal kabuk altına yittiği, %20< kısmi ergime derecelerinin gerçekleştiği ve sulu ergiyiklerin yiten kabuktan ayrıldığı bir ortamı temsil eder (Aldanmaz vd., 2009; Uysal vd., 2015; Dilek vd., 2007; Chen vd., 2019). OOS ortamında 60-100 km arası değişen derinliklerde üst manto bileşimi 15-20kb seviyelerine kadar garnet-peridotit iken yüzeye doğru bu bileşim spinel-peridotit ve plajiyoklaz-peridotit şeklinde değişmektedir. Garnet lertzolit ile spinel-lertzolit arası geçiş aşağıdaki denklem ile açıklanmıştır (O'Neill, 1981):



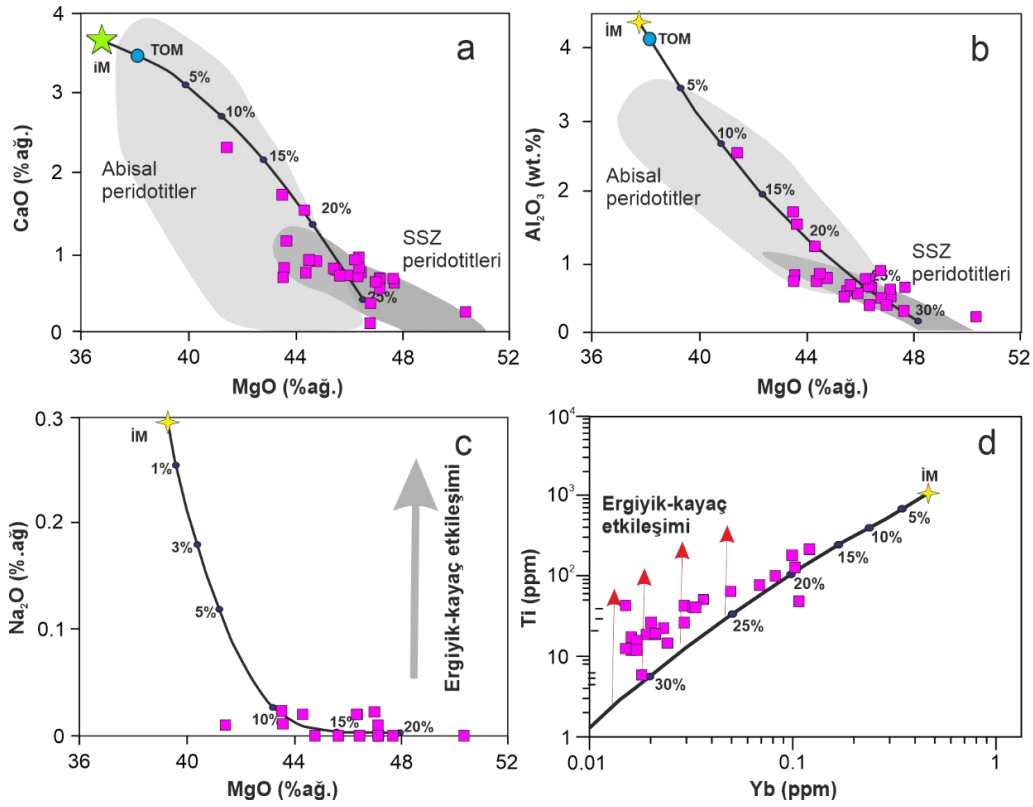
OOS ortamlarında kısmi ergime süreci ve okyanusal kabuk oluşumu daha basit bir seri halinde gerçekleşirken bu durum SSZ ortamında daha karmaşık bir sürece dönüşmektedir. SSZ ortamında kısmi ergimenin başladığı derinlik ve buna bağlı olarak yiten okyanusal kabuğun üst kısmında ilk ergimeye başlayan kayaç litolojisi, bu kaynaktan ayrılan ergiyik bileşimi ve kısmi ergime miktarı SSZ ortamında oluşan bir manto peridotinin bileşimini belirleyen faktörlerdir.

İlk olarak OOS ortamında oluştuğu düşünülen bir manto peridotiti, ortamın SSZ'a geçişinden sonra yitimle birlikte tekrar kısmi ergimeye maruz kalacaktır ve bu süreçlerden geçen bir kayacın kısmi ergime sırasında uyumsuz davranan elementler bakımından aşırı derecede tüketilmiş olması beklenir. SSZ ortamında kısmi ergimenin başladığı derinliğin fazla olmasına bağlı yüksek basınç şartları egemendir ve bu ergimenin hızlı gerçekleşmesini önleyen bir faktördür. OOS'larda kısmi ergimenin tetiklenmesindeki ana faktör okyanus ortası sırta meydana gelen açılmanın üst mantodaki basıncı önemli bir miktarda düşürmesidir (Niu, 2004). Ancak yitim zonu ortamlarındaki yüksek basınca rağmen kısmi ergime sürecini hızlandıran bir faktör uçucular ve H₂O bakımından zengin minerallerin ergimeye başlayarak buradaki kısmi ergime sıcaklığını düşürmesi etkenidir. Yiten okyanusal kabuğun üst kısmını oluşturan bazaltik bileşimli kabuk kayaları daha derinlerde metazomatizma etkisiyle amfibolitlere dönüşebilmekte ve bu kayaçların ergimesi sonu yükselen ergiyikler daha önceden tüketilmiş manto harzburjitleri içerisinde ikincil mineral kristallenmesine ve ergiyik-kayaç etkileşimi süreçlerine neden olmaktadır. Dolayısıyla SSZ ortamlarda manto harzburjitlerinin jeokimyasal bileşimlerini incelerken kayaçları oluşturan mineral birliktelikleri ve bu minerallerin gösterecekleri kimyasal anomaliler dikkatli bir şekilde değerlendirilmelidir.

Bu çalışma ile Kızıldağ ofiyolitinin taban kesimin oluşturan Harzburjit bileşimli kayaçların tüm kayaç ana oksit ve iz element içeriklerindeki değişimler daha sonraki detaylı çalışmalara ışık tutması bakımından incelenmiştir.

Manto harzburjitlerinin MgO içeriklerindeki azalmaya karşılık SiO₂, Al₂O₃ ve CaO içeriklerinde bir artış gözlenirken FeO_T ve Na₂O içerikleri bir korelasyon sunmamaktadır. İlksel mantoya göre yaklaşık olarak %10-20 tüketilme gösteren manto harzburjitlerinin bu geniş tüketilme aralığı ergiyik-kayaç etkileşim süreçleri dikkate alınarak daha detaylı incelenmelidir. Harzburjitler ilksel mantonun artan kısmi ergime derecelerini temsil eden eğrileri takip etmektedir. Bu özellikleri ile manto harzburjitleri, %20-30 arasında değişen kısmi ergime kalıntısı kayaçları temsil etmektedir ve SSZ peridotitleri için belirlenen alanlar içinde konumlanmaktadır (Şekil 8a-b). Şekil 8d'de Ti içerikleri dikkate alındığında bazı harzburjitlerin yüksek Ti içerikleri ile kısmi ergime eğrisinden daha yüksek değerler sunduğu görülmektedir ve bu kayaçların SSZ ortamında yiten okyanusal kabuktan türeyen ergiyiklerle etkileşime girdiğine işaret etmektedir.

Tüketilmiş harzburjitlere kıyasla yüksek Al₂O₃ ve CaO içerikleri ile daha düşük kısmi ergime değerleri sunan ve Şekil 8'de abisal peridotitlere benzer dağılımlar sunan örneklerdeki bu farklılıklar postmagmatik süreçlerin etkisi ile açıklanabilir.



Şekil 8. Kızıldağ ofiyolitine ait manto peridotitlerinin tüm kayaç MgO (%ağ.) içeriklerine karşılık ana oksit ve iz element dağılımlarının ilksel manto ve kısmi ergime dereceleri dikkate alınarak değerlendirilmesi.

Figure 8. Evaluation of some major oxide and trace element distributions vs the MgO (wt%) contents of the mantle peridotites of the Kızıldağ ophiolite, considering the primary mantle and partial melting degrees.

Teşekkür

Acknowledgement

Bu çalışma yazarın Doktora tezi kapsamında elde edilen veriler kullanılarak hazırlanmıştır. Doktora tezinin hazırlanması ve sunulması sürecinde desteğini esirgemeyen sayın Prof. Dr. İbrahim Uysal'a teşekkürlerimi sunarım.

Etik beyanı

Declaration of ethical code

"Bu makalenin yazarı bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir."

Çıkar çatışması beyanı

Conflicts of interest

"Yazar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder"

Kaynaklar

Aldanmaz, E., Schmidt, M.W., Gourgaud, A. & Meisel, T., (2009). Mid-ocean ridge and suprasubduction geochemical signatures in spinel-peridotites from the Neotethyan ophiolites in SW Turkey: Implications for upper mantle melting processes. *Lithos*, 113, 691–708.

Arai, S., Kadoshima, K. ve Morishita, T., (2006). Widespread Arc-related Melting in The Mantle Section of The Northern oman Ophiolites as Inferred from Detrital Chromian Spinels. *Journal of the Geological Society*, 163, 869–879.

Bağcı, U., (2004). Kızıldağ (Hatay) ve Tekirova (Antalya) Ofiyolitlerinin Jeokimyası ve Petrolojisi, Doktora Tezi, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

- Bağcı, U., Parlak, O. ve Höck, V., (2008). Geochemistry and tectonic environment of diverse magma generations forming the crustal units of the Kızıldağ (Hatay) ophiolite, Southern Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 17, 43-71.
- Bodinier, J.L. ve Godard, M., (2003). Orogenic ophiolitic, and abyssal peridotites. In: Carlson, R.W. (Ed.), *Treatise on Geochemistry*, vol. 2. Elsevier, Amsterdam, 103–170
- Chen, C., Su, B., Xiao, Y., Uysal, İ., Lin, W. & Chu, Yang., (2020). Highly siderophile elements and Os isotope constraints on the genesis of peridotites from the Kızıldağ ophiolite, southern Turkey. *Lithos*, 368-369.
- Chen, C., Su, B.X., Uysal, I., Avci, E., Zhang, P.F., Xiao, Y. ve He, Y.S., (2015). Iron isotopic constraints on the origin of peridotite and chromitite in the Kızıldağ ophiolite, southern Turkey. *Chemical Geology*, 417, 115–124.
- Chen, C., Su, B.X., Xiao, Y., Pang, K.N., Robinson, P.T., Uysal, I., Lin, W., Qin, K.Z., Avci, E. & Kapsiotis, A., (2019). Intermediate chromitite in Kizildag ophiolite (SE Turkey) formed during subduction initiation in Neo-Tethys. *Ore Geology Reviews*, 104, 88–100.
- Choi, S.H., Shervais, J.W. & Mukasa, S.B., (2008). Supra-subduction and abyssal mantle peridotites of the Coast Range ophiolite, California. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 156-551.
- Coleman R.G., *Ophiolites: Ancient oceanic lithosphere*. Springer-Verlag, Berlin, (1977) 229 pp.
- Dilek, Y. ve Thy, P., Structure and Tectonics of Intermediate-spread Oceanic Crust Drilled at DSDP/ODP Holes 504B and 89A, Costa Rica Rift, in: Cramp, A., MacLeod, C.J., Lee, S.V., Jones, E.W.J. (Eds.), *Geological Evolution of Ocean Basins, Results from The Ocean Drilling Program*. *Journal of the Geological Society*, 131, (1998) 179–197.
- Dilek, Y. & Furnes, H., Shallo, M., (2007). Suprasubduction zone ophiolite formation along the periphery of Mesozoic Gondwana. *Gondwana Research*, 11, 453–475.
- Dilek, Y. & Furnes, H., Shallo, M., (2008). Geochemistry of the Jurassic Mirdita Ophiolite (Albania) and the MORB to SSZ evolution of a marginal basin oceanic crust. *Lithos* 100, 174–209.
- Dilek, Y. & Thy, P., (2009). Island arc tholeiite to boninite melt evolution of the cretaceous Kızıldağ (Turkey) ophiolite: model for multi-stage early arc-forearc magmatism in Tethyan subduction factories. *Lithos* 113, 68–87.
- Engler, A., Koller, F., Meisel, T. ve Que´me´ Neurd, J., (2002). Evolution of the Archean/Proterozoic crust in the southern Saõ Francisco craton near Perdões, Minas Gerais, Brazil: Petrological and geochemical constraints. *Jour. South Amer. Earth Sc.*, 15, www.unileoben.ac.at/~chemie/Engler.pdf, 709–723.
- Erendil, M., *Petrology and Structure of the Upper Crustal Units of the Kızıldağ Ophiolite*. In: Tekeli, O. ve Göncüoğlu, M.C. (eds) *Geology of the Taurus Belt, Proceedings, Mineral Research & Exploration Institute, Turkey, Ankara*, (1984) 269-284.
- Flower, M.F.J. & Dilek, Y., (2003). Arc-trench rollback and forearc accretion: 1. A collision-induced mantle flow model for Tethyan ophiolites. In: Dilek, Y., Robinson, P.T. (Eds.), *Ophiolites in Earth History*. *Geological Society of London Special Publication*, 218, 21–41.
- Godard, M., Bosch, D. & Einaudi, F., (2006). A MORB source for low-Ti magmatism in the Semail ophiolite. *Chemical Geology*, 234: 58–78.
- Hildenbrand, A., Gillot, P. Y. ve Le Roy, I., (2004). Volcano-tectonic and geochemical evolution of an oceanic intra-plate volcano: Tahiti-Nui (French Polynesia). *Earth and Planetary Science Letters*, 217(3-4), 349-365.
- Karaoğlan, F., Parlak, O., Klõtzi, U., Thoni, M. ve Koller, F., (2013). U–Pb and Sm–Nd geochronology of the ophiolites from the SE Turkey: implications for the Neotethyan evolution. *Geodinamica Acta*, 25, 146–161.
- Kimura, J.I., Gill, J.B., van Keken, P.E., Kawabata, H. ve Skora, S., (2017). Origin of geochemical mantle components: role of spreading ridges and thermal evolution of mantle. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 18, 697–73.
- Lin, K.Y., Wang, K.L., Chung, S.L., Bingöl, A.F., Iizuka, Y., & Lee, H.Y., (2020). Tracking the magmatic response to subduction initiation in the forearc mantle wedge: Insights from peridotite geochemistry of the Guleman and Kızıldağ ophiolites, Southeastern Turkey. *Lithos*, 376.

- Lippard, S.J., Shelton, A.W. & Gass, (1986). I.G., The Ophiolite of Northern Oman, Geol. Soc. Mem., 11, 187.
- Moiseev, A.V., Sokolov, S.D., ve Hyasaka, Y., (2011). Composition and geodynamic setting of the volcanic rocks from ophiolites of the Ust'-Belaya Mountains, Chukchi Peninsula. In Doklady Earth Sciences (Vol. 437, No. 1, pp. 326-330). SP MAIK Nauka/Interperiodica.
- Niu, Y., (2004). Bulk-rock major and trace element compositions of abyssal peridotites: implications for mantle melting, melt extraction and post-melting processes beneath mid-ocean ridges. *Journal of Petrology*, 45(12), 2423-2458.
- Okay, A. I., & Şahintürk, Ö. (1997). Geology of the Eastern Pontides. In Robinson, A. G. (Ed.), Regional and petroleum geology of the Black Sea and surrounding region (pp. 291-311). *American Association of Petroleum Geologists (AAPG) Memoir No. 68*.
- Okay, A.I. (1989). Tectonic units and sutures in the Pontides, northern Turkey. In A. M. C. Şengör (Ed.), Tectonic evolution of the Tethyan Region (pp. 109-116). NATO Advanced ASI Series. Dordrecht: Kluwer Academic.
- O'Neill, H.S.C. (1981) The transition between spinel lherzolite and garnet lherzolite, and its use as a Geobarometer. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 77, 185-194.
- Ottley, C.J., Pearson, D.G. ve Irvine, G.J., A Routine Method for The Dissolution of Geological Samples for The Analysis of REE and Trace Elements via ICP –MS, in Plasma Source Mass Spectrometry, Applications and Emerging Technologies, (J.G. Holland, S.D. Taner, Eds.), The Royal Society of Chemistry, (2003) 221-230.
- Palme, H. ve O'Neill, H.S.C., (2003). Cosmochemical estimates of mantle composition. The mantle and core, 1-38.
- Pamic, J. & Desmons, J., (1989). A complete ophiolite sequence in Ržav area of Zlatibor and Varda ultramafic massifs, the Dinaride Ophiolite zone. *Ofioliti* 14, 13-32.
- Parlak, O., Rızaoğlu, T., Bağcı, U., Karaoğlan, F., & Höck, V., (2009). Tectonic significance of the geochemistry and petrology of ophiolites in southeast Anatolia, Turkey. *Tectonophysics*, 473(1-2), 173-187.
- Robertson, A.H., (2002). Overview of the genesis and emplacement of Mesozoic ophiolites in the Eastern Mediterranean Tethyan region. *Lithos*, 65(1-2), 1-67.
- Selçuk, H., Etude geologique de la partie meridionale du Hatay (Turquie): PhD dissertation (unpublished), Univ. de Geneve, (1981) 116p.
- Selçuk, H., Kızıldağ-Keldağ-Hatay Dolayının Jeolojisi ve Jeodinamik Evrimi. Derleme Rapor, MTA, Ankara (1985).
- Uysal, I., Ersoy, E.Y., Dilek, Y., Escayola, M., Sarıfakıoğlu, E., Saka, S. & Hirata, T., (2015). Depletion and refertilization of the Tethyan oceanic upper mantle as revealed by the early Jurassic Refahiye ophiolite, NE Anatolia—Turkey. *Gondwana Research*, 27(2), 594-611.
- Uysal, İ., Akmaz, R.M., Saka, S. & Kapsiotis, A., (2016). Coexistence of compositionally heterogeneous chromitites in the Antalya-Isparta ophiolitic suite, SW Turkey: A record of sequential magmatic processes in the sub-arc lithospheric mantle. *Lithos*, 248, pp. 160-174.
- Uysal, İ., Şen, A.D., Ersoy, E. Y., Dilek, Y., Saka, S., Zaccarini, F. & Karşı, O., (2014). Geochemical make-up of oceanic peridotites from NW Turkey and the multi-stage melting history of the Tethyan upper mantle. *Mineralogy and Petrology*, 108(1), 49-69.
- Yılmaz, Y., (1993). New evidence and model on the evolution of the southeast Anatolian orogen. *Geological Society of America Bulletin*, 105(2), 251-271.
- Zhou, M.F., Robinson, P.T., Malpas, J., Edwards, S.J. & Qi, L., (2005). REE and PGE geochemical constraints on the formation of dunites in the Luobusa ophiolite, southern Tibet. *Journal of Petrology*, 46(3), 615-639.

Investigation of the molecular effects of isatin on HepG2 and AML12 cell lines

İsatinin HepG2 ve AML12 hücre hatları üzerindeki moleküler etkilerinin araştırılması

Deniz ŞUMNULU* 

Trakya Üniversitesi, Teknoloji Araştırma ve Geliştirme Uygulama ve Araştırma Merkezi, 22030, Edirne

• Received: 12.11.2023

• Accepted: 09.01.2024

Abstract

Isatin is an indole-derived organic compound. It is a natural component of the *Couroupita guianensis* plant. It is also the metabolic derivative of the human body hormone adrenaline. Studies have shown the anti-tumoral effects of isatin derivatives. In this study, the cytotoxic effects of isatin on HepG2, a hepatocellular cancer cell line was investigated. Additionally, its cytotoxic and protective-proliferative effects on AML12, a healthy liver cell line was investigated. This evaluation was conducted using MTT, fluorescent staining, wound healing, and real-time polymerase chain reaction analyses. The IC₅₀ values for 48 hours of isatin application were calculated as 186.23 µM for HepG2 and 7.05 mM for AML12. The analysis of wound healing and fluorescent staining at varying doses of HepG2 application revealed suppression of proliferation and triggered apoptosis in HepG2 cells. In contrast, AML12 cells exhibited promoted proliferation under similar conditions. Moreover, the observed upregulation of oxidative stress genes CuZn/Mn-SOD and mitochondrial apoptotic pathway genes Bax, cleaved-Cas3, APAF1, and p53 in HepG2 cells contrasted with their decreased expression in AML12 cell lines. These results suggest the potential of natural isatin as a promising anti-cancer agent for liver cancer cell lines and as a protective supplement for healthy liver cells.

Keywords: AML12, Anti-cancer, Cytotoxic, HepG2, Isatin

Öz

İsatin, indol türevi olan organik bir bileşiktir. Couroupita guianensis bitkisinin doğal bir bileşenidir. İnsan vücudu hormonu olan adrenalinin de metabolik türevidir. Yapılan çalışmalarda isatin türevlerinin anti-tümöral etkileri gösterilmiştir. Bu çalışmada isatinin hepatoselüler kanser hücre hattı olan HepG2 üzerindeki sitotoksik etkileri ve sağlıklı karaciğer hücre hattı olan AML12 üzerindeki sitotoksik, koruyucu-proliferatif etkileri MTT, floresan boyama, yara iyileşmesi ve gerçek zamanlı polimeraz zincir reaksiyonu analizleri ile araştırıldı. 48 saatlik isatin uygulaması için IC₅₀ değerleri HepG2 için 186.23 µM, AML12 için 7.05 mM olarak hesaplandı. Her iki hücre hattı için HepG2 uygulamasının IC₅₀ dozuna bağlı olarak, yara iyileşmesi ve floresan boyama analizleri, HepG2 hücrelerinde proliferasyonun baskılandığını ve apoptozun tetiklendiğini, ancak AML12 hücrelerinde proliferasyonun teşvik edildiğini göstermiştir. Ek olarak, oksidatif stres genleri CuZn/Mn-SOD ve mitokondriyal apoptotik yol genleri Bax, kesilmiş-Cas3, APAF1 ve p53'ün ekspresyon seviyeleri HepG2'de artmış ancak AML12 hücre hatlarında azalmıştır. Bu çalışmalar sonucunda isatinin doğal formunun karaciğer kanseri hücre dizileri için iyi bir anti-kanser ajanı ve sağlıklı karaciğer hücreleri için koruyucu bir takviye olabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: AML12, Anti-kanser, Sitotoksik, HepG2, İsatin

*Deniz ŞUMNULU; denizsumnulu@trakya.edu.tr

1. Introduction

According to 2020 data, liver cancer is the sixth most common and third fatal cancer case in the world (Sung et al., 2021). However, it is the second type of cancer with the shortest life expectancy after diagnosis (Ferlay et al., 2021). Although HBV and HCV are the most important risk factors, excessive alcohol consumption, metabolic syndrome, type 2 diabetes, obesity, and non-alcoholic fatty liver disease are among the leading causes of liver cancer (McGlynn et al., 2021; Chuang et al., 2009). In a study on the frequency of liver cancer incidence and death in 2020, according to the order of development in the world countries, it has been reported that 31.600 deaths occurred in 33.100 cases in underdeveloped countries, 95.900 deaths in 100.000 cases in middle-developed countries, 524.300 deaths in 548.900 cases in developed countries, and 178.100 deaths in 223.300 cases in highly developed countries (Rungay et al., 2022). In line with these data, it is seen that the percentage of deaths due to liver cancer is 95.47% in underdeveloped countries, 95.9% in middle-developed countries, 95.51% in developed countries, and 79.76% in highly developed countries. Although death rates are similar in underdeveloped, middle-income, and developed countries, it is remarkable that this rate decreases by 20% in highly developed countries. After the diagnosis of liver cancer cases, generally two different treatment options are followed. One of them aimed to complete recovery from illness, and the other aimed at prolonging life. The curative treatment methods can be listed as orthotopic liver transplantation, surgical intervention, and ablation. Treatment methods aimed at prolonging the life span are slowing tumor progression or relieving symptoms by administering trans arterial chemoembolization (TACE), trans arterial radio embolization (TARE), stereotactic body radiation therapy (SBRT), systematic chemotherapy, and/or radiotherapy (Marrero et al., 2018).

Undoubtedly, it is much easier to reach these treatment methods in highly developed countries, both in terms of cost and necessary hospital facilities, than in less developed countries. Because of these situations, scientists are intensively striving to discover effective and accessible anti-cancer agents. Especially recently, scientists have been intensively researching the effects of many flavonoids, nanoparticles, hormones, peptides, organic compounds, and natural medicinal plants on cancer to contribute to traditional treatment methods. One of these organic compounds is isatin.

Isatin is an indole-derived organic compound, and its molecular formula is $C_8H_5NO_2$. *Couroupita guianensis* plant is known to contain compounds that can be used in the synthesis or extraction of isatin (Bergman, 1998; Silva et al., 2001). It is also the metabolic derivative of the human body hormone adrenaline (Chiyanzu, 2003). With its use in many areas as an antitumoral, antiviral, anti-HIV, and antituberculosis agent (Sriram, 2005; Mallamo, 2006; Jiang et al., 2006; Abdoul-Fadel & Bin-Jubair, 2010), there have been limited studies on its candidate as an anti-hepatocellular carcinoma agent in recent years. However, in all of these studies on hepatocellular cancer types, the effects of isatin derivatives such as trimethoxyphenyl (Cao et al., 2016), piperidine, phenyl acetamide (Eldeeb et al., 2022), and diethylnitrosamine (DENA)/2-acetylaminofluorene (2-AAF) (Tawfik et al., 2022) were investigated. Investigating the anti-cancer effects of isatin on the HepG2 hepatocellular cancer cell line due to its natural availability and affordability is quite promising. By focusing on a compound that's easily obtained and cost-effective, this study aims to offer valuable guidance, especially to countries with limited income and healthcare resources. The potential of isatin could contribute to reducing death rates or extending life expectancy in these regions, presenting a hopeful avenue for cancer treatment in less economically developed areas. By investigating the cytotoxic or proliferative effects of isatin on the healthy liver cell line AML12, this research sets itself apart from others. Understanding how isatin impacts healthy liver cells is crucial for assessing its safety and potential side effects. This comprehensive evaluation helps ensure that while targeting cancer cells, isatin doesn't harm healthy cells, which is a crucial aspect in developing safe and effective treatments.

2. Material and method

2.1. Cell culture

Human hepatocellular carcinoma (HepG2) (HB-8065, ATCC) and human healthy liver cell line (AML12) (CRL-9589, ATCC) were maintained in "Dulbecco's Modified Eagle's Medium/ Nutrient F-12 Raw", 10% fetal bovine serum (SIGMA-ALDRICH), 2 mM L-Glutamine (Thermo-Fisher) and 100 IU/ml penicillin-streptomycin (Thermo-Fisher). Isatin (SIGMA-ALDRICH) was gifted from Trakya University Vocational School of Health Services. Cells were cultured in a humidified incubator at 37°C and 5% carbon dioxide.

2.2. 3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyl tetrazolium bromide (MTT) analyzes

AML12 and HepG2 cell lines were separately seeded in 180 μ l volumes with approximately 5×10^3 cells in each well to 96-well spectrophotometric plates (NEST). 1 M stock solution was prepared by dissolving 7.35 gr of isatin in 50 mL of 0.2% ethanol solution. Cells were treated with 0.78, 1.56, 3.12, 6.25, 12.5, 25, 50, 100 μ M concentrations of isatin for 48-h. After treatments, 20 μ l of MTT (5 mg/ mL) solution applied to each well and plates were incubated at 37°C for 3 hours in 95% humidity and 5% CO₂. At the end of the incubation, all the liquid phase on the cells was removed and 180 μ l dimethyl sulphoxide (DMSO) was applied for 20 min into each well. The viability of the cells was calculated by reading the absorbance value at 570 nm wavelength in the spectrophotometer device (Thermo Scientific Multiskan GO) (Abel & Barid, 2018).

In MTT analyzes, cells without substance were considered 100% viable. The percentage of cell viability was calculated using the following formula:

$$\text{Cell viability} = (\text{absorbance value of the isatin applied wells} / \text{absorbance value of the control wells}) \times 100 \quad (1)$$

2.3. Cell fluorescent staining analyzes

AML12 and HepG2 cells were separately seeded in 4 wells of 6-well plates (NEST) with 5×10^4 cells per well. No substance applied to two wells, and they were used as an AML12 and HepG2 controls. 186.23 μ M isatin was applied to other two wells to both cell lines for 48 h. At the end of 48 h, each cell line was stained with Annexin V/PI (Elabscience) and microscope images were taken. For the Annexin V/ PI application, at the end of time, the medium on the cells was removed and washed with 1 \times phosphate buffer saline (PBS). In 2 ml, 1 \times Annexin V binding buffer, 5 μ l of Annexin V-FITC and 5 μ l PI were mixed and applied to each well for 20 min at room temperature in the dark. Images were taken on a 5 \times objective using FITC channel in a Fluorescent (Zeiss Observer Z1) microscope.

2.4. Wound healing assay

AML12 and HepG2 cell lines were separately seeded 2 wells into 6-well plate, with 5×10^4 cells each well. After 24 h to cells adhered to the plate, they were scratched by a 10 μ l pipette tip. To remove cell debris from the scratched area each well was washed with 1 \times PBS. Then application groups were treated with 186.23 μ M isatin and culture medium was used for the control group. The scratched closure was followed by taking microscope images with 5 \times objective at the end 24 h (Jonkman et al., 2014).

2.5. Total RNA isolation, cDNA synthesis and RT- PCR analyzes

Total RNA was extracted from cells using Column Pure RNA Miniprep Kit (ABM, USA) and OneScript Plus cDNA Synthesis Kit (ABM) was used for cDNA synthesis according to the manufacturer's protocols. RT-qPCR was performed using BlasTaq 2 \times qPCR MasterMix (ABM). RT-qPCR analyzes applied in the QuantStudio 6 Flex (Applied Biosystems) RT-PCR device. The primer sequences of the genes and RT-qPCR conditions are shown in Table 1 (Hossain et al., 2022).

Table 1. Primer sequences and PCR conditions of the gene regions analyzed by Real Time PCR.

Gene codes and genbank ID	Primer base sequences	Real time PCR conditions
Gapdh NM_002046	F: CAATGCCTCCTGCACCACCA R: GATGTTCTGGAGAGCCCCGC	Hold stage: 1 Cycle 50°C 2 minute 95°C 10 minute
APAF1 NM_001160	F: GTCACCATACATGGAATGGCA R: CTGATCCAACCGTGTGCAAA	
Akt NM_005163	F: TCCCCCTCAGATGATCTCTCCA R: CGGAAAGGTTAAGCGTCAAAA	

Table 1. Continued

Gene codes and genbank ID	Primer base sequences	Real time PCR conditions
Bax NM_138761	F: CCCGAGAGGTCTTTTTCCGAG R: CCAGCCCATGATGGTTCTGAT	PCR stage: 40 cycle 95°C 15 second 60°C 1 minute
Cleaved_Cas3 NM_004346	F: GGAAGCGAATCAATGGACTCTGG R: GCATCGACATCTGTACCAGACC	
CD133 NM_006017.2	F: ACACTGAAAGTTACATCCACAGAA R: GGGTGTATCCAAAACCCGGA	Melt curve stage: 1 cycle 95°C 15 second 60°C 1 minute 95°C 15 second
CuZn-SOD NM_000454.4	F: TCACTGTGGCTGTACCAAGGTG R: CCAGGAAGTAAAAGCATTCCAGC	
ErbB2 NM_001005862.2	F: CCTCTGACGTCCATCATCTC R: ATCTTCTGCTGCCGTCGCTT	
PI3K NM_006218.2	F: TTGTCTGTCACACTTCTGTAGTT R: AACAGTTCCCATTTGGATTCAACA	
GSR NM_000637.5	F: TATGTGAGCCGCCTGAATGCCA R: CACTGACCTCTATTGTGGGCTTG	
p53 NM_001126118	F: GAGGTTGGCTCTGACTGTACC R: TCCGTCCCAGTAGATTACCAC	
VEGF NM_001033756	F: GCTACTGCCATCCAATCGAG R: TGGTGATGTTGGACTCCTCA	

2.6. Statistical analyzes

For exact IC₅₀ doses for isatin application, MTT analyses were re-evaluated with SPSS Regression Probit (IBM, SPSS Statistics 22) analyses (Noufal et al., 2023). Gene expression changes for 3 repetitive doses were calculated with the $2^{-\Delta\Delta CT}$ formula. The relative gene expression levels were normalized to glyceraldehyde 3-phosphate dehydrogenase (GAPDH) gene. The results were statistically performed with “Paired-Samples T Test” (IBM, SPSS Statistics 22). $P \leq 0.05$ values were considered statistically significant.

3. Results and discussion

The highest dose (100 µM) of isatin application to both AML12 and HepG2 cell lines for 48 hours, 83.31% viability in the AML12 and 53.42% in the HepG2 cells were detected from MTT assay (Figure 1).

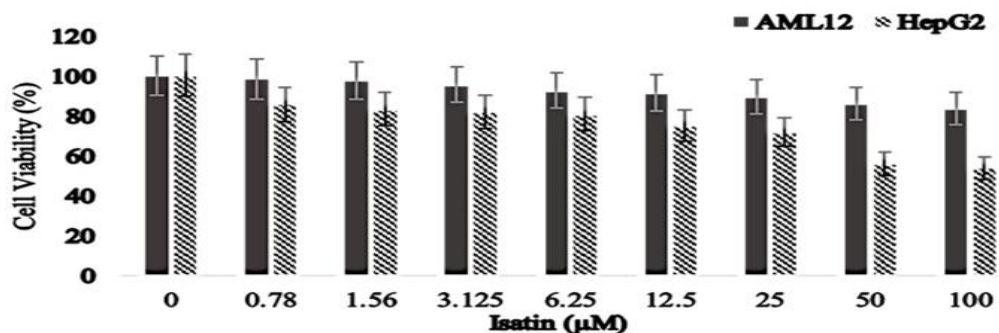


Figure 1. Comparison to cell viability of AML12 and HepG2 cells due to 0-100 µM isatin application.

From MTT analyzes IC₅₀ doses could not obtained for both cell lines, so these data were re-evaluated with SPSS Regression Probit analyzes. The IC₅₀ value for the AML12 cell line was calculated as 7.05 mM and 186.23 µM for the HepG2 cell line (Figure 2).

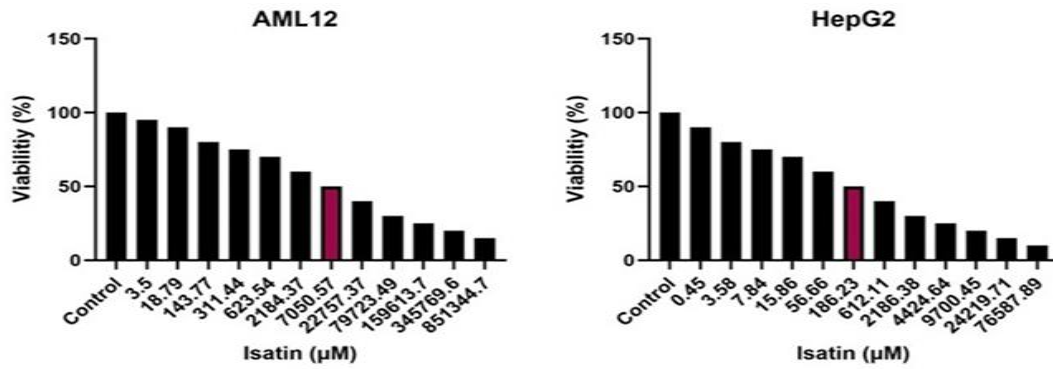


Figure 2. Re-evaluation of isatin-dependent IC values for AML12 and HepG2 cell lines by SPSS Regression Probit analyses (Red column refers to IC₅₀ values of each cell line).

The IC₅₀ value for AML12 is 37.86 times higher than for HepG2, indicating that isatin may be a good anticancer agent for liver cancer cells. In addition, as a result of the MTT study, even at a low dose of 0.78 µM, isatin suppressed proliferation in the HepG2 cell line by 14.53%, whereas the suppression of cell division was determined to be only 1.91% due to the application of the same dose to the AML12 cell line.

The suppressive effects of isatin on HepG2 cells proliferation was investigated by applying the HepG2 IC₅₀ dose to both AML12 and HepG2 cells through wound healing assays. At the end of 48-h, scratched area closed in isatin applied AML12 cells similar to control AML12 and HepG2 cells. This situation proves that isatin has a proliferative effect on healthy liver cells. Contrary to this finding, at the isatin applied HepG2 cell line; it was observed that scratched area expanded. (Figure 3).

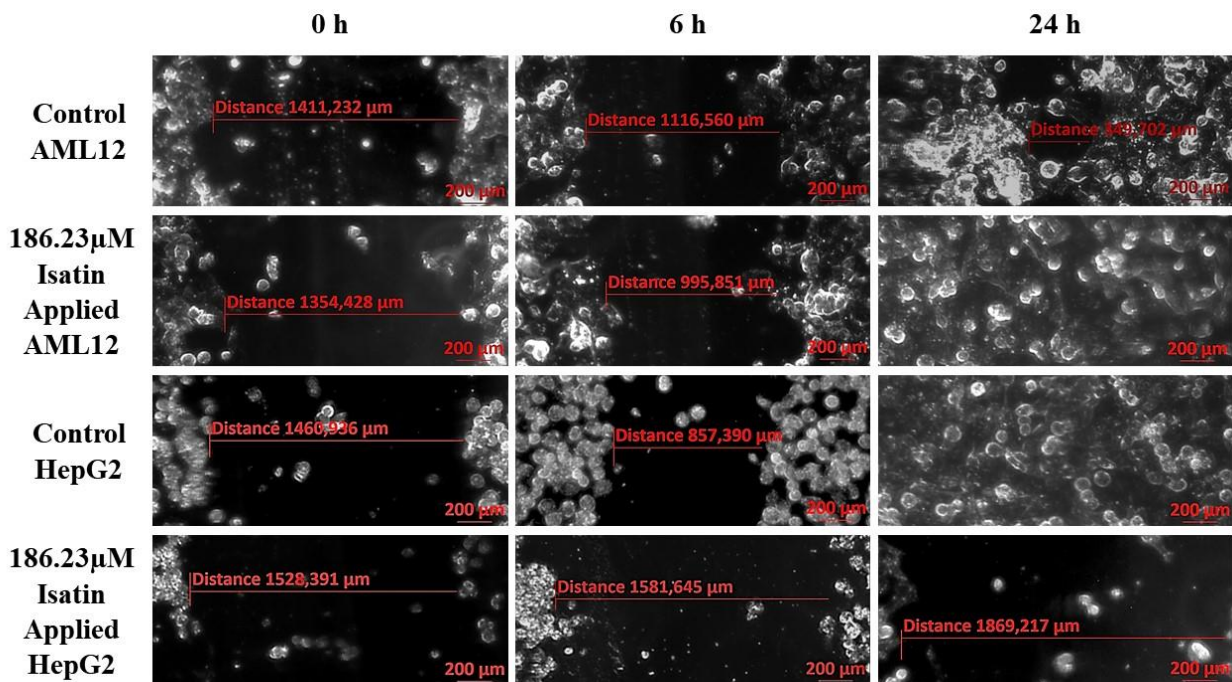


Figure 3. 0- 24 h changes in the scratched areas in control and isatin applied AML12 and HepG2 cells.

At the study, both early and late apoptosis were demonstrated in isatin applied HepG2 cells via Annexin V/PI staining methods, but there has no apoptotic sign in AML12 cell line by the same application. (Figure 4).

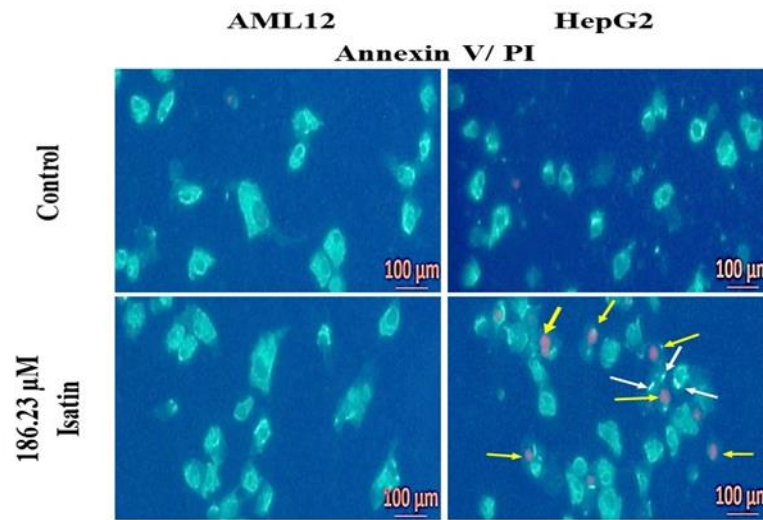


Figure 4. White arrows indicate early apoptotic cells and yellow arrow indicates late apoptotic cells.

In RT-PCR analyzes; compared to the control, some increases were observed at the expression levels of CuZn-SOD, Mn-SOD, Bax, APAF1, cleaved-Cas3, p53 genes in the isatin applied HepG2 cells. However, PI3K, Akt, ErbB2, CD133 expression levels decreased. Contrary to HepG2 cell line, Akt, VEGF, CD133 expression levels increased, while Mn-SOD, GSR, Bax, APAF1, cleaved-Cas3 levels were decreased in AML12 cell line (Table 2).

Table 2. In AML12 and HepG2 cell lines, mRNA expression levels of oxidative stress, proliferative genes, oncogenes and mitochondrial apoptotic pathway genes (n=3±SD) (relative change to the control group for each AML12 and HepG2 cell lines; Paired-Samples T Test, *p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001).

Genes	AML12 relative fold changes	P values	HepG2 relative fold changes	P values
CuZn-SOD	1.04±0.09	0.305	2**±0.09	0.006
Mn-SOD	0.5±0.05	0.058	4.2**±0.27	0.006
GSR	0.15**±0.06	0.006	1.06±0.2	0.917
PI3K	0.77**±0.03	0.004	0.64*±0.09	0.035
Akt	1.69*±0.23	0.023	0.47*±0.05	0.031
VEGF	2.64*±0.38	0.02	1.27*±0.17	0.049
ErbB2	1.22±0.11	0.306	0.71±0.14	0.069
CD133	1.58*±0.14	0.015	0.49±0.1	0.132
Bax	0.5±0.1	0.076	1.7*±0.2	0.036
APAF1	0.64±0.17	0.081	1.78**±0.04	0.002
Cleaved_Cas3	0.52*±0.1	0.016	2.26**±0.33	0.006
p53	0.87±0.08	0.499	1.99**±0.16	0.008

In the isatin applied AML12 cell line, there was a general increase in the expression levels of the angiogenesis pathway genes PI3K/Akt/VEGF and the oncogene CD133, whereas the oxidative stress genes Mn-SOD and GSR, and the mitochondrial apoptosis pathway genes Bax/APAF1/cleaved-Cas3 significant decreases were observed. Contrary to AML12 cell line, in the isatin applied HepG2 cell line, significant increase in the expression levels of CuZn-SOD and Mn-SOD oxidative stress, Bax/APAF1/cleaved-Cas3 mitochondrial apoptosis pathway and p53 tumor suppressor genes, and a general decrease in PI3K/Akt/VEGF angiogenesis pathway were detected. In addition, significant decreases were detected in the expression levels of ErbB2 and CD133 oncogenes. Nagarsenkar et al. (2016) showed that intracellular oxidative stress increased due to the application of increasing concentrations of triazole linked 3-benzylidene, which is an isatin derivative, to the DU-145 prostate cancer cell line, resulting in collapse in the mitochondrial membrane structure (Nagarsenkar et al., 2016). This situation is similar to the findings of the present study that, increase in the expression levels of oxidative stress genes and the activation of mitochondrial apoptosis pathway genes in the HepG2 cell line treated with isatin. In addition, the decrease in the expression levels of both oxidative stress genes and mitochondrial apoptotic genes in the AML12 cell line indicates that, the 186.23 µM dose of isatin has not any

cytotoxic effect on the healthy liver cell line. On the contrary, it reduced oxidative stress. Jaksch et al. showed that, cell proliferation stopped in the G0/G1 phase due to the decrease in CD133 gene expression level in the epithelial cancer cell line CaCo2 cell line (Jaksch et al., 2008). In this study, the CD133 gene expression level increased in AML12 cell line due to isatin application, contrary to significantly decreased in HepG2 cell line; it shows that cell division is promoted in isatin applied AML12 cells, whereas HepG2 cells cannot pass the G0/G1 phase and went to apoptosis.

4. Conclusions

In many highly developed countries, chemotherapy drugs are used in the fight against HCC. However, it is more difficult to procure these drugs in undeveloped countries due to financial inadequacies, and accordingly, mortality rates are much higher in undeveloped countries than in developed countries. In this study, the anticancer effects of isatin, which is both cheaper and easier to obtain than other chemotherapeutic agents, in HepG2 cells and protective effects in AML12 cells were investigated. In line with all these data, it is clear that isatin not only has anti-proliferative effects, but also promotes proliferation in healthy liver cell lines, exerts a protective effect by reducing oxidative stress, while it has a selective effect on cancerous cell lines thanks to its apoptotic effects. However, more studies are needed to fully clarify the therapeutic and protective effects of isatin on humans.

Authors contribution

The design, execution, and interpretation of experimental studies, as well as the writing of the article, were done by the corresponding author.

Declaration of ethical code

The author declares that this study do not require ethical committee approval or any legal permission.

Conflicts of interest

The author declare no competing interests.

References

- Abdoul-Fadl, T., & Bin-Jubair, F.A.S. (2010). Anti-tubercular activity of isatin and derivatives. *International Journal of Research in Pharmaceutical Sciences*, 1, 113-126.
- Abel, S.D.A., & Barid, S.K. (2018). Honey is cytotoxic towards prostate cancer cells but interacts with the MTT reagent: Considerations for the choice of cell viability assay. *Food Chemistry*, 241, 70-78. [https://doi:10.1016/j.foodchem.2017.08.083](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.083)
- Bergman, J. 1998. The structure and properties of some indolic constituents in *Couroupita guianensis* aubl. *Tetrahedron*, 41(14), 2879. [https://doi.org/10.1016/S0040-4020\(01\)96609-8](https://doi.org/10.1016/S0040-4020(01)96609-8)
- Cao, L., Zhang, L., Zhao, X., & Zhang, Y. (2016). A hybrid chalcone combining the trimethoxyphenyl and isatinyl groups targets multiple oncogenic proteins and pathways in hepatocellular carcinoma cells. *PLoS ONE*, 11(8), e0161025. [https://doi:10.1371/journal.pone.0161025](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0161025)
- Chiyanzu, I. (2003). Synthesis and evaluation of isatins and thiosemicarbazone derivatives against cruzain, falcipain-2 and rhodesain. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, 13(20), 3527–3530. [https://doi:10.1016/s0960-894x\(03\)00756-x](https://doi.org/10.1016/s0960-894x(03)00756-x)
- Chuang, S.C., Vecchia, C.L., & Boffetta, P. (2009). Liver cancer: descriptive epidemiology and risk factors other than HBV and HCV infection. *Cancer Letters*, 286(1), 9–14. [https://doi:10.1016/j.canlet.2008.10.040](https://doi.org/10.1016/j.canlet.2008.10.040)
- Eldeeb, M., Sanad, E.F., Ragab, A., Ammar, Y.A., Mahmoud, K., Ali, M.M., & Hamdy, N.M. (2022). Anticancer effects with molecular docking confirmation of newly synthesized isatin sulfonamide molecular hybrid derivatives against hepatic cancer cell lines. *Biomedicines*, 10(3), 722. [https://doi: 10.3390/biomedicines10030722](https://doi.org/10.3390/biomedicines10030722)

- Ferlay, J., Ervik, M., Lam, F., Colombet, M., Mery, L., & Piñeros, M. (2021). *Global cancer observatory: cancer today*. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer. <https://doi:10.1002/ijc.33588>
- Hossain, W., Hossain, M., Arafath, K., Ety, S.S., Shetu, M.H., Kabir, M., Noor, F.A., & Manoor, K. (2022). Real-Time fast PCR amplification using designated and conventional real time thermal cyclers systems: COVID-19 perspective. *PLOS ONE*, *17*(10), e0276464. <https://doi:10.1371/journal.pone.0276464>
- Jaksch, M., Munera, J., Bajpai, R., Terskikh, A., & Oshima R.G. (2008). Cell cycle-dependent variation of a CD133 epitope in human embryonic stem cell, colon cancer, and melanoma cell lines. *Cancer Research*, *68*(19), 7882–7886. <https://doi:10.1158/0008-5472.CAN-08-0723>
- Jiang, T., Kuhen, K.L., Wolff, K., Yin, H., Bieza, K., Caldwell, J., Bursulaya, B., Wu, T.Y., & He, Y. (2006). Design, synthesis, and biological evaluations of novel oxindoles as HIV-1 non-nucleoside reverse transcriptase inhibitors. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, *16*(8), 2109–2112. <https://doi:10.1016/j.bmcl.2006.01.073>
- Jonkman, J.E.N., Cathcart, J.A., Xu, F., Bartolini, M.E., Amon, J.E., Stevens, K.M., & Colarusso, P. (2014). An introduction to the wound healing assay using live-cell microscopy. *Cell Adhesion & Migration*, *8*(5), 440–451. <https://doi:10.4161/cam.36224>
- Mallamo, J.P. (2006). Structure-guided identification of novel VEGFR-2 kinase inhibitors via solution phase parallel synthesis. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, *16*(8), 2158–2162. <https://doi:10.1016/j.bmcl.2006.01.063>
- Marrero, J.A., Kulik, L.M., & Sirlin, C.B. (2018). Diagnosis, staging, and management of hepatocellular carcinoma: 2018 practice guidance by the American association for the study of liver diseases. *Hepatology*, *68*(2), 723–750. <https://doi:10.1002/hep.29913>
- McGlynn, K.A., Petrick J.L., & El-Serag, H.B. (2021). Epidemiology of hepatocellular carcinoma. *Hepatology*, *73*, 4–13. <https://doi:10.1002/hep.31288>
- Nagarsenkar, A., Guntuku, L., Guggilapu, S.D., Danthi, B.K., Gannaju, S., Naidu, V.G.M., & Bathini, N.B. (2016). Synthesis and apoptosis inducing studies of triazole linked 3-benzylidene isatin derivatives. *European Journal of Medicinal Chemistry*, *124*, 782–793. <https://doi:10.1016/j.ejmech.2016.09.009>
- Noufal, K.P., Rajesh, B., & Sujith, S. N. (2023). Antioxidant and cytotoxic effects of the methanolic extract of eichhornia crassipes petioles upon mg-63 cell lines: an in vitro study. *Cureus*, *15*(5): e38425. <https://doi:10.7759/cureus.38425>
- Pandeya, S.N., Smitha, S., Jyoti, M., & Sridhar S.K. (2005). Biological activities of isatin and its derivatives. *Acta Pharmaceutica*, *55*, 27–46.
- Rumgay, H., Arnold, M., Ferlay, J., Lesi, O., Cabasag, C.J., Vignat, J., Laversanne, M., McGlynn, K.A., & Soerjomataram, I. (2022). Global burden of primary liver cancer in 2020 and predictions to 2040. *Journal of Hepatology*, *77*(6), 1598–1606. <https://doi:10.1016/j.jhep.2022.08.021>
- Silva, J.F.M., Garden, S.J., & Pinto, A.C. (2001). The chemistry of isatins: a review from 1975 to 1999. *Journal of Brazilian Chemical Society*, *12*(3), 273. <https://doi.org/10.1590/S0103-50532001000300002>
- Sriram, D. (2005). Synthesis and evaluation of anti-HIV activity of isatin beta-thiosemicarbazone derivatives. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, *15*(20), 4451–4455. <https://doi:10.1016/j.bmcl.2005.07.046>
- Sung, H., Ferlay, J., Siegel, R.L., Laversanne, M., Soerjomataram, I., & Jemal, A. (2021). Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, *71*(3), 209–249. <https://doi:10.3322/caac.21660>
- Tawfik, N.G., Mohamed W.R., Mahmoud, H.S., Alqarni, M.A., Naguib, I.A., Fahmy, A.M., & Ahmed, O.M. (2022). Isatin counteracts diethylnitrosamine/2-acetylaminofluoreneinduced hepatocarcinogenesis in male wistar rats by upregulating anti-inflammatory, antioxidant, and detoxification pathways. *Antioxidants*, *11*(4), 699. <https://doi.org/10.3390/antiox11040699>

Isparta kentinin doğal ve kültürel kimlik değerlerinin korunmasına yönelik irdeleme

An investigation into the protection of the Isparta urban's natural and cultural identity values

Çağla AYDEMİR¹ , Büşra CESUR DURMAZ*² 

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, 32260, Isparta

²Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta

• Geliş tarihi / Received: 03.11.2023

• Kabul tarihi / Accepted: 15.01.2024

Öz

Kentler toplumların yaşam biçimlerine ve buldukları doğal çevre koşullarına göre gelişen, geçmişten günümüze tarihin izlerini sürdüren, doğal ve kültürel kimlik değerlerine sahip mekanlardır. Ancak günümüzde küreselleşme, endüstrileşme ve hızla gelişen teknoloji ile sürekli değişime uğrayan kentler, kimlik değerlerini kaybederek birbirine benzeyen mekanlar haline gelmektedir. Bu nedenle kentlerin doğal ve kültürel tüm kimlik bileşeni unsurlarının ortaya konulması, kimlik değerlerinin sürdürülebilirliğinin sağlanması açısından büyük önem arz etmektedir. Isparta kent merkezi de pek çok kent gibi hızlı büyüme eğiliminde olduğu için içinde barındırdığı doğal ve kültürel değerleri tahrip olma ve yoksunlaşarak kaybolmaya yüz tutmaktadır. Bu çalışmada, Isparta kentinin kimlik değerlerinin sürdürülebilirliği açısından doğal ve kültürel envanter verileri çıkarılmış ve sayısal haritalar üzerinde bu değerler gösterilerek korunmasına yönelik mekânsal eylem önerileri geliştirilmiştir. Bu doğrultuda ArcGIS 10.6 yazılımı kullanılarak doğal ve kültürel kimlik değerlerinin sayısal veri altlığı oluşturulmuş ve günümüzdeki mevcut durum tespit edilmiştir. Isparta kentinin doğal ve kültürel kimlik değerlerinin korunmasına yönelik literatür değerlendirmeleri araştırılarak tartışmaya açılmıştır. Böylece, Isparta kent merkezinde bulunan doğal ve kültürel kimlik değerlerinin sürdürülebilirliğinin sağlanması için koruma kullanma dengesine yönelik mekânsal eylem önerileri çıkarılmıştır.

Anahtar kelimeler: Isparta, Kent kimliği, Kimlik bileşenleri, Koruma kullanma dengesi, Sürdürülebilirlik

Abstract

Urbans are places that develop according to the lifestyles of societies and natural environmental conditions, that continues the traces of history from the past to the present, and have natural and cultural identity values. However, today, constantly changing urbans with globalization, industrialization, and rapid technological development, become places that resemble each other by losing their identity values. For this reason, revealing all natural and cultural identity component elements is of great importance in terms of ensuring sustainability. The rapid growth tendency of the city of Isparta also causes the destruction or deprivation of identity values. In this study, natural and cultural inventory data were extracted in terms of the sustainability of the identity values of Isparta city and spatial action proposals were developed for the protection of these values by showing these values on digital maps. In this regard, a digital data base of natural and cultural identity values was created using ArcGIS 10.6 software and the current situation was determined. The evaluations of the literature on the protection of the natural and cultural identity values of the city of Isparta were investigated and discussed. In the conclusion section, spatial action suggestions have been developed for conservation-use balance in order to ensure the sustainability of the natural and cultural identity values in the city center of Isparta.

Keywords: Isparta, Urban identity, Identity components, Conservation use balance, Sustainability

*Büşra-CESUR DURMAZ; busrasesur.pm@gmail.com

1. Giriş

1.1. Introduction

Kent, insanların birlik ve beraberliği sonucunda ortaya çıkan, toplulukların yaşam biçimleri ile sosyal, ekonomik, yönetsel ve çevresel birçok bileşenin etkileşimi sonucunda şekillenen mekanlardır (Mısırlı vd., 2019). Bu mekanlar, kentlerde yaşayanlar için barınma, korunma, sağlık, eğitim, sosyal ve kültürel faaliyetler için imkanlar ve hizmetler sunan yerleşim yerleridir (Bulut & Atabeyoğlu, 2010). Kentler sürekli olarak geçmişten günümüze gelişen, biçimlenen ve anlam kazanan dinamik bir yapıya da sahiptir (Özkök, 2016). Bu dinamik yapı ise kent insanı için barınma ve varlıklarını sürdürme konusunda karakter kazanmasını sağlamaktadır (Gül, 2000). Kentlerin jeopolitik konumu, tarihi, ekonomik yapısı, sosyal yapısı, iklimi, bitki örtüsü, kültürel değerleri gibi özelliklerinin tamamı o kentin ruhunu, kişiliğini yani kimlik değerlerinin tamamını oluşturmaktadır (Sezik, 2016). Bir kentin kimlik yapısının var olması ise o kentin tanınırlığını, kentin büyüme modelini, kent için yapılan her türlü yatırım ve uygulamaların kimliğe göre şekillenmesini, toplum duyarlılığının artmasını ve kent kimliğine paralel olarak kaynak yönetiminin sağlanması gibi pek çok önemli özellikleri kente kazandırmaktadır (Demir, 2006).

Günümüzde küreselleşmenin artması, sanayileşme ve teknolojinin hızlanması insanoğlu için olumlu katkılar sağlarken kentlerde yaşanan nüfusun hızla artması, yerleşim alanlarının hızla betonlaşması, yeşil alanların yok olması pek çok sorunu gündeme getirmektedir. Özellikle kentlerde plansız ve düzensiz yapılaşmanın çoğalması, doğal kaynakların hızla tüketilmesi ile kentte yaşayanların ruhsal ve fiziksel sağlığı tehlikeye girdiği gibi kent sisteminin ve kimliğinin de tahribatı ya da yok olması söz konusu olmaktadır (Mısırlı vd., 2019). Kentlerde yaşanan bu hızlı değişim sonucunda ise kentsel kimlik değerleri bozulmakta hatta yok olmaktadır. Aynı zamanda doğal ve kültürel kimlik değerlerinin unutulduğu birbirine benzeyen kentler, kimliksiz birer mekân haline gelmektedir. Bu durumda belirli dönemlere tanıklık etmiş kentin kendine özgü kimlik değerlerini yansıtan doğal ve kültürel değerlerinin korunması, oluşan/oluşacak kimlik değerinin gelecek kuşaklara aktarılması ve kentin kültürel sürdürülebilirliğinin sağlanması önem arz etmektedir (Biol, 2007). Kente bu denli önemli katkılar sağlayan kimlik değerlerinin sürdürülebilirliğinin sağlanması için koruma ile ilgili çalışmaların artırılması ve bilinçlenmenin hızlandırılması gerekmektedir. Bir kentin kimliği tüm doğal ve kültürel yapısı ile birlikte el alındığında ortaya çıktığı için sadece kültürel kimlik değerlerini ayakta tutmak, biçimsel bütünlüğü korumak, ihtiyaca göre yapısal uzantıları eklemekten ziyade tüm süreçleri göz önünde bulundurmaya gerekmektedir.

Akdeniz, Ege ve İç Anadolu bölgeleri arasında kesişen bir coğrafi noktada yer alan Isparta kenti geçmişten günümüze pek çok medeniyete ev sahipliği yapmıştır. Ancak günümüzde Isparta kenti ve yakın çevresinde nüfus atışı ve kentsel gelişim ile birlikte yapılı çevrede büyük değişiklikler meydana gelmekte ve kültürel kimlik değerleri zarar görmektedir (Çelik & Türk, 2021). Isparta kent merkezi kentsel sit alanı etrafında gelişen yapılaşmadan dolayı da çevresel baskılar söz konusu olmakta, kent merkezi içinde bu değerler yok olma tehlikesi ile karşı karşıya kalmaktadır (Köse, 2018). Kent kimliği kavramı çerçevesinde kentin sahip olduğu doğal çevre verilerinin iyi analiz edilmesi, korunması, iyileştirilmesi ve vurgulanması, kentin doğal kimlik bileşenlerinin korunması ve güçlendirilmesi anlamına gelir ve olumlu olarak kentin algılanmasını katkı sağlar (Ocakçı, 1995). Ancak Isparta kent merkezinde görülen hızlı kentleşme yapılı çevreye etki ettiği kadar doğal çevreyi de etkilemektedir. Onay vd. (2019)'nin çalışmasında bu duruma dikkat çekilerek Isparta kent merkezi doğal kimlik bileşenlerinin özellikle Davraz Dağı, Milas, Gökçay ve Ayazmana Mesireliği ve Gölcük Gölü Tabiat Parkı'nın yetirince tanınmadığı ve tanıtımının yapılmadığı sonucuna ulaşılmaktadır.

Çalışmanın amacı, hızlı yapılaşma ve sanayileşmeyle birlikte büyüme ve genişleme eğilimi içerisinde olan Isparta kentinin ruhunu yansıtan doğal ve kültürel kimlik bileşenlerini ortaya koymak ve farkındalık yaratarak koruma-kullanım dengesinde sürdürülebilirliğini sağlamaktır. Bu amaçla çalışma kapsamında ilk olarak Isparta kentinin doğal ve kültürel kimlik bileşenlerine ait envanter verileri, Isparta İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü ile yapılan nitel analizlere ve literatür araştırmalarına göre çıkartılmıştır. Elde edilen envanter verilerine ait sayısal haritalar oluşturulmuş ve kimlik bileşenlerinin günümüzdeki mevcut hali ele alınarak tartışmaya açılmıştır. Sonuç olarak, tespit edilen doğal ve kültürel kimlik bileşenlerinin sürdürülebilirliğinin sağlanması için koruma-kullanma özelinde stratejik eylem önerileri geliştirilmiştir. Çalışma doğal ve kültürel kimlik bileşenlerinin birlikte ele alınması, bu değerlere ait envanter verilerinin sayısal haritalar ile sunulması, bu değerlerin koruma-kullanma yönlerinin kapsamlı bir şekilde tartışılarak stratejik eylem kararlarına dönüştürülmesi bakımından diğer çalışmalardan ayrılmakta ve her geçen gün yapısal kütlesi büyüyen Isparta kent merkezinin kimlik değerlerini için sürdürülebilirliği açısından önemlilik arz etmektedir.

1.1. Kent kimliği ve Türk kentlerinin kentsel kimlik bileşenleri

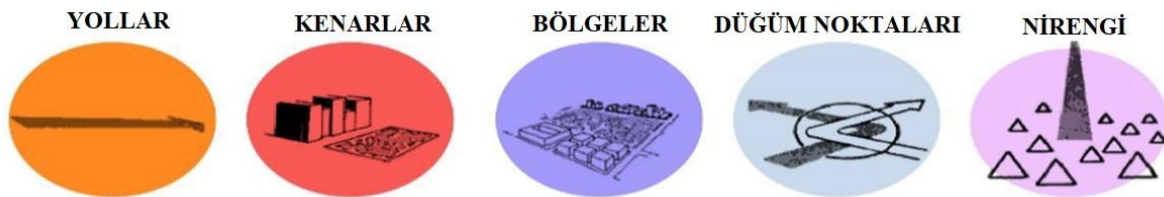
1.1. Urban identity and urban identity components of Türk cities

Kentler canlı olgulardır (Aliğaoglu & Mirioğlu, 2020) ve tıpkı her canlı gibi kentlerin de kendine özgü kimliği bulunmaktadır. Kent kimliği tanımını Çöl (1998) çalışmasında “Kent imajını etkileyen; her kentte farklı ölçek ve yorumlarla kendine özgü nitelikler taşıyan; fiziksel, kültürel, sosyo-ekonomik, tarihsel ve biçimsel faktörlerle şekillenen; kentliler ve onların yaşam biçiminin oluşturduğu, sürekli gelişen ve sürdürülebilir kent kavramını yaşatan; geçmişten geleceğe uzanan büyük bir sürecin ortaya çıktığı anlam yüklü bütünlük” olarak ifade etmektedir. Bu tanımdan anlaşılacağı gibi kent kimliği kendine özgü nitelikleri ve değerleri ile diğer kentlerden farklı ve o kente özgü unsurlara sahip öğelerin tamamıdır. Bir başka deyişle de “Kendine özgü nitelikler taşıyan, fiziksel, kültürel, sosyo-ekonomik, tarihsel ve biçimsel faktörlerle şekillenen, kentliler ve onların yaşam biçimlerinin oluşturduğu, sürekli inşa halinde olan ve geçmişten geleceğe uzanan bir süreçte ortaya çıkan anlam yüklü bütünlüktür” (Solak, 2014).

Türkçe Bilim Terimleri sözlüğünde kent kimliği kavramı diğer tanımlardan farklı olarak “Bir kentin tarihi ve kültürel değer birikimi; bölgesel, ulusal ve küresel boyutta toplumsal, ekonomik ve kültürel yapısı ve tüm bunların o kentin uzamsal örgütlemesindeki yansımalarından kaynaklanan ayırt edici özellik ve niteliklerinin tamamı” (Türk Dil Kurumu, 2011) şeklinde yapılmaktadır. Bu tanıma bakıldığında ise kentin kimliğinin sadece toplumsal, kültürel veya tarihsel olarak sınırlandırıldığı görülmekte ve kente ait doğal, fiziksel ve çevresel bileşenlerin de aynı ölçüde değerlendirilmediğine ulaşılmaktadır. Ancak, Vatikan’ın din kenti olarak bilinmesi, Floransa’nın kültür kenti olması ya da New York denilince akla özgürlük anıtının gelmesinin (Kaypak, 2010) yanı sıra Venedik ile su kanallarının hatırlanması, İstanbul boğazının stratejik bir öneme sahip olması göz önünde bulundurulduğunda (Birlik, 2006) doğal ve coğrafik özelliklerinde kimlik değerleri açısından önemli olduğu görülmektedir. Bu bakımdan kentlerin içerisinde yer aldığı doğal peyzaj değerleri olan coğrafya, iklim, toprak, topoğrafya gibi özelliklerin yaşam biçimini ve sosyal yapının ürettiği yapıyı çevreyi şekillendirmesi (Ünlü, 2017), kent kimliğinin bileşeni olan kültürel kimlik öğesinin doğal çevre koşulları ve toplumsal değerler ile birlikte düşünülmesini gerektirmektedir.

Doğal çevre kimlik unsurlarını; coğrafi konum, jeolojik ve jeomorfolojik durum, topoğrafik durum, iklim, bitki örtüsü, fauna ve su ögesi (Kancioğlu, 2005; Birlik, 2006) oluşturmaktadır. Bu faktörlerin kentlerde farklılığı kentlerin birbirinden ayrışmasını ve yapıyı çevreyi de etkileyerek kentsel kimlik olgusunun farklılaşmasını sağlamaktadır. Bu sayede her kent farklı bir görüntü verdiği ve algı oluşturduğu için zamanla kendi kimliklerine de sahip olmaktadır (Kaypak, 2010).

Yapay çevre kimlik unsurlarını şekillendiren ise kentlerde yaşayan birey ve toplumlardır. Lynch (1960)’a göre yapısal biçimlemeler olduğunda kent imgesi beş öğede sınıflandırılabilir. Bunlar; yollar, sınırlar, bölgeler, odak alanları ve nirengi (referans) noktalarıdır (Şekil 1). Kent insanının çevresi hakkında düşünceleri ve bunları algılaması kent imajı ve kimliği de deşmektedir.



Şekil 1. Kentsel doku imge öğeleri (Sağlık & Kelkit, 2019)

Figure 1. Urban texture image elements

Kent, toplumsal olayların gerçekleştiği ve insanlarla çevresi arasındaki ilişkiyi şekillendiren sosyal ve kültürel bir olgudur (Oğurlu, 2014). Bundan dolayı dil, etnik özellikler, din, aile yapısı, yemek kültürü, yerleşme ve yaşam kültürü gibi özellikler kent kimliğinin kültürel parçalarıyken (Ocakçı & Türk, 2012), kentin belirgin olarak öne çıkan istihdam düzeni, ekonomik durum, gelir seviyesi sosyo-ekonomik değerlere girmektedir.

Kent kimliğini oluşturan bileşenlerin literatür taramalarında çeşitli başlıklarda sınıflandırıldığı görülmekte ve Tablo 1’de bu kaynaklar gösterilmektedir.

Tablo 1. Kentsel kimlik bileşenleri sınıflandırmaları
Table 1. Classification of urban identity components

Yazar / Yıl	Kentsel kimlik bileşenleri
(Ertürk, 1996)	1. Doğal Çevre Verileri: Topografya, Jeoloji, Toprak, İklim, Bitki Örtüsü 2. Beşeri Çevre Verileri: Tarihsel Gelişim, Demografik, Ekonomik, Sosyal Alt Yapı, Eğitim ve Kültür, Sağlık 3. İnsan Eliyle Yapılmış Çevre Verileri: Camiler, Medreseler, Köprüler, Hamamlar, Diğer Tarihi ve Kültürel Çevre Elemanları
(Altuğ, 2010)	1. Çevresel kimlik: *Doğal Kimlik; Coğrafi Konum, Topoğrafik yapı, Jeolojik yapı, İklim, Doğal Bitki Örtüsü *Yapma Kimlik; Binalar, Kamusal Dış Mekânlar, Donatı Elemanları, Sembol olmuş elemanlar 2. Toplumsal kimlik: *Sosyo–Kültürel Kimlik: Tarihsel, Demografik, Kurumsal, Kültürel * Sosyo–Ekonomik Kimlik: Gayri safi milli hasılda payı, İstihdam tipi ve durumu, Enflasyon oranı
(Arabulan, 2015)	1. Çevresel Kimlik: *Doğal Çevresel Kimlik; Topografya ve Coğrafi Özellikler, İklim, Bitki Örtüsü *Yapay Çevresel Kimlik; Yerleşim Bölgeleri, Yollar, Düğüm ve Kesişim Noktaları, Belirgin İşaretler, Ayrıtlar ve Kenarlar, Donatılar, Sembol Olmuş Elemanlar 2. Sosyo-Kültürel Kimlik: *Kültürel Kimlik; Tarihsel Gelişim, Nüfus *Sosyo-Ekonomik Kimlik, *Psikolojik Kimlik
(Karakaya Aytin, Ertin & Özyavuz, 2016)	1. Fiziksel/Biçimsel Kimlik: *Doğal Kimlik: Coğrafi Konum, Jeolojik Yapı Topoğrafik Yapı, İklim ve Bitki Örtüsü *Yapay Kimlik: Kamusal Açık Alanlar Yapılar, Yollar, Sınırlar, İmaj Öğeleri 2. Sosyal Kimlik: *Kültürel Kimlik: Demografik Yapı, Etnik Yapı, Dini Yapı, Gelenek ve Ritüeller *Tarihi Kimlik: Farklı Dönemlerdeki Tarihi Gelişim *Ekonomik Kimlik
(Mısırlı vd., 2019)	1. Doğal Kimlik Elemanları: Topoğrafik Yapı, Jeolojik yapı, İklim, Bitki Örtüsü, Dini Yapı, Etnik Yapı, Gelenek ve Görenekler 2. Yapay Kimlik Elemanları: *Yapılar, Yollar, Kamusal Açık Alanlar, İmaj Öğeleri, Sınırlar, *Demografik Yapı; Nüfus Büyüklüğü, Nüfus Yapısı, Nüfus Yoğunluğu ve Yaş Grupları *Kurumsal Yapı; Ekonomik Yapı, Politik Yapı, Yönetsel Yapı
(Aliağaoğlu & Mirioğlu, 2020)	1. Doğal Çevre Özellikleri: Coğrafi Özellikler, Topoğrafya, Jeomorfolojik Yapı, Yükselti, İklim Özellikleri, Geleneksel Üretim, Yeşil Alanlar, 2. Yapay Çevre Özellikleri: Nirengi Noktası, Kesimler, Yollar, Kavşaklar Ve Kenarlar 3. Sosyo-Kültürel Çevre Özellikleri: Nüfus Verisi, Eğitim Durumu, Modern ve Tarihi Mimari Yapılar 4. Sosyo-Ekonomik Özellikleri: Kentin Sektörlere Göre
(Kabataş & Kiper, 2021)	1. Doğal Peyzaj Değeri: Topografya, Eğim, Bakı, Toprak Yapısı, Su Varlığı, Doğal Bitki Örtüsü 2. Sosyo- Kültürel Peyzaj Değeri: Demografik Yapı, Sosyo- Ekonomik Yapı, Ulaşım ve Erişilebilirlik, Tarihi ve Arkeolojik Değer,

Yaygın ve genel bir kanı olarak kimliği oluşturan bileşenlerin temel unsurlarının doğal kimlik ve kültürel kimlik başlıkları altında toplandığı görülmektedir (Aliağaoğlu & Mirioğlu, 2020).

2. Materyal ve metod

2. Material and method

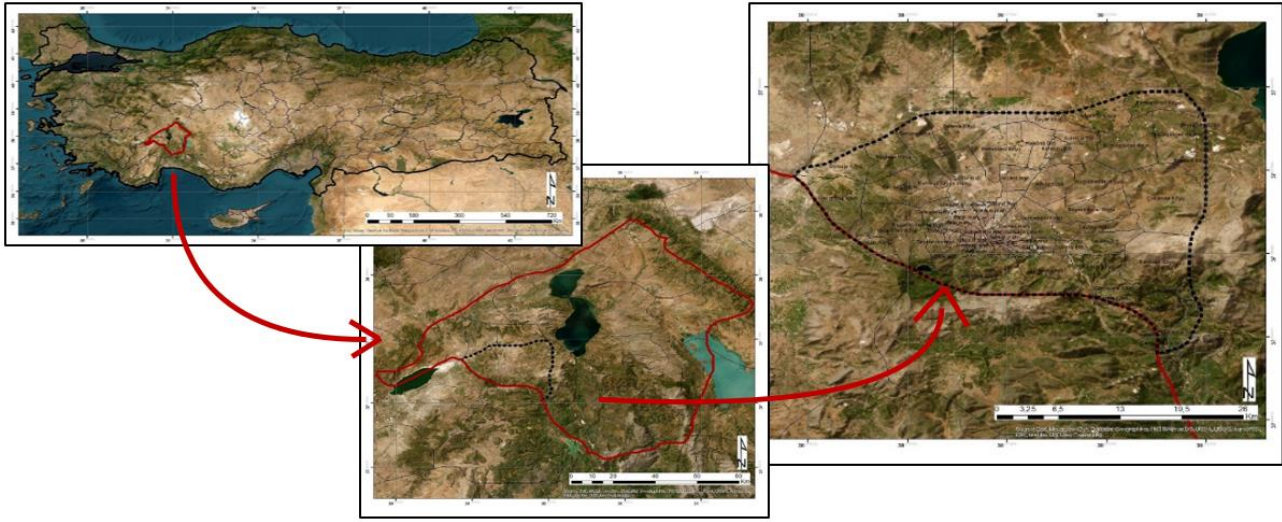
2.1. Materyal

2.1. Material

Araştırmanın ana materyalini Isparta kenti merkez sınırı oluşturmaktadır. Ayrıca çalışmanın konusuyla ilgili ulusal ve uluslararası literatür taraması, makale ve tez çalışmaları, kurum ve kuruluşlara ait yayınlar, sayısal harita oluşturmada kullanılan doğal ve kültürel kimlik değerlerine ait veriler, bilgiler ve Isparta İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü ile yapılan nitel görüşmeler de materyale katkı sağlamaktadır. Bu görüşmeler kurum personeli ve müdürü ile yapılarak Isparta'nın kültürel değerlerine ait bilgilerin elde edilmesi, tarihi geçmişine ulaşılması, anıt ağaçların, tescilli yapıların ve sit alanlarının koordinat bilgilerinin temin edilmesi, bu yönde basılan dokümanlara ulaşılmasına ait gerçekleştirilmiş ve karşılıklı görüşme şeklinde yürütülmüştür.

Isparta geçmişten günümüze pek çok medeniyete ev sahipliği yapmış kültürel sivil mimarisi ve doğal değerleri ile ön plana çıkan bir yerleşimdir. Isparta kenti Batı Akdeniz bölgesinin kuzeyinde olup, 30° 20' ve 31°33' doğu boylamları ile 37° 18' ve 38°30' kuzey enlemleri arasında Göller bölgesinde yer almaktadır (Isparta İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, t.y.1). Merkez ilçenin kuzeyinde Keçiborlu, Gönen, Atabey ilçeleri, doğusunda Eğirdir ilçesi, güneyinde Burdur ili yer almaktadır (Şekil 2).

İlin ortalama rakımı 1050 m'dir. Topografyası ise güneyden kuzeye doğru düşük eğime sahip ve güneyde yüksek dağlarla çevrilidir (Isparta İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, t.y.1).



Şekil 2. Isparta ili coğrafi konum haritası ve Isparta merkez ilçe sınırı haritası

Figure 2. Isparta province geographical location map and Isparta central district border map

Sayısal haritaların oluşturulması için çalışmada kullanılan veriler aşağıda belirtilmiştir:

Doğal kimlik değeri için; Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) USGS Earth Explorer verisinden Isparta merkez ilçesi idari sınırına ait yükselti grupları, eğim ve bakı haritaları, Isparta Tarım ve Orman Bakanlığı toprak verileri ile arazi kullanım haritaları üretilmiştir. Openstreet Map (OSM) platformundan ulaşım ağ verisi, Harita Genel Müdürlüğü'nden mahalle sınırları, Türkiye İstatistik Kurumu'ndan mahallerin nüfus yoğunluk verileri elde edilerek haritalar hazırlanmıştır.

Kültürel kimlik değeri için; Isparta İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü'nden kentsel sit alanı, tescilli mimari yapılar, tarihi ve arkeolojik yapılara yönelik veri temini elde edilmiştir. Verilerin sayısallaştırılması, işlenmesi ve değerlendirilmesi için CBS programı ArcMap 10.6 yazılımı kullanılmıştır.

2.2. Metot

2.2. Method

Isparta kent merkezinde kaybolmaya yüz tutmuş doğal ve kültürel kimlik envanter değerlerini ortaya koymak, bu değerlerin sayısal haritalarını oluşturmak ve korumaya yönelik mekânsal öneriler geliştirmek için 5 aşamadan oluşan metot aşağıdaki şekilde izlenmiştir.

1. Aşama/ Literatür taraması: Çalışma alanına yönelik kitap, makale, tez, internet kaynağı, resmi kurum siteleri vb. ulusal ve uluslararası literatür taranarak konu ile ilgili veriler toplanmıştır. Isparta kent merkezinin doğal ve kültürel kimlik değerlerine yönelik envanter verileri Isparta İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü'nden elde edilmiştir. Çalışma alanı kimlik değerlerine ait fotoğraflar çekilerek görseller elde edilmiştir.
2. Aşama/ Kentsel kimlik bileşenlerinin belirlenmesi: Literatür araştırmalarında kentsel kimlik bileşenleri ile ilgili çeşitli sınıflandırmaların genellikle doğal ve kültürel değerler olmak üzere iki ana başlık altında toplandığı görülmektedir (Tablo 1). Buradan yola çıkılarak çalışmada Isparta kent kimliği bileşenleri;
 - *Doğal kimlik değerleri: Topografya, eğim, bakı, yükselti, bitki örtüsü, su varlığı, toprak yapısı, yeşil alan varlığı vb.,
 - *Kültürel kimlik değerleri: a) Yapısal kimlik değerleri: Sit ve koruma alanları, sivil mimari yapılar, tarihi ve dini yapılar, arkeolojik yapılar, resmi yapılar vb., b) Sosyal kimlik değerleri: Nüfus verisi, nüfus yoğunluğu, cinsiyet ve yaş verileri, ekonomik yapı, gastronomi, gelenek ve görenekler, el sanatları vb., şeklinde incelenmiştir.
3. Aşama/ Kentsel kimlik bileşenleri sayısal veri tabanının oluşturulması: Isparta kentinin doğal ve kültürel kimlik değerlerine yönelik envanter verilerinin ait sayısal haritalar ArcGis 10.6 yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur.

4. Aşama/ Doğal ve kültürel kimlik değerlerine ait envanter analizi: Isparta kenti doğal ve kültürel kimlik değerlerinin mevcut durumu ve Isparta kentinde yapılan mekânsal çalışmalar ile ilişkisi ortaya konulmuş ve tartışmaya açılmıştır.
5. Aşama/ Sentez: Isparta kenti için tespit edilen doğal ve kültürel kimlik değerlerinin mevcut durumunu korumaya yönelik bütüncül ve sürdürülebilir mekânsal öneriler geliştirilmiştir.

3. Bulgular

3. Results

Geçmişten günümüze pek çok medeniyete ev sahipliği yapmış olan Isparta kent merkezinde günümüze kadar ulaşan toplam 182 adet tescilli doğal ve kültürel değerler, Tablo 2’de verilmiştir (Isparta Valiliği İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, 2009).

Tablo 2. Isparta kenti tescilli doğal ve kültürel kimlik değerleri (Isparta Valiliği İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, 2009)

Table 2. Registered natural and cultural identity values of Isparta city

Doğal kimlik değerleri					Kültürel kimlik değerleri													
Tabiat varlıkları					Antıksal yapılar													
Kentsel sitler					Diğer antıksal yapılar													
Tarihi sitler					Arkeolojik sit alanları													
Doğal sitler					Arkeolojik antıksal yapılar													
Sivil mimari yapılar																		
Anıtsal ağaçlar					Konutlar	Camiler	Türbe, mezarlık ve şehitlikler	Bedestenler	Çeşmeler	Hamamlar	Resmi yapılar	Kiliseler	Endüstriyel yapılar	Höyükler	Antik kentler	Antik kalıntılar	Nekropol	Anıt mezarlar
3	2	1	2	124	8	4	1	8	2	7	2	1	10	1	1	2	2	

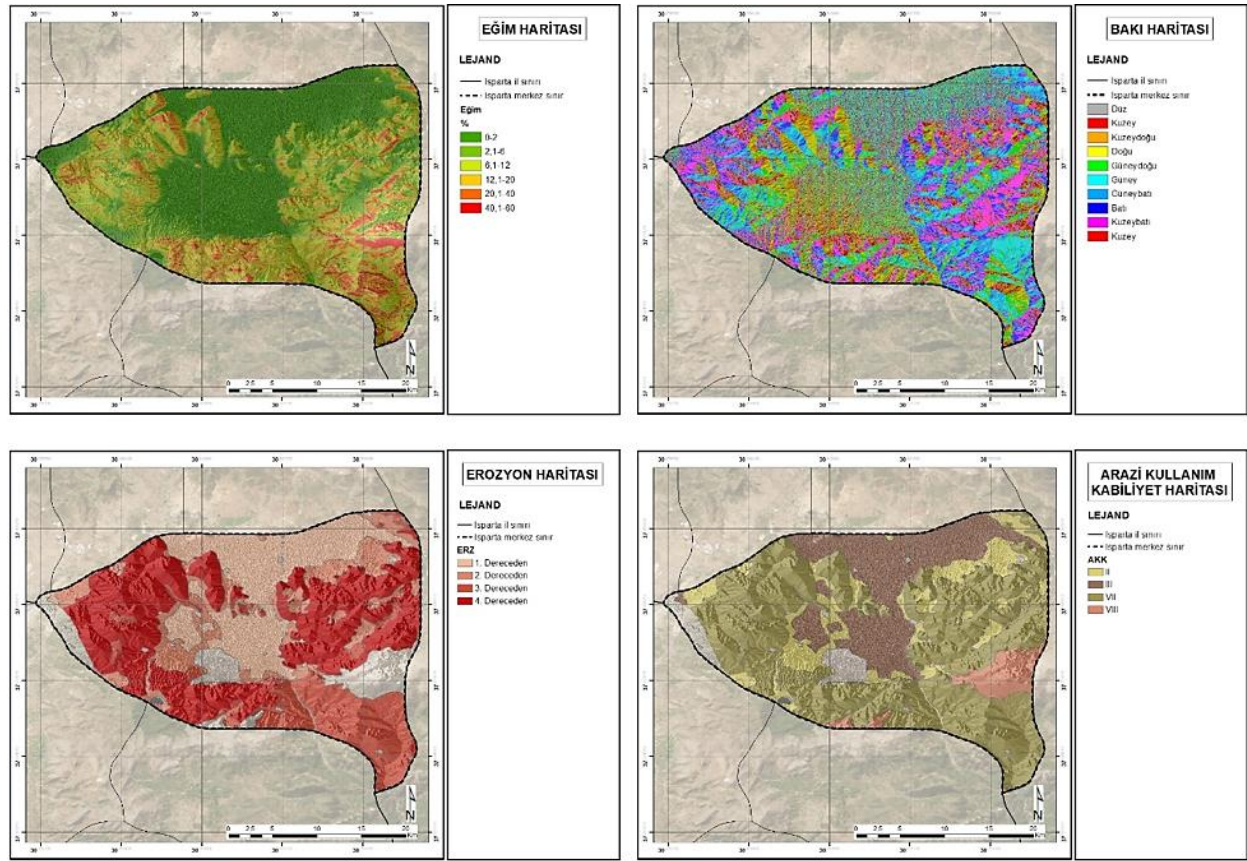
Bu bakımdan Isparta’nın daha yoğun olarak kültürel kimlik değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Isparta kentinin doğal ve kültürel kimlik değerleri bu bölümde incelenmektedir.

3.1. Doğal kimlik değerlerine yönelik envanter analizi

3.1. Inventory analysis for natural identity values

Isparta kenti Toros dağlarının batı eteğinde yer almaktadır. Kentin bulunduğu arazi genel olarak III. zamanda oluşmuş olup, jeolojik yapısı zamanla tektonik ve volkanik hareketlerle şekillenmiştir (Isparta İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, t.y.2). Merkez ilçe yükseltisinin %54’ü 920-1150 m arası rakıma sahip olduğundan ova üzerine kurulmuş bir yerleşimdir. Aynı zamanda güneyden kuzeye doğru az eğimli bir topografyaya sahip kentin ortalama eğimi %2’dir (Şekil 3). Isparta merkez ilçesi yüz ölçümünün önemli bir bölümü dik, çok dik ve sarp eğimli arazi yüzeylerinden (%24.22’si %12-20 eğim aralığından, %15’i %20-40 eğim aralığından) oluşmaktadır (Şekil 3). Ayrıca Isparta merkez ilçe Dinar-Çivril-Uşak deprem hattı üzerinde yer almakta olup I. dereceden deprem bölgesi olarak bilinmektedir (Isparta İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, t.y.2).

Isparta kent sınırı toprak gruplarına bakıldığında ise II. sınıf arazilerin %14; III. sınıf arazilerin %21; VII. sınıf arazilerin %58; VIII. sınıf arazilerin %5 oranında olduğu görülmektedir (Şekil 3). Arazilerin bir kısmı orman, funda örtüsü altında bir kısmı mera ve çıplak kayalıktır. Bundan kaynaklı olarak erozyon %41 oranında çok şiddetli olarak görülmektedir (Şekil 3).



Şekil 3. Isparta merkez ilçe sınırı eğim, bakı, toprak ve erozyon haritaları
Figure 3. Isparta central district border slope, aspect, soil and erosion maps

Isparta kentinde yükselti, toprak, sıcaklık ve güneşlenme yönü gibi doğal faktör özelliklerinden dolayı zengin bitki örtüsü gelişme göstermiştir. Ormanlarda sedir, kızılçam, karaçam, katran, ardıç ve meşe ağaçları görülürken, dağlık ve tepelik arazilerde meşe ve fundalıklara, ovalarda ise her türlü tahıl, sanayi bitkileri, hayvan yemleri, meyve ağaçları, yaz ve kış aylarında yetiştirilen sebzeler, üzüm bağları ve gül bahçelerine rastlamak mümkündür (Isparta İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, t.y.3).

Isparta kentinin doğal kimlik niteliği taşıyan yeşil alanları; Ayazmana Parkı ve Kızıldere-Gökçay Mesireliği ile yakın çevresinde yer alan Milas Mesireliği ve Gölcük Gölü Tabiat Parkı'dır (Yazıcı vd., 2014). Isparta kent merkezinde tescilli anıt ağaçlar mevcuttur. Yenice mahallesi 2426 Sokak ile 117. Cad. köşesinde 1 tane Kestane Ağacı, Damgacı sokakta 3 tane Çınar Ağacı, Sülübey mahallesi Çayboyu mevkiinde 1 tane Çınar Ağacı bulunmaktadır.

Merkez ilçenin bir diğer doğal değeri ise Kültür ve Turizm Koruma ve Gelişim Bölgesi olarak değiştirilen 2635 m zirve yüksekliğinde Davraz Dağı'dır. Davraz Dağı kent merkezine 26 km uzaklıkta olup kayak ve diğer doğa sporlarının yapılabildiği önemli bir kimlik değeridir (Isparta İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, t.y.4). Aynı zamanda kent merkezinde yer alan Findos, Kışla ve Gelincik Yaylaları da doğal kimlik öğeleridir.

3.2. Kültürel kimlik değerlerine yönelik envanter analizi

3.2. Inventory analysis for cultural identity values

Isparta, yazılı tarih öncesi Üst Paleolitik dönem ile başladığı tahmin edilen beş bin yıllık tarihe sahip bir kenttir. Eski medeniyetlere ev sahipliği yapmış olan Isparta kentinde Hititler, Frigler, Lidyalılar, Persler, Helenler, Romalılar, Haçlılar, Selçuklular, Hamitoğulları ve Osmanlıların yaşadığı ve egemenliklerini sürdürdükleri bilinmektedir (Isparta Valiliği, t.y.). Bu bakımdan farklı medeniyetlere ev sahipliği yapan Isparta kentinde kültürel kimlik değerlerine oldukça fazla rastlanmaktadır.

3.2.1. Yapısal kimlik değerleri

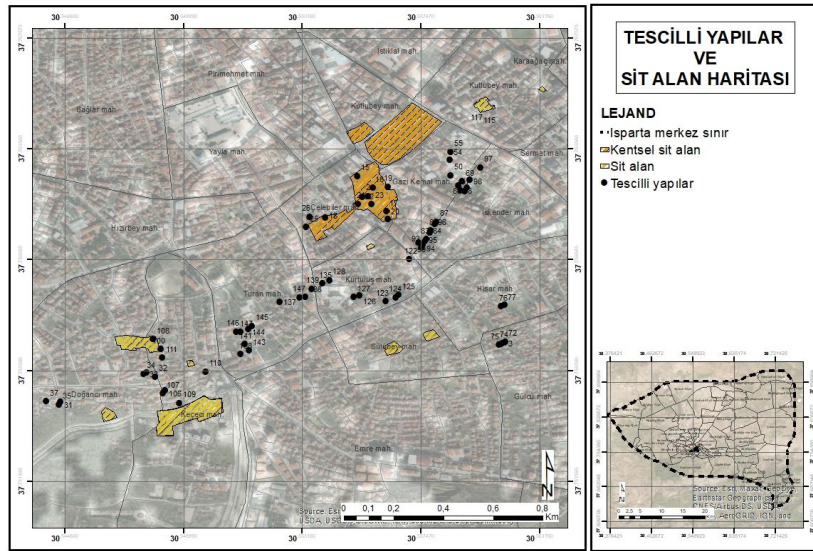
3.2.1.1. Structural identity values

Isparta kent merkezinin en önemli yapısal kimlik değerlerini oluşturan unsurlar arasında kentsel sit alanları, sit alanları ve tescilli yapılar bulunmaktadır. Bu yapısal kimlik değerleri daha çok kent merkezi içerisinde yer alan Doğanç, Kepeci, Turan, Çelebiler, Kurtuluş, Sülübey, Kutlubey, Gazi Kemal, Hisar ve İskender mahallerinde yer almaktadır.

Kentsel sit alanı, sit alanı ve tescilli yapılar

Urban conservation site, conservation site and registered buildings

Kutlubey mahallesinde bulunan Hükümet Meydanı olarak bilinen Merkez Tarihi Sit Alanı'nda bulunan sivil ve resmi binalar (Valilik, Dalboyunoğlu Hamamı) 901 sayılı kararla, aynı alanda ki Bedesten, Kutlubey Cami ve Çeşme ise A-548 sayılı kararla tescil edilmiş tarihi sit alanlarıdır. Merkez Tarihi Sit Alanı'nda ki yapılar Osmanlı Mimarisi ve Cumhuriyet Erken Dönem mimarisine örnektir. Ayrıca sivil mimari örneği ve ticaret merkezi olması dolayısıyla Üzüm Pazarı 1495 sayılı karar gereği Kentsel Sit Alanı olarak ilan edilmiş ve Üzüm Pazarında 16 adet dükkân tescillenmiştir. Burada yer alan eski dükkanlar iki katlı ve yerel taş köfkeden inşa edilmiştir. Osmanlı geç dönem mimarisi ve Cumhuriyet erken dönem mimarisini yansıtan konutların yer aldığı Çelebiler Mahallesi Kentsel Sit Alanı ise Damgacı sokakla bir bütün oluşturması açısından Tabakhane, Henden, İrfan ve Mühürücü sokaklar ile Doğanç çıkmazı Antalya Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Bölge Kurulu tarafından tescil edilmişlerdir (Isparta Valiliği İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, 2009). Tescilli yapılar ve sit alanları haritası Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Isparta kent merkezi kentsel sit alanı, sit alanı ve tescilli yapılar haritası

Figure 4. Isparta city center urban conservation site, conservation site and registered buildings map

Geleneksel mimari yapılar ve anıtsal dini yapılar

Traditional architectural structures and monumental religious buildings

Geleneksel mimari örnekleri, Isparta kent merkezinde bulunan Kurtuluş, Emre, Doğanç, Çelebiler, Gazi Kemal ve Kepeci mahalleleri en eski mahalle yerleşimleridir. Özellikle Damgacı Sokak'taki evler Isparta kent merkezinin tarihi ve geleneksel mimari örneklerini yansıtmaktadır. Yapıların ana yapı malzemesi taştır. Ayrıca toprak, alçı gibi yardımcı malzemeler de kullanılmıştır. Ahşap evlerin ana taşıyıcı sisteminde doğramalar ve örtü de kullanılmıştır. Genellikle evler iki katlı olup üç katlı olanlara da rastlanmaktadır (Isparta Valiliği İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, 2009).

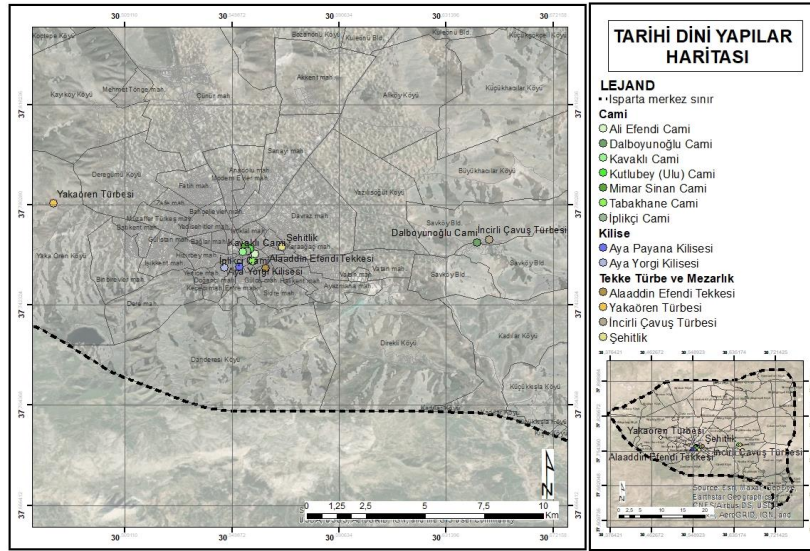
Evlerin ön tarafı güneye bakan şekilde konumlandırılmış ve açık, sokağa bakan tarafı mahremiyet amaçlı kapalı ve pencere bulunmamaktadır. Evlerin önünde veya arkasında en az yarım dönümlük bahçe yer almaktadır. Evler genellikle 2 ile 3 katlı, 3 veya 4 odalı, salon veya sofalı şekilde inşa edilmiştir (Böcüzade,

1983). Özellikle sokak bütününde evlerin aynı karakterlere sahip olması önemli bir kültürel mimariyi yansıtmakta ve yapısal kimlik değeri oluşturmaktadır. Sivil mimari örnekleri Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Isparta kent merkezinde bulunan bazı tescilli yapı örnekleri
Figure 5. Examples of some registered buildings in Isparta city center

Aynı zamanda Isparta kent merkezinde tarihi ve tescilli pek çok dini yapı bulunmaktadır. Bu yapılar Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Isparta kent merkezi tarihi dini yapılar haritası
Figure 6. Isparta city center historical religious buildings map

Camiler: Kanuni Sultan Süleyman döneminde 1561 yılında Isparta Valisi Firdevs Paşa tarafından kare planlı ve tek kubbeli olarak inşa edilmiş olan Mimar Sinan Cami Isparta kent merkezinin en eski camileri arasında yer almaktadır. Bu cami Mimar Sinan'ın yaptığı eserlerin isimlerinin yer aldığı yerleri gösteren Tezkeratül-Ebniya adlı listede Mimar Sinan Cami 78. eser olarak görülmektedir. Kutlubey Cami (Ulu Cami) kent merkezinin en eski tarihine sahip olduğu düşünülen dini bir yapıdır. Bu caminin Osmanlı döneminde Eğirdir Valisi Kutlubey tarafından 1382 yıllarında yapıldığı düşünülmektedir. Caminin minare taşında bulunan bir yazıda (1086 yılına ait olduğu düşünülen) daha önce burada başka bir caminin bulunduğu ve yıkılan bu cami yerine Kutlubey tarafından ikinci bir caminin inşa edildiği ifade edilmektedir (Türk & Öçal, 2007). II. Abdülhamid'in tahta çıkışının 25. yılına özel Isparta valisi Hüseyin Hüsnü Bey tarafından Ayasofya'ya benzer kargir ve çok kubbeli şekilde inşasına başlanılmış, 1914 yılında gerçekleşen büyük bir depremde yıkılmış, 1922 yılında kuzeybatı köşesinde bir minaresi olan, dikdörtgen planlı günümüzdeki cami inşa edilmiştir (Isparta Valiliği İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, 2009). İplik pazarının hemen yanında bulunan İplikçi Cami (Hacı Abdi Cami) 1569 yılında inşa edilmiştir. Zamanla caminin tamamı yıkılarak yerine bugünkü mimarisıyla inşa edilmiştir. Bu cami iki katlı olarak planlanarak alt kat kütüphane üst katı ise cami olarak inşa edilmiştir (Türk & Öçal, 2007; Isparta Valiliği İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, 2009). Çinili cami olarak da bilinen Kavaklı Cami (Peygamber Cami) 1782-1783 yıllarında inşa edilmiştir. Kuzeybatı köşesinde bir minaresi olup, kare bir plana sahiptir. Ahşap tavanlı ve üstten kırma çatıyla örtülmüştür. Tabakhane cami, kagir olarak kare planlı tek minareli inşa edilmiştir. Yapı içeriden direk üzerine oturan büyük merkezi kubbeye ve onun dört

yanında yer alan oval kubbelere sahiptir. Bu kubbelerin üzeri marsilya kiremitler ile kaplıdır. Muhittin Mescidi, tek katlı bir yapı olup ahşap bağdadi duvarlara sahiptir. Mescit alaturka kiremitle kaplı kırma çatılıdır ve mihrabı bulunmamaktadır (Isparta Valiliği İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, 2009).

Kiliseler: Isparta kent merkezinde iki adet tarihi kilise mevcuttur. Bunlar Aya Yorgi Kilisesi ve Aya Payana Kilisesidir. 1857-1860 yıllarında inşa edilen Aya Yorgi Kilisesi, Meryem Ana Kilisesi olarak bilinmektedir. Yapı dikdörtgen planlı, yerel taş olan kövke ile doğu-batı yönünde üç nefli, apsisi ve narteksli inşa edilmiştir. Kuzey ve güney yönlerinde birer giriş bulunmaktadır. Yapının kapılarında pencere, kemerlerinde, kenarlarında ve sütunlarında değişik taşlar ve renkli mermerler kullanılmıştır. Aya Payana Kilisesi'nin 1750 yıllarında yapıldığı tahmin edilmektedir. Dikdörtgen planlı, kuzey-güney yönünde yönünde üç nefli ve apsisi olarak inşa edilmiştir. Yapının kuzey, batı ve doğusunda birer tane kapı bulunmaktadır. Yapının tavanı on sütun üzerine oturtulmuş olup ahşap malzeme kullanılarak inşa edilmiştir (Isparta Valiliği İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, 2009).

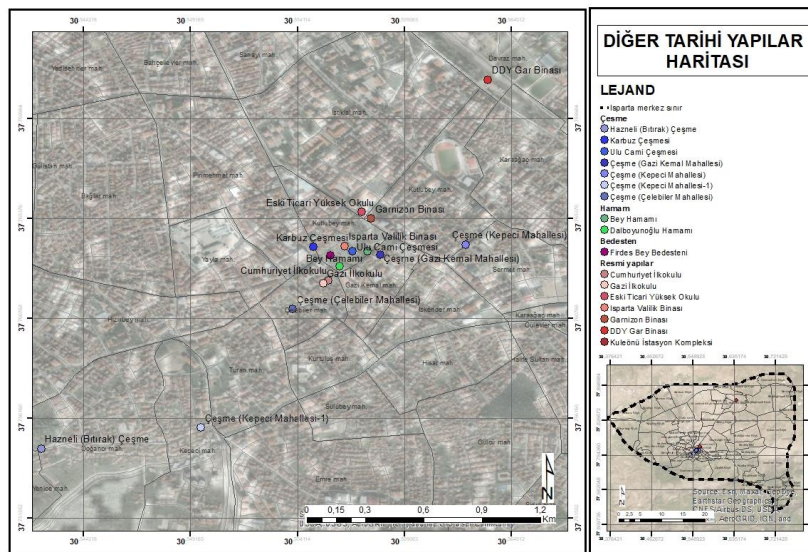
Türbe ve Tekkeler: Aladdin Efendi Tekkesi, Gülcü Mahallesi Binli Emir Mezarlığı içinde yer almaktadır. Kare planlı, içten kubbeli dıştan Marsilya kiremitli kırma çatı ile örtülü, kuzey girişi kapısının üstünde yuvarlak kemerli penceresi bulunmaktadır. Anıtsal yapılardan olan Isparta şehitlik mezarlığı ise dikdörtgen biçimli ve ana giriş kapısı 154. Cadde de bulunmaktadır (Isparta Valiliği İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, 2009).



Şekil 7. Isparta kent merkezinde bulunan Kutlubey (Ulu) Cami, Kavaklı Cami ve Aya Payana Kilisesi'ne ait fotoğraflar

Figure 7. Photographs of Kutlubey (Ulu) Mosque, Kavaklı Mosque and Hagia Payana Church in Isparta city center

Isparta kent merkezi içerisinde yapısal anlamda tarihsel değere sahip toplumsal ihtiyaçların karşılanmasında önemli rol oynayan diğer anıtsal tarihi yapılar bulunmaktadır. Bu yapılar Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 8. Isparta kent merkezinde yer alan diğer tarihi yapılar haritası

Figure 8. Isparta city center other historical buildings map

Bedesten: Kanuni Sultan Süleyman döneminde Isparta Valisi Firdevs Bey tarafından 1561 yılında düzgün kesilmiş kövke taşlar kullanılarak Firdevs Bey Bedesteni inşa edilmiştir (Isparta Valiliği İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, 2009). Kuzey güney doğrultusunda iki adet birer girişi bulunan bedesten günümüzde çarşı olarak hizmet vermektedir.

Çeşmeler: Isparta kent merkezinde tarihi değere sahip birden çok çeşme bulunmaktadır. Çeşmeler genellikle taş ve kap konularak insanların su içmesi ve camiler dışında abdest alacak yer sağlaması ayrıca ahılda denilen yerden hayvanların da yararlanması amacıyla hayır sahipleri tarafından yapılmışlardır (Özkartal, 2015). Çelebiler Mahallesi 1414. Sokakta bulunan çeşme, kare planlı olarak düzgün kesme taştan inşa edilmiş ve çatısı saçaklı beton blokla kaplıdır. Gazi Kemal Mahallesi Hacı Ethem Sokakta bulunan Osmanlı çeşmesi sivri kemerli kesme taştan yapılmıştır. İskender Mahallesi 8021 ada 1 ve 12 no'lu parsellerin arka bahçe ortak duvarı üzerine inşa edilen çeşme kare formlu, taş kaplama cephelidir. Keçeci Mahallesi Sofu Sokak 6 no'lu evin altında kalan çeşme şua motifli aynalığı ve dikdörtgen yalağı ile başka bir evin önüne taşınarak monte edilmiş ve halen çeşme olarak kullanılmaktadır. Doğancı Mahallesi 117. Cadde üzerindeki kesme taştan oluşan kare planlı ve kemerli Hazneli (Bıtrak) çeşmesinin yalak kısmında desenli bir taş bulunmaktadır. Gazi Kemal Mahallesi Ulu Cami çeşmesi düzgün kesme taştan kare planlı inşa edilmiş ve bütün cephelerinde dikdörtgen çerçeve içinde niş bulunmaktadır. Sülübey Mahallesi İğci Sokakta bulunan Yılkırın çeşmesi ise düzgün kesme taştan kare planlı inşa edilmiştir (Isparta Valiliği İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, 2009).

Hamamlar: Yaptırının adı ve yapım tarihi bilinmeyen Ulu caminin doğusunda yer alan Bey Hamamının kubbesi çok pencereli, basık ve alçaktır. Restore gören hamam günümüzde kafe olarak kullanılmaktadır. Yeni Hamam (Dalboyunoğlu) Hamamının inşası 1689 yılında başlanarak, 1693 yılında tamamlanmıştır (Türk & Öçal, 2007). Bu hamam Isparta kent merkezinin en büyük hamamıdır ve kadın, erkek olmak üzere iki kısmı bulunmaktadır.

Bacalar: Gökçay yolu üzerinde bulunan bacalar 20 yy.'da çay kenarında inşa edilmiştir. Kırmızı tuğla malzeme kullanılarak aşağıdan yukarıya doğru daralan bir silindirik formda yapılmıştır. Toplamda 4 adet olup günümüzde restorasyon çalışmaları yapılmaktadır (Isparta Valiliği İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, 2009).

Resmi yapılar: Cumhuriyet ilkokulu iki katlıdır ve kövke taştan yapılmıştır. Kıрма çatısı Marsilya tipi kiremitle kaplıdır. Güneyde ve kuzeyde iki giriş kapısı bulunmaktadır. 19 yy'ın sonlarında yapılan okul hala sağlam ve kullanılmaktadır. Gazi İlkokulu, 19 yy'ın ilk çeyreğinde yapılmıştır. Kare planlı olup iki katlı bir yapıdır. Günümüzde bina sağlam olup eğitim amacıyla kullanılmaktadır (Isparta Valiliği İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, 2009).

Valilik binası, 1873 yılında ahşap malzeme kullanılarak yapılan iki katlı ilk bina kullanılamaz hale gelince yıkılarak, 1880 yılında tekrar inşa edilmiştir. Bugünkü bina ise 1937 yılında düzgün kesilmiş kövke taşlar kullanılarak yeni klasik mimari tarzda dört katlı olarak inşa edilmiştir (Türk & Öçal, 2007).

Garnizon binası, 1904 yılında düzgün kesilmiş kövke taş malzeme kullanılarak iki katlı olarak inşa edilmiştir. Yapının ikinci katında bulunan ve korkuluğu bombeli olan balkon iki sütunla desteklenmiştir. Bu sütunların olduğu yerde binanın ana girişi bulunmaktadır. Yapının teras katı ise yeni klasik mimari tarzda 80'li yıllarda tamamlanmıştır (Türk & Öçal, 2007).

Milli Eğitim Müdürlüğü binası, 1900 yılında İdadi Okulu olarak kullanılırken 1914 depreminden sonra ikinci katının yıkılması sonucunda tekrar inşa edilmiştir. 1990 yılında onarılarak milli eğitim müdürlüğü binası olarak kullanılmaya başlanmıştır. Kesme taş malzeme kullanılarak inşa edilen yapı alaturka kiremitli kıрма çatıya sahiptir (Türk & Öçal, 2007).

1876 yılında İzmir-Aydın demiryolu hattı inşa edilerek bu hat 1893 yılında İngiliz şirketi tarafından Dinar'a kadar uzatılmıştır. 1936 yılında ise 14 km'lik mesafenin eklenmesi ile Dinar-Eğirdir Hattına bağlanmıştır (Çetin, 2007). DDY Gar Binası ve Külleönü İstasyon kompleksi bu hat üzerinde bulunmaktadır. DDY Gar Binasının dikdörtgen şekilde planlanan ana hizmet binasına bitişik ambar, açık ambar, su depoları, kömür deposu, bakım atölyesi ile lojman bulunmaktadır. Bu yapıların tamamı kıрма çatılı ve kesme taş malzemeden yapılmış, Cumhuriyet döneminin simgesel yapılarıdır (Türk & Öçal, 2007).



Şekil 9. Isparta kent merkezinde bulunan Ulu Cami Çeşmesi, Firdevs Bey Bedesteni, Bacalar ve Bey Hamamı'na ait fotoğraflar

Figure 9. Photographs of Ulu Mosque Fountain, Firdevs Bey Bedesten, Bacalar and Bey Bath in Isparta city center

Diğer yapısal değerler

Other structural values

Isparta kent merkezinin odak noktası olan Kaymakkapı Meydanının en önemli simgesi Türkiye'nin 9. Cumhurbaşkanı Süleyman Demirel heykelidir. Yine bu meydanda bulunan gül heykeli ve Valilik meydanındaki gül ve gül ürünlerini temsil eden Müftüzade (veya Gülcü) İsmail Efendi'nin heykeli de önemli kültürel kimlik değerleridir. Üzüm çarşısı üst tarafında Mimar Sinan Cami karşısında yer alan Karbuz/Karpus Çeşmesinin ise dört tarafı mermer malzeme ile kaplıdır. Halk arasında, bu çeşmeden su içenin Isparta'da yedi yıl kalacağına inanılan Isparta kenti ile özleşen önemli bir söylenti hakimdir.

Isparta Belediyesi tarafından 2013 yılında açılan Etnografya Müzesi yaklaşık 3200 m² kapalı alana sahiptir. Müze yatay ve dikeyde 11 katlı kule şeklinde inşa edilerek her katında Isparta halılarının, kilimlerinin dönemlere göre sergilendiği salonlardan oluşmaktadır. Kulenin en son katı ise seyir alanına sahiptir ([Isparta İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, t.y.5](#)). 1980 yılında İsmail Zeki İzci tarafından Rum paşanın kızı için yaptırdığı düşünülen ve restore edilen Cumhuriyet Hamamı, horasan mirası ve taş işçiliği ile günümüzdeki halini almıştır ([Anonim, 2019](#)).

Isparta kent merkezinin gelişme gösterdiği kentsel imge niteliğindeki kültürel öneme sahip yollar İstasyon Caddesi, Mimar Sinan Caddesi ve Cumhuriyet Caddesi olup bu caddeler geçmişten günümüze kentin önemli arterlerini oluşturmuşlardır ([Beyhan, 2016](#)). Isparta kent merkezinde bulunan kamusal yeşil alanlar ise kent ve mahalle parkları, yol, bulvar ve refüjler ile mezarlık alanlarından oluşmaktadır. Kentte mahalle parklarının, kent parklarının, mesirelik alanların ve koruluklarında dahil edildiği toplam 308 adet park bulunmaktadır ([Yazıcı vd., 2014](#)).



Şekil 10. Isparta kent merkezinde bulunan İsmail Efendi Heykeli, Üzüm Heykeli, Cumhuriyet Meydanı, Etnografya Müzesi'ne ait fotoğraflar

Figure 10. Photographs of İsmail Efendi Statue, Grape Statue, Cumhuriyet Square, Ethnography Museum in Isparta city center

3.2.2. Sosyal kimlik değerlerine yönelik envanter analizi

3.2.2. Inventory analysis for social identity values

Nüfus ve cinsiyet: Isparta kent merkezi 2022 yılında toplam 266.982 nüfusa sahiptir. Nüfusun %49.27'si erkek, %50.73'ü kadındır ([Türkiye Nüfusu İl İlçe Mahalle Köy Nüfusları, 2022](#)). Isparta kent merkezinde son on yılda %25.04 oranında büyüme görülürken (Tablo 3), bu oran her yıl artış göstermektedir.

Tablo 3. Isparta kent merkezinin nüfus verileri ve yüzdelerik değişim oranları
Table 3. Population data and percentage change rates of Isparta city center

Yıl	Toplam nüfus	Yüzdelerik değişim	Erkek nüfus	Yüzdelerik değişim	Kadın nüfus	Yüzdelerik değişim
2021	266.982	%25,04	131.538	%23,88	135.444	%26,19
2011	213.511		106.179		107.332	

Ekonomik yapı: Isparta kent merkezinde ekonomik faaliyetlerde tarım (%19.38), sanayi (%14.86), inşaat (%5.24) ve hizmetler sektörü (%59.99) aktif olarak görülmektedir (Isparta İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, t.y.6). Bu sektörlerin ağırlık kazanmasının temel sebebi, kent il merkezi olmasıdır. Isparta kentinde kültürel ve tarihi niteliğe sahip pek çok kimlik değerinin yanı sıra Gül Festivali, Halı Festivali, Kültür ve Turizm Festivali, Davraz Kar Festivali gibi şenlikler de çeşitlilik göstermektedir (Ongun vd., 2015).

Yeme ve içme kültürü: Anadolu mutfağının önemli öğelerinden biri olan ekmek, farklı hazırlanış ve yapılaş biçimi ile sofralarda yerini almıştır. Isparta kentinde ekmek yapımı için buğday, çavdar ve arpa unundan yararlanılmıştır. Özellikle ekmek yapımında buğday unu ve eksi maya hamur yapımında kullanılan ana malzemelerdir. Oluşturulan hamur bir saat yorulup katı bir hamur haline gelmesi sağlanır. Elde edilen hamurun üzerine susam, ceviz ve haşhaş atılır ve fırınlanır. Ekmek fırınlanması genellikle iki ve daha fazla aile arasında imece usulü ile yapılır. Isparta ekmeği on beş gün ile yirmi gün arasında dayanmaktadır (Göde & Tatlıcan, 2016). Isparta fırın kebabı, Kabune pilavı, Aşure, Çakal helvası, Kaçamak tatlısı 'da Isparta yapılan ve yöreye özgü yemekler arasında yer almaktadır (Isparta'nın Somut Olmayan Kültürel Mirası, 2019).

Gelenek ve görenekler: Asker uğurlama: askere gidecek gençler ilk önce Cuma namazına gider daha sonrasında imam ile birlikte meydana gelerek asker duası okunur. Dua sonrasında askerler ilk öncelikle büyüklerle sonra akran ve kadınlarla vedalaşır. Vedalaşmada lokum dağıtılır (Isparta'nın Somut Olmayan Kültürel Mirası, 2019).

Sünnet düğünü: Sünnet düğününe bir gece öncesinde çocuklara kına yakılır ve büyükler eğlence düzenler. Ertesi gün için kabune pilavı, kuru fasulye ve helva hazırlanır. Sabah sünnet çocuğunun yatağı süslenir, yorganı özel olarak diktirilir ve ileride çeyizi olarak verilir. Sünnet çocuğu at arabası ile gezdirilir (Isparta'nın Somut Olmayan Kültürel Mirası, 2019).

Kız isteme: Isparta'da kız isteme erkek tarafının kız tarafına üç kez gitmesi ile tamamlanır. Kız istemedeki asıl amaç evlenecek gençlerin başlarının bağlı olduğunu, gençler için gelecek dünürçülerin önünü kesmek için yapılır. Söz kesme, gelin ve damat adaylarının evlilik yolunda aileler arasında resmileşme aşamasıdır. Söz kesimi aksam ve yatsı namazı arasında dualar okunarak yapılır. Geline kayınvalidesi küpe takar söz yüzüğü yerine geçer, günümüzde yüzük takılmaktadır.

Nişan: Nişan merasimi söz ve düğün arasında hazırlıklar için altı ay verilir eğer altı ayı geçerse nişan merasimi yapılır (Çelikler & Genç, 2019). Nişan merasiminde evlenecek kızın saçına ve ellerine kına yakma törenidir. Nişan gecesi erkek ve kadın davetlilere pilav ve turşu ikram edilir. Yük götürme, düğünün ikinci günü oğlan evinden kız evine davul zurna eşliğinde çeyiz sandığı, yorgan, yatık vb. eşyalar bırakılır, geri dönülerek düğün yemeği yenir (Isparta'nın Somut Olmayan Kültürel Mirası, 2019).

Kına gecesi: "Eşine kurban olsun" diye geline kına yakılma adetidir. Gelinin ve damadın kına yakılarak ata evinden çıkarılması hem evlenen çiftin hem de yeni kuracakları yuvanın kutsanması anlamını taşımaktadır. Kına gecesinde erkek evi ile kız evi bir araya gelmez. Kız evinde yapılan eğlence "gelin okşama" erkek evindeki eğlence "damat okşama" olarak adlandırılır (Çelikler & Genç, 2019).

Düğün: Evlenecek gençlerin dini ve resmi nikahı yapılır. Gelin alma-çıkartma, oğlan evine toplanılarak hep beraber kız evine gidilir. Kız evinin önünde davul zurna ile eğlenilir ve bir süre beklenir. Bu sırada "Yüksek Yüksek Tepelere Ev Kurmasınlar", "Geliyor Düğün Alayı", "Cezayir" gibi türküler söylenilerek kız evi duygusal havaya sokulur. Damat gelin almak için kız evine çıkar ve orada veda töreni başlar. Bu sırada gelinin babası kızının karşısına geçer besmele çeker ve dualar eşliğinde yüzünü kapatır. Gelinin abisi, yoksa kardeşi tarafından gelinin al kuşağını bağlar. Gelin akrabalarıyla vedalaşarak, oğlan tarafı ile evinden ayrılır. Gelin damat evine girerken damat ve damadın arkadaşları tarafından başından aşağı bulgur dökülür. Sonra şeker ve

bozuk paralar atılır. Bu durum oğlan evine bereket ile geldiğinin sembolüdür. Erkek evine gelin dua ile alınır ve sonrasında kadınlar bir araya gelerek eğlence düzenlenir (Çelikler & Genç, 2019).

Gelin ertesi: Düğün sonrası kadınların kendi aralarında yaptıkları eğlencedir. Burada kadınlar tef eşliğinde oyun oynadıkları ve maniler eşliğinde birbirlerini taşıdıkları bir eğlencedir (Isparta'nın Somut Olmayan Kültürel Mirası, 2019).

El sanatların: At arabası, dokumacılık, deri işleme, keçecilik, serhatlı mesh, oyacılık, hasır işleme, semercilik, yorgancılıktır.

4. Isparta kentinin doğal ve kültürel kimlik değerlerinin korunmasına yönelik tartışma

4. Discussion on the protection of natural and cultural identity values of Isparta city

Isparta kenti eğitim, bakı, yükselti, yeşil alan varlığı, su varlığı, toprak varlığı gibi doğal özellikleri sayesinde tarihte pek çok medeniyet tarafından yerleşime uygun bulunarak kültürel kimliğin gelişmesine katkı sağlamıştır. Doğal ve kültürel kimliğin birbirini etkilemesinden dolayı da Isparta kent merkezinde tarihi kimlik değerleri ve yakın çevrede bulunan doğal dokunun birlikte korunması, kent kimliğinin sürdürülebilirliği açısından gereklidir. Bu nedenle doğal ve kültürel kimlik değerlerinin aynı ölçüde korunmasına yönelik literatür bulguları tartışmaya açılmıştır.

4.1. Doğal kimlik değerlerinin korunmasına yönelik tartışma

4.1. Discussion on the protection of natural identity values

Kentlerin doğal bileşenleri ve insan etkisi sonucu ortaya çıkan kültürel bileşenleri ile birlikte kentin şekillenmesinde ve kimlik olgusunun oluşmasında önemli rol oynar (Turgut vd., 2012). Doğal bileşenler; eğitim, bakı, erozyon, arazi kullanım kabiliyet, bitki örtüsü vb. bileşenler oluşturur. Bu birleşenler ise kentleri birbirinden ayıran, özgün kılan kimlik değerlerinin oluşmasında önemli bir bileşendir (Köylü & Kiper, 2007).

Doğal bileşenlerin en önemli faktörü topografyadır. Kentler topoğrafik yapısına göre eğimli ve düz araziler üzerine kurulmaktadır (Turgut vd., 2012). Isparta kent merkezi topoğrafik yapısında bakıldığında etrafında dağlarla çevrili, ova üzerine kurulmuş bir yerleşim olduğu görülmektedir. Kent merkezi %2 eğim hâkim görülürken, güneydoğusunda Davraz Dağı bulunmaktadır. Kent merkezinin düşük eğime sahip olması erozyon şiddetini düşürürken dağlık bölgelerinde yüksek derecede erozyon yaşanması neden olmaktadır. Topoğrafik yapı ve erozyon bileşenleri kentlerin bitki örtü desenlerinin oluşmasında önemli bir doğal bileşendir. Isparta kent merkezinde II. ve III. sınıf arazilerin toplam %35 oranında olması tarım merkezli bir yerleşim olmasına etki etmiştir. Özellikle meyve ve sebze yetiştiriciliği kent merkezinde hâkim olan tarımsal desenini oluşturmaktadır. İklim bileşeni, kentlerin dokusu ve yapı çevrenin oluşmasında baskın bir şekilde görev almaktadır (Şahin & Dostoğlu, 2007). Isparta kent merkezi Akdeniz bölgesinde yer almasına rağmen Karasal iklim kuşağındadır. İklim yapısı kent merkezinin yapı çevresinde, mimari dokunun, yapıda kullanılan malzemelerin, yol akslarının vb. dokuların oluşmasında kendine özgü bir kimlik oluştururken bitki örtüsünde etkilemektedir. Özellikle kent merkezine adapte olmuş kültür bitkileri (gül, lavanta vb.) yerleşime özgü bitki desenini oluşturmaktadır. Bu sayede Isparta "Güller Diyarı" olarak tanınmaktadır.

Isparta kenti yeşil alan varlığı, çevresinde bulunan mesire ve tabiat koruma alanları, Milas Mesireliği, Gölcük Gölü Tabiat Parkı, Davraz Dağı gibi doğal kimlik değerleriyle tanınan yerleşim yeridir. Kent merkezi ve çevresinde bulunan bu yeşil alanlar nispeten iyi durumdadır. Ancak Isparta kent nüfusunun artmasıyla yapısal faaliyetlerin hızlanması, yatay genişlemeye ve açık-yeşil alanlar üzerinde baskıların artmasına neden olmaktadır.

Özellikle kent merkezinde bulunan Ayazmana ve Gökçay mesire alanları çevresinde konut yerleşimlerinin artmasından dolayı kent insanı için düzenlenmesi gerek açık ve yeşil alanların azalması söz konusu olmaktadır. Bu nedenle yeşil alanların daraldığı mesire alanlarında hafta sonları artan ziyaretçi yoğunluğu kirliliğe, yoğun mangal kullanımından kaynaklı kötü koku ve görüntü oluşumuna sebep olmaktadır. Aynı zamanda ihtiyacı karşılayan oturma birimleri, lavabo, yeme-içme yerleri, çeşme vs. donatı elemanları da yetersiz kalmaktadır. Tolunay vd. (2004) çalışmasında, Isparta mesire yerlerinde rekreasyonel talebi karşılamak üzere kentsel ve kırsal dokunun ortaya çıkartıldığı düzenlemelerin yapılması gerektiğine, doğal örtüyü bozabilecek tesisler yerine ihtiyaca yönelik kimlik değerlerini yansıtan mekanların tasarlanmasının önemine ve anıt niteliğinde ki

ağaçların korunarak ziyaretçilerin bu yönde bilgilendirilmesine değinmiştir. Çünkü doğal kimlik değerleri arasında olan yeşil alanlar ve anıt ağaçlar kentin kültürel mirasını ve geçmişini yansıtan önemli değerlerdir.

Anıt ağaçlar geçmiş ile günümüzü, günümüz ile gelecek arasında bağ kuran doğal ömürleri ile bölgenin tarihi ve kültüründe özel bir yeri olan eşsiz doğal değerlerdir. Bu nedenle Isparta kentinin anıt ağaçları da kentin tarihini yansıtan doğal miras değerleridir ve Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Genel Müdürlüğü tarafından gerekli bakım ve ilginin gösterilmesi gerekmektedir (Genç & Güner, 2000). Ayazmana mesire alanında bulunan 15 adet anıt ağaç niteliğinde ki kestane ağaçlarının da özel olarak koruma altına alınması ve bakımlarının yapılması bu doğrultuda önemlidir (Tolunay vd., 2004). Isparta kent merkezinde iyi durumda olan açık-yeşil alan varlığının devamlılığı ise doğal alanların ve kültürel tarihin korunması ve modern mimariyle uyumlu hale getirilmesiyle mümkün hale gelecektir (Tanrıbir & Akten, 2020). Özellikle kent merkezinde bulunan küçük ve dağınık halde bulunan açık- yeşil alanların estetik, ergonomik ve kullanım açısından yapılı çevre ile bütüncül olarak ele alınması ve gerekli düzenlemelerin yapılması gerekmektedir (Gül vd., 2023).

Davraz Dağı Isparta kent merkezinin önemli doğal kimlik değeri olmasının yanı sıra kentin kış sporları açısından markalaşmasını sağlamaktadır. Davraz Dağı'nda kış sporlarından telemark kayakçılık, snowboard ve tur kayağı yapılabilmesinin yanı sıra dağcılık, kampçılık, doğa yürüyüşleri (trekking ve hiking), doğa fotoğrafçılığı, yamaç paraşütü gibi pek çok alternatif turizm etkinlikleri de yapılabilmektedir (Ceylan & Demirkaya, 2009). Isparta kenti yeşil alan varlığı ile Davraz Dağı alternatif turizm olanaklarının aynı ekoturizm rotası üzerinde değerlendirilmesi sayesinde kentin doğal kimlik değerlerini ön plana çıkarmak ve sürdürülebilir hale getirmek mümkün olacaktır. İşçi vd. (2018)'a göre, SDÜ Botanik Bahçesi Herbarium Araştırma ve Uygulama Merkezi'nden başlayan Davraz Dağı, Dandere Barajı, Ayazmana Mesire Alanı, Gökçay Mesire Alanı, Gölcük Tabiat Parkı, Milas Mesireliği gibi doğal değerlerinin ekoturizm açısından ön plana çıkartılması gereken birer doğal kimlik değeri olduklarına değinmiştir.

4.2. Kültürel kimlik değerlerinin korunmasına yönelik tartışma

4.2. Discussion on the protection of cultural identity values

Isparta kent merkezi tarihi niteliğe sahip zamanın geleneklerini, alışkanlıklarını, toplumsal ilişkilerini, sosyo-ekonomik faaliyetlerini yansıtan yapısal ve kültürel kimlik değerleri açısından zengin ve bu değerlerin bir arada bulunduğu yerleşim yeridir.

Zamanla yapısal formlarının şekillendiği tarihi niteliğe sahip olan yapılar, inşa edildikleri dönemin toplumsal yaşantısına ve kültürüne ışık tutan birer kimlik elemanıdır (Çelik & Türk, 2021). Bu bakımdan genellikle Isparta kent merkezinde yer alan “Tarihi Sit Alanı, Kentsel Sit Alanı ve Korunacak Sokaklar” bölgelerinin içerisinde bulunan tarihi camiler, çeşmeler, hamamlar, resmi yapılar ve bu bölgelerin çevresinde ki tarihi evler de Isparta'nın kültürel kimlik değerlerini oluşturmaktadır. Kentsel sit alanında bulunan Üzüm Çarşısı içerisinde ki 16. yüzyıla ait 16 adet tescilli yapı, en eski tarihli yapı olarak belirlenen Mimar Sinan Cami, resmi ve ticari yapılar olan Valilik Bina'sı, Dalboynoğlu Hamamı, Firdevsbey Bedesteni ve Ulu Cami bir arada bulunan kültürel kimlik değerleridir. Çelik ve Türk (2021), bu kültürel kimlik değerlerini mekansal ve işlevsellik açısından değerlendirdiğinde Osmanlı Dönemi mimari üslubunu yansıtan camiler ile hamam, bedesten ve valilik gibi kamusal hizmet binalarını önemli “simgesel yapılar” olarak ifade etmektedir. Ancak özellikle son otuz yılda tarihi kentsel sit alanı yakın çevresinde giderek artan yüksek yapılaşma ve ticari yapıların ulaşım yükünü arttırması kent kimliğini olumsuz yönde etkilemekte ve tarihi dokunun yok olmasına neden olmaktadır (Çelik & Türk, 2021). Aynı zamanda, Üzüm Çarşısı'nın yapı yüksekliğine uyum sağlayamayan yarım daire şeklindeki üst örtü tasarımı, bazı yapılarda çatı eğiminin sokağa paralel bazılarında dik konumlandırılması, tabela ve panolar ile karmaşık görüntüsü (Halaç & Yılmaz, 2019), nitelik kaybına neden olan kat ilaveleri (Çetin, 2011), dış cephenin tarihi dokuyu yansıtan silüete sahip olmaması, döşeme ve donatı elemanı gibi sorunlar (Tanrıbir & Akten, 2020), kent merkezindeki kültürel kimliği olumsuz etkilemektedir. Bunun yanı sıra Kaymakkapı Meydanı'nın batı yönünde bütün tarihi yapıların yıkılarak yerine çok katlı belediye iş hanının inşa edilmesi, geleneksel özelliğini koruyan Bakırcılar Arastası ve manifatura dükkanlarının yer aldığı çarşının meydanla olan bağını koparmıştır (Çetin, 2011).

Günümüzde ise üzüm çarşısı ve içerisindeki tescilli yapılar, Mimar Sinan Cami, tarihi hamamlar ve Damgacı Sokakta yürütülen restorasyon düzenlemeleriyle kent kimliği korunmaya çalışılmaktadır. Ancak kent merkezinde yürütülen restorasyon, koruma ve tescilleme çalışmalarına rağmen tarihi kültürel yapıların yakın

çevresinde bulunan 20. yy'a ait çok katlı ve mimari üslubun dışındaki yapılardan dolayı tarihi mimari kimlik bütünlüğü sağlanamamaktadır. Ayrıca sit alanı çevresinde bulunan bu ticari veya konut yapıları tarihi mimari kimlik ile uyumsuz ve aykırı olduğu için kültürel kimlik değerlerinin niteliğini kaybetmesine ve kimliksizleşmeye neden olmaktadır. Bundan dolayı Çelik ve Türk (2021)'ün çalışmasında belirttiği gibi tarihi kent merkezleri yakın çevreleriyle birlikte tek yapı ölçeğinden tüm alan ölçeğine kadar genişletilerek, sosyal, fiziksel ve kültürel yapıyla bütün olarak düşünülmeli ve kent kimliğinin sürdürülebilirliği için bu unsurların tamamı korunmalıdır.

Isparta kent merkezinde tarihi dokunun ve tescilli yapıların yoğun olarak bulunduğu mahalleler Isparta Belönü Çayının kuzeyinde kalan Kurtuluş, Emre, Doğancı, Çelebiler, Gazi Kemal ve Kepeci mahalleleridir. Tescilli Isparta evlerinin ana yapı malzemesi genellikle taştır (Türk, 2009; Türkiye Kültür Portalı, 2021). Bodrum ve zemin katlar bütünüyle taştan inşa edilmiş, üst katların duvarları kerpiç dolgu veya bağdadi ile örülmüş, ahşap malzeme taşıyıcı sistemde, doğramada ve örtüde kullanılmıştır (Türk, 2009; Türkiye Kültür Portalı, 2021). Zamanla evlerin plan ve cephe düzenlerine yapılan bilinçsiz müdahaleler sonucunda ise yapısal kimlikte bozulmalar meydana gelmiştir (Türk, 2009; Köse, 2018). Isparta kent merkezinin ticari, kamusal ve toplumsal yaşantısını besleyen bir bölge olması nedeniyle ve yoğun taşıt trafiğinin sivil mimariye zarar vermesi, otopark ihtiyacının konut bölgelerinde çözülmeye çalışılması özellikle sit alanında olumsuz etki oluşturmuştur (Köse, 2018). Ayrıca mülk sahiplerinin yapıları terk etmesi ve yeni kullanıcıların ekonomik düzeylerinin düşük olması, alternatif alışveriş mekanları nedeniyle geri planda kalması ya da yeniden rantın artması nedeniyle nitelsiz yapılaşma ve çok katlı betonarme yapıların çoğalması durumu ile karşı karşıya kalmıştır (Türk, 2009; Köse, 2018). Bunun dışında hava koşulları, zemin hareketleri gibi doğal sebepler veya yangın, bilinçsiz müdahale, yıpratma, çürümeye bırakma, yanlış onarım ve bakım çalışmaları gibi insan etkileri de tescilli yapıların çoğunluğunun harap duruma düşmesine neden olmuştur (Türk, 2009; Sargın, 2005). Bu tescilli evlerin korunması, turizme kazandırılması veya işlevselliğinin sağlanması ise Isparta Valiliği veya Belediyesi tarafından satın alınan evlerin bir kısmının restore edilmesi ve belirlenen bir fonksiyonda kullanımları ile elde edilmiştir. Bu durum evlerin günümüze kadar muhafaza olmasına büyük ölçüde süreklilik kazandırmıştır. Ancak kullanılmayan ve atıl duruma düşen çok sayıda tescilli yapı bulunmaktadır. Genel olarak değerlendirildiğinde ise mülkiyeti kamuya ait olmayan sivil mimari örnekleri bakımsız ve harap vaziyette, Isparta Valiliği veya Belediyesi tarafından satın alınarak restore edilmiş olan birkaç evin dış ve iç görünümleri düzgün durumdadır (Köse, 2018). Ayrıca tek yapı ölçeğinde kalan koruma çalışmaları bütüncül kent kimliğinin korunmasına ters düşmektedir. Çelik ve Türk (2021) de çalışmasında, kent merkezindeki sit alanı içerisinde veya tek yapı ölçeğinde gerçekleştirilen koruma ve restorasyon çalışmalarının kent ölçeğinde ele alındığında bütüncül bir yaklaşım sergilemediğini belirtmektedir.

Kent merkezindeki tarihi çeşmelerin büyük bir çoğunluğu günümüzde yapısal ve işlevsel bütünlüğünü koruyamadığı için kullanılmamakta ve harabe görünümünde bulunmaktadır (Sargın, 2005). Çeşmelerin gerekli onarım ve bakım çalışmalarının yapılmaması, şebeke suyunun verilmemesi ve kullanıma açılmaması ise bilinçsiz kişiler tarafından zarar verilmesine, atıl duruma düşmesine ve zamanla harap hale gelmesine neden olmaktadır. Dolayısı ile 20. yüzyıla kadar pek çok çeşme bulunmakta iken günümüze çok azı ulaşmıştır (Akaslan & Demirci, 2013). Özellikle tarihi çeşmelerin çevresinde yapılaşmanın artması da çeşmelerin yok olmasına veya kentin yoğun kullanım alanlarında yeni çeşmelerin yapılarak tarihi çeşmelerin atıl duruma düşmesine neden olmuştur.

Kent kimliğini oluşturan en önemli unsurlar arasında kent mobilyaları ve plastik objeler yer almaktadır. Isparta kent merkezinde yer alan bu peyzaj öğeleri ve donatı elemanları kentin tarihi kimlik dokusu ile uyumlu olmalıdır. Ancak Tanrıbir ve Akten (2020) çalışmasında Isparta kent merkezinde kullanılan donatı elemanlarının birbiriyle ve kent kimliğiyle düşük düzeyde uyumlu olduğuna, insan ölçeğine uymayan donatıların bulunduğu, alanda eşit dağılımın görülmediğine, bazılarının bakımsız olduğuna dikkat çekmiştir. Çelik ve Türk (2021)'de, tarihi ve kültürel kimlik değerlerini içinde barındıran Isparta kent merkezinde objelerin oldukça yoğun kullanıldığına ve kentin kimliğine aykırı nitelikte ve uygun hacimde olmadığına değinmektedir. Özellikle gül, üzüm, elma, kiraz gibi ilde yetiştirilen ürünlere ait objelerin kent merkezinde sıklıkla kullanılmasından dolayı da kentin tarihi silüeti ile uyumlu olmayan görüntüler ortaya çıkmaktadır.

Aynı zamanda kentin imajını olumsuz etkileyen diğer faktörleri Durgun (2007), Ceylan ve Demirkaya (2009), Gül vd. (2016) çalışmalarında, toplu taşıma düzenlemelerinin ihtiyacı karşılamaması, şehir içi otopark yetersizliği, hizmet yetersizliği, çevre düzenleme çalışmalarının kent tarihini yansıtmaması, doğal ve kültürel kimlik değerlerinin tanıtımının eksik kalması olarak belirtmektedir. Özellikle çevre düzenleme çalışmalarında

ki kendi içinde ki parçacıl ve şehir genelinde ki bütüncül uyumsuzluklar kimlik karmaşasına neden olmaktadır. Isparta kent merkezinin önemli kimlik değerini ön plana çıkaran yatırımların yapılmaması, tanıtımların yetersiz kalması da Isparta halısı, gülü, tescilli yapıları, yeşil alan varlığı, Davraz dağı gibi değerlerini nitelik ve nicelik bakımından olumsuz etkilemektedir. Son yıllarda kent merkezinde artan nüfus hareketliliği ile de imar çalışmalarının hızlanması, çok katlı yapıların artmasına ve kent merkezinde niteliksiz tek tip yapılaşmaya doğru gidilmesine neden olmaktadır.

Isparta kent merkezinin dışarıdan göç alması sorunu da sosyal yapıda (inanç, örf-adet ve aile yapısı gibi) değişimi kaçınılmaz hale getirmektedir. Bal vd. (2012) çalışmasında bu duruma değinerek, iş bulma umuduyla Isparta kent merkezine göç edenlerin vasıfsız işçi sınıfını arttırdığından, dolayısıyla istihdamın yetersiz hale geldiğinden, aile yapısında değişimin yaşandığından ve zamanla toplumsal sorunlar oluşturacağından bahsetmektedir. Bu durumda kent merkezinin sosyal kimliğinin değişmesine neden olmaktadır.

5. Sonuç ve öneriler

5. Conclusion and recommendations

Kentler, birçok medeniyete ve toplumlara ev sahipliği yapan, geçmişten günümüze aktarılan doğal ve kültürel kimlik değerleri ile anılan ve bu değerlerin korunmasıyla nesiller arasında bağ kuran mekanlardır. İçinde buldukları çevre koşullarından etkilenen ve toplumsal özelliklere göre şekillenen bu mekanlar, aslında birbirinden ayrı yaşanmışlıkları barındıran, kendine özgü kimlik değerlerine sahip yerlerdir. Ancak günümüzde yapı mimarlığında modernleşme anlayışından dolayı kentlerin birbirine benzemesi ve kimliksiz, aynı tip mekanlar haline gelmesi söz konusu olmaktadır. Bunun sonucunda da her kentin kendine özgü olan ihtiyaçlarını yeterince karşılayamadığı görülmekte ve iklimsel koşullara uygun olmayan, arazi yapısı ve formuyla uyumsuz, zemin koşullarının dikkate alınmadığı, kullanılan malzemenin çevre ile uyumsuz olduğu kentler ortaya çıkmaktadır. Oysa ki, kentte yaşayan insanların geçmişini yaşatması, değerlerine sahip çıkması, kaybolmayan ve yaşanabilir tarihsel ve doğal alanlarda yaşamını sürdürmesi insani ve yasal bir hakkıdır. Bu nedenle kentsel planlama ve tasarım çalışmalarında kaliteli mekanlar oluşturmak için kenti oluşturan kimlik değerlerini göz önünde bulunduran sürdürülebilir eylem kararlarının alınması gerekmektedir.

Isparta kenti Lidya, Frik, Pers, Bizans, Roma, Selçuklu ve Osmanlı gibi pek çok medeniyete ev sahipliği yapmış olan, günümüzde bu kültürlerin izlerine rastlanan, önemli tarihi kültürel değerlere sahip olan bir kenttir. Aynı zamanda çevresinde ki doğal kimlik değerleri ile de ön plana çıkan ve bu değerlerin kent imajını etkilediği bir yerleşim yeridir. Ancak doğal ve kültürel kimlik değerlerinin oldukça önemli ve yoğun olarak bulunduğu Isparta kent merkezinde bu değerlerden büyük bir çoğunluğunun korunmadığı, hızla büyüyen ve gelişen kentte yok olmaya başladığı görülmektedir. Özellikle tarihsel kültürel kimlik değerlerinin kendi kaderine terk edilmesi ve gerekli ilginin gösterilmemesi (Türk & Öçal, 2007) geçmiş ile bağ kuran değerlerin azalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle Isparta kent kimliğinin sürdürülebilirliği için kent imajı açısından tespit edilen kimlik değerlerinin korunması ve gelecek nesillere aktarılması büyük önem taşımaktadır. Türk (2006)'ün de belirttiği gibi Isparta kent merkezi Türkiye'nin hem doğal hem kültürel kimlik değerleri açısından önemli ve stratejik bir öneme sahip olan, kimlik değerlerinin korunmasıyla çağdaş bir yaşam merkezi haline dönüşecek bir kenttir.

Bu noktada, Isparta kent merkezinin doğal ve kültürel kimlik değerlerinin parçacıl ve bütüncül korunması ve koruma-kullanma dengesinin sağlanması için alınması gereken stratejik eylemler kararları aşağıda belirtilmektedir.

- Isparta kent kimliğini korumak ve gelecek nesillere aktarmak için doğal ve kültürel değerlerin birlikte ve yakın çevrelerinin de dahil edildiği kentsel koruma politikaları geliştirilmelidir. Tarihsel dokuyu tahrip edecek yakın çevre yapılaşmaları engellenerek fiziksel, işlevsel ve sosyo-ekonomik yönden farklılıklar giderilmelidir.
- Isparta kentinin tespit edilen doğal ve kültürel kimlik değerlerini ön plana çıkaran ve bütüncül bir yaklaşım sergileyen, kentsel planlama ve tasarım çalışmaları yürütülmelidir. Özellikle kent kimlik değerlerine yönelik planlama ve eylem politikaları geliştirilmelidir. Çevre düzen planları ve kent imar planlarında Isparta'nın doğal ve kültürel kimlik değerlerinin korunmasına yönelik kararlara yer verilmelidir.
- Kent merkezinde ve çevresinde bulunan doğal ve kültürel değerler turizm gelişimi açısından önem taşıdığı için birbiri ile ilişkilendirilerek, bölgenin kendine özgü değerleri ile çevresel kaynakların ele alındığı aktif turizm rotaları geliştirilmelidir.

- Doğal kimlik değerlerinin korunması ve geliştirilmesi için optimal koruma ve kullanma dengesini göz önünde bulunduran planlama ve eylem politikalarına yönelik çerçeveler belirlenmelidir.
- Isparta kent merkezinde bulunan Ayazmana ve Gökçay Mesire alanlarında kullanıcı yoğunluğunun azaltılması için alternatif piknik yerleri oluşturulmalıdır. Mesire alanlarında yeşil alanların kontrollü kullanımı için otopark dışında park yapılmaması hususunda uyarılar getirilmelidir.
- Gökçay mesireliği girişinin yapılaşmaya açılmasından kaynaklı yeşil alanlar daraldığı için bu imar kararı durdurulmalıdır. Yapılaşma alanı ile mesire alanı arasında tampon bitkilendirmeler yapılarak yeşil alanlar oluşturulmalıdır.
- Mesire alanlarında ki kapalı mekanların (kafe, çay bahçesi, dondurma standı, düğün salonu vs.) tarihi kültürel kimliği yansıtan mimaride inşa edilmesi ve donatı elemanlarının (bank, pergole, çöp kutusu, çeşme, aydınlatma vs.) doğal görünümle uyumlu ve yeterli sayıda kullanımı için çalışmalar yürütülmelidir.
- Milas Mesireliği, Gölcük Tabiat Parkı ve Davraz Dağı'nda yapılabilen aktivitelerin tanıtımını arttırmak için televizyon, radyo, internet, broşür, katalog, dergi, gazete gibi yazılı ve görsel iletişim araçlarından yararlanılmalıdır. Aynı zamanda Isparta'da ulusal ve uluslararası kongre ve fuarlar düzenlenerek katılımcılar için bu alanlara gezi organizasyonları düzenlenmelidir.
- Isparta kenti doğal alanlarını ve kültürel kimliği yansıtan kent merkezi sokaklarını da içine alan gezi rotaları oluşturulmalı ve bu rotalar üzerinde ücretsiz ulaşım sağlanmalıdır.
- Isparta kent merkezinde gül ve lavanta yetiştiriciliğini ön plana çıkarmak için özellikle çevre yolu kenarında ki tarım arazilerinde gül ve lavanta yetiştiriciliğini teşvik eden fon ve destekler sağlanmalıdır. Aynı zamanda millet bahçesi, kent parkı gibi geniş park alanlarında tematik gül bahçeleri oluşturularak fotoğraf çekim noktaları belirlenmelidir.
- Kültürel kimliği korumak ve ön plana çıkarmak için öncelikle kentsel sit ve tarihi sit alanı olan kent merkezinde özellikle Isparta Valiliği etrafında ki ada kullanımında yoğun araç trafiğinden kaynaklı tarihi dokunun yoksunlaşması azaltılmalıdır. Bunun için belirlenen yeni güzergahlarda araç ile ulaşım sağlanarak tarihi kent merkezi yayalaştırılmalıdır.
- Üzüm Çarşısı ve Bedestenin cazibesini arttırmak için buradaki dükkanlar kamulaştırılarak konsept bir çalışma bütününde yeme-içme yerlerinin, alışveriş yerlerinin ve geleneksel satış ürünlerinin bulunduğu açık pazar haline getirilmelidir.
- Tarihi Üzüm Çarşısının algı ölçüsünü düşüren yola bakan cephede iyileştirmeye gidilerek tanıtım levhaları kaldırılmalıdır. Tarihi dokuyu yansıtacak silüeti korunarak ortaya çıkartılmalıdır.
- Mimar Sinan Cami ve Kavaklı Cami etrafında ki açık alan düzenlemelerinde camiye ön plana çıkararak yeşil alan ve oturma alanı düzenlemeleri yapılarak, su öğelerine yer verilmelidir. Firdevs Bey Bedesteni ile Dalboyunoğlu Hamam'ı arasında bulunan restoranlara ait dışarıda ki yeme içme yerleri kaldırılarak yaya geçişi rahatça sağlanmalıdır. Bedestenin çevresinde ki kent kimliği ile uyumsuz balık figürleri vs. kaldırılarak tarihi bedesten ön plana çıkartılmalıdır.
- Tarihi kent merkezinde bulunan diğer camiler, kiliseler, türbeler ve çeşmelerin de restorasyon, bakım ve onarım çalışmaları yürütülmelidir. Çevre düzenlemelerinin yapısal kimlikle uyumlu olmasına ve bütünlük sağlamasına dikkat edilmelidir. Aynı zamanda turizm açısından önemli potansiyele sahip olan bu yapılar, turizm ve kültür rotaları gibi çalışmalara dahil edilmelidir.
- Kent merkezi sit alanlarında tarihi dokuyu yansıtan yer döşemesi kullanılarak, tarihi görünüm ile uyumlu yaya yolları oluşturulmalıdır. Kent mobilyaları ve aydınlatma elemanları yeterli sayıda, birbiri ve kent kimliği ile uyumlu, bütünlük oluşturacak şekilde uygun yerlerde az sayıda kullanılmalıdır.
- Isparta kent merkezinde bulunan tescilli yapıların korunması, restorasyon çalışmalarının yürütülmesi ve kente kazandırılması ile ilgili çalışmalar hızlandırılmalıdır. Tescilli yapıların etrafında yoğunluk artırıcı kullanımlar ve yapılaşmalar engellenmelidir.
- Tarihi sokakların ve yapıların yakın çevresinde ki yapılaşmanın kimlik değerlerini koruyan, yansıtan ve açığa çıkaran yasal düzenlemeler geliştirilmelidir.
- Kent kimliğini yansıtan tescilli evler Isparta kültürel mirası oldukları için kamulaştırılarak restorasyon çalışmaları yapılmalı veya bakım ve onarım çalışmaları için ev sahipleri bilinçlendirilerek ve teşvik edilerek gereken mali yardımlar sağlanmalıdır.
- Tarihi evlerin ve sokakların bütüncül ilişkilendirildiği ihtiyaca yönelik kullanımların sağlandığı, butik otel, atölye, sanat evleri gibi pek çok amaçla kullanıma açılan kültür yerleri haline getirilmelidir.
- Kent merkezinden uzakta bulunan atıl durumda ki tescilli evlerin de kente geri kazandırılması için yasal adımlar atılarak restorasyon çalışmaları yürütülmelidir.
- Kent kimliğini koruyan güvenilir kentsel mekânların oluşması için tescilli evlerin bulunduğu sokaklardaki yapılaşma biçimi korunarak ve yerel malzeme kullanımı ile sokak iyileştirilmeleri yapılmalıdır.

- Kentsel tasarım ve kentsel dönüşüm çalışmalarında kentin kimliğini koruyan, bu yönde tarihi kent merkezi ile yeni kent oluşumu arasında bağlantı sağlayan bütüncül mekansal planlama kararları alınmalıdır.
- Isparta kenti doğal ve kültürel kimlik değerlerini kent ekonomisine dahil eden planlama kararlarına yer verilmeli. Kültürel turizm kapsamında Isparta evleri sokak rotası oluşturularak kentin istihdam alanının gelişmesine ve kentin ekonomik gelir artışına katkı sağlanmalıdır.
- Tarihi bir değeri olmayan ancak kent kimliği ile bütünleşen Süleyman Demirel anıtı, Gülcü Baba heykeli, Karpuz çeşmesi gibi değerlerin etrafında kentsel tasarım çalışmaları yapılırken vurgulayıcı nitelik göz önünde bulundurulmalıdır. Kent tarihi ile ilişkili olmayan yapı objeleri tarihi kent merkezinden kaldırılmalıdır. Isparta halısının unutulmaması için halı motiflerine benzer dikey bahçe tasarımları yapılmalıdır.
- Isparta kentinin marka değerinin artması ve imajın oluşması için doğal ve kültürel kimlik değerlerinin korunması yönünde fon ve bütçe sağlanmalıdır.

Sonuç olarak, doğal ve kültürel kimlik değerleri açısından zengin olan Isparta kentinin unutulmuş veya kaybolmaya yüz tutmuş değerlerinin korunması, geliştirilmesi, sürdürülebilirliğinin sağlanması, hem ulusal hem yerel kalkınma ve gelişim için önemlidir.

Yazar katkısı

Author contribution

Yazarlar makaleye; fikrin oluşturulması, kaynak temini, veri toplama, literatür taraması, programların kullanılması, yazım ve eleştirel inceleme yönünden eşit katkıda olduklarını beyan etmişlerdir.

Etik beyanı

Declaration of ethical code

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

Çıkar çatışması beyanı

Conflicts of interest

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar

References

- Aliağaoğlu, A., & Mirioğlu, G. (2020). Balıkesir kent kimliği. *International Journal of Geography and Geography Education*, (42), 374-399. <https://doi.org/10.32003/igge.736051>
- Altuğ, T. İ. (2010). *Kentsel tasarımda fiziksel kent kimliği kodlarının oluşturulması: İzmir Konak ilçesi* [Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Arabulan, S. (2015). *Kentsel dönüşüm kapsamında kimliğin yeniden kazanımı: Edirne- Karaağaç örneği* [Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Bal, H., Aygül, H. H., Oğuz, Z. N., & Uysal, M. T. (2012). Göçle gelenlerin toplumsal sorunları (Isparta örneği). *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 2012(27), 191-210.
- Birlik, S. (2006). *Tarihi çevrelerde kentsel kimlik – değişimin eşik analizi: Trabzon'da Bir Deneme* [Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Biröl, G. (2007). Bir kentin kimliği ve kervansaray oteli üzerine bir değerlendirme. *Arkitekt Dergisi*, 514(1), 46-54.
- Böcüzade, S. S. (1983). *Kuruluşundan bugüne kadar Isparta tarihi*. Serenler Yayını.
- Bulut, Y., & Atabeyoğlu, Ö. (2010). Kent planlamasında peyzaj mimarlarının yeri ve önemi. *III. Ulusal Karadeniz Ormanlık Kongresi* (ss. 1494-1503), Artvin.

- Ceylan, S., & Demirkaya, H. (2009). Kış turizmine bağlı olarak gelişen bir kırsal yerleşme: Çobanisa Köyü (Isparta). *Doğu Coğrafya Dergisi*, 14(21), 79-94.
- Çelik, E., & Türk, A. (2021). Kentsel koruma politikaları kapsamında Isparta tarihi kent merkezi kimliğinin sürdürülebilirliği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 676-685. <https://doi.org/10.31590/ejosat.906611>
- Çeliker, D., & Genç, M. (2019). Isparta evlenme adetleri. *Art-e Sanat Dergisi*, 12, 172-185.
- Çetin, S. (2007). Cumhuriyet dönemi yapılarının korunma sorunları: Isparta'dan üç örnek yapı. *Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu* (ss. 147-158), Hatay.
- Çetin, S. (2011). Dönüşüm sürecinin tarihi kent merkezleri üzerine etkileri: Isparta örneğinde bir inceleme. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 27(2), 185-199.
- Çöl, Ş. (1998). *Kentlerimizde kimlik sorunu ve günümüz kentlerinin kimlik derecesini ölçmek için bir yöntem denemesi* [Doktora Tezi, Mimar Sinan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Demir, C. (2006). Kent kimliği geliştirme sürecinde mekânsal model tasarımı ve kent plancılarının rolü. *Planlama Dergisi*, 3, 117-122.
- Durgun, A. (2007). Isparta turizminin SWOT analizi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 3(5), 93-109.
- Ertürk, T. (1996). *Şehir kimliği: Amasya örneği* [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Genç, M., & Güner, Ş.T. (2000). Isparta'da yeni saptanan doğal bir anıt kestane (*Castanea sativa* Mill.) meşçeresi. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, (24), 37-44.
- Göde, H. A., & Tatlıcan, N. (2016). Geleneksel Isparta ekmeği etrafında şekillenen somut olmayan kültürel mirasın turistik, eğitimsel ve ekonomik işlevlerinin yaratılmasına yönelik yaklaşımlar. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (38), 125-143.
- Gül, A. (2000). Peyzaj-insan ilişkisi ve peyzaj mimarlığı. *Turkish Journal of Forestry*, 1(1), 97-114.
- Gül, A., & Küçük, V. (2009). Kentsel açık-yeşil alanlar ve Isparta kenti örneğinde irdelenmesi. *Turkish Journal of Forestry*, 2(1), 27-48.
- Gül, A., Dinç, G., & Aydemir, Ç. (2023). Evaluation Of Open Green Areas Within The Scope Of Urban Quality Of Life: The Case Of Isparta City Center. *TeMA - Journal of Land Use, Mobility and Environment*.
- Gül, A., Keleş, E., Uzun, Ö. F., & Türker, H. B. (2016). Davraz kayak merkezi'nin Isparta kentine çok yönlü etkileri. *International Winter Cities Symposium (IWCS)* (pp. 1216-1231), Erzurum.
- Isparta İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü (t.y.1). *Isparta*. <https://isparta.ktb.gov.tr/TR-71016/isparta.html>
- Isparta İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü (t.y.2). *Jeolojik yapı*. <https://isparta.ktb.gov.tr/TR-71017/jeolojik-yapi.html>
- Isparta İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü (t.y.3). *Toprak yapısı ve nitelikleri*. <https://isparta.ktb.gov.tr/TR-71023/toprak-yapisi-ve-nitelikleri.html>
- Isparta İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü (t.y.4). *Davraz Dağı kültür ve turizm koruma ve gelişim bölgesi*. <https://isparta.ktb.gov.tr/TR-165310/davraz-kayak-merkezi.html>
- Isparta İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü (t.y.5). *Prof. Dr. Turan Yazgan halı ve kilim müzesi*. <https://isparta.ktb.gov.tr/TR-162907/prof-dr-turan-yazgan-hali-ve-kilim-muzesi.html>
- Isparta İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü (t.y.6). *Ekonomik yapı*. <https://isparta.ktb.gov.tr/TR-71027/ekonomik-yapi.html>
- Isparta Valiliği (t.y.). *Isparta merkez*. <http://isparta.gov.tr/merkez-ilce>
- Isparta Valiliği İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü (2009). *Isparta kültür envanteri*. Bahçivanlar Basım Sanayi.

- Kabataş, E., & Kiper, T. (2021). Kırsal yerleşimlerin doğal ve sosyo-kültürel peyzaj değerlerinin belirlenmesi: Kırklareli Kocayazı ve Kula Köyü örneği. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 11(3), 2328-2341. <https://doi.org/10.21597/jist.887921>
- Kancıoğlu, M. (2005). Çevresel imaj, kimlik ve anlam kapsamında turizm binalarına ilişkin kullanıcı değerlendirmeleri. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 10(2), 49-62.
- Karakaya Aytin, B., Ertin, D.G., & Özyavuz, M. (2016). Kent Kimliğinin Edirne Kaleiçi Yerleşim Alanı Özelinde Değerlendirilmesi. 4. *Uluslararası Kentsel ve Çevresel Sorunlar ve Politikalar Kongresi (INTERCONURBEN)* (ss. 81-102), İstanbul.
- Kaypak, Ş. (2010). Antakya'nın kent kimliği açısından irdelenmesi. *Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 7(14), 373-392.
- Köse, D. (2018). Isparta Tarihi Kent Merkezi İçin Sağlıklılaştırma Önerisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Kurumsal İletişim Araştırma ve Uygulama Merkezi*, Tümü, ISBN: (ULUSAL).
- Köylü, P., & Kiper, T. (2007). Kent Kimliğini Oluşturan Değerler ve Kimliksizleşme Üzerine Örneklemeler. *Peyzaj Mimarlığı*, 3, 42-49.
- Lynch, K. (1960). *The Image of the City*. London: *The M.I. T. Press*.
- Mısırlı, N., Kiper, T., & Korkut, A. (2019). Doğal ve kültürel kent kimliklerinin belirlenmesi: Edirne ili Karaağaç Mahallesi örneği. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 21(1), 52-65. <https://doi.org/10.24011/barofd.460577>
- Ocakçı, M. (1995). Şehir Kimliği ve Çevre İlişkileri, Kent ve Çevre Planlamaya Ekolojik Yaklaşım. 17. *Dünya Şehircilik Günü Kolokyumu*, 163, 170.
- Ocakçı, M., & Türk, M.A. (2012). Kentsel kimlik. M. Ersoy (Ed.), *Kentsel Planlama*, Ansiklopedik Sözlük İçinde, (s. 226-228). İstanbul: Ninova
- Oğurlu, I. (2014). Çevre-kent imajı-kent kimliği-kent kültürü etkileşimlerine bir bakış. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 13(26), 275.
- Onay, B., Topay, M., Şahin, C.K. & Mirza, E. (2019). Isparta'da Yaşayan Üniversite Öğrencilerinin "Kent İmajı" Algısının Değerlendirilmesi. *Mimarlık, Planlama ve Tasarım*, 73.
- Özkartal, Z. (2015). Bir kültürel mirasımız "Isparta Yıllankırkan Çeşmesi". *Akdeniz Sanat*, 8(15), 26-36.
- Özkök, M.K. (2016). Planlama Öğrencileri Gözünden Kent Kavramına Yönelik Bir Değerlendirme. 8. *Kasım Dünya Şehircilik Günü 8. Türkiye Şehircilik Kongresi*, Ankara
- Sağlık, E., & Kelkit, A. (2019). Kentsel kimlik bileşenlerinin kent kullanıcıları tarafından belirlenmesi: örnek kent Çanakkale. *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5(1), 63-79.
- Sargin, S. (2005). Isparta'da kentsel koruma. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 10(14), 251-281.
- Sezik, M. (2016). Kent kimliğinin korunması ve kentsel gelişimin sağlanması bağlamında yerel yönetimin önemi: Adıyaman örneği. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 6(2), 43-56.
- Solak, S.G. (2014). *Mekân-kimlik etkileşimi ve kentsel mekandaki tezahürleri* [Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü].
- Sökmen, S. (2015). Isparta Gönen Yöresi Evlenme Âdetlerinde Geleneksel Tekstiller. *Journal of International Social Research*, 8(36).
- Şahin, E., Dostoğlu, N., 2007. Kentsel Mekân Tasarımında Doğal Verilerin Kullanımı. *Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi*, 12(1), 29-40
- Tolunay, A., Alkan, H., & Korkmaz, M. (2004). Isparta tarihi Ayazmana Mesireliği'nin açık hava rekreasyonu açısından kullanıcı özellikleri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(1), 59-70.

- Turgut, H., Yavuz Özalp, A., & Erdoğan, A. (2012). Artvin ilinde doğal çevrenin kent kimliğine etkileri. *Turkish Journal of Forestry*, 13(2), 172-180. <https://doi.org/10.18182/tjf.56769>
- Türk Dil Kurumu (2011). *Türkçe sözlük* (11. Baskı). Türk Dil Kurumu.
- Türk, A. (2009). Isparta kent merkezinde bulunan tescilli konutların özellikleri, koruma sorunları ve değerlendirme önerileri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(2), 274-283.
- Türk, A., & Öçal, H. (2009). Isparta kenti konut dışı sivil mimari yapıları ve özellikleri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(1), 38-47.
- Türkiye Nüfusu İl İlçe Mahalle Köy Nüfusları (2022). *Isparta Merkez Nüfusu*. Erişim adresi: <https://www.nufusune.com/merkez-ilce-nufusu-isparta>
- Yazıcı, N., Dönmez, Ş., & Kuş Şahin, C. (2014). Isparta kenti peyzaj düzenlemelerinde kullanılan bazı bitkilerin kurakçıl peyzaj tasarımı açısından değerlendirilmesi. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 14(2), 199-208.

Clustering of countries according to programme for international student assessment (PISA) scores

Uluslararası Öğrenci Değerlendirme Programı skorlarına göre ülkelerin kümelenmesi

Çağlar SÖZEN*¹ , Hasan BULUT² 

¹Giresun University, Görele School of Applied Sciences, Department of Finance and Banking, 28800, Giresun

²Ondokuz Mayıs University, Faculty of Science, Department of Statistics, 55200, Samsun

• Received: 03.05.2023

• Accepted: 22.01.2024

Abstract

This study aims to cluster 65 countries based on PISA results. In the study, PISA results (Science-Mathematics-Reading) published by OECD in 2015 and 2018 were used. The main purpose of the analysis is to apply cluster analysis using a multivariate data structure to identify similarities and differences in education systems between countries. In this analysis, the k-means method and the hierarchical clustering algorithm were used to group countries into specific groups, so that countries with similar educational performance were included in the same cluster. In addition, Dunn, Connectivity and Silhouette indexes were used to increase the reliability of the analysis and to determine the optimal number of clusters. According to the validation indexes, k-means method with $k = 2$ was used for 2015 PISA scores while hierarchical clustering algorithm with $k = 2$ was used for 2018 PISA scores. In 2015, Turkey was the only country that changed clusters between the countries clustered according to their PISA scores and the countries clustered according to their PISA scores in 2018, and the reasons for this change were discussed. It is also observed that Turkey was in Cluster-1 in 2015, which includes countries with lower performance, and in Cluster-2 in 2018, which includes countries with higher performance. The clustering methods and indexes used provide a more robust and informed interpretation of the results obtained and make an important contribution to understanding the education systems of countries based on PISA results and grouping countries with similar performance.

Keywords: Cluster analysis, Education performance, PISA scores

Öz

Bu çalışma PISA sonuçlarına dayanarak 65 ülkeyi kümelemeyi amaçlamaktadır. Çalışmada OECD tarafından 2015 ve 2018 yıllarında yayımlanan PISA sonuçları (Fen-Matematik-Okuma) kullanılmıştır. Analizin temel amacı, ülkeler arasındaki eğitim sistemlerindeki benzerlikleri ve farklılıkları belirlemek üzere çok değişkenli bir veri yapısı kullanılarak kümeleme analizi uygulamaktır. Bu analizde, k ortalamlar yöntemi ve hiyerarşik kümeleme algoritması kullanılarak ülkeler belirli gruplara ayrılmış ve bu sayede benzer eğitim performansına sahip ülkeler aynı kümeye dahil edilmiştir. Ayrıca, analizin güvenilirliğini artırmak ve en uygun küme sayısını belirlemek amacıyla Dunn, Connectivity ve Silhouette İndeksleri kullanılmıştır. Küme geçerlilik endekslerine göre, 2015 PISA puanları için $k=2$ ile k-ortalamlar yöntemi kullanılırken, 2018 PISA puanları için $k=2$ ile hiyerarşik kümeleme algoritması kullanılmıştır. 2015 yılında PISA puanlarına göre kümelenen ülkeler ile 2018 yılında PISA puanlarına göre kümelenen ülkeler arasında küme değiştiren tek ülkenin Türkiye olduğu görülmüş ve bunun nedenleri tartışılmıştır. Ayrıca Türkiye'nin 2015 yılında daha düşük performanslı ülkelerin yer aldığı Küme-1'de olduğu 2018 yılında ise daha yüksek performanslı ülkelerin yer aldığı Küme-2'de yer aldığı görülmektedir. Kullanılan kümeleme yöntemleri ve indeksler, elde edilen sonuçların daha sağlam ve bilinçli bir şekilde yorumlanmasını sağlayarak, PISA sonuçlarına dayalı olarak ülkelerin eğitim sistemlerini anlama ve benzer performansa sahip ülkeleri gruplama konusunda önemli bir katkı sunmaktadır.

Anahtar kelimeler: Kümeleme analizi, Eğitim performansı, PISA skorları

*Çağlar SÖZEN; caglar.sozen@giresun.edu.tr

1. Introduction

PISA (Programme for International Student Assessment) is an international student assessment program that measures the abilities and knowledge levels of 15-year-old students in mathematics, reading, and science. The program compares the performance of education systems in different countries worldwide and provides recommendations for improvement. PISA also plays an important role in determining global education trends and shaping education policies. The study, conducted every three years, allows for the examination of various factors, such as the effectiveness of education systems, student motivation, student experiences, investments in education systems and schools, and economic factors. PISA is considered a leading tool in education and is carried out to contribute to developing countries' education systems and create new policies (Soh, 2012).

Cluster analysis is a data analysis method that aims to group observations based on similar characteristics. This method allows a better understanding of observations, emphasizing different features and identifying similarities. Cluster analysis is applied to different data types and allows for the quick analysis of large amounts of data. As a result, cluster analysis enables a more effective interpretation of data and facilitates the comparison of different data sets (Everitt et al., 2001).

PISA data can be classified by cluster analysis method. Accordingly, it aims to cluster countries by considering the students' mathematics, science, and reading skill levels. Cluster analysis allows a better understanding of PISA data and a comparison of the education systems of different countries. In addition, this analysis can be used in determining countries' education policies. Cluster analysis allows for a more detailed examination of PISA data, highlighting distinctive features that can contribute to the effectiveness of countries' education systems and enhance education for students.

Although there are many studies on PISA in the literature, it has been observed that the number of studies using cluster analysis is not very high. Linnakylä & Malin (2008) tried to determine the profiles of Finnish students by performing cluster analysis using PISA 2003 data. Kjærnsli & Lie (2011) clustered countries according to their similarities using PISA 2006 data. Akın & Eren (2012) examined the education indicators of OECD countries with cluster analysis. Acar (2012) investigated Turkey's position among OECD member and candidate countries according to PISA 2009 results by using the cluster analysis method. Aksu et al. (2017) used a hierarchical clustering approach to determine how the OECD member and other participating countries clustered according to the average scores of self-efficacy, interest and attitude in the PISA 2012 student questionnaire. Mazurek & Mielcová (2019) examined the relationship between 2015 PISA scores and socioeconomic indicators such as GDP, education expenditures, and the democracy index using the k-means method. Ötken & Süslü (2020) examined Turkey's position among OECD member and candidate countries according to PISA 2012 results in terms of mathematics achievement scores by clustering and discriminant analysis. Güler & Veysikarani (2022) clustered 37 countries in the OECD community by taking into account their socio-economic and 2018 PISA scores.

The aim of this study is to classify countries into homogeneous groups based on their PISA scores obtained in 2015 and 2018. For clustering, the k-means method and the hierarchical clustering algorithm were used, while Dunn, Silhouette and Connectivity indexes were used to determine the optimum number of clusters.

2. Cluster analysis

In this study, countries were categorized into homogeneous groups according to their PISA scores using k-means and hierarchical clustering algorithms.

Clustering Analysis is a multivariate statistical analysis that aims to group units according to their similarities. Homogeneity within the cluster and heterogeneity between clusters is desired. In other words, cluster analysis divides similar groups into any data set into clusters that are homogeneous and different from other groups. In addition, it is aimed to have a lot of dissimilarity between groups (Çilgin & Kurt, 2021).

Clustering algorithms play an important role in the context of data analytics and mining. Hierarchical clustering algorithms can aggregate data points without the need for an initial number of clusters. This method functions by creating clusters based on similarities and ranking these clusters in a hierarchical structure. The results obtained through dendrograms offer a valuable perspective to understand the overall organization of the

dataset. On the other hand, non-hierarchical clustering algorithms work with an initial set number of clusters and group data points based on this parameter, which is usually set by the user (Bulut, 2023).

2.1. k-means algorithm

The k-means algorithm's first step is determining the number of clusters. The aim is to divide the data set of n units into k clusters given as input parameters. This method aims to minimize the sum of squares of the intra-cluster distances from the cluster center of the observations in the clusters or groups obtained from the data set. Within the clusters, similarity will be high, and similarity between clusters will be low (Linnakylä & Malin, 2008).

The k-means algorithm is expressed as follows (Bulut, 2019).

- I. Random selection of starting centroids: The algorithm chooses k centroids to split the data.
- II. Assigning data to centroids: Each data point is assigned to the nearest centroid.
- III. Recalculation of centroids: Each centroid is recalculated as the average vector of data points in the same cluster.
- IV. Steps 2 and 3 are repeated until the k centroids are stable and the data are correctly distributed over their clusters.

2.2. Hierarchical clustering algorithm

The hierarchical method evaluates the similarity of all data objects in a cluster with the cluster center. This center is called $\text{Sim}(C)$ and is the sum of the cosine similarities for each data object d with the center c in cluster C . The process of selecting pairs of clusters to be merged is performed by identifying pairs of clusters that show small differences in similarity.

The hierarchical algorithm is expressed as follows (Begum et al., 2016).

- I. In the first step, N clusters are created for N items, initializing each item as a cluster. The distance between items in each cluster is called the distance between clusters.
- II. Clusters close to each other are identified and merged into a single cluster, reducing the number of clusters by one.
- III. The distances between the newly created cluster and the old clusters are calculated.
- IV. Steps 2 and 3 are repeated so that all items are merged into a single cluster and the final cluster is of size N .

2.3. Cluster validity indexes

Cluster validity indexes are used to evaluate the number of clusters and to decide whether the number of clusters is optimal. The correct determination of the number of clusters suitable for the data shows the success of the index used in determining the number of clusters.

2.3.1. Dunn index

The Dunn index is calculated by dividing the smallest distance of the units from the units in other groups with the largest distance between the units in the group (Bulut, 2019; Bulut, 2023).

$$D(C) = \frac{\min_{\substack{x_i \in C_{m_1}, m_1 \neq m_2 = 1, 2, \dots, k \\ x_j \in C_{m_2}}} d(x_i, x_j)}{\max_{x_i, x_j \in C_m, m=1, 2, \dots, k} d(x_i, x_j)} \quad (1)$$

The Dunn index takes values from zero to infinity. A larger value of the Dunn index indicates that the clustering result is optimum (Brock et al., 2008; Bulut et al., 2017).

2.3.2. Connectivity index

The value of the Connectivity index provides an approximation that shows an increase when the closest observations to a given point are in a different cluster. We can define $nni(j)$ as the j th closest neighbor to the i th observation. Connectivity index is defined as in Equation 2.

$$\text{Conn}(C) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^L x_{i,nn_{i(j)}} \quad (2)$$

Here, L is a parameter determining how many neighbors to consider. $x_{i,nn_{i(j)}}$ is defined as $\{0, \text{ if } i \text{ and } nn_{i(j)} \text{ are in the same cluster; } 1, \text{ if } i \text{ and } nn_{i(j)} \text{ are in different clusters}\}$, and it is calculated for each observation. Therefore, the connectivity index varies from zero to infinity for each observation, and it is desired to be minimized (Bulut, 2023).

2.3.3. Silhouette width index

Silhouette width index is the average of the silhouette values for each observation. The silhouette value of the i th observation is given in Equation 3.

$$S(i) = (b_i - a_i) / \max(a_i, b_i) \quad (3)$$

Where a_i is the average of the distances between observations in the same cluster as the i th observation. The distances $d(x_i, C_j)$ are calculated for all clusters. The smallest of the distances is taken as b_i . Silhouette index takes values in the range $[-1, 1]$ and is desired to be maximum (Bulut, 2023).

3. Application

The data set used in this study consists of the PISA results published by the OECD in 2015 and 2018 for 65 countries (OECD, 2021), and it is aimed to cluster the countries in line with these results. Countries that applied for PISA in both years were included in the study. The R programming language was used in the study. In clustering analysis, k-means algorithm, which is one of the non-hierarchical clustering methods, and hierarchical clustering algorithm were used. Dunn, Silhouette and Connectivity indexes were used to decide the optimum number of clusters.

According to Table 1 and Figure 1, Connectivity and Silhouette indexes selected k-means method as the optimum clustering method with $k = 2$. Dunn index, on the other hand, determined the hierarchical clustering algorithm as $k = 11$ as the optimum clustering method. Accordingly, considering the majority rule, k-means method was used for 2015 PISA scores with $k = 2$. Similarly, according to Table 2 and Figure 2, Connectivity and Silhouette indexes selected the hierarchical clustering algorithm as that the optimum clustering method with $k = 2$. Dunn index, on the other hand, determined the hierarchical clustering algorithm as $k = 4$ as the optimum clustering method. Accordingly, considering the majority rule, hierarchical clustering algorithm was used for 2018 PISA scores with $k = 2$. The optimum values are shown in bold in Table 1 and Table 2.

Table 1. Determining the number of clusters for PISA 2015 scores

Cluster number	Hierarchical clustering			k-means clustering		
	Connectivity	Dunn	Silhouette	Connectivity	Dunn	Silhouette
k=2	5.5718	0.1052	0.6326	1.8944	0.1464	0.6514
k=3	10.496	0.164	0.5912	14.0623	0.1062	0.5395
k=4	13.5917	0.1826	0.4811	12.9996	0.0797	0.4778
k=5	17.4413	0.1838	0.3644	26.752	0.1426	0.4332
k=6	19.7329	0.1838	0.3512	29.0437	0.1798	0.4249
k=7	28.8627	0.1445	0.3365	32.6119	0.1623	0.4116
k=8	37.5321	0.1857	0.3362	40.4048	0.0908	0.3679
k=9	43.998	0.2037	0.3494	47.3488	0.1826	0.3656
k=10	50.0901	0.2229	0.345	49.919	0.2168	0.3767
k=11	52.152	0.2384	0.3327	53.4611	0.131	0.3531
k=12	53.3365	0.2384	0.319	57.4258	0.131	0.3494
k=13	56.7194	0.2384	0.3097	67.5524	0.1778	0.3209
k=14	59.5028	0.2384	0.3037	70.1357	0.1919	0.3188
k=15	62.0028	0.2384	0.2954	72.6357	0.1941	0.3106

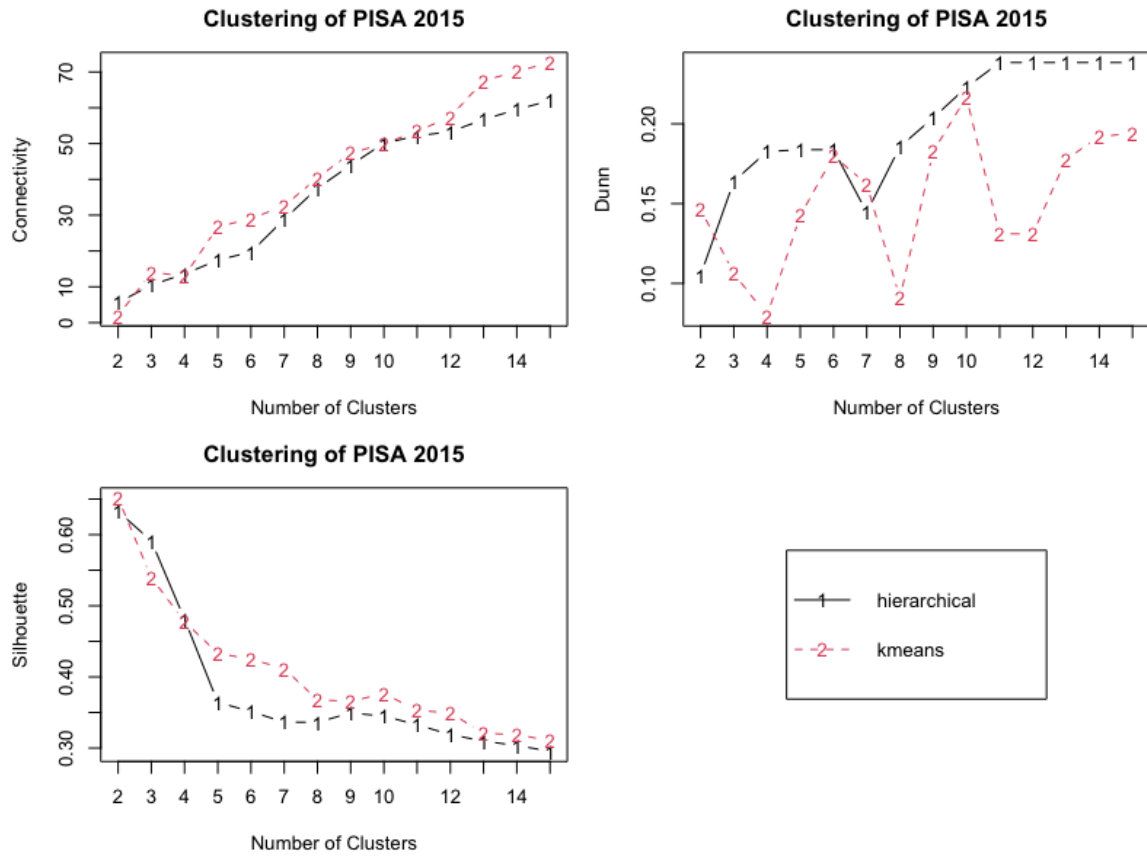


Figure 1. Determining the optimum cluster number for PISA 2015 scores

Table 2. Determining the number of clusters for PISA 2018 scores

Cluster number	Hierarchical clustering			k-means clustering		
	Connectivity	Dunn	Silhouette	Connectivity	Dunn	Silhouette
k=2	1.0595	0.1598	0.6522	3.9111	0.0902	0.6499
k=3	4.2385	0.1598	0.5997	15.5377	0.0609	0.5492
k=4	8.2214	0.2572	0.5625	13.7159	0.0947	0.4644
k=5	13.973	0.2175	0.5184	22.9619	0.0947	0.4155
k=6	18.294	0.1495	0.464	23.3762	0.0901	0.456
k=7	21.148	0.1495	0.374	41.0544	0.0901	0.3765
k=8	23.148	0.1495	0.343	35.05	0.1995	0.3958
k=9	26.2476	0.1495	0.2924	39.9218	0.2188	0.3854
k=10	34.6722	0.1611	0.354	45.2103	0.1201	0.3679
k=11	40.5313	0.2188	0.3356	47.2103	0.1201	0.3511
k=12	42.9758	0.2188	0.3304	51.9155	0.1507	0.3482
k=13	45.9655	0.2188	0.3157	54.9052	0.1507	0.3367
k=14	52.4754	0.2455	0.3058	57.3246	0.1507	0.3319
k=15	57.5964	0.2504	0.3072	58.6357	0.1507	0.3144

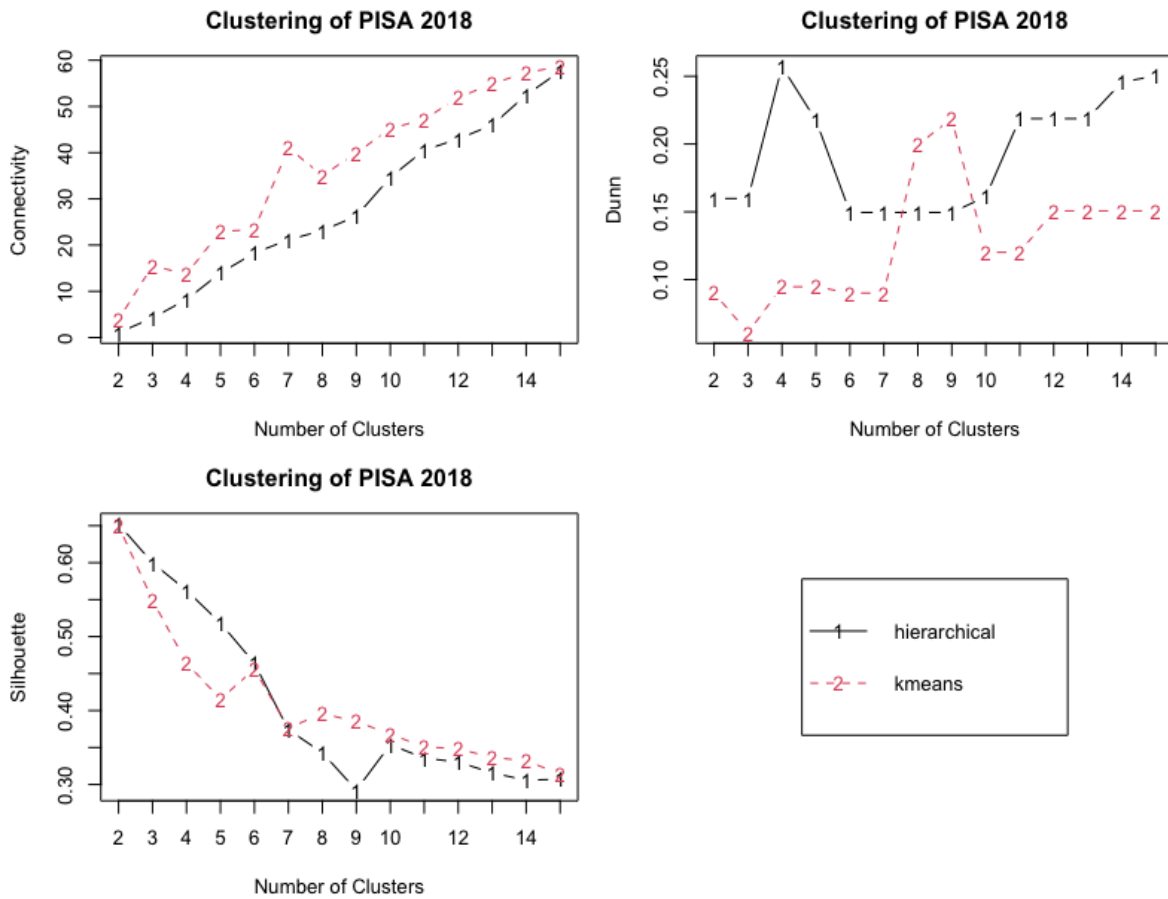


Figure 2. Determining the optimum cluster number for PISA 2018 scores

Accordingly, Table 3 shows the countries in the clusters formed according to the clustering analyses conducted for 2015 and 2018. According to Table 3, Turkey is the only country that changed clusters among all countries with regard to PISA performance from 2015 to 2018. For this reason, we can say that all countries except Turkey maintained their current position and performance. Therefore, how should Turkey's relocation be evaluated in terms of PISA performance? To answer this question, comparing the 2015 and 2018 PISA Reading, Science, and Mathematics scores of these clusters is necessary.

Table 3. Clustering of countries according to optimum methods

Cluster no	PISA 2015	PISA 2018
1	Albania, Argentina, Brazil, Bulgaria, Chile, Colombia, Costa Rica, Cyprus, Dominican Republic, Georgia, Indonesia, Jordan, Kazakhstan, Kosovo, Lebanon, Malaysia, Mexico, Moldova, Montenegro, North Macedonia, Peru, Qatar, Romania, Thailand, Turkey , United Arab Emirates, Uruguay	Albania, Argentina, Brazil, Bulgaria, Chile, Colombia, Costa Rica, Cyprus, Dominican Republic, Georgia, Indonesia, Jordan, Kazakhstan, Kosovo, Lebanon, Malaysia, Mexico, Moldova, Montenegro, North Macedonia, Peru, Qatar, Romania, Thailand, United Arab Emirates, Uruguay
2	Australia, Austria, Belgium, Canada, China, Croatia, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hong Kong, Hungary, Iceland, Ireland, Israel, Italy, Japan, Korea, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, Netherlands, New Zealand, Norway, Poland, Portugal, Russia, Singapore, Slovak Republic, Slovenia, Sweden, Switzerland, United Kingdom, United States	Australia, Austria, Belgium, Canada, China, Croatia, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hong Kong, Hungary, Iceland, Ireland, Israel, Italy, Japan, Korea, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, Netherlands, New Zealand, Norway, Poland, Portugal, Russia, Singapore, Slovak Republic, Slovenia, Sweden, Switzerland, Turkey , United Kingdom, United States

For this comparison, boxplot graphs were drawn for Reading, Science and Mathematics scores in 2015 and 2018 PISA exams. The graphs for 2015 are given in Figure 3 and the results for 2018 are given in Figure 4. Accordingly, in both graphs, the Reading, Science and Mathematics performances of the countries in Cluster-

2 are by far higher than those of the countries in Cluster-1. As a result, while Turkey was in Cluster-1, which included countries with lower performance in 2015, in 2018 when Turkey moved to Cluster-2, which included countries with higher performance, and showed that it was more successful.

Table 4 summarises the averages of each cluster for PISA 2015 and 2018 scores and Turkey's scores in the respective years.

Table 4. Mean of clusters' PISA scores

Cluster no	PISA 2015			PISA 2018		
	Reading	Mathematics	Science	Reading	Mathematics	Science
1	411.0356	406.7407	416.5362	404.6183	407.3462	411.4323
2	497.4189	499.8158	499.8256	494.7528	501.1795	497.3504
Türkiye	428.3351	420	425.4895	465.6317	454	468.2996

According to Table 4, in 2015, Turkey scored slightly above the average of Cluster-1, but it was still quite close to the center of Cluster-1. Looking at the 2018 PISA scores, Turkey's scores are now significantly higher than the average of Cluster-1 in all tests and closer to the average performance of Cluster-2 than in 2015. Therefore, Turkey is now in Cluster-2, although it still has lower scores than the average performance of Cluster-2. It is possible to say that innovations in education policies, improvements in student preparation, and improvements in educational infrastructure have influenced this remarkable change in Turkey's PISA performance.

Despite the rise in 2018, we believe that this rise is not sufficient considering Turkey's young potential. This is thought to be due to Turkey's frequently changing examination systems. Therefore, Turkey's education policies need to be based on a more sustainable, stable and long-term foundation. Consistency in education can help young generations realize their full potential and contribute to the creation of a nationally competitive educational environment.

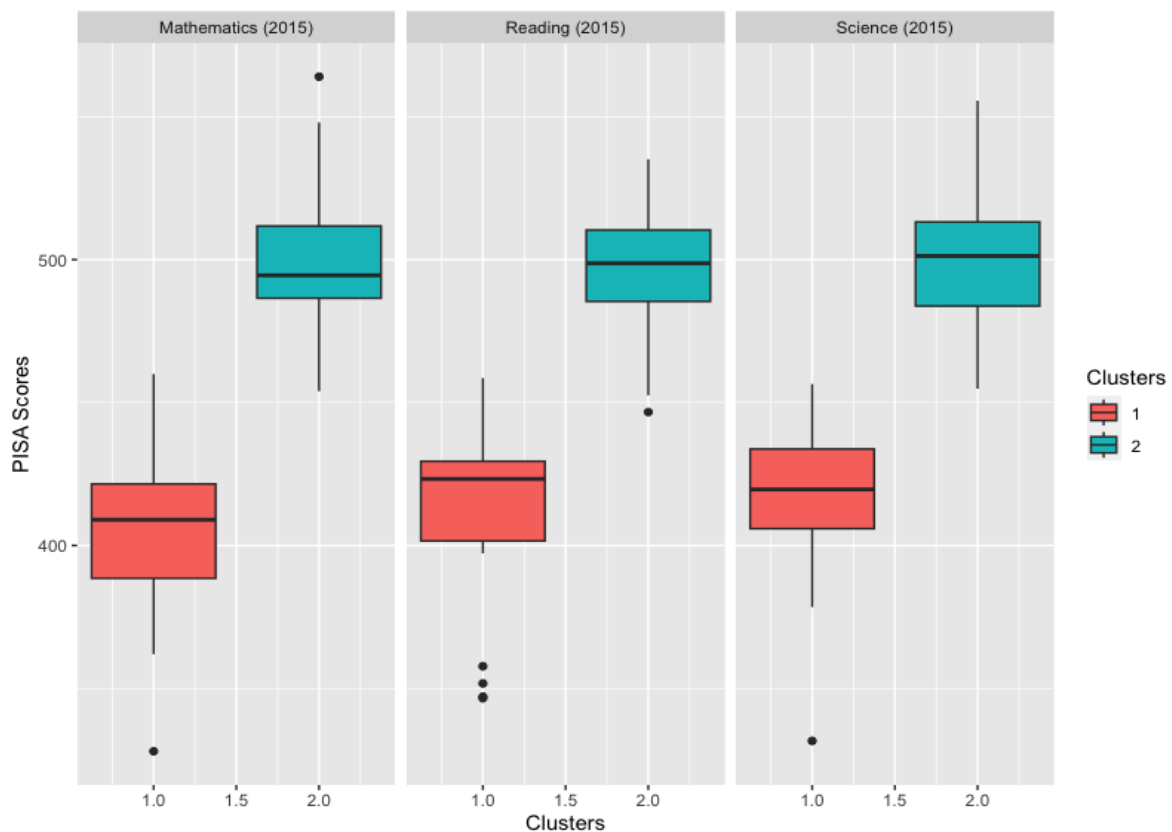


Figure 3. Boxplot graphics of countries' scores according to clustering results based on PISA 2015

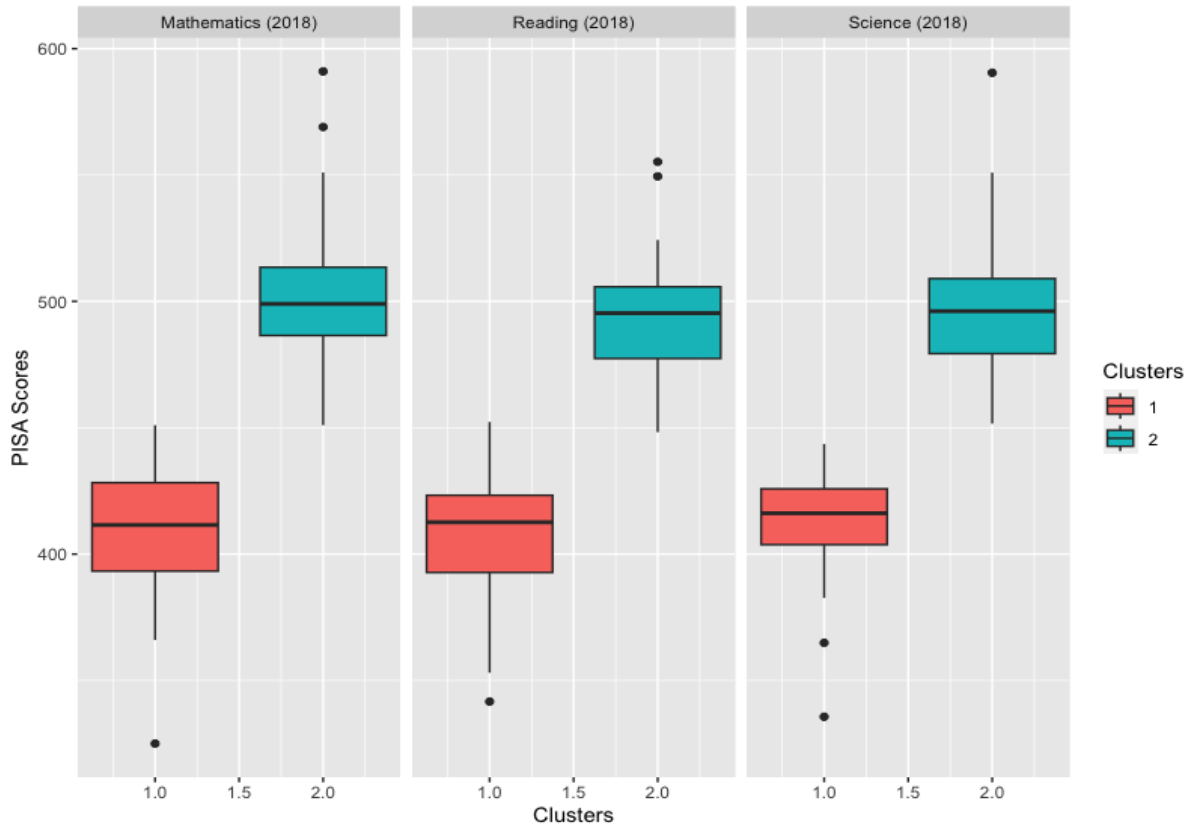


Figure 4. Boxplot graphics of countries’ scores according to clustering results based on PISA 2018

At this stage of the study, the clustering results of the countries in PISA 2015 and 2018 were reflected on the world map. When the map is analyzed, it is seen that all countries except Turkey are in the same clusters. The clustering results for PISA 2015 are given in Figure 5 and the clustering results for PISA 2018 are given in Figure 6. In the relevant graphs, burgundy colors are used for Cluster-1 and blue colors are used for Cluster-2, and countries that did not participate in the PISA exam are highlighted in gray. When Figure 5 and Figure 6 are compared, it is easily seen that Turkey is the only country that changed cluster and color.

PISA 2015

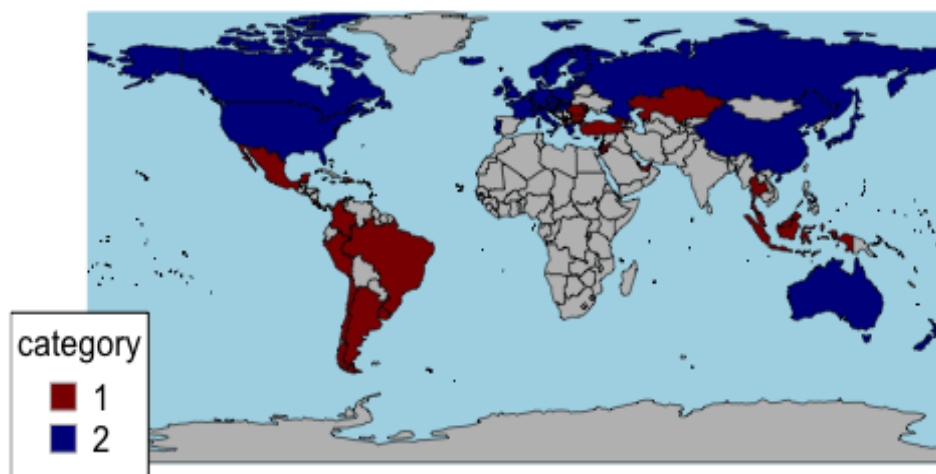


Figure 5. The clustering maps of countries according to 2015 PISA scores

PISA 2018

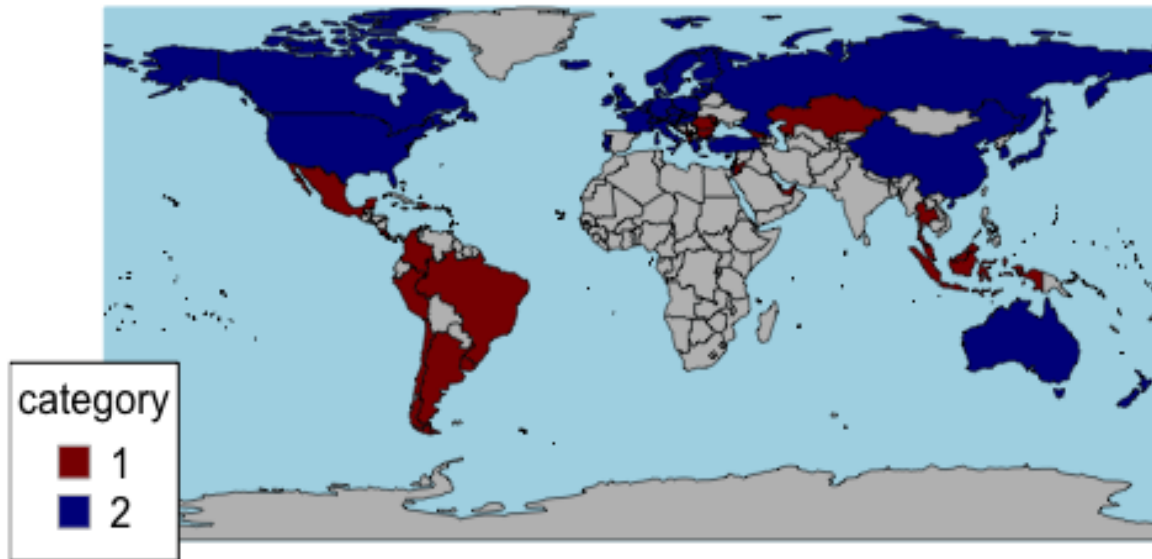


Figure 6. The clustering maps of countries according to 2018 PISA scores

Analyzing geographical patterns in combination with aggregated PISA scores provides insights into the regional dynamics shaping educational achievements and offers further opportunities to explore common challenges or successful strategies among neighboring countries.

4. Discussion and conclusions

PISA is a survey to measure the performance of education systems and can be used to compare students' reading, mathematics and science skills across countries. It is also possible to use the results to analyze the performance of education systems and guide countries' educational reforms.

This study aims to cluster countries into homogeneous groups according to their PISA scores (math-reading-science) in 2015 and 2018. The k-means clustering method, which is one of the most preferred non-hierarchical clustering methods in terms of easy of application, and the hierarchical clustering algorithm were used to classify the countries. In addition, Dunn, Silhouette and Connectivity Indexes were used to determine the optimal number of clusters.

Between 2015 PISA scores and 2018 PISA scores, Turkey was the only country that changed its cluster. All countries except Turkey maintained their current positions. Turkey scored slightly above the Cluster-1 average in 2015, although it was still located quite close to the center of Cluster-1. When 2018 PISA scores are analyzed, Turkey's scores are well above the Cluster-1 average in mathematics, science and reading and closer to the average performance of Cluster-2 than in 2015. Therefore, Turkey is among the successful countries despite having lower scores than the average performance of Cluster-2. The increase in Turkey's PISA performance can be attributed to innovations and improvements in education policies. Despite the rise in 2018, given Turkey's potential, Turkey's education policies need to be based on a stable and long-term foundation in order for this rise to continue.

Like in our study, [Akin & Eren \(2012\)](#) divided OECD countries into 3 basic clusters according to the results of Cluster Analysis and found Turkey as a cluster member alone. According to this result, they found that Turkey is separated from other OECD countries. Their study supports our findings. As we show in our study, they showed that Turkey had a different performance from other countries.

As a result, the cluster analysis of countries based on PISA results is a detailed reflection of a country's education system performance. The analysis clearly identifies countries with successful education systems and

can serve as a model for other countries. This research is expected to contribute significantly to improving the performance of education systems implemented by countries. Identifying successful examples may enable other countries to learn from these successes and improve their own systems. Moreover, determining the optimal number of clusters by using different clustering methods and cluster validity indexes is expected to add depth to education systems research and make a significant contribution to the related literature.

Acknowledgment

We would like to thank the editor and anonymous reviewers for their contributions during the review and evaluation of the manuscript.

Author contribution

The authors contributed equally to the study. Çağlar Sözen undertook the data collection, literature research, and writing of the study, and Hasan Bulut performed the data analysis.

Declaration of ethical code

The authors of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee approval and/or legal-specific permission.

Conflicts of interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

References

- Acar, T. (2012). Türkiye'nin PISA 2009 sonuçlarına göre OECD'ye üye ve aday ülkeler arasındaki yeri. *Kuram ve Uygulamada Eğitim Bilimleri*, 12(4), 2561-2572.
- Akın, H. B., & Özge, E. (2012). OECD ülkelerinin eğitim göstergelerinin kümeleme analizi ve çok boyutlu ölçekleme analizi ile karşılaştırmalı analizi-OECD countries with education indicators comparative analysis of cluster analysis and multi-dimensional scaling analysis. *Öneri Dergisi*, 10(37), 175-181.
- Aksu, G., Guzeller, C., & Eser, M. (2017). Analysis of maths literacy performances of students with Hierarchical Linear Modeling (HLM): The Case of PISA 2012 Turkey. *Eğitim ve Bilim -Education and Science*, 42(191).
- Begum, S. F., Kaliyamurthi, K. P., & Rajesh, A. (2016). Comparative study of clustering methods over Ill-structured datasets using validity indices. *Indian Journal of Science and Technology*, 9(12), 1-6.
- Brock, G., Pihur, V., Datta, S., & Datta, S. (2008). cIValid: An R package for cluster validation. *Journal of Statistical Software*, 25, 1-22.
- Bulut, H. (2019). Türkiye'deki illerin yaşam endekslerine göre kümelenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 23(1), 74-82.
- Bulut, H. (2023). *R Uygulamaları ile Çok Değişkenli İstatistiksel Yöntemler*. Nobel Akademik Yayıncılık.
- Bulut, H., Öner, Y., & Sözen, Ç. (2017). Clustering of Member and Candidate Countries of the European Union. *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research*, 36(7), 18-25.
- Çilgin, C., & Kurt, A. S. (2021). Dış ticaret verileri için kümeleme analizi: Türkiye, Azerbaycan ve Kazakistan örneği. *Sosyoekonomi*, 29(48), 511-540.
- Everitt, B.S., Landau, S., & Leese, M. (2001). *Cluster Analysis* (4th ed.). Arnold.
- Güler, E. Ö., & Veysikarani, D. (2022). Sosyo-ekonomik göstergeler ve PISA skorlarına göre ülkelerin sınıflandırılması: OECD örneği. *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 15(3), 506-522.

- Kjærnsli, M., & Lie, S. (2011). Students' preference for science careers: International comparisons based on PISA 2006. *International Journal of Science Education*, 33(1), 121-144.
- Linnakylä, P., & Malin, A. (2008). Finnish students' school engagement profiles in the light of PISA 2003. *Scandinavian Journal of Educational Research*, 52(6), 583-602.
- Mazurek, J., & Mielcová, E. (2019). On the relationship between selected-socio-economic indicators and student performances in the PISA 2015 study. *Economic*, 12(2), 22-39.
- OECD-Organisation for Economic Co-operation and Development. (2021, May 8). <https://www.oecd.org/pisa/data/>
- Ötken, Ş., & Süslü, A. (2020). Kümeleme ve ayırma analizleri ile PISA 2012'ye katılan öğrencilerin matematik başarıları: Türkiye-Finlandiya karşılaştırması. *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 7(7), 106-117.
- Soh, K. C. (2012). Fifteen-Years-Old Students of Seven East Asian Cities in PISA 2009: A Secondary Analysis. *New Horizons in Education*, 60(1), 83-91.

Gaziantep kent akslarının 100 yıllık değişimi

100-year change of Gaziantep city axes

Zeynep ATAŞ* 

Gaziantep Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 27410, Gaziantep

• Geliş tarihi / Received: 26.09.2023

• Kabul tarihi / Accepted: 05.02.2024

Öz

Bu makale, Gaziantep şehrinin Cumhuriyet Dönemi boyunca kentsel dönüşümünü kent akslarının değişimi üzerinden incelemeyi amaçlamaktadır. Türkiye'nin ulusal kimliğinin şekillenmesine yönelik adımların atıldığı dönemde tarihsel mirası ve ekonomik dinamikleri ile dikkat çeken Gaziantep, yaşadığı kentsel değişimle öne çıkmaktadır. Kent aksları, kentin sosyal, ekonomik ve kültürel alanlarının şehir genelindeki dönüşümünün bir yansımasıdır. Gaziantep şehrinin kent akslarının, Cumhuriyet Dönemi boyunca nasıl bir gelişim gösterdiği ve bu değişikliklerin şehir genelinde hangi etkilere yol açtığı gibi temel sorular, Gaziantep'in Türkiye mimarlığındaki yerini ve kentsel dönüşüm süreçlerini daha iyi anlamamıza yardımcı olacaktır. 1923 yılı öncesinde Gaziantep, kale çevresinde, güvenlik odaklı bir yaşam tarzının etkisi altında, organik gelişen bir kent durumundadır. Kentin güneye yönelen aksları etrafında şekillenen yapılaşmasında; Cumhuriyet dönemi sonrasında, nüfus artışıyla birlikte, yeni yerleşim alanlarına ihtiyaç duyulmuştur. Bu durumda kent gelişimi mevcut mahalleler arasındaki boşlukları doldurarak 1950 yıllarına kadar mevcut sınırları içerisinde devam etmiştir. Kentlerde başlatılan imar düzenlemeleri kapsamında ilk 1938 yılında Gaziantep kenti imar planı hazırlanmıştır. 20. yüzyılın sonlarına doğru kentte yaşanan hızlı nüfus artışı ile imar planlarında tasarlanan alan dışında yoğunluk oluşmuş, ancak 1975 yılından sonra planlı alanlarda yapılaşma görülmeye başlanmıştır. Çalışmada, yeni imar alanlarının belirlenmesi sürecinde tarihi kent merkezinin mevcut akslarının yönlendirici etkisi vurgulanmaktadır. Çalışmanın sonuçlarına göre, tarihi kent merkezi, Gaziantep'in modern bir kent olarak büyümesinde vazgeçilmez bir bileşen olarak görülmelidir. Bu bölge, sadece tarihi ve kültürel bir mirasın taşıyıcısı olmanın ötesinde, modernleşme sürecinin sürdürülebilirliği için önemli bir rol oynamaktadır. Tarihi kentleşme geleneklerinin devamlılığında, Sanayi ve ticaret hayatının merkezinde yeni imar alanlarının geliştiği kentte oluşan aksların, tarihi kent merkezi odak alınarak geleneksel, sosyolojik ihtiyaçlar doğrultusunda geliştiği görülmektedir.

Anahtar kelimeler: Gaziantep, Kent aksları, Kentsel değişim, Türkiye mimarlığı

Abstract

This article intends to explore the urban transformation of Gaziantep city during the Republican period, with a specific focus on its urban axes. Gaziantep, renowned for its historical legacy and economic vitality during a period of significant steps in shaping Turkey's national identity, also distinguishes itself through its urban renewal efforts. Urban axes serve as a reflection of the city's social, economic, and cultural transformation across the urban landscape. Preceding 1923, Gaziantep evolved organically around its castle, reflecting a lifestyle oriented towards security concerns. The city's structuring, primarily aligned with south-oriented axes, witnessed the imperative for residential areas with the surge in population during the Republic period. Subsequently, urban development unfolded within extant borders until the 1950s, bridging gaps between pre-existing neighborhoods. The inaugural zoning plan for Gaziantep was instituted in 1938 as part of citywide zoning initiatives. Despite the population growth towards the 20th century leading to density beyond planned areas, construction within designated zones commenced post-1975. This study underscores the guiding influence exerted by the extant axes of the historical city center in delineating novel zoning areas. The findings underscore the historical city center's indispensability in Gaziantep's evolution into a modern city. Beyond its role as a repository of cultural heritage, this region assumes a pivotal role in ensuring the sustainability of the modernization process. Consistent with historical urbanization traditions, the axes within the city, where new construction areas burgeon at the nexus of industrial and commercial activity, have evolved in tandem with sociological needs, prominently anchored in the historical city center.

Keywords: Gaziantep, City axes, Urban transformation, Turkish architecture

*Zeynep ATAŞ; zeynepatas@gantep.edu.tr

1. Giriş

1. Introduction

Cumhuriyet Dönemi, Türkiye'nin tarihinde önemli değişimlere sahne olan ve yeni bir ulusal kimlik oluşturulmasına yönelik adımların atıldığı bir dönem olarak kabul edilir. Bu dönem, birçok Türk şehirde kentsel ve toplumsal dönüşüm süreçlerini tetiklemiştir. Gaziantep, hem tarihsel mirası hem de ekonomik dinamikleri ile öne çıkan bir şehir olmasının yanı sıra, Cumhuriyet Dönemi'nde yaşadığı kentsel dönüşümle de bu dönemin Türkiye genelindeki etkilerini yansıtan şehirlerden biridir.

Bu makalenin amacı, Gaziantep şehrinin Cumhuriyet Dönemi boyunca kent akslarının gelişimini ve dönüşümünü ayrıntılı bir şekilde incelemektir. Gaziantep'in bu dönemdeki kentsel dönüşümünü anlamak, hem Türkiye'nin modernleşme sürecini daha iyi anlamamıza hem de Gaziantep'in kendine özgü tarihini daha derinlemesine keşfetmemize yardımcı olacaktır. Kent aksları, bir şehrin sosyal, ekonomik ve kültürel yaşamının temel bileşenlerindedir ve bu alanların gelişimi, şehir genelindeki dönüşümün bir yansımasıdır. Gaziantep şehrinin kent akslarının, Cumhuriyet Dönemi boyunca nasıl bir gelişim gösterdiği ve bu değişikliklerin şehir genelinde hangi etkilere yol açtığı gibi temel sorular, Gaziantep'in modernleşme ve kentsel dönüşüm süreçlerini daha iyi anlamamıza yardımcı olacaktır.

Bu çalışma, Gaziantep'in modern bir kent olarak gelişiminde tarihi kent merkezinin rolünü incelemeyi amaçlamıştır. Araştırmanın temel amacı, modernleşme sürecinde tarihi kent merkezinin mevcut akslarının yönlendirici etkisini vurgulamaktır. Bu amaç doğrultusunda, çeşitli kaynaklar araştırılmış, belgeler incelenmiş ve yerinde yapılan gözlemlerle saha çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Gaziantep'in Cumhuriyet Dönemi'nde yaşadığı bu önemli dönüşümün incelenmesi, hem şehrin tarihini daha iyi anlaşılmasına hem de geleceğe yönelik kentsel gelişim stratejilerinin şekillendirilmesine katkıda bulunması beklenmektedir.

2. Gereç ve yöntem

2. Equipment and method

Bu çalışma, hem arşiv kaynaklarına dayalı belge incelemesi hem de saha araştırmalarını içeren bir yöntem benimsenmektedir. Gaziantep şehrinin tarihsel dönüşümünü anlamamıza katkıda bulunacak olan arşiv çalışmaları, resmi belgeler, haritalar ve döneme ait kaynakları içermektedir. Ayrıca, Gaziantep'teki tarihi doku özelinde hazırlanan detay çalışmaları, fiziksel değişimin yanı sıra sosyal ve kültürel değişiklikleri de incelemeyi amaçlamaktadır. Bu çalışma sonucunda, Gaziantep şehrinin Cumhuriyet Dönemi boyunca geçirdiği kentsel dönüşümün daha ayrıntılı bir perspektifinin ortaya konulması hedeflenmektedir.

Kent planlama ve imar mevzuatının ülke genelindeki yasal ve yönetsel altyapısı araştırılarak, Gaziantep'te ilgili dönemlerde yapılmış uygulamalarla karşılaştırmalar yapılmaktadır.

Çalışma kapsamında yapılan literatür araştırmasında benzer şekilde Ankara, İstanbul, Bursa, Kastamonu ve Kayseri illerinde kent akslarının gelişiminin incelendiği görülmektedir. Bu çalışmaların büyük çoğunluğunda hazırlanan ilk imar planlar kararları irdelenmiştir. Bu çalışmadan farklı olarak tarihi kent merkezi gelişim süreçleriyle ilişkilendirilmemiştir. Tarihi kent merkezinin gelişiminin araştırılmasında yapılar literatür çalışmaları kapsamında Uğur Tanyeli'nin Anadolu-Türk Kentinde Fiziksel Yapının Değişimi kitabı (Tanyeli, 2022) ve hazırlanmış tezler kaynak olarak çalışılmıştır.

Gaziantep kentinin 100 yıllık süreç içerisinde mevcut kent aksları ve geçirilen süre boyunca bu aksların değişimi nedenleri ile analiz edilerek yeni akslar saptanmış, oluşum ve değişim süreçleri nedenleriyle ortaya konulmuştur.

3. Cumhuriyet döneminin ilk yıllarında kentsel politikalar

3. Urban policies in the early years of the republican era

Türkiye'de cumhuriyet dönemi boyunca birçok önemli imar faaliyeti gerçekleştirilmiştir. Bu dönem, ülkenin modernleşme ve kalkınma çabalarının bir parçası olarak altyapı ve şehir planlaması gibi alanlarda çeşitli projelerin hayata geçirildiği bir dönemdir. Türkiye'deki kent planlama çalışmalarını farklı dönemlere ayırarak

tanımlayan Aru; planlama çalışmalarının başlamadığı 1923-28 yılları arasında kalan dönemde 1882 yılında yürürlüğe giren Ebniye Kanunu'nun geçerli olduğunu belirtmektedir (Aru, 1970). Cumhuriyetin ilanı sonrasında Ankara'nın imarı ile ilgili olarak çıkarılan 417 sayılı Ankara Şehr-i Emanet Kanunu'nun planlama faaliyetleri anlamında öncü olduğu ve önemi vurgulanmaktadır (Tankut, 1988).

Ankara'nın imar süreci ve beraberinde getirdiği radikal modernleşme projesi, Anadolu'nun diğer kentleri için de planlı bir gelişmeyi amaçlamıştır. Bu amaç doğrultusunda, kentlerin "sağlığın, estetiğin ve modern kültürün" yansıtılmasını hedefleyen önemli yasa değişiklikleri gerçekleştirilmiştir (Tekeli, 2009). Belediye Kanunu, Belediyeler Bankası Hakkında Kanun, Belediye Yapı ve Yollar Kanunu gibi temel yasalarla 14.04.1930 tarihli Belediye Kanunu'na Ek Kanun, bu süreçte Osmanlı dönemine ait mevzuatın gözden geçirilerek yeni bir kurumsal yapılanmaya geçildiğini yansıtmaktadır (Hasol, 2021). Bu dönemde birçok Anadolu kentinde de modern kent planları hazırlanmaya başlanmıştır. 1924 yılında hazırlanan Ankara Kenti İmar Planı, 1928 yılında hazırlanan İzmir ve Eskişehir İmar Planları ve 1938 yılında hazırlanan Gaziantep Kenti İmar Planı bunlardan bazılarıdır. Türkiye'de imar planı yapılmış ilk kentler, cumhuriyetin ilanından sonra gerçekleşen modernleşme hareketleriyle birlikte planlı bir şekilde düzenlenmeye başlanmıştır.

Cumhuriyet döneminde kentleşme ve yapılaşma düzenlemeleri yapılmasını amaçlayan çeşitli imar kanunları çıkarılmıştır. 1930 İmar ve İskân Kanunu, Türkiye'nin ilk imar kanunlarından biri olup şehirlerde planlama, parselleme, yapılaşma ve inşaat izinleri gibi konularda düzenlemeler içermektedir. 1935 Şehir Planlama Kanunu şehirlerin planlı bir şekilde büyümesi ve gelişmesi için temel ilkeleri belirleyerek şehir planlaması ve yerleşim yerlerinin düzenlenmesi amacıyla çıkarılmıştır. 1966 İmar Kanunu Türkiye'nin imar düzenlemelerini ve temel değişiklikleri içeren önemli bir adımdır.

Yeni kentsel planlama anlayışını ve planlama süreçlerini düzenleyerek, şehirlerin daha düzenli ve sürdürülebilir bir şekilde gelişmesini hedeflemektedir. 1983 Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu ilk kez doğal ve kültürel varlıkların korunması amacıyla tarihi eserler, doğal güzellikler ve çevresel değerlerin korunması için temel ilkeleri belirleyen bir kanun olmuştur. 1985 Kıyı Kanunu Türkiye'nin kıyı bölgelerinin düzenlenmesi, korunması ve kullanılması amacıyla çıkarılan kıyı alanlarının imar ve yapılaşma düzenlemelerini içeren kanundur (Mevzuat Bilgi Sistemi, t.y.).

Bu kanunlar dışında 2000 yılından sonra çeşitli kanun ve yönetmeliklerle kentsel dönüşüm, doğal afetler, deprem konularında temel ilkeler belirlenmiş ve imar düzenlemeleri yapılmıştır. Çıkarılan kanunlarla, hazırlanan kısmi planların yerini, belediyeler tarafından hazırlanması zorunlu kılan, kent bütününe ele alan planlarla her il ve ilçede imar planları oluşturulması zorunlu tutulmuş ve uygulamaların yerel yönetimlere bırakıldığı bir sisteme geçilmiştir.

4. Çalışma alanı olarak Gaziantep

4. Gaziantep as working area

Günümüzde Anadolu'nun güneydoğu bölgesinde yer alan en büyük kent merkezi olan Gaziantep, Fırat nehrine karışan Sacur Çayı'nın yukarı kollarından biri üzerinde, Fırat'a 55 km. bugünkü Suriye sınırına 45 km. ve bu sınırın ötesindeki Halep şehrine de 100 km. mesafede bulunmaktadır (Darkot & Dağlıoğlu, 1949). Kahramanmaraş, Osmaniye, Hatay, Adıyaman, Şanlıurfa ve Kilis illeri sınır komşusu illerdir. Ayrıca Suriye ile uluslararası sınırı bulunmaktadır.

Anadolu'nun en eski yerleşim yerlerinden biri olan kent 1. Justinianos devrinde (527-565) inşa edildiği bilinen (Sevgen, 1960) Ayntab Kalesi'nin inşasından sonra yerleşim yeri olma özelliği kazanmaya başlamıştır (Özdeğer, 1996). 1066-1067 yılında Fırat ve Dicle Nehirleri havzasıyla birlikte Büyük Selçuklu Devleti idaresine girdikten sonra Selçuklu Türkmenleri, Bizans İmparatorluğu, Moğollar ve Memlûklular arasında el değiştiren Ayntab Kalesi sık sık savaşlar yaşamıştır. 16. yüzyılın başlarında Memlûklular ile Dulkadiroğlular arasındaki mücadeleye sahne olan Ayntab, 1516 yılında Osmanlı İmparatorluğu topraklarına katılmıştır (Özdeğer, 1988).

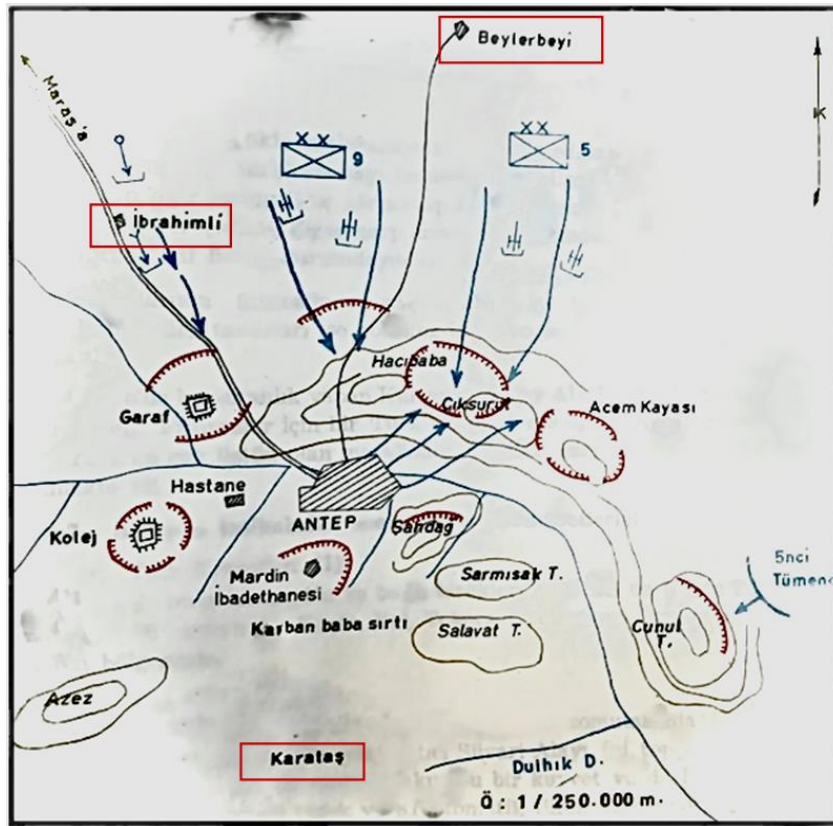
1. Dünya Savaşı'nın ardından bütün Anadolu'da başlayan özgürlük mücadelelerinde sembol olan kent; 25 Aralık 1921 tarihinde bu işgalden kurtulmuş ve gösterdiği kahramanlıklardan dolayı Gazilik unvanına layık görülmüştür. Kentin adı 8 Şubat 1921 tarihinde Gaziantep olarak değiştirilmiştir (Arslan, 2017).

4.1. Cumhuriyet dönemi öncesinde kentin durumu

4.1. The situation of the city before the republic period

Anadolu'da; Selçukluların hâkimiyet sürmesi ile tek merkezli bir yönetim altında olan Anadolu kentleri (Turan, 1971) gibi Ayntab kentinin de kale içerisinde kurulmuş bir şehir olduğu bilinmektedir. Kentin Eyyubiler döneminde geliştiği (1186-1216), kale içinde köşkler, camiler inşa edildiği, kalenin onarıldığı belirtilmiştir (Darkot & Dağlıoğlu, 1949). Ayntab kentinde 12. yüzyıldan itibaren kale çevresinde başlayan yerleşimde, günümüze ulaşan yapıların büyük çoğunluğunun 16. yüzyıldan sonra yapılmış anıtsal yapılar ve 18-19. yüzyılda yapılmış yapı grupları olduğu görülmektedir.

20. yüzyılın başına gelinceye kadar kentin mahalli ve idari sınırlarını gösteren bir çizim ya da belgeye ulaşmak mümkün olmamıştır. Çeşitli kaynaklarda var olan krokilerin tamamı tarihçilerin kaynaklardan yararlanarak ve mevcut yapılaşmalar göz önünde bulundurularak hazırladıkları tahmini krokilerdir. Ulaşılabilen krokiler, 1919-20 yıllarında, Kurtuluş Savaşı'nda kentin mücadelesi esnasında, sınırlarında yaşanan çatışmalar belirtilirken hazırlanan kent sınırlarını gösteren çeşitli çizimlerdir (Şekil 1).



Şekil 1. 1921'de Türk taarruzunu anlatmak için çizilen krokide Antep kenti (Sara, 1966)
Figure 1. City of Antep in the sketch described the Turkish attack in 1921 (Sara, 1966)

Bu krokilerden, yazılı belgelerden yola çıkılarak 20. yüzyılın başında kent sınırlarını belirleyebilmek mümkündür. Yazılı kaynaklarda, bu sınırlar içerisinde yaklaşık 30 adet mahalle adına ulaşılmaktadır (Ataş, 2023).

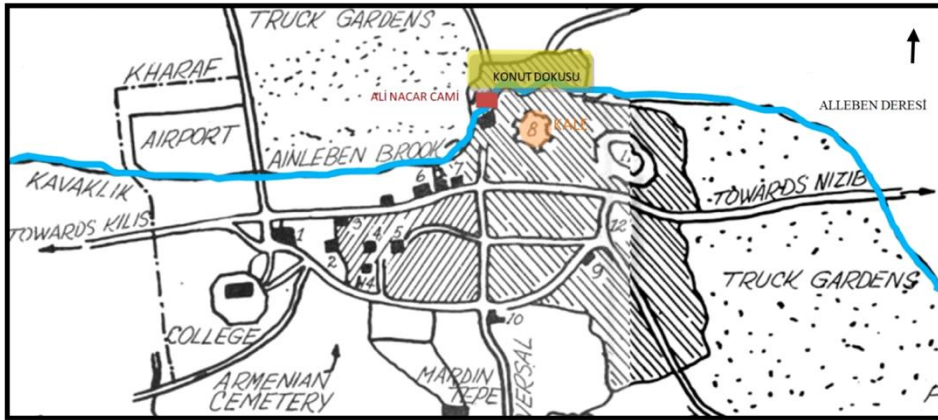
4.1.1.1923'te Gaziantep'in genel durumu

4.1.1. General situation of Gaziantep in 1923

Planlı bir gelişim gözlenmeyen, çarşının kentin merkezinde yerleştiği birçok Anadolu kentinde olduğu gibi, Ayntab kenti de kale içerisinde sürdürdüğü güvenli yaşamın bir uzantısı olarak mümkün olan en yakın şekilde kale çevresinde gelişmeye devam etmiştir. Kalenin etrafında bulunan tepeler ve derenin konumu kentin yayılımını şekillendiren temel unsurlardır. Kalenin eteklerinden itibaren doğuda yükselen tepenin kuzeyindeki yamaçta, mahalleler ve konut dokusu yoğun şekilde gelişmiştir. Kentin en eski konut bölgesi olduğu tahmin edilen alan, zaman içerisinde yapısal olarak yoğunlaşarak gelişimini sürdürmüştür.

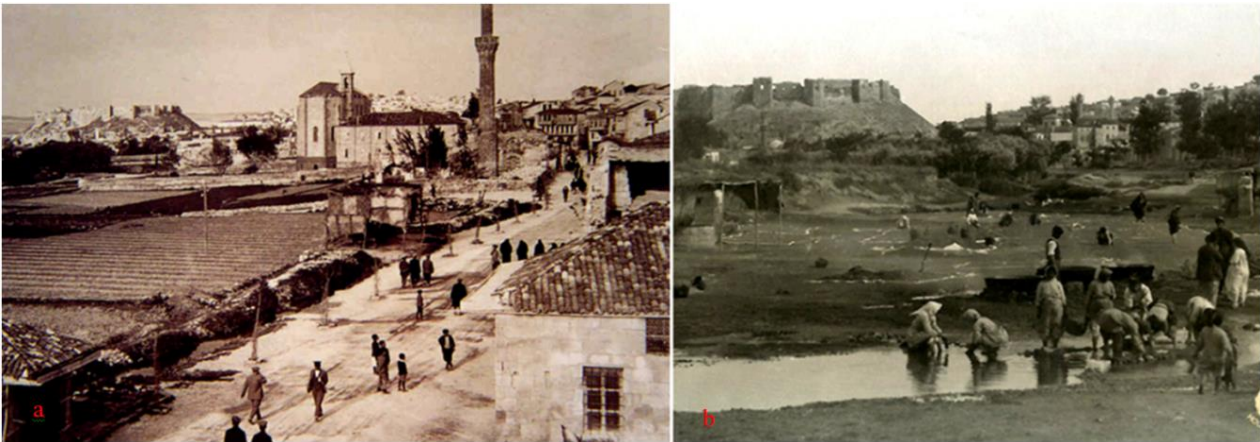
20. yüzyılın başlarına kadar neredeyse hiç değişmeyen kent sınırları sonraki yıllarda nüfus artışıyla birlikte yeni yerleşim alanları ihtiyacının ortaya çıkması ile mevcut mahallelerin arasındaki boşluklara ve bostan alanlarına yerleşerek büyümeye devam etmiştir. Bu durumun, 1950'lere kadar devam ettiği görülmektedir. Şehrin sınırlarıyla ilgili bilgi sağlayan Sarafian'ın (Sarafian, 1957) kitabında 1920'lerde kentin sınırları ve önemli yapıların konumları da belirtilmiştir (Şekil 2).

Kentin kuzey sınırını Alleben deresi belirlemiş, 20. yüzyıla kadar derenin kuzey tarafında yerleşim gelişmemiştir. Kentin güneyinde ve kuzeyinde konumlanan mezarlık alanları 20. yüzyılın ilk yarısına kadar yapılaşmanın ve konut dokusunun sınırlarını belirlemektedir. Kentin batısına doğru gelişen yapılaşmanın 14. yüzyılda kente yerleştirilen Türkmen boylarının geliştirdiği mahallelerin yayılması ile oluştuğu, 19 yüzyıldan itibaren kente yerleşen gayrimüslüm nüfusun bu bölgeye yerleşmesi ile geliştiği bilinmektedir (Ataş, 2023) (Şekil 2). Şekilde belirtilen numaralandırılmış yapıların hangi yapılar olduğu bilinmemekle birlikte 6-7 numaralı yapıların Ferhadiye ve Çınarlı Camileri olduğu tahmin edilmektedir. Bu yapılar Şekil 3a da görülen yapılardır (Şekil 3).



Şekil 2. Dünya Savaşı'nda kentin yapılaşma sınırları (1920) (Sarafian, 1957)
Figure 2. Construction limits of the city in World War I (1920) (Sarafian, 1957)

Günümüze ulaşan anıtsal yapıların kronolojik olarak konumları değerlendirildiğinde kentin idâri merkezi olan Halep yönünde güneye doğru yoğun olarak geliştiği görülmektedir (Ataş, 2023). Ancak Osmanlı İmparatorluğu'na bağlı bir kent olması nedeniyle kent; batı yönünde de gelişim göstermiştir. Kentin batısında Ferhadiye Külliyesi'nin sınırı belirleyen bir noktada olduğu fotoğraflardan görülmektedir (Şekil 3). Alleben Deresi ile Suburcu Caddesi arasında kalan alanda konut dokusu olduğu bilinmekle beraber, dere çevresinde kalenin eteklerindeki sınırlı yapılaşma dışında yapılaşma olmadığı görülmektedir (Şekil 3b).



Şekil 3. Kente batıdan bakış, a: tarih bilinmiyor (Eski Antep Fotoğrafları, 2007), b: 19. yüzyıl (Halep, t.y.)
Figure 3. West view of the cit, a: date unknown (Eski Antep Fotoğrafları, 2007), b: 19th century (Halep, t.y.)

20. yüzyılın başında kentin güneyinde görülen mezarlık alanları güneyde kentin sınırlarını belirlemektedir. Ticaret dokusunun bittiği noktada önemli bir yapı olan Şire Hanı'nın hemen güneyinde başlayan ve ağırlıklı

olarak güneye doğru bir gelişim gösteren kentin mezarlık alanlarının konumundan dolayı bu yöndeki gelişimini batıya doğru devam ettirmiş olduğu düşünülmektedir (Şekil 4). Yoğun ticaret dokusunun bulunduğu güneydeki yerleşimlerin güneybatıda konut dokusu ağırlıklı bir yerleşim halini aldığı görülmektedir. Bu dönemde kent kuzeyde ve güneyde mezarlık alanları ile sınırlanmış, batıda gelişim göstermeye devam eden bir durumdadır. Her ne kadar doğusunda gelişime müsait bir alan görülmekle birlikte kentin bu yöne doğru gelişmemesi dikkat çekici niteliktedir.

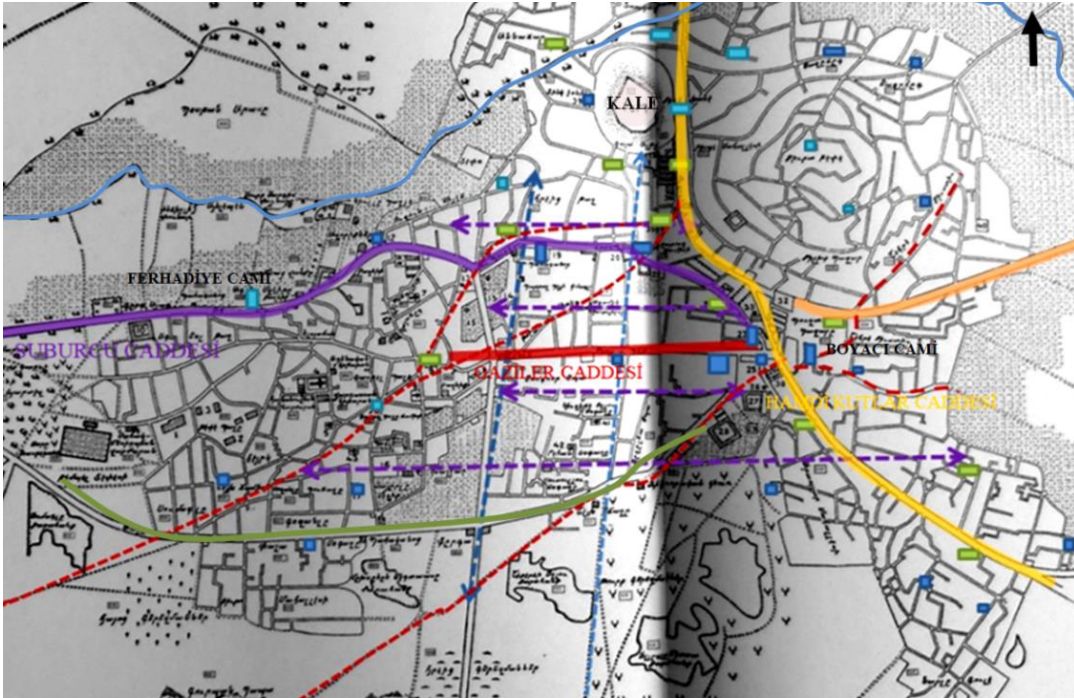


Şekil 4. 20. yüzyıl başında kentin güneyinde mezarlık alanları (II. Abdülhamid Arşivi)
Figure 4. Cemetery areas on the south of the city at the beginning of the 20th century (II. Abdülhamid Arşivi)

4.1.2. Mimari ve kentsel düzenlemeler öncesi mevcut akslar

4.1.2. Existing axes before architectural and urban regulations

Kent bütününde aksların oluşumuna yön veren temel etmen, kentin idâri merkezine yönelim olmuştur. Osmanlı İmparatorluğu idaresinde olan kent; güneyde konumlanmış idâri merkezi olan Halep ve batıda konumlanmış merkezi idare olan İstanbul yönlerine doğru yayılmıştır. Kent içindeki akslarda ise, kentin ticari merkezi bu yönelimlere göre belirlenmiştir.



Şekil 5. Gaziantep'te aksların gelişimi 1920 (Yakar & Uçaner, 2015)
Figure 5. Development of axes in Gaziantep, 1920 (Yakar & Uçaner, 2015)

Ticaret hayatının kent gelişimine yön verdiği yerleşimlerden biri olan Gaziantep'te, konut dokusu ticari merkezin etrafında gelişmiştir. Camilerin, kent içerisindeki aksların ve yönelimlerin temel belirleyicisi olduğu, konut dokusunun camiler etrafında konumlandığı görülmektedir.

Kaleden güneye doğru gelişen kentin en önemli ve muhtemelen en eski aksı durumundaki Hamdi Kutlar Caddesi aksı 1920 krokilerinde Boyacı Camii ile sonlanmaktadır (Şekil 5 sarı aks). Üzerinde yoğun şekilde ticari yapıların bulunduğu bu aksın çevresinde konut dokusu gelişmiştir. Hamdi Kutlar Caddesi kale ile bitişik durumda bulunan Türktepe'nin eteklerinde eğime paralel gelişmiş bir akstır. Kentin doğu batı istikametinde gelişen ve kentin sınırlarını oluşturan ana aksları kuzeyde Alleben Deresi'ne paralel gelişen Dereboyu Caddesi adıyla anılan aks (Şekil 5 mavi aks) ve güneyde ise kentin sınırını oluşturan çevre yolu niteliğindeki İnönü Caddesi aksıdır (Şekil 5 yeşil aks).

Barsumyan krokisi üzerinde işaretlenen doğu batı istikametinde gelişmiş ara akslardan olan Suburcu Caddesi aksı (mor aks) Ömeriye Camii'ne, Gaziler Caddesi aksı (kırmızı aks) Eyuboğlu Camii'ne yönelerek gelişen kentin doğu batı istikametindeki en önemli ara akslarıdır (Şekil 5). Krokide kesikli çizgilerle belirtilen mor akslar kentin doğu batı istikametinde ticari merkez ile konut dokusunu bağlayan tali yollar niteliğindedir. Kroki üzerinde; kırmızı kesikli çizgilerle belirtilen, eğime paralel gelişen akslar, ticari merkezle çevre mahalleler arasında ilişkiyi kurmaktadır. Güneydeki aks ise kentin mezarlıklarla sınırını belirleyen aks olmuştur (Şekil 5).

Üzerlerindeki yapılaşmanın tarihlendirmesinden yola çıkılarak 12. yüzyıldan itibaren kentin önemli aksları olduğunu bildiğimiz şekil üzerinde işaretlenmiş olan (Şekil 5) bu akslar tarihi kent merkezinin günümüze ulaşmış ilk akslarıdır ve günümüze kadar varlığını sürdürmüştür.

4.2. İlk kentsel değişim döneminde (1923-1960) Gaziantep'teki uygulamalar

4.2. Practices in Gaziantep during the first urban change period (1923-1960)

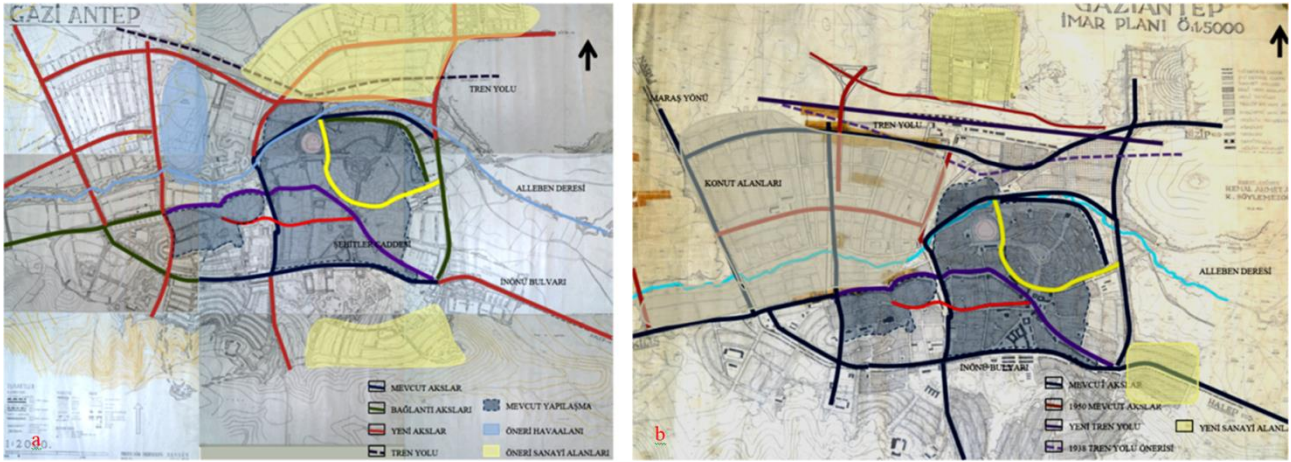
Türkiye'de başlatılan imar faaliyetleri kapsamında 1930 yılında çıkartılan 1580 sayılı Belediye Kanunu kapsamında belediyenin görevleri arasında "harita, kadastro ve gelecek şekil plânlarını yaptırmak ve en az beşer senelik imar programı hazırlayıp uygulamak" ibaresi bulunmaktadır (Mevzuat Bilgi Sistemi, t.y.). Ayrıca 1593 sayılı Umumi Hıfzıssıhha Kanunu ve 1933 yılında çıkartılan 2290 sayılı Belediye Yapı ve Yollar Kanunu kapsamında hazırlanacak imar planlarında uyulması zorunlu yeşil alan ve yollarla ilgili standartlar belirlenmiştir (Türk vd., 2020). Bu kanunlar göz önünde bulundurularak 1936 yılında Gaziantep'te imar planı çıkarılması hazırlıklarına başlanmıştır.

Hermann Jansen tarafından hazırlanan Gaziantep Kenti İmar Planı 1938 yılında tamamlanmış ve yürürlüğe girmiştir. Plan kararları öncelikle kentin özgün mimari karakterini koruma amacını taşımakta olup, yeni tasarım alanlarının mevcut kent dokusuyla uyumlu bir şekilde geliştirilmesini hedeflemektedir (Kuyucu, 2019). Jansen'in bu planında eski kent sınırları içerisinde kalan alana dokunulmayarak yalnızca sınırların belirginleştirilmesine odaklanıldığı ve bu bölgenin özgün detaylarına dair herhangi bir müdahale önerilmediği görülmektedir (Şekil 6a). Planın hazırlanmasında, eski kentin merkezi bir konumda değerlendirildiği ve yeni yerleşim alanlarının tarihi merkez etrafında geliştirilmesinin öngörüldüğü dikkat çekmektedir. Ayrıca, yeni yerleşim alanlarının işlevsel farklılıklarına dikkat edilerek bölgesel bir planlama çerçevesinde geliştirildiği görülmektedir.

1938 imar planı hazırlanırken kentin var olan ana akslarının yönetmelikler kapsamında öngörülen genişlikleri sağlamak amacıyla genişletildiği düşünülmektedir. İmar planında mevcut doku içerisinde belirtilen tüm akslarda yolların genişletilmesi önerilmiştir (Şekil 6a). Bu uygulamanın günümüzde hayata geçirilmiş olduğu görülmektedir. Hamdi Kutlar Caddesi, Suburcu Caddesi, Şehitler Caddesi, Atatürk Bulvarı plan kapsamında genişletilmesi önerilen ve genişletme aşamasında özgün yapı durunu ve cephe düzenini kaybeden yollardır. Ayrıca eski kent merkezinin çevresinde oluşturulan sanayi bölgesi, konut yayılım alanları için açılan yeni yolların merkezle ilişkisini kuracak yeni yollar açılması ve genişletilen mevcut akslarla bağlantı kurulduğu görülmektedir. Kent içerisinde tasarlanan yeni akslar; oluşturulacak yeni konut alanları ve sanayi alanlarının birbirine bağlayacak ve aynı zaman da kentin çevre illerle bağlantısını sağlayacak şekilde düzenlenmiştir (Şekil 6). Kenti doğu batı yönünde geçen üç ana aks ve kuzey güney yönünde geçen dört ana aks ile kentin mevcut yönelimleri, Alleben deresinin yönelimi ve doğal eğim göz önünde bulundurularak oluşturulmuştur. İmar planında önerilen tren yolu ve havalimanını kente bağlamak amacıyla önerilen yeni yollar mevcut doku

çevresinde işlenen rezerv konut alanları ile ilişki kuracak şekilde doğu batı yönünde yeni akslar oluşturularak sağlanmıştır (Şekil 6).

1938 imar planlarında; kentin güneyinde, Şhreküstü Mahallesi'ne giden aksların geliştiği, yapılaşmanın bu noktada arttığı görülmektedir. Bu bölgeyi kente bağlayan İnönü Bulvarı açılmadan önce de var olan Şehitler Caddesi ticari merkezin ana akslarının devamı niteliğindedir. Bu yapılar çevresinde konut dokusunun gelişiminin zaman içinde oluştuğu ve yoğunlaştığı tahmin edilmektedir. Mezarlık bölgesiyle kenti ayıran sokağın genişletilerek İnönü Bulvarına dönüştürülmesi ve bu bulvarın kentin doğu batı yönelimi için göneydeki ana aks olması bu aksı kentin gelişimi için önemli bir hale getirmiştir. Genişletilen ve yöneliminin değiştirilmesi önerilen İnönü Bulvarı ile planda; kentin güneyindeki mezarlık alanının kaldırılması ve bölgede küçük sanayi bölgesinin oluşturulması önerilmiştir. Ayrıca Şehitler Caddesi'nin sonlandığı noktada, doğuya doğru caddenin devamlılığı sağlanmıştır.



Şekil 6. Gaziantep'te akslar a: H. Jansen Planı 1938, b: K. Söylemezoğlu Planı 1950 (Harita Arşivi, GBB)
Figure 6. Axes in Gaziantep a: H. Jansen Plan 1938, b: K. Söylemezoğlu Plan 1950 (Harita Arşivi, GBB)

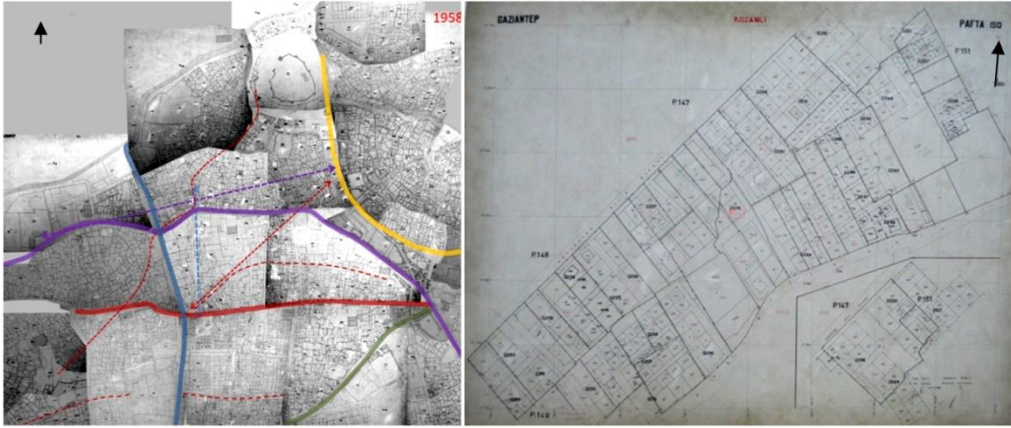
1950 yılında Kemal Ahmet Aru ve Kemali Söylemezoğlu tarafından hazırlanan İmar planında konut dokusunun hızlı yayıldığı ve Jensen planında önerilen sanayi bölgeleri ve havaalanının bulunduğu alanların konut dokusu olarak değiştirilmesi planlanmıştır (Şekil 7). Trenyolu olarak belirlenen aksın şehrin kuzeyine doğru çekildiği, tren yolunun güneyinde yapılaşmaların oluşmuş olduğu görülmektedir. Sanayi bölgelerinin tren yolu ile belirlenen kentin kuzey sınırında daha doğuda olması önerilmektedir. Jansen tarafından hazırlanan imar planında önerilen aksların büyük oranda değiştirilmediği, 1938 yılında önerilen bağlantı yollarının tamamının uygulamaya geçirildiği 1950 yılı çizimlerinden görülmektedir (Şekil 7).

1956-58 yıllarında hali hazır durumu gösteren paftalarda kentte Hamdi Kutlar Caddesi, Suburcu Caddesi ve Gaziler Caddesi'nin merkez akslar olarak varlığını koruduğu, ayrıca bu akslara dik şekilde kuzey-güney istikametinde gelişen Hürriyet Caddesi aksının (Şekil 8 mavi aks) bu dönemde net şekilde ortaya çıktığı görülmektedir. Kuzey-güney yönünde gelişen birkaç akstan en batıdaki olan Hürriyet Caddesi aksı 1938 imar planında tren garına açılan yeni bir bulvar olarak düzenlenmiştir (Şekil 7). Daha önce Ömeriye Camii'nin önünden geçecek şekilde yöneldiği Barsumyan krokisinde (Yakar & Uçaner, 2015) görülen bu aksın tren garı için yöneliminin değiştirildiği de görülmektedir.

1938 Jansen planında da 1950 Aru planında da mevcut kent dokusuna dokunulmadan çevresine yeni yerleşmeler açmak sureti ile büyüme önerilmesine rağmen 1958 hali hazır paftalarında eski kentte yoğun yapılaşma olduğu ve eğime paralel şekilde gelişen çok sayıda ara bağlantı yollarının kaybolduğu görülmektedir (Şekil 6). Büyük ölçekli ve çok katlı yapılaşma bu bölgelerde yaya ve araç trafiğini arttırmış olmasına rağmen küçük ölçekli konut dokusunun yerini alarak birçok ada veya parselde birleşmeler yapılmış çıkmaz sokaklar ve ara sokakların büyük çoğunluğu yok olmuştur.

Hali hazır paftaları 1/200 ölçekte sadece eski kent merkezinde hazırlanmıştır (Şekil 7a). Ancak çeperlerde hızlı şekilde gelişen modern konut dokusu 1/1000 ve 1/2000 ölçekli paftalarda görülmektedir (Şekil 7b). 1938 ve 1950 imar planlarında öngörülen kentin kuzey batısındaki yerleşim bölgelerinin de dışında konut dokusunun batıya doğru geliştiği gözlenmektedir. Günümüzde Atatürk Bulvarı olan cadde eski kent dokusundaki Suburcu

Caddesi'nin devamı niteliğinde, genişletilmiş akslardan birisidir. 1958 hali hazır paftalarında görülen Kilis İstikameti yolu ise Atatürk Bulvarı'nın devamında Suburcu Caddesi'nin batıya doğru devamı niteliğindedir (Şekil 6b).



Şekil 7. 1958 hali hazır paftalarında eski kente bulunan akslar ve yeni imar alanları (Gaziantep Hali Hazır Paftaları, 1956-58)

Figure 7. Axes in the old city and new zoning areas on the 1958 current maps (Gaziantep Hali Hazır Paftaları, 1956-58)

1958-1968 hali hazır paftaları kentin bu yıllarda yaşadığı büyümeyi gösterir niteliktedir. Ayrıca 1970 yılı hava fotoğraflarında kentin kapladığı alan görülmektedir. Paftalarında belirtilen yeni inşa edilmiş bölge kentin batısında Atatürk Bulvarı'nın devamında hava fotoğraflarında net şekilde görülmektedir (Şekil 8).



Şekil 8. 1970 yılında kentin yayılımı (1970 Yılı Gaziantep Hava Fotoğrafı)

Figure 8. Expansion of the city in 1970 (1970 Yılı Gaziantep Hava Fotoğrafı)

Hava fotoğraflarında Hermann Jansen'in 1938 yılında hazırladığı imar planında da Kemal Ahmet Aru ve Kemali Söylemezoğlu'nun 1950 yılında hazırladıkları imar planında da kentin tahmin edilen genişleme alanından çok daha geniş bir alanda yapılaşma olduğu görülmektedir (Şekil 8-9). Planlarda konut yerleşmelerinin Alleben Deresi'nin kuzeyine doğru büyümesi öngörülmüşken kentte yayılım güney ve güneybatı yönlerinde olmuştur. Bu hızlı büyüme plansız alanlar yaratmış, oluşan akslarda düzensizlikler ortaya çıkmasına sebep olmuştur.

1976 yılında Zühtü Can tarafından hazırlanan imar planı çalışmasına kadar kentte imar faaliyetleri 1950 imar planı çerçevesinde devam etmiştir. 1975 yılına imar planlarında öngörülen Alleben Deresi'nin ve Atatürk Bulvarı'nın kuzeyinde konut yapılaşması hava fotoğraflarında görülebilir durumdadır (Şekil 9). Kentin

kuzeyinde bulunan tren yolu ve daha kuzeyde görülen yapılaşma imar planlarında öngörülmeleyen ancak tren yolunun yapılmasıyla geliştiği tahmin edilen yapılaşmadır.



Şekil 9. 1975 yılında kentin yayılımı (1975 yılı hava fotoğrafı)
Figure 9. Expansion of the city in 1975 (1975 yılı hava fotoğrafı)

Kentin batısında, Atatür Bulvarının kuzeyinde 1950 imar planında öneri konut alanları olarak belirlenen öğretmen evleri bölgesi 1975 yılında çekilen hava fotoğraflarında gözlemlenebilmektedir (Mavi işaretlenmiş alan). Bu hava fotoğrafında 1938 ve 1950 imar planlarında önerilen Fevzi Çakmak Bulvarı aksının açıldığı ancak aksın doğusunda önerilen konut alanlarında yapılaşmanın henüz oluşmadığı görülmektedir (Şekil 9).

4.3. 1960'tan itibaren (1960-1980) Gaziantep'teki uygulamalar

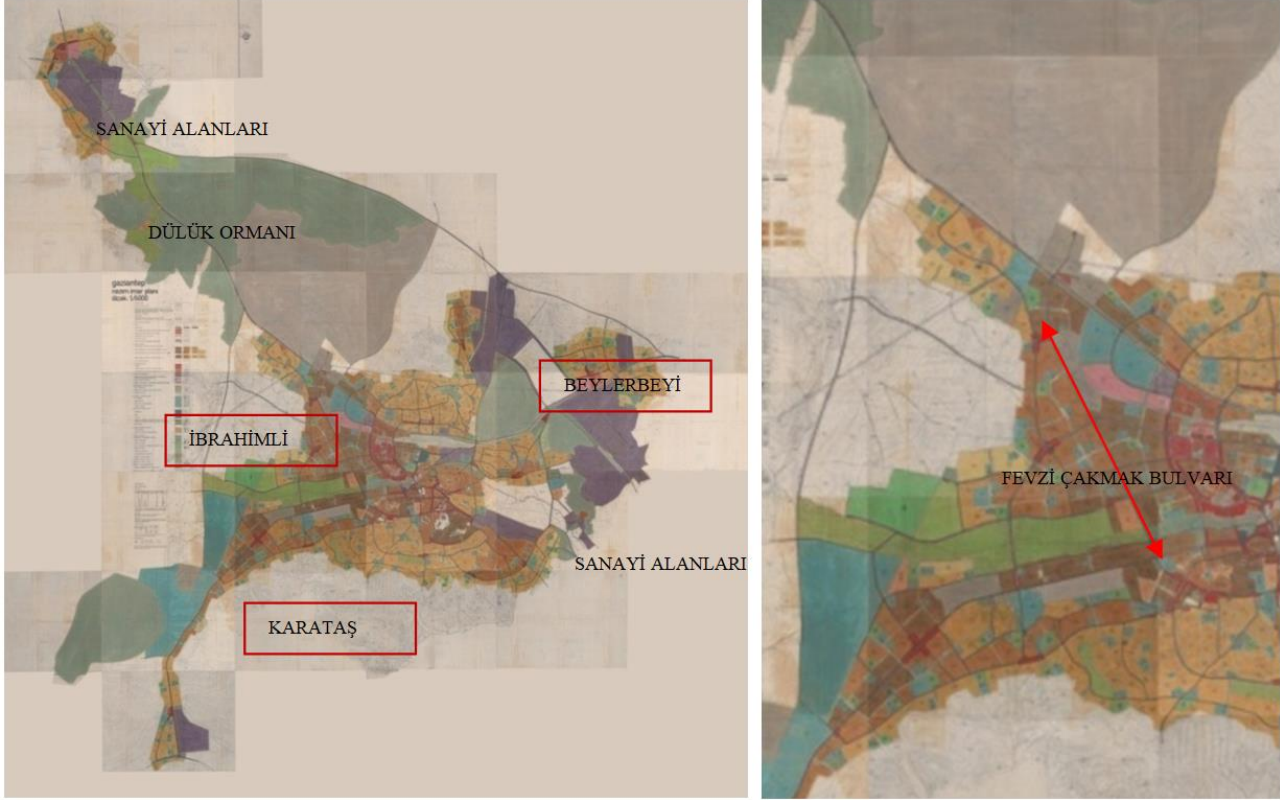
4.3. Applications in Gaziantep from 1960 (1960-1980)

1960'lar ve sonrasında Gaziantep, sanayileşme ve göç nedeniyle hızla büyümeye başladığından bu büyüme, kentteki konut talebini arttırmıştır. Nüfus artışını yönetmek ve konut sorununu çözmek için yeni konut projeleri ve kentsel dönüşüm politikalarını uygulamaya başlayan kentin altyapısı, 1960'lardan itibaren imar kanunlarına ayak uydurmak amacıyla büyük ölçüde geliştirilmiştir. Yol ağları, su ve elektrik altyapısı gibi temel hizmetler genişletilerek kentin daha işlevsel ve yaşanabilir bir hale gelmesine katkı sağlamaya çalışılmıştır. 1960'lar ve sonrasında Gaziantep'te modern mimarlık akımları etkili olmuş, geleneksel yapı tarzlarına kıyasla daha işlevsel ve çağdaş yapılar inşa edilmiştir. Bu dönemdeki mimari değişim, kentin fiziksel görünümünde belirgin bir değişim ortaya koymuştur.

Kentteki altyapı ve mimari değişimler, sadece fiziksel olarak değil, aynı zamanda sosyal ve kültürel olarak da etkiler yaratarak kent sakinlerinin yaşam tarzları, alışkanlıkları ve toplumsal etkileşimleri bu dönemdeki değişimlere uyum sağlamıştır. Eski kent merkezlerinde bulunan geleneksel mimarinin korunmasının önemi bilinci ilgili yasa ve yönetmeliklerle desteklenmiştir (1951-1973-1987 kanunları ilk çalışmalarıdır). Türkiye'de birçok kentte 1970'lerden itibaren hazırlanan koruma amaçlı imar planları gibi Gaziantep tarihi kent merkezi koruma amaçlı imar planı, ünlü Türk mimar ve restorasyon uzmanı Emin Halid Onat tarafından 1970 yılında hazırlanarak yürürlüğe girmiştir. Gaziantep'in tarihi dokusunu ve kültürel mirasını koruma amacıyla hazırlanan koruma amaçlı imar planı ile tarihi kent merkezinde bulunan ana akslar ve o tarihe kadar yok olmadan kalabilmiş birçok önemli ara sokak dokusu ve yapılar koruma altına alınmıştır.

Kentin hızlı gelişimine uyum sağlayacak imar planı çalışması 1976 yılında Zühtü Can tarafından hazırlanmıştır. 1/5000 ölçekli bu planla, kentin kendine has yayılımı göz önünde bulundurulmuş, kuzeyde halk

tarafından yetiştirilen Dülük Ormanı plana işlenerek sanayi bölgeleri bu ormanın dışında kuzeybatıda düzenlenmiştir. Güneybatıda daha önce tasarlanan sanayi bölgesi varlığını sürdürmektedir. 1938 yılı imar planında açılması öngörülen kuzey güney istikametindeki ana aks olan Fevzi Çakmak Bulvarı, bu planla geliştirilmiş ve sanayi bölgesinden geçerek kentin Ankara yolu bağlantısı olarak düzenlenmiştir. Şehrin genişlemesi göz önünde bulundurularak, İbrahimli bölgesinde, Fevzi Çakmak Bulvarı'nın batısında bir aks daha açılması öngörülmüştür (Şekil 10).



Şekil 10. 1976 yılı imar planı (Harita Arşivi, GBB)
Figure 10. 1976 development plan (Harita Arşivi, GBB)

1976 imar planında her ne kadar eski kent merkezi çevresinde bir genişleme öngörülmüşse kentin tarihi kent merkezi sınırlarına göre oldukça genişlediği görülmektedir (Şekil 10). Batıya doğru konut dokusu olarak yayılan kentte; planda mevcut akslar kullanılmış, batıda önerilen, kuzey güney istikametinde İbrahimli ve Karataş bölgeleri imara açılmıştır. Kuzeyde ise sanayi bölgelerinin kent dışından erişimini sağlayacak çevre yolu niteliğinde başka bir aks önerilmiştir. 1976 yılı imar planında bakıldığında kentin geniş yüzölçümüne yayılacağı öngörüsü yapıldığı ve açılması önerilen yeni alanları bağlayacak çevresel yolların açılması önerildiği görülmektedir.

1990 yılında Oğuz Aldan tarafından hazırlanan revize imar planında kent bütününde yeni parsellasyonlar yapılmış ancak aks düzeninde bir değişikliğe gidilmemiştir. Kentin yeni imara açılan bölgeleri olarak kuzey batıda İbrahimli bölgesi ve güneyinde Gaziantep Üniversitesi Kampusu ve çevresi imar planlarında detaylandırılmış, kampüsün güneyinde Karataş bölgesi yeni imara açılmış alanlar olmuştur.

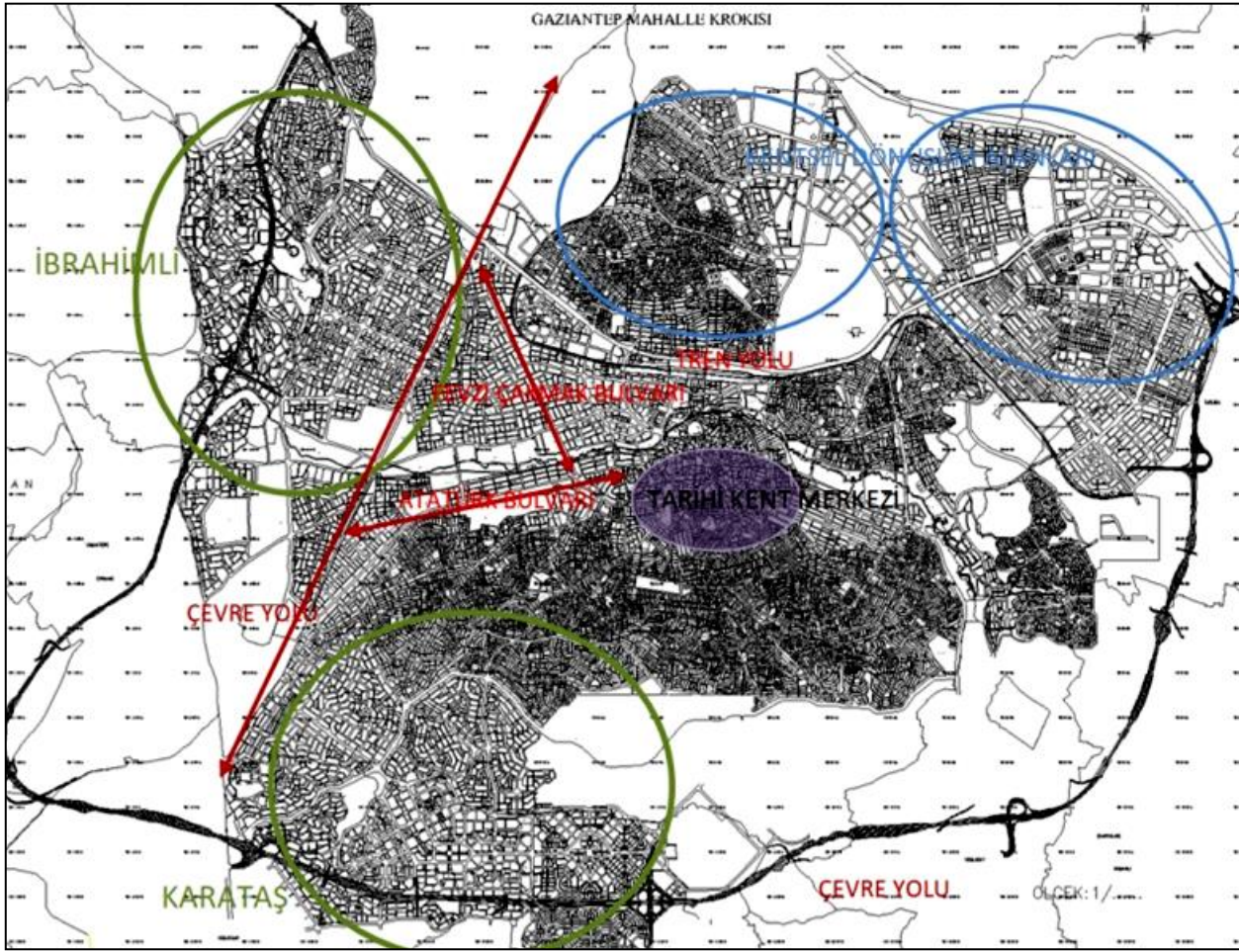
4.4. Son dönemde kentsel gelişim (2000'ler-günümüz)

4.4. Recent urban development (2000s-present)

2007 yılı Gaziantep kent merkezi mahalleler şemasında 1990 yılı imar planında belirtilen İbrahimli ve Karataş bölgelerinde yapılaşmanın mevcut görülmektedir (Şekil 11).

Kentin yüzölçümü bakımından hızlı büyümesi kent içi ulaşım sorunlarını da beraberinde getirmiştir. İmar planları çerçevesinde açılmış olan akslara ek olarak kenti kuzey güney istikametinde geçen çevre yolu yeni açılan mahallelerin merkezle bağlantısını sağlayan ana aks konumundadır. Yeni yerleşim merkezleri ile eski

kent merkezlerini bağlayan en önemli aks konumunda olan Atatürk Bulvarına Hermann Jansen planlarında açılması önerilen Fevzi Çakmak Bulvarı aksı dışında ana yönlendirici bir aks bulunmamaktadır (Şekil 11). Kent içerisinde mevcut araç trafiği akslarına destek olacak nitelikte, Alleben Deresi'ne paralel şekilde kurgulanan hafif raylı tramvay hattı ve eski tren yolu güzergâhını kullanan Gaziray hattı ile doğu batı yönünde sirkülasyonlarda toplu taşıma aksları kullanılmaya başlanmıştır.

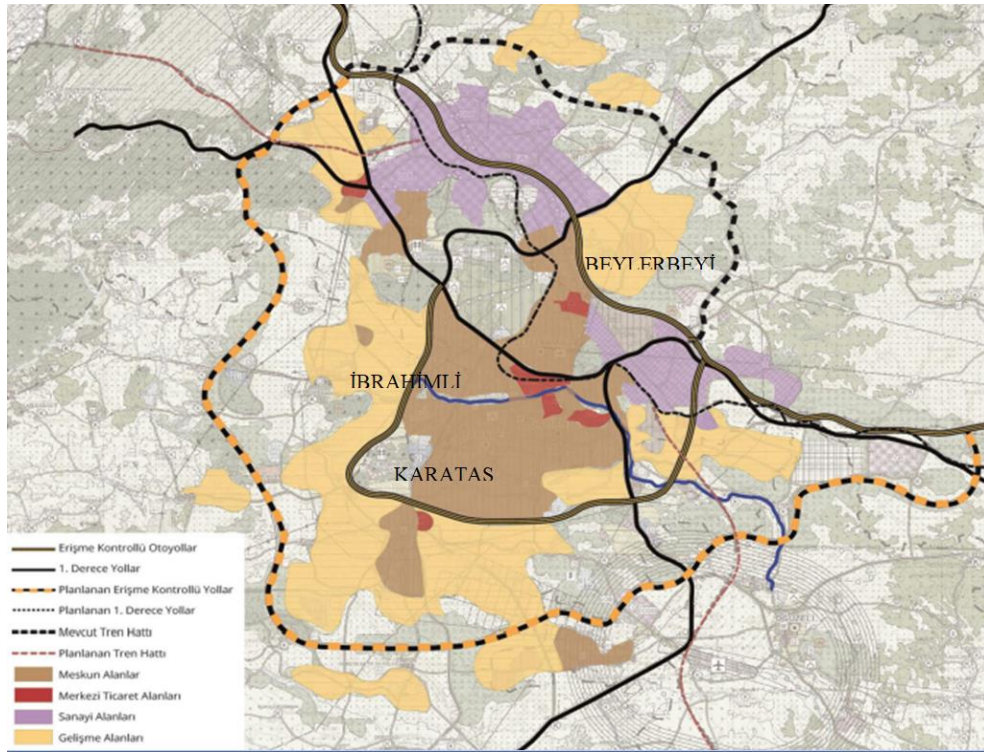


Şekil 11. 2007 yılı mahallelerin dağılımı (Gaziantep Büyükşehir Belediyesi, 2020)

Figure 11. Distribution of neighborhoods in 2007 (Gaziantep Büyükşehir Belediyesi, 2020)

1938 yılında ve 1950 yılında imar planlarında sanayi alanı olarak öngörülen, kent merkezinin güneyi ve kuzeydoğusunda bulunan alanlar 21. yüzyılın başlarına kadar plansız gelişen konut alanları olmuştur. Ülkemizde 2004-2012 yılları arasında çeşitli kanun ve yönetmeliklerle uygulamaya koyulan kentsel dönüşüm süreci kapsamında ülke genelinde projeler yürütülmektedir (Türk vd., 2020). Gecekondu bölgesi olan bu alanlarda 2018 yılında onaylanan Gaziantep nazım imar planı kapsamında yeniden yapım çalışmaları yapılmış, planlı parsellasyonlarda yeni yapılaşmış konutlar inşa edilmiştir. Gazikent, Beylerbeyi, Merveşehir gibi birçok toplu konut alanları bu kapsamda dönüştürülen alanlardır (Şekil 11-12).

Gaziantep-2040 İl Çevre Düzeni Planı'nda; belirlenen ulaşım ağı ve arazi kullanım kararları göz önünde bulundurulduğunda (Şekil 12); şehrin gelişme konut alanlarının büyük kısmının mevcut çevre yolu ile yeni önerilen çevre yolu arasında planlandığı görülmektedir. Kentin kuzeybatısında ise sanayi alanları ve bununla beraber gelişme konut alanlarının planlandığı görülmektedir (Gaziantep Büyükşehir Belediyesi, 2020). Gelişme konut alanları olarak belirlenen alanlardan Beylerbeyi bölgesi İbrahimli bölgesi ile Beylerbeyi bölgesi arasında kalan alan kentsel dönüşüm kapsamında düzenlenen gece kondu bölgesi alanlardır. Kentteki merkezi iş alanlarının ise eski kent merkezi ve çevresinde ve bunun dışında, meskûn (yerleşik) alanlar ile gelişme alanlarının kesiştiği alanlarda alt merkezler oluşturacak şekilde planlandığı görülmektedir. Bu doğrultuda kentin ağırlıklı gelişme yönünün güney, batı, kuzeydoğu yönünde olması beklenmektedir.



Şekil 12. 2020 yılında kentin yayılımı (Gaziantep Büyükşehir Belediyesi, 2020)
Figure 12. Expansion of the city in 2020 (Gaziantep Büyükşehir Belediyesi, 2020)

2023 yılında yaşanan depremin de etkisi ile kentin güneybatısında az katlı konut yerleşimi olarak planlanan alanlarda hızlı bir gelişme olduğu gözlenmektedir. Kentin 19. yüzyıldan itibaren var olan bağ evi mesire konutu kültürünün şekillendirdiği hafta sonu veya gününbirlik kullanılan bahçeli konut yerleşimleri deprem sonrasında günlük yaşamın bir parçası haline almış ve bu alanda konut fonksiyonu yoğun şekilde kullanılmaya başlanmıştır.

5. Sonuçlar

5. Conclusions

Gaziantep, tarih boyunca ticaret ve kültürel etkileşimlerin kesişim noktası olarak büyümüş ve gelişmiş bir şehir olmuştur. Bu kentin evrimi, özellikle kentsel ulaşım ağlarının değişimi üzerinden incelendiğinde, kentin tarihini ve kimliğini anlamamıza büyük katkı sağlar. Gaziantep'in tarihsel ve kültürel mirası, şehir planlaması ve fiziksel dönüşümde belirleyici bir faktör olmuştur. Gaziantep'in kentsel ulaşım sistemi, kentin geçmişten günümüze nasıl değiştiğini anlamamızı sağlayan önemli bir göstergedir. Kentin ilk yerleşimleri incelendiğinde, aksların organik bir şekilde geliştiği ve topografyaya bağlı olarak özellikle tepelik alanların eteklerindeki yerleşimlerde eğime paralel şekillendiği görülmektedir. Bu düzenin oluşmasında, kalenin varlığı ve kentin idari merkezleri ile kurduğu ticaret ilişkisi önemli bir etken olmuştur. Kentin ana omurgasını oluşturan yol ağı, kale merkezli olarak güney yönüne doğru uzanmıştır. Bu aks, kentin ticaret ve dini merkezlerini birleştirerek kentin büyümesine katkı sağlamıştır.

Geleneksel kent dokusunun en önemli akslarından olan Suburcu Caddesi ve Gaziler Caddesi, 1920'lerde hem yaya hem de motorlu taşıma imkânı sunarak kentin önemli ticaret aksları haline gelmiştir. Bu caddeler, kentin canlılığını ve ekonomik büyümesini desteklemiştir. Ayrıca, kentin kuzey-güney doğrultusunda uzanan Hürriyet Caddesi, ulaşım sisteminin diğer önemli aksını oluşturmaktadır. Dönemin hava fotoğraflarından görüldüğü gibi, bu akslar özellikle 1940'lı yıllardan sonra genişletilmiştir. Bu değişimler, kentin ulaşım altyapısının sürekli olarak iyileştirilmesi gerektiğini göstermiştir.

1938 yılında hazırlanan Jansen Planı, mevcut aksların devamını öngörmüş ve yeni konut alanlarına ulaşımı sağlamak amacıyla İstasyon Caddesi, Suburcu Caddesi, İsmet İnönü Caddesi ve Atatürk Bulvarı gibi önemli caddelerin güneye doğru uzanmasını önermiştir. Bu plan, kentin büyümesini ve gelişmesini desteklemiştir. Kentin büyümesini ve aks yönelimlerini belirleyen faktör bu dönemde sanayi ve konut alanları olmuştur.

Geleneksel kent dokusunun ana ulaşım aksları, 1938 ve 1950 imar planlarında da vurgulanmıştır. Bu planlar, mevcut aksları koruyarak yeni yolların açılmasını öngörmüş ve kentin sürekliliğini sağlamıştır. 1958 yılında hazırlanan hâlihazır harita, mevcut aksların devam ettiğini ve bunlara ek yeni yolların açıldığını göstermektedir. Bu, sürekliliğin kentin biçimlenmesinde ne kadar etkili olduğunu göstermektedir. 1990 yılında hazırlanan Koruma amaçlı imar planı ile tarihi kent merkezinde bulunan mimari dokunun korunması önerildiği gibi sokak dokularının da korunması sağlanmıştır.

2000 yıllarına gelindiğinde kentin batısında yeni kurulması öngörülen İbrahimli ve Karataş bölgelerinin imara açılması ile kent yüzölçümü olarak genişlemiştir. Şehrin ilk üniversitesi olan Gaziantep Üniversitesi kentin batısının gelişimine katkı sağlamıştır. Bu dönemde, kent akslarının değişimi ile kentin sosyolojik ve kültürel dinamiklerinin, kentin gelişmesine etkilerini; kent akslarının değişim ve dönüşümünden okumanın mümkün olduğu görülmektedir. Önceki dönemlerde belirlenen sanayi alanlarının çevresinde planlanandan hızlı bir konut gelişimi olduğu görülmektedir. Ayrıca kentin kuzeybatısında öngörülen konut yerleşiminin yerine batıya doğru bir gelişim görülmesi kentin genişlemesinde sosyolojik faktörlerin olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmanın sonuçlarına göre, tarihi kent merkezi, Gaziantep'in modern bir kent olarak büyümesinde vazgeçilmez bir bileşen olarak görülmelidir. Bu bölge, sadece tarihi ve kültürel bir mirasın taşıyıcısı olmanın ötesinde, imar faaliyetleri sürecinin sürdürülebilirliği için önemli bir yol gösterici rol oynamaktadır. Tarihi kent merkezi, modern şehir planlaması ve altyapı geliştirme çabalarıyla uyumlu bir şekilde korunmalı ve gelecek nesillere aktarılmalıdır.

Sonuç olarak, Gaziantep'in kentsel ulaşım sistemi, şehrin tarihini ve kimliğini yansıtan önemli bir göstergedir. Kentin evrimi, mevcut aksların sürekliliği ve kentin büyümesi ile yakından ilişkilidir. Bu çalışma, Gaziantep'in geçmişten günümüze olan değişimini anlamamıza yardımcı olmuş ve gelecekteki kent planlaması için önemli bir kaynak oluşturmuştur. Gaziantep'in kentsel aksları, şehrin karakterini ve tarihini yansıtan önemli unsurlar olmaya devam etmektedir.

Etik beyanı

Declaration of ethical code

Bu makalenin yazarı, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

Çıkar çatışması beyanı

Conflicts of interest

Yazar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar

References

1970 Yılı Gaziantep hava fotoğrafı. Milli Savunma Bakanlığı Harita Genel Müdürlüğü, Ankara.

1975 yılı hava fotoğrafı. Milli Savunma Bakanlığı, Ankara.

Abadi, M. (1922). *Les Quatre Sieges d'Aintab (1920-1921)*. Paris: Charles-Lavauzelle.

Altın, A. (2015). *Gaziantep Türk İslam mimarisi (Eyyubiler'den Cumhuriyet'e)*. (Yayın no. 429654) [Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi].

Arslan, M. (2017). Gaziantep'e İstiklal Madalyası verilmesi ve TBMM'de yapılan çalışmalar. *Uluslararası Gaziantep Tarihi Sempozyumu Milli Mücadele Döneminde Gaziantep*, (s. 150-153). Gaziantep.

Aru, K. A. (1970). *İtü Mimarlık Fakültesi Şehircilik Enstitüsü Dergisi "Türkiye'de konut politikası"*. Eylül 4, 2023 tarihinde İstanbul Teknik Üniversitesi Web Sitesi: https://www.kemalahmetaru.itu.edu.tr/pdf/konut_politikasi.pdf

Ataş, Z. (2023, Şubat). *Tarihsel süreçte anıtsal yapı ve çevrelerinin değişim ve dönüşümü: Gaziantep Camileri*. İstanbul: (Yayın No. 10531653) [Doktora Tezi, Maltepe Üniversitesi].

- Eski Antep Fotoğrafları. (2007). Gaziantep: Şahinbey Belediyesi.
- (2020). *Gaziantep Büyükşehir Belediyesi Gaziantep-2040 İl Çevre Düzeni Planı Açıklama Raporu*. Gaziantep: Büyükşehir Belediyesi.
- Gaziantep hali hazır paftaları. (1956-58). *Hali hazır paftaları*. Gaziantep: Gaziantep Tapu Kadastro Müdürlüğü.
- Gaziantep koruma amaçlı imar planı. (2018). *Gaziantep*: Gaziantep Büyükşehir Belediyesi.
- Gaziantep tarihi kent silüeti*. Şehitkamil Belediyesi, Gaziantep.
- Halep. (t.y.). Mayıs 12, 2018 tarihinde Houshamadyan:
<http://www.houshamadyan.org/tur/haritaler/halep-vilayeti/ayntab/yerel-ozellikler/mutfak.ht> adresinden alındı
- Harita arşivi. (2004). *Gaziantep*: Gaziantep Büyükşehir Belediyesi.
- Hasol, D. (2021). *20. Yüzyıl Türkiye Mimarlığı*. İstanbul: Yem Yayın.
- II. Abdülhamid arşivi. (t.y.). *Gaziantep*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Nadir Eserler Kütüphanesi.
- Karasakal, M. (2010). *109 Numaralı Ayntab şer'iyeye sicili'nin transkripsiyonu ve değerlendirilmesi (H.1165 / M.1752)*. (Yayın no. 279293) [Yüksek Lisans Tezi, Gaziantep Üniversitesi].
- Kuyucu, F. (2019). *Türkiye'de modern mimarlık döneminde gaziantep kent tasarımının mimari süreklilik bağlamında değerlendirilmesi*. (Yayın no. 597040) [Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi].
- Mevzuat Bilgi Sistemi*. (t.y.). Temmuz 12, 2023 tarihinde T.C. Cumhurbaşkanlığı Mevzuat Bilgi Sistemi: www.mevzuat.gov.tr
- Özdeğer, H. (1996). Gaziantep. *TDV İslam Ansiklopedisi* (Cilt 13). İçinde İstanbul: TDV Yayınları.
- Özdeğer, H. (1988). *Onaltıncı asırda Ayıntab Livası* (Cilt 1). İstanbul: Türk İktisat ve İçtimaiyat Tarihi Araştırmaları Merkezi.
- Peers, F. W. (t.y.). *Fine Arts Library*. Eylül 5, 2019 tarihinde Harvard School Library: <http://www.harvard.edu>
- Sarafian, K. (1957). *A briefer history of Aintab*. Union of the Armenians of Aintab: <https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=mdp.39076006639285&view=1up&seq=7> adresinden alınmıştır.
- Saral, A. H. (1966). *Türk İstiklal Harbi IV ncü cilt güney Cephesi*. Ankara: T. C. Genelkurmay Başkanlığı Harp Tarihi Dairesi Resmi Yayınları Seri No:1.
- Tankut, G. (1988). *Ankara'nın başkent olma süreci*. Eylül 4, 2023 tarihinde ODTÜ Üniversitesi Web Sitesi: http://jfa.arch.metu.edu.tr/archive/0258-5316/1988/cilt08/sayi_2/93-104.pdf adresinden alındı.
- Tanyeli, U. (2022). *Anadolu-Türk kentinde fiziksel yapının değişimi (11.-15. Yüzyıllar)*. İstanbul: İdealkent Yayınları.
- Tekeli, İ. (2009). *Modernizm, modernite ve Türkiye'nin kent planlama tarihi*. İstanbul: Tarih Vakfı Yurt Yayınları.
- Turan, O. (1971). *Selçuklular zamanında Türkiye*. İstanbul: Turan Neşriyat Yurdu.
- Türk, Ş. Ş., Ocakçı, M., & Terzi, F. (2020). Kentsel dönüşüm sürecine planlama ilke ve kriterlerinin eklenmesi. *hüseyin kaptan'a armağan kent ve planlama* (s. 373-398). İstanbul: YEM Yayın.
- Yakar, H. İ., & Uçaner, M. (2015). *Barsumyan-Nazaryan Antep şehir planı*. Gaziantep: Şehitkamil Belediyesi Kültür Yayını.

30 Ekim 2020 Ege denizi depreminin kabuk deformasyonuna etkisinin TUSAGA-Aktif verileri ile incelenmesi

Investigation of the effect of 30 October 2020 Aegean sea earthquake on crustal deformation by TUSAGA-Active data

İbrahim Çağdaş BAŞ*¹ , Ramazan Alpay ABBAK¹ 

¹Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 42250, Konya

• Geliş tarihi / Received: 25.09.2023

• Kabul tarihi / Accepted: 05.02.2024

Öz

TUSAGA-Aktif (Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı) sistemi, 168 adet sabit GNSS (Küresel Konum Belirleme Sistemleri) istasyonu ile ticari ve akademik çalışmalar için kullanıma sunulmuştur. Sistemden yüksek doğrulukta veri elde edilebilmesi, yer kabuğu hareketleri nedeniyle mühendislik yapılarında meydana gelen deformasyonların izlenmesini kolaylaştırmıştır. 30 Ekim 2020 tarihinde Ege Denizi'nde (Sisam Adası açıklarında) yerel saat ile 14.51'de aletsel büyüklüğü $M_I=6.6$ ($M_w=6.9$) olan bir deprem meydana gelmiştir. Çalışmanın amacı deprem etki alanında seçilen TUSAGA-Aktif istasyonlarında, bu deprem kaynaklı herhangi bir kabuk deformasyonu olup olmadığının incelenmesidir. Bu kapsamda AYD1, CESM, DIDI, IZMI, KIKA ve SALH istasyonlarının deformasyon yönleri ve büyüklükleri belirlenmiştir. Deprem tarihinden 15 gün önce ve 11 gün sonrasında ait RINEX (Alıcı Bağımsız Değişim Biçimi) gözlem verileri internet tabanlı GNSS servislerinden CSRS-PPP (Canadian Spatial Reference System Precise Point Positioning Service) ve OPUS'da (Online Positioning User Service) değerlendirilmiş, sonuçlar analiz edilmiştir. CSRS-PPP servisi sonuçlarına göre, kuzey yönde 57.39 mm anlamlı deformasyon miktarı ile depremden en çok CESM istasyonu etkilendiği görülmüştür. OPUS analiz servisi verilerinden de benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Deprem, İzmir, Kabuk deformasyonu, PPP, Sisam, TUSAGA-Aktif

Abstract

The TUSAGA-Active (Turkish National Continuous Operating Reference System) is available for commercial and academic studies with 168 fixed GNSS (Global Navigational Satellite Systems) stations. Its capability to provide high-accuracy data facilitate to monitor deformations in engineering structures resulting from crustal movements. On October 30, 2020, an earthquake with a magnitude of $M_L = 6.6$ ($M_W = 6.9$) struck the Aegean Sea at 14.51 local time. The aim of the study is that TUSAGA-Active stations located within the earthquake-affected area are thoroughly examined to detect any crustal deformations caused by this seismic event. As part of this analysis, deformation directions and magnitudes were determined for stations AYD1, CESM, DIDI, IZMI, KIKA, and SALH. RINEX data from 15 days before the earthquake date and 11 days after were processed using CSRS-PPP (Canadian Spatial Reference System Precise Point Positioning Service) and OPUS (Online Positioning User Service), which are internet-based GNSS services. The results of this analysis revealed that the CESM station experienced the most significant displacement, averaging 57.39 mm in the north direction according to the CSRS-PPP service. Similar results were obtained from the OPUS service data.

Keywords: Earthquake, Izmir, Crust deformation, PPP, Samos, TUSAGA - Active

*İbrahim Çağdaş BAŞ; cagdasbas42@gmail.com

1. Giriş

1. Introduction

Yeryuvarının oluşumundan bugüne, yer kabuğu çeşitli yön ve büyüklüklerde sürekli olarak hareket etmektedir. Bu hareket doğrusal tektonik etkiler eşliğinde olabileceği gibi, depremler sebebiyle ani kırılmalar şeklinde de gerçekleşebilmektedir. Depremler sonuçları itibari ile doğada yaşayan birçok canlıyı ve özellikle insanlığı etkilemesi nedeniyle çeşitli bilim dallarının araştırma konusudur. Bu bakımdan gerek mühendislik yapılarının güvenliği gerekse depremlerin önceden tahmin edilebileceği fikri bugün olduğu gibi bu amaca ulaşılincaya kadar gelecekte de bilim dünyasının çalışma konusu olacaktır.

Depremler, evrimi henüz devam etmekte olan genç Anadolu plakasında da oldukça yoğun bir şekilde sürmektedir. Bu nedenle ülkemizde konumlanan birçok diri fay sistemi bulunmaktadır. Bu yönüyle ele alındığında ülkemiz deprem kuşağında yer almaktadır. Anadolu plakası üzerinde etkin fay sistemlerinden biri olan Ege Graben Sistemi de yüksek büyüklüklerde depremler üretmektedir. Bu sistem içerisinde nüfus yoğunluğu en fazla olan yerleşim yeri İzmir “Batı Anadolu genişleme bölgesi” olarak isimlendirilen kuzey-güney doğrultusunda genişleyerek şekil değiştiren bir bölgede yer alır (Şengör vd., 1985).

Günümüzde, gelişen teknoloji ile uydu ve uzay teknikleri, derin fayların davranışı hakkında bilgi veren ve deformasyon ölçümlerine imkân sağlayan bir yöntemdir (Konakoğlu & Akar, 2021). Türkiye’de de 2009 yılından itibaren kullanıma sunulan TUSAGA-Aktif istasyonları, yüksek doğrulukta konum belirleme özelliği ve 7 gün 24 saat veri toplama sayesinde yüksek doğruluk sunarak deprem olaylarının hassasiyetle izlenmesine imkân vermektedir. Bu ağların sürekli gözlem yapması, deprem deformasyonlarının belirlenmesinde, fay hattı çevresinde kurulan yerel GNSS ağı çalışmalarına göre daha etkin ve hızlı sonuçlar vermektedir.

Literatür incelendiğinde, Pamukçu vd. (2013) tarafından, İzmir’in sismik aktivitesi üzerine yapılan çalışmalar yardımı ile yatay hareketler ve hız değişimleri izlenmiştir. Karaburun yarım adasının güneyinde Kuşadası körfezi Seferihisar açıklarını kapsayan alanda yüksek sismik aktivite gözlemleyerek bu bölgeyi potansiyel deprem alanı olarak işaret etmişlerdir. Diğer yandan kabukta oluşan deprem sonuçlarını gözlemek amacıyla Şanlıoğlu vd. (2018) Elâzığ-Karakoçan depreminin TUSAGA-Aktif istasyonlarına etkisini incelemiş, geniş alanlardaki etkileri mm duyarlılıkla noktasal olarak belirlemiştir. Ardından, Şimşek vd. (2019) yer kabuğu hareketlerinin belirlenmesinde internet tabanlı GNSS servislerinin performans analizini gerçekleştirmiş, CSRS-PPP servisinin güvenilir sonuçlar verdiğini belirlemiştir. Ardından, Yalvaç (2020a) hassas nokta konum belirleme (HNK) yönteminin kabuk deformasyonlarında kullanılabilirliğini internet tabanlı GNSS değerlendirme servisi CSRS-PPP ve akademik GNSS analiz yazılımı GAMIT/GLOBK V10.7 ile araştırmıştır. Araştırma sonucunda HNK yönteminin kabuk deformasyonu belirleme çalışmalarında kullanılabileceğini bildirmiştir. Yalvaç (2020b) ve Konakoğlu & Akar (2021) Elâzığ ve çevresindeki illerde tektonik hareketlerin TUSAGA-Aktif istasyonlarının konumlarına etkisini ele almış, statik deformasyon modelleri ile analiz etmiştir.

30 Ekim 2020 tarihinde Ege Denizi’nde yerel saat ile 14.51’de aletsel büyüklüğü $M_l=6.6$ ($M_w=6.9$) olan yüksek şiddette bir deprem meydana gelmiştir. İzmir ve çevre iller dahil geniş bir alanda hissedilmiştir (BDTİM, 2020). Söz konusu depremin yer kabuğunda kayda değer kalıcı etkiler ürettiği bilinmektedir. Ancak, söz konusu depremin oluşturduğu yer değiştirmeleri izlemek amacıyla Türkçe literatürde GNSS’ye dayalı henüz bir değerlendirme yapılmamıştır. Ayrıca bu çalışmada internet tabanlı GNSS servislerinin deformasyon çalışmalarında tekrarlanan deprem öncesi ve sonrası ölçü sayısının artırılarak, sonuçların bölgenin bilinen tektonik davranışlarıyla uyumluluğu test edilmesi amaçlanmıştır.

Bu çalışmada söz konusu Ege Denizi Depreminin bölgedeki kabuk deformasyonlarına etkisi, TUSAGA-Aktif istasyonları verileri kullanarak internet tabanlı GNSS servisleri yardımıyla belirlenmiştir. Araştırmada 7 gün 24 saat sürekli gözlem yapan istasyonlar kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan istasyonların verileri TUSAGA-aktif internet sitesinden (TUSAGA, 2023) indirilmiş, konum bilgileri CSRS-PPP ve OPUS internet tabanlı GNSS servislerinden elde edilmiştir. Sonuçta, bazı istasyonlarda yatay yönlü anlamlı deformasyonlar belirlenmiş ve Batı Anadolu Açılma Rejimiiyle uyumlu sonuçlar elde edilmiştir.

İkinci bölüm, deformasyon analizinde kullanılacak yersel veriler, verilerin değerlendirilmesinde esas alınacak GNSS servisleri ve çalışma alanı hakkındaki temel bilgiler ile başlamaktadır. Üçüncü bölümde kullanılan

matematiksel yaklaşım hakkında genel bilgiler verilmektedir. Daha sonra sayısal uygulama kısmının işlem adımlarının anlatıldığı dördüncü bölüm ile devam etmektedir. Son olarak, sayısal sonuçların tartışıldığı ve elde edilen bulguların paylaşıldığı beşinci bölümde sonuçlanmaktadır.

2. Materyal

2.1. Materyal

Bu çalışmada Ege Graben Sistemi üzerinde 30 Ekim 2020 tarihinde meydana gelen Ege Denizi Depremi analiz edilmiştir. Ege bölgesindeki TUSAGA- Aktif İstasyonlarının 30 saniyelik verileri kullanılmış olup, OPUS ve CSRS-PPP internet tabanlı GNSS servisleri yardımıyla nokta koordinatları ağ çözümleriyle elde edilmiştir. Web tabanlı GNSS yazılımları seçilirken bir mutlak (CSRS-PPP) ve bir bağıl (OPUS) değerlendirme yapan ve literatürde deformasyon çalışmalarında kullanılabilirliği kanıtlanmış servisler seçilmiştir ([Şimşek vd., 2019](#); [Yalvaç, 2020](#)).

2.1.1. Türkiye ulusal sabit GNSS istasyonları ağı (TUSAGA-Aktif)

2.1.1. Turkish national continous GNSS stations network (TUSAGA-Active)

TUSAGA-Aktif istasyonları Türkiye ve KKTC de dahil olmak üzere 168 adettir. 2009 yılından itibaren kesintisiz hizmet vermektedir. İstasyonlar, yaklaşık homojenlikte ülke geneline dağılım göstermektedir.

TUSAGA-Aktif projesi, İstanbul Kültür Üniversitesi (İKÜ) yürütücülüğünde, Harita Genel Komutanlığı (HGK) ve Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü (TKGM) müşterek müşteri olmak üzere, 8 Mayıs 2006 tarihinde proje çalışmaları başlamış, 2008 itibariyle tam kapasiteyle faaliyete geçmiştir. TUSAGA-Aktif sisteminin işletilmesi ve düzeltme parametrelerinin hesaplanması kontrol ve analiz merkezlerinde yapılmaktadır. Tüm istasyonlardan toplanan veriler ADSL ile veri merkezlerine aktarılmakta ve burada düzeltme parametreleri hesaplanarak tüm kullanıcılara sunulmaktadır ([Yıldırım vd., 2011](#)).

TKGM – Harita Dairesi Başkanlığı sürekli kaydedilen GNSS istasyonlarının verilerini RINEX formatında depolayıp günlük dosyalar halinde TUSAGA-aktif internet sitesinden ([TUSAGA, 2023](#)) dağıtmaktadır. Siteye ulaşım abonelik gerektirmektedir.

2.2. CSRS-PPP

2.2. CSRS-PPP

2003 yılında kurulan servisten üye olmak şartı ile ücretsiz olarak yararlanılmaktadır. CSRS, çevrimiçi bir GNSS servisi olarak, veri işlemede NRCAN-PPP yazılımını kullanmaktadır. Verinin toplandığı güne ait en uygun hassas uydu yörünge efemeris (Ultra-rapid, Rapid veya Final) ve saat bilgisini kullanmaktadır. Servis kullanılırken statik ya da kinematik modda NAD83 ve ITRF datumlarından biri tercih edilebilmektedir ([Arıkan & Abbak, 2019](#)). En fazla 300 MB (.zip, .gz, .Z, .tar, .?O), bir adet sıkıştırılmış dosya ile birden fazla RINEX gözlem dosyası gönderilebilmektedir.

2.3. OPUS

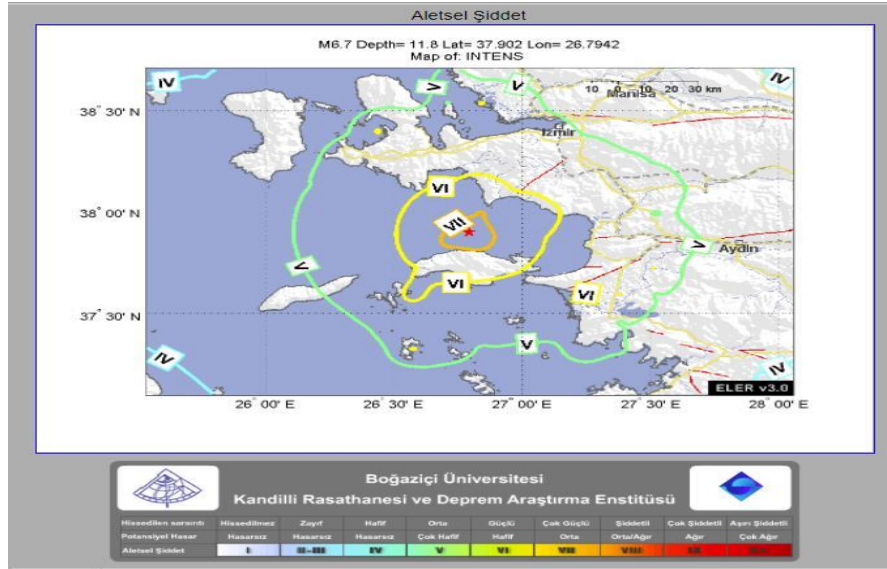
2.3. OPUS

OPUS, Amerika Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (NOAA) tarafından kurulmuş ücretsiz bir GNSS verisi işleme servisi. OPUS, arka planda veri işlemede PAGES yazılımını kullanmaktadır. Öncelikle yüklenen verilerden başlangıç koordinat grubu hesaplayarak işe başlar. Yakın bölgeden en iyi 5 istasyonu seçerek devam eder. Sonrasında kontrol testlerini arşivlenmiş verilerden yapmaktadır. Bu kontrol testlerinde; veri durumu, ortak zaman aralıkları, mesafe, geometrik durum ve multipath etkisi gibi durumlar göz önüne alınarak en iyi 3 istasyon seçilir. Bu 3 istasyon sayesinde bağımsız baz vektörlerinden yararlanarak ortalama konum hesaplanır ([Şimşek, 2019](#)). Servisin web adresine ücretsiz bir şekilde üye olup RINEX verileri yüklenerek değerlendirme sonuçları e-posta adresinden alınabilmektedir ([Şimşek vd., 2019](#)).

2.4. Çalışma sahası

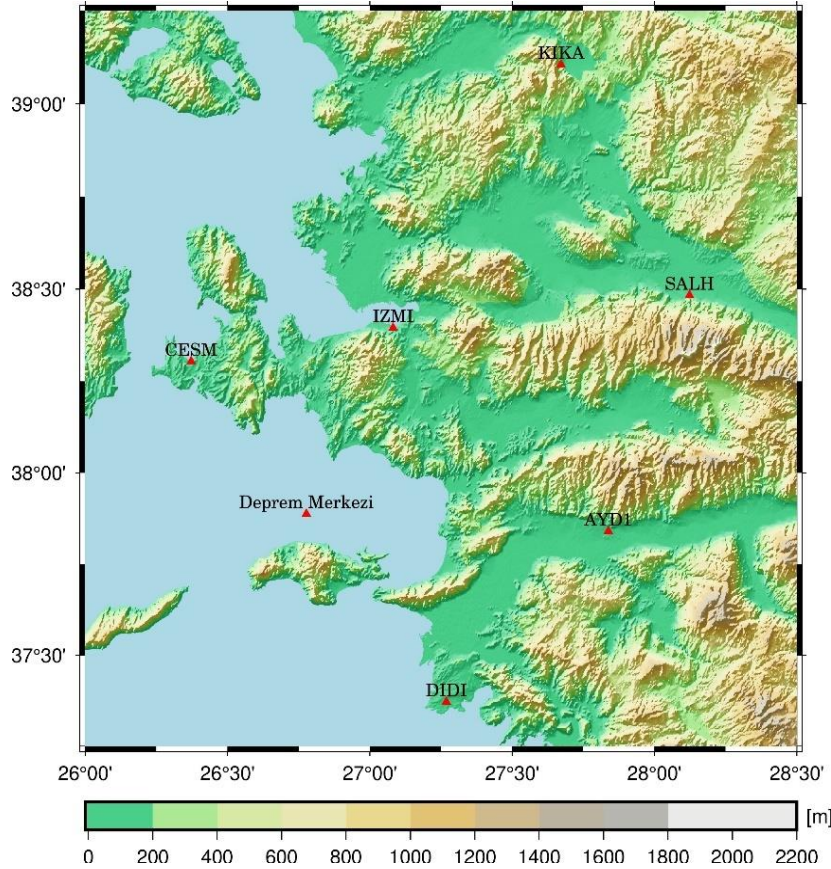
2.4. Study area

B. Ü. Kandilli Rasathanesi ve DAE. Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi tarafından deprem sonrası yayımlanan tahmini şiddet haritasında (Şekil 1) depremin aletsel büyüklüğü IV ile VII arası yayılım gösteren bölgedeki AYD1, CESH, DIDI, IZMI, KIKA ve SALH adlı TUSAGA Aktif istasyonları seçilmiştir (Şekil 2).



Şekil 1. Deprem sonrası tahmini şiddet haritası (BDTİM, 2020)

Figure 1. Post-seismic magnitude map (BDTİM, 2020)



Şekil 2. Çalışmada kullanılan TUSAGA Aktif istasyonları ve bölgenin topoğrafyası

Figure 2. TUSAGA-Active stations used in the study and topography of the area

2.5. Bölgenin tektonik yapısı

2.5. Tectonic structure of the region

Anadolu Alp-Himalaya dağ kuşağında yer almaktadır. Afrika-Arabistan ve Hindistan Levhalarının kuzeye doğru itirmesiyle, Avrasya Levhası ile çarpışmaktadır. Bu levhasal çarpışma oldukça geniş bir bölgede deformasyon alanı oluşturmaktadır. Bu deformasyon türü son yılların en çok ilgi gören çalışma konularından biri haline gelmiştir. Jeolojik sürecin Doğu Akdeniz bölümünde Anadolu-Ege bloğu saat yönünün tersi bir hareketle Girit'i merkeze alan Helen yayına doğru yanal kaçış hareketi yapmaktadır. Hareketin kuzey sınırını Kuzey Anadolu fayı, güney sınırını ise doğuda Doğu Anadolu Fayı, Güney Anadolu'da ise Kıbrıs ve Helen yayları oluşturmaktadır (Özel vd., 2005). Kuzey-güney genişlemeli hareketlerin baskın olduğu Ege bölgesinde, Arap ve Avrasya levhalarının Güneydoğu Anadolu bölgesinde Bitlis-Zagros boyunca çarpışması ile tetiklenen Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu Faylarının gelişmesi ve Anadolu levhasının batıya kaçışı ile gelişen Batı Anadolu'da doğu-batı doğrultulu grabenler, kuzey-güney genişlemeli tektonik rejim ile sonuçlanan bir süreci tanımlar (Dewey & Şengör, 1979; Şengör, 1982; Şengör vd., 1985).

30 Ekim 2020 tarihinde Ege Denizi'nde Sisam adasının kuzeyinde (37.9020 Kuzey, 26.7942 Doğu), saat 14.51'de aletsel büyüklüğü $M_I=6,6$ ($M_w=6,9$) olan şiddetli bir deprem meydana gelmiştir. 12 km derinlikte sığ odaklı bir depremdir. Sığ odaklı depremler daha dar bir alanda, daha şiddetli olarak hissedilmektedir ve yıkıcılığı artmaktadır. Deprem İzmir ve çevresi de dahil Marmara Bölgesine kadar büyük bir alanda hissedilmiştir (BDTİM, 2020).

Bu depreme Sisam (Samos) Adası'nın kuzeyinden geçen Kuzey Sisam Fayı kaynaklık etmiştir. Bölgedeki deformasyonun nedeni Ege ve Anadolu üst kabuğunun kuzey-güney yönlü gerilmesidir. Doğu Akdeniz okyanusal litosferi (Afrika levhası) kuzeye doğru Avrasya (Ege ve Batı Anadolu) levhası altına dalıp batmaktadır. Anadolu mikro levhası Kuzey Anadolu Fay Zonu boyunca batıya doğru hareketi Batı Anadolu'da güneybatıya doğru dönmekte, bu durum dalan Afrika levhasının güneybatıya doğru geriye çekilmesine (roll-back) neden olmaktadır (Aksoy, 2023).

İzmir ili Batı Anadolu Açılma Rejiminin etkisi altında Gediz graben sisteminin batı ucunda yer almaktadır. MTA'nın hazırladığı Türkiye Diri Fay Haritasında da görüleceği üzere Gediz grabeni dışında bölgenin deprenselliğine kaynak oluşturabilecek aktif faylar Tuzla, Seferihisar, Gülbahçe, Mordağan, Gümüldür, İzmir, Menemen, Güzelhisar, Yeni Foça ve Kiraz faylarıdır (BDTİM, 2020).

Aletsel dönemde il sınırları içerisinde meydana gelen önemli depremlerin büyüklükleri $M=7.0-7.9$ arasındadır. Depremlerin fay düzlemi çözümü bölgenin kuzey-güney açılma rejiminin etkisi altında Batı Anadolu'nun güncel tektonik evrimini sürdürdüğünü ortaya koymaktadır (BDTİM, 2020). İzmir iline en yakın yıkıcı deprem, 1992 yılında merkeze 32 km uzaklıktaki, 5.5 büyüklüğünde meydana gelen 1992 Orhanlı-Seferihisar (İzmir) depremidir (BDTİM, 2020).

30 Ekim 2020 Ege Denizi Depremi derin tektonik işlevlerle üst kabuksal deformasyon ve jeolojik tehlikeler arasındaki uzun süredir var olan sessizliği bozmuştur. Bu deprem aynı zamanda gelecekte de büyük depremlerin ve volkanik patlamaların habercisidir (Aksoy, 2023).

3. Metot

3. Method

Deformasyon analizleri, koordinatların standart sapmaları üzerinden yapılmaktadır. Bu işlem için deprem öncesi toposentrik (yerel kartezyen koordinatlar: kuzey, doğu, düşey) koordinatların standart sapmaları,

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{[VV]}{n}} \quad (1)$$

eşitliği ile hesaplanır (Abbak, 2020).

Deformasyonları belirlemek için güven aralığı kavramını kullanmak gerekir. Buna göre, μ değeri istasyonların her bir gün için hesaplanan kuzey, doğu ve düşey yöndeki beklenen değerleri olmak üzere,

$$P(\mu-3\sigma < X < \mu+3\sigma) = \%99 \quad (2)$$

eşitliği kabul edilebilir en büyük hatayı ifade eder (Abbak, 2020). Bu kapsamda kesin değerler güven aralığının dışına çıkarsa şüpheli ölçü kabul edilir. Böylece istasyon noktasının hareket ettiği yani deformasyona uğradığı anlamına gelir (Şanlıoğlu vd., 2019).

4. Tartışma

4. Discussion

Bu bölümde TUSAGA-aktif istasyonlarının tekrarlı konum hesaplamaları ve deformasyon belirleme çalışmalarının işlem adımları anlatılacaktır. Sayısal sonuçlara göre elde edilen şekil ve grafikler yardımıyla deformasyon büyüklüklerinin anlamlılık testleri gerçekleştirilecektir.

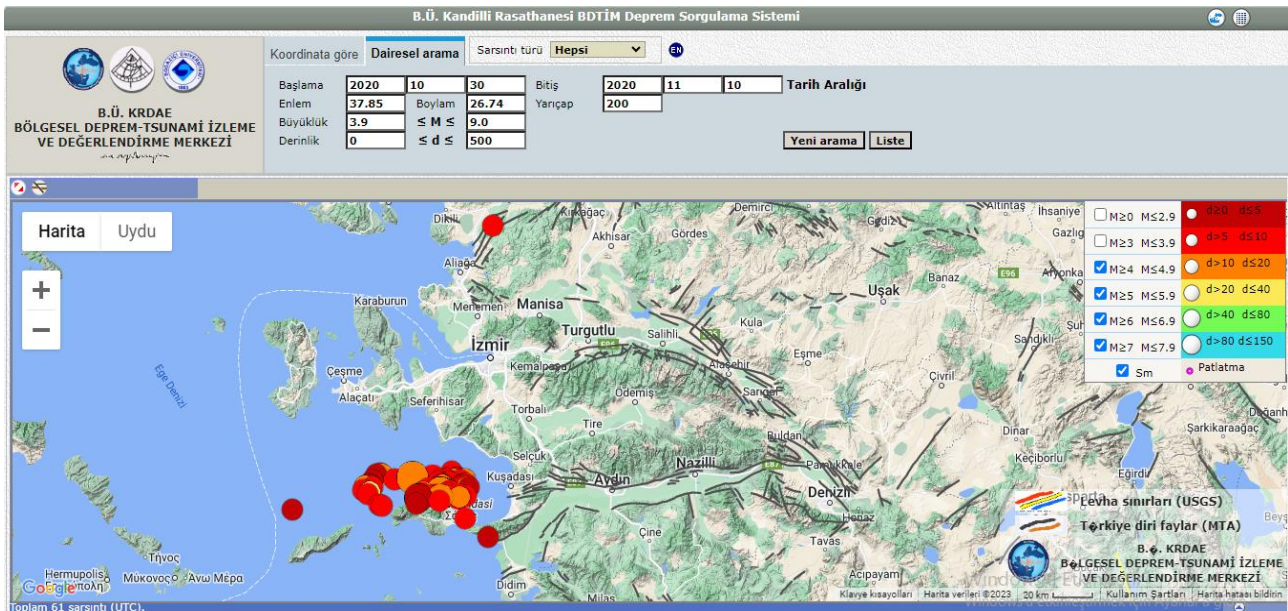
4.1. Nokta konum hesaplamaları

4.1. Point position computations

Sisam Adası açıklarında meydana gelen Ege Denizi Depremi merkez üssüne yakın 6 adet TUSAGA- Aktif istasyonun (AYD1, CESH, DIDI, IZMI, KIKA ve SALH) verileri kullanılmıştır. Deprem gününün 15 gün öncesinden başlayıp, 11 gün sonrasına kadar olan veriler ele alınmıştır. Bu tarihler yılın 289. ve 315. günleri arasına denk gelmektedir.

Deprem günü olan 30 Ekim 2020 RINEX verileri “teç” yazılımı yardımıyla iki gruba bölünmüştür (304A ve 304B). Bölme işlemi yapılırken deprem saati olan 14.51 referans alınmış olup, öncesi 0.00 ile 14.30 (304A), sonrası 15.30 ile 23.59 (304B) zaman aralığı seçilmiştir. 304B zaman aralığı seçilirken 14.51 den itibaren denemeler yapılmış, anlamlı sonuçlar görülene kadar gidilerek 15.30 ve sonrası kullanılmıştır. 15.30’a kadar olan zaman aralığında görülen istenmeyen sonuçlara istasyon antenlerinde oluşan salınım hareketinin belli bir süre devam etmesinin neden olduğu düşünülmektedir.

Deprem sonrası deformasyonları için incelemeye alınan gün sayısı seçilirken (Şekil 3), Kandilli Rasathanesi Deprem Sorgulama Sistemi (KRDAE, 2023) üzerinden, merkez üssüne 200 km yarıçapında bölge ile M 4.0-9.0 büyüklükleri filtrelenmiştir. Genellikle 4.0 ve altında büyüklüklerde depremler zayıf zeminlerde dahil deformasyona neden olmamaktadır (Burada deformasyonlar zemin yapısına göre değişiklik göstermektedir).



Şekil 3. B.Ü. Kandilli Rasathanesi BDTİM Deprem Sorgulama Sistemi filtrelemesi

Figure 3. B.U. Kandilli Observatory BDTIM Earthquake Inquiry System filtering

4.2. CSRS-PPP servisi ile yapılan uygulama

4.2. Application with CSRS-PPP service

TUSAGA Aktif internet sitesinden indirilen istasyonlara ait RINEX verileri öncelikle CSRS-PPP internet adresine (CSRS-PPP, 2023) yüklenmiş, sonuçlar e-posta olarak alınmıştır. Sonuçlar, noktaların coğrafi koordinatlarını ve doğruluklarını içerir.

CSRS-PPP servsinden alınan coğrafi koordinatlar, yazarlar tarafından C dilinde geliştirilen bir yazılım yardımıyla toposentrik koordinatlara dönüştürülmüştür. Bu dönüşüm yapılırken deprem saati öncesi veriler referans kabul edilmiştir. Buna göre hesaplanan tüm istasyonların konumlarının zaman serileri Şekil 4 ve Şekil 5'te gösterilmiştir.

Grafiklerdeki (Şekil 4 ve Şekil 5) ilk satır yılın 289-315. günlerini, 304A ve 304B ise deprem günü olan 30 Ekim 2020'yi göstermektedir. 2. 3. ve 4. satırlar sırasıyla kuzey, doğu ve dikey yöndeki yer değiştirmeleri göstermektedir. Diğer yandan, birçok denemeye rağmen CESM istasyonunda 289. gün için sonuçlar alınamamıştır. Deprem öncesi toposentrik koordinatların standart sapmaları eşitlik (1) ile hesaplanmış ve 'n' gün sayısı '16' alınmıştır.



Şekil 4. CSRS-PPP servisine dayalı (a) Aydın, (b) Çeşme ve (c) Didim istasyonlarının yer değiştirme grafikleri
Figure 4. Displacements graphs of (a) Aydın, (b) Çeşme and (c) Didim stations based on CSRS-PPP service



Şekil 5. CSRS-PPP servisine dayalı (a) İzmir, (b) Kırkağaç ve (c) Salihli istasyonlarının yer değiştirme grafikleri

Figure 5. Displacements graphs of (a) İzmir, (b) Kırkağaç and (c) Salihli stations based on CSRS-PPP service

Tablo 1’de istasyonların her biri için standart sapma değerlerinin 3 katı alınıp, yer değiştirme miktarlarından mutlak değerce en büyük olanları seçilip, maksimum fark olarak gösterilmiştir. Maksimum farkları, standart sapmasının 3 katından büyük olan istasyonlar: CESM, DIDI, İZMI, KİKA, SALH istasyonları olarak tespit edilmiş ve koyu renk ile gösterilmiştir. Buna göre CESM istasyonu kuzey, doğu ve düşey yönde, DIDI istasyonu kuzey yönde, İZMI istasyonu kuzey, doğu ve düşey yönde, KİKA istasyonu kuzey ve düşey yönde, SALH istasyonu kuzey yönde deformasyona uğramıştır.

Tablo 1. TUSAGA-Aktif istasyonlarının deprem öncesi yer değiştirmelerinin standart sapmaları ile deprem sonrası yer değiştirmelerinin maksimum farklarının karşılaştırılması [mm]

Table 1. Comparison of the standard deviations of the pre-earthquake displacements and the maximum differences of the post-earthquake displacements of TUSAGA-Aktif stations [mm]

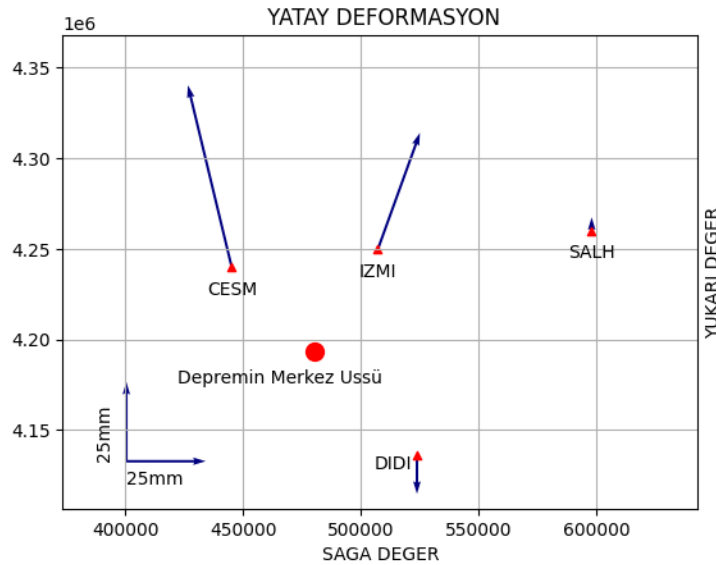
İstasyon kodu	3*Standart sapma σ			Maksimum farklar			Uzaklıklar (km)
	Kuzey	Doğu	Düşey	Kuzey	Doğu	Düşey	
AYDI	4.03	3.15	11.03	2.77	2.73	7.3	95
CESM	5.61	2.38	7.65	57.39	13.82	8.48	59
DIDI	3.22	2.82	14.54	12.21	1.77	6.07	71
IZMI	5.24	9.63	10.34	36.74	13.28	10.39	65
KIKA	4.53	4.68	11.67	10.33	3.63	19.59	159
SALH	2.77	2.43	13.84	4.22	2.09	7.48	138

İstasyonlardaki hareketin anlamlı kabul edilebilmesi için, her bir istasyon özelinde deprem sonrası için belli bir yönde; işaretlerinin aynı, büyüklüklerinin yakın değerlerde olması gerekir (Şanlıoğlu vd. 2019). Buna göre CESM istasyonunun kuzey ve doğu yönde sırasıyla yer değiştirmeleri 57.39 mm ve -13.82 mm olarak anlamlıdır. DIDI istasyonu kuzey yönde -12.21 mm deformasyon miktarı anlamlıdır. IZMI istasyonunda kuzey yönde 36.74 mm ve doğu yönde 13.28 mm deformasyon miktarı anlamlıdır. KIKA istasyonunda kuzey yöndeki deformasyon miktarları işaretçe aynı yönlü olsa da kendi içerisinde büyüklük olarak tutarlı olmadığından, düşey yönde ise hem işaret hem de büyüklük bakımından tutarlı olmadığından anlamlı kabul edilmemiştir. SALH istasyonu kuzey yöndeki 4.22 mm deformasyon miktarı anlamlıdır (Tablo 2). Anlamlı yatay deformasyon vektörleri Şekil 6'da gösterilmiştir.

Tablo 2. TUSAGA- Aktif istasyonlarının anlamlı deformasyon miktarları (CSRS-PPP servisi) [mm]

Table 2. Significant deformation amounts of TUSAGA-Active stations (CSRS-PPP service) [mm]

İstasyon kodu	Kuzey	Doğu	Düşey
AYDI	2.77	-2.73	-7.3
CESM	57.39	-13.82	8.48
DIDI	-12.21	1.77	6.07
IZMI	36.74	13.28	10.39
KIKA	10.33	3.63	-19.59
SALH	4.22	2.09	-7.48



Şekil 6. TUSAGA Aktif istasyonlarının yatay yönde anlamlı deformasyon vektörleri
Figure 6. Significant horizontal deformation vectors of TUSAGA Active stations

4.3. OPUS servisi ile yapılan uygulama

4.3. Application with OPUS service

TUSAGA Aktif internet sitesinden indirilen istasyonlara ait RINEX verileri OPUS internet adresine (OPUS, 2023) yüklenmiş, sonuçlar e-posta olarak alınmıştır. OPUS servisi, koordinatlarını sabit olarak değerlendirdiği Türkiye ve çevresindeki; ISTA, TUBI, ANKR, SOFI, NICO, ORID olmak üzere 6 adet IGS istasyonunun verilerini kullanmıştır. Sonuçlar, noktaların kartezyen koordinatlarını ve doğruluklarını içerir.

OPUS servisinden alınan kartezyen koordinatlar yazarlar tarafından C dilinde geliştirilen bir başka yazılım yardımıyla toposentrik koordinatlara dönüştürülmüştür. Bu dönüşüm yapılırken deprem saati öncesi veriler referans kabul edilmiştir. Buna göre hesaplanan tüm istasyonların konumlarının zaman serileri Şekil 7 ve Şekil 8'de gösterilmiştir.

Diğer yandan, çeşitli denemelere rağmen DIDI istasyonunda 314. ve 315. günlerde OPUS servisinden sonuçlar alınamamıştır. Deprem öncesi toposentrik koordinatların standart sapmaları eşitlik (1) ile hesaplanmış ve 'n' gün sayısı '16' alınmıştır.



Şekil 7. OPUS servisine dayalı (a) Aydın, (b) Çeşme ve (c) Didim istasyonlarının yer değiştirme grafikleri
Figure 7. Displacement graphs of (a) Aydın, (b) Çeşme and (c) Didim stations based on OPUS service



Şekil 8. OPUS servisine dayalı (a) İzmir, (b) Kırkağaç ve (c) Salihli istasyonlarının yer değiştirme grafikleri
Figure 8. Displacement graphs of (a) İzmir, (b) Kırkağaç and (c) Salihli stations based on OPUS service

Tablo 3. TUSAGA-Aktif istasyonlarının deprem öncesi yer değiştirmelerinin standart sapmaları ile deprem sonrası yer değiştirmelerinin maksimum farklarının karşılaştırılması [mm]
Table 3. Comparison of the standard deviations of the pre-earthquake displacements and the maximum differences of the post-earthquake displacements of TUSAGA-Aktif stations [mm]

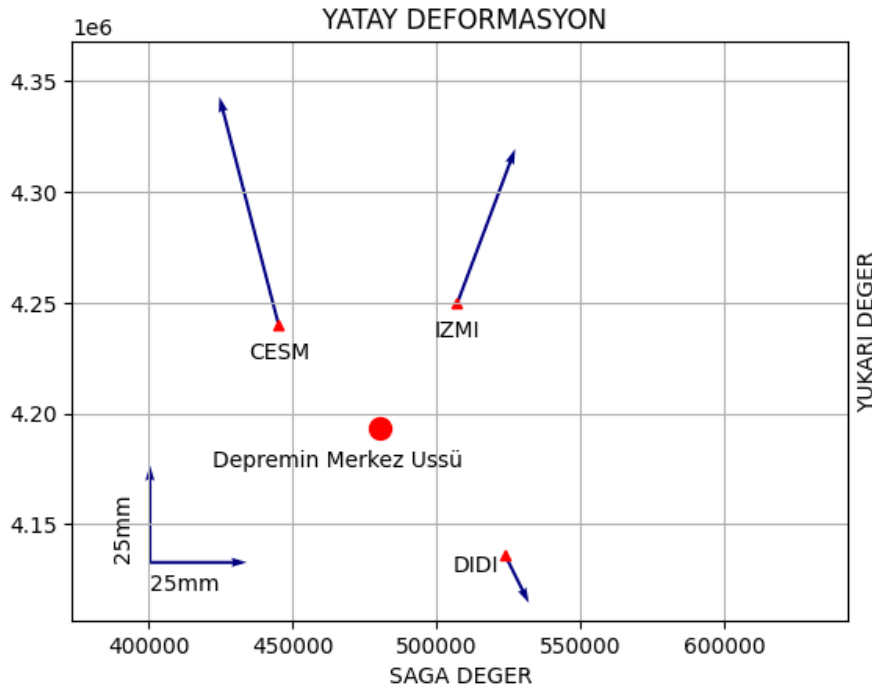
İstasyon kodu	(Standart sapma σ)*3			Maksimum farklar			Uzaklıklar (km)
	Kuzey	Doğu	Düşey	Kuzey	Doğu	Düşey	
AYD1	6.19	4.11	18.34	4.91	2.33	9.01	95
CESM	4.15	4.44	14.82	58.89	15.29	9.96	59
DIDI	8.44	4.92	13.30	12.38	6.14	9.59	71
İZMI	8.41	4.66	16.29	39.82	14.94	10.81	65
KİKA	5.01	5.41	19.12	10.55	4.47	21.10	159
SALH	4.41	4.09	23.44	6.36	3.24	11.05	138

Tablo 3'te istasyonların her biri için standart sapma değerlerinin 3 katı alınıp, yer değiştirme miktarlarından mutlak değerce en büyük olanları seçilip, maksimum fark olarak gösterilmiştir. Maksimum farkları, standart sapmasının 3 katından büyük olan istasyonlar: CESM, DIDI, IZMI, KIKA, SALH olarak tespit edilmiştir. Buna göre CESM istasyonu kuzey ve doğu yönde, DIDI istasyonu kuzey ve doğu yönde, IZMI istasyonu kuzey ve doğu yönde, KIKA istasyonu kuzey ve düşey yönde, SALH istasyonu kuzey yönde deformasyona uğramıştır.

İstasyonlardaki hareketin anlamlı kabul edilebilmesi için, yine önceden belirtilen kurala uygun olarak, her bir istasyonda deprem sonrası için belli bir yönde; işaretlerinin aynı, büyüklüklerinin yakın değerlerde olması gerekir (Şanlıoğlu vd. 2019). Buna göre CESM istasyonunun deformasyon miktarı kuzey yönde 58.89 mm, doğu yönde -15.29 mm olarak anlamlıdır. DIDI istasyonunda kuzey yönde -12.38 mm, doğu yönde 6.14 mm deformasyon miktarı anlamlıdır. IZMI istasyonunda kuzey yönde 39.82 mm, doğu yönde 14.94 mm deformasyon miktarı anlamlıdır. KIKA istasyonunda kuzeyde büyüklükler yakın değerde olmadığından ve doğu yönde işaretler aynı olmadığından deformasyon anlamlı değildir. SALH istasyonu kuzey yöndeki deformasyon miktarı kendi içerisinde işaretleri aynı fakat büyüklükleri yakın olmadığından anlamlı kabul edilmemiştir (Tablo 4). Anlamlı yatay deformasyon vektörleri Şekil 9'da gösterilmiştir.

Tablo 4. TUSAGA- Aktif istasyonlarının anlamlı deformasyon miktarları (OPUS servisi) [mm]
Table 4. Significant deformation amounts of TUSAGA-Active stations (OPUS service) [mm]

İstasyon kodu	Kuzey	Doğu	Düşey
AYDI	4.91	-2.33	-9.01
CESM	58.89	-15.29	9.96
DIDI	-12.38	6.14	9.59
IZMI	39.82	14.94	10.81
KIKA	10.55	4.47	-21.10
SALH	6.36	3.24	-11.05



Şekil 9. TUSAGA Aktif istasyonlarının yatay yönde anlamlı deformasyon vektörleri
Figure 9. Significant horizontal deformation vectors of TUSAGA Active stations

5. Sonuçlar

5. Conclusions

İnternet tabanlı GNSS servisleri jeodezik çalışmalar ve birçok disiplinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Kısa sürede, güvenilir, hassasiyeti yüksek sonuçlar vermeleri yer kabuğu hareketleri sonucu ortaya çıkan deformasyonların belirlenmesinde de oldukça kullanışlıdır.

30 Ekim 2020 Ege Denizi Depremi'nin, bölgede bulunan deprem merkez üssüne yakın TUSAGA Aktif istasyonlarına etkisi incelenmiştir. İstasyonların deprem öncesi 15 gün, deprem günü (ikiye ayrılmış), deprem sonrası 11 gün olmak üzere RINEX verileri CSRS-PPP ve OPUS servislerinde değerlendirilmiştir.

CSRS-PPP servisi sonuçlarına göre, kuzey yönde 57.39 mm anlamlı deformasyon miktarı ile depremden en çok CESH istasyonu etkilenmiştir. OPUS servisi sonuçlarına göre, kuzey yönde ortalama 58.89 mm anlamlı deformasyon miktarı ile depremden yine en çok CESH istasyonu etkilenmiştir. Dengeleme sonuçları kullanılan iki serviste de görüldüğü üzere depremin merkez üssüne en yakın konumda bulunan CESH istasyonu en çok etkilenen istasyon olmuştur. Benzer sonuçlar diğer bir çalışma kapsamında da elde edilmiştir (Bulut vd., 2021).

30 Ekim 2020 Ege Denizi Depremine, Sisam (Samos) Adası'nın kuzeyinden geçen Kuzey Sisam Fayı kaynaklık etmiştir. Bölgedeki deformasyonun nedeni Ege ve Anadolu üst kabuğunun KG yönlü gerilmesidir. Yer değiştirme vektörleri de incelendiğinde, Batı Anadolu Açılma Rejimi ile deformasyonların uyumlu olduğu görülmektedir (Dewey & Şengör, 1979; Şengör, 1982; Şengör vd., 1985).

Yazar katkısı

Author contribution

Bu çalışmaya tüm yazarlar tarafından eşit şekilde katkı verilmiştir.

Etik beyanı

Declaration of ethical code

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

Çıkar çatışması beyanı

Conflicts of interest

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar

References

- Abbak, R. A. (2020). *Hata kuramı ve parametre kestirimi* (Genişletilmiş 2. Baskı). Atlas Akademi Yayıncılık, Konya.
- Aksoy, R. (2023). Levha tektoniği ders notları. Konya Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Konya.
- Arıkan, D., & Abbak, R. A. (2019). Elipsoidal yükseklik değişiminin hassas nokta konumlamaya etkisi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2019(1), 140-151.
- BDTİM, (2020). *30 Ekim 2020 Ege Denizi Depremi*. B. Ü. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi.
- Bulut, F., Doğru, A., Yalıtırak, C., Yalvaç, S., & Elge, M. (2021). Anatomy of October 30, 2020, Samos (Sisam)-Kuşadası earthquake (MW 6.92) and its influence on Aegean earthquake hazard, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 30(4), 425-435.
- CSRS-PPP-Canadian Spatial Reference System-Precise Point Positioning Service. (2023, 10 Haziran). <https://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/tools-outils/ppp.php>

- Dewey, J. F., & Şengör, A.M.C. (1979). Aegean and surrounding regions: complex multiplate and continuum tectonics in a convergent zone. *Geological Society of America Bulletin*, 90(1), 84-92.
- KRDAE-Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü. (2023, 20 Ocak). <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqdb/>
- Konakoğlu, B., & Akar. A. (2021). Elâzığ ve çevresindeki illerde meydana gelen tektonik hareketlerin TUSAGA-Aktif istasyonlarının konumlarına etkisinin statik deformasyon modeller kullanılarak incelenmesi. *Geomatik Dergisi*, 6(2), 165-178.
- OPUS-Online Positioning User Service. (2023, 10 Haziran). <https://www.ngs.noaa.gov/OPUS/index.jsp>
- Özel, E., Çifçi, G., Uluğ, A., Duman, M., Sözbilir, H., İlhan, T., Pekçetinöz, B., & Kaşer N. (2005). *İzmir Körfezi'nin aktif faylarının araştırılması amacıyla derin (48 kanal – sayısal) ve yüksek ayrımlılıklı sismik çalışmalar ve çok kanallı derinlik ölçümleri (multibeam) ve değerlendirilmesi*. Türkiye Ulusal Jeodezi ve Jeofizik Birliği (TUJJB) TUJJB-UDP-02-06, İzmir.
- Pamukçu, O., Gönenç, T., Yurdakul, A., & Kahveci M. (2013). Sismik riski yüksek olan İzmir Karaburun'un güneyinde yapılmış mikrogravite ve GPS çalışmaları. *Jeofizik*, 2013(18), 59-66.
- Şanlıoğlu, İ., Başkan, G., & Zeybek, M. (2019). Elâzığ-Karakoçan depreminin TUSAGA-Aktif istasyonlarına etkisi. *Selçuk-Teknik Dergisi*, 18(2), 45-67.
- Şengör, A. M. C., (1982). Ege'nin neotektonik evrimini yöneten etkenler. Batı Anadolu'nun Genç Tektoniği ve Volkanizması Paneli, *Türkiye Jeoloji Kurultayı*, 59-71.
- Şengör, A. M. C., Görür, N., & Şaroğlu, F., (1985). Strikeslip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists*, Special Publication, 227-264.
- Şimşek, M. (2019a). *Yer kabuğu hareketlerinin belirlenmesinde internet tabanlı GPS servislerinin doğruluk analizi* [Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Şimşek, M., Özarpacı, S., & Doğan, U. (2019b). Yer kabuğu hareketlerinin belirlenmesinde web tabanlı çevrimiçi GNSS servislerinin performans analizi. *Geomatik Dergisi*, 4(2), 147-159.
- TUSAGA-Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı. (2023, 9 Haziran). <https://www.tusaga-aktif.gov.tr>
- Yalvaç, S. (2020a). Hassas nokta konumlama yönteminin kabuk deformasyonu belirleme çalışmalarında kullanılabilirliğinin araştırılması. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10(3), 695-701.
- Yalvaç, S. (2020b). Determining the Effects of the 2020 Elâzığ-Sivrice/Turkey (Mw 6.7) Earthquake from the Surrounding CORS-TR GNSS Stations. *Turkish Journal of Geosciences*, 1(1), 15-21.
- Yıldırım, Ö., Mekik, Ç., & Bakıcı, S. (2011). TUSAGA-AKTİF (CORS-TR) sisteminin Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü'ne katkıları. *Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, 2011/2 Özel Sayı, 134-139.

Vakum yöntemi ile beton yüzeyine uygulanan epoksi reçinenin mukavemeti üzerindeki etkileri

Effects on the strength of epoxy resin applied to the concrete surface by vacuum method

Mehmet TAŞ¹ , Levent ŞENDOĞDULAR¹ , Selda TOPÇU ŞENDOĞDULAR*¹ 

¹Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, 38039, Kayseri

• Geliş tarihi / Received: 13.04.2023

• Kabul tarihi / Accepted: 05.02.2024

Öz

Bu çalışma kapsamında, karbon elyaf dokuma sarılı beton yüzeyine epoksi reçine bir kompozit üretim tekniği olan vakum infüzyon yöntemi kullanılarak uygulanmıştır. Ayrıca, beton üzerine uygulanan epoksi reçinenin çapraz bağ oranı katalizör (sertleştirici) miktarı üzerinden optimize edilerek vakum ve geleneksel uygulamanın beton dayanımına etkileri karşılaştırılmıştır. Dolayısıyla ağırlıkça 5:2, 2:1 ve 5:3 aralığında reçine/katalizör karışımı karbon elyaf dokuma sarılı C30 sınıfı standart betondan elde edilen 150mm çapında ve 300 mm yüksekliğinde silindirik numunelere vakum ve fırça yardımıyla ayrı şekillerde uygulanmıştır. Elde edilen numunelere basınç dayanım testi yapılmış ve kırılma sonrası örnekler ayrıca mikroskop altında incelenmiştir. Vakum infüzyon tekniği ile reçine/beton arayüzeyinin güçlendiği bilinmektedir. Yapılan testlerin sonucunda epoksi ile kaplamanın betonun mukavemetini arttırdığı ancak fırça ile epoksi uygulanan numunelerin vakum infüzyon ile kaplanan numunelerden daha yüksek bir basma mukavemeti gösterdiği anlaşılmıştır. Ancak vakum infüzyon tekniği ile kaplanan numunelerde basma mukavemetinin uygulanan katalizör miktarı ile orantılı bir şekilde artarken geleneksel teknikte mukavemetin katalizör miktarına ters orantılı bir şekilde azaldığı görülmüştür. Buna göre sertleşen reçine ile vakum tekniğinde mukavemet artarken el ile uygulama tekniğinde mukavemet düşmüştür. Vakum infüzyon tekniği ile kaplanan beton numunelerinin yük altında plastik şekil alma davranışının arttığı ve reçinenin artan katalist miktarı ile birlikte daha tahmin edilebilir bir mühendislik malzemesi davranışı sergilediği görülmüştür. Betonun basınç altında ki kırılma doğasının tersine artan plastik şekil alma potansiyeli ile birlikte deprem bölgelerinde, köprü, okul ve diğer dayanım gerektiren yapılarda kullanımının avantaj sağlayacağı sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Beton, Epoksi reçine, Vakum yöntemi

Abstract

In study, epoxy resin was applied to the carbon fiber fabric wrapped concrete surface using the vacuum infusion method, which is a composite production technique. In addition, the cross-link ratio of the epoxy resin applied on concrete was optimized based on the amount of catalyst (hardener) and the effects of vacuum and brushing application on concrete strength were compared. Therefore, epoxy resin with 5:2, 2:1 and 5:3 epoxy/catalyst ratio by weight was applied to carbon fiber fabric wrapped cylindrical samples with a diameter of 150 mm and a height of 300 mm, obtained from C30 class standard concrete, in separate ways with the help of vacuum and brush. The obtained samples were tested for compressive strength and after fracture, the samples were also examined under a microscope. It is known that the resin/concrete interface is strengthened with the vacuum infusion technique. As a result of the tests, it was understood that coating with epoxy increased the strength of the concrete, but the samples applied with epoxy by brush showed a higher compressive strength than the samples coated with vacuum infusion. However, it has been observed that the compressive strength of samples coated with the vacuum infusion technique increases in proportion to the amount of catalyst applied, while in the traditional technique the strength decreases inversely proportional to the amount of catalyst. Accordingly, while the strength increased in the vacuum technique with the hardened resin, the strength decreased in the manual application technique. It has been observed that the plastic deformation behavior of concrete samples coated with vacuum infusion technique increases under load and that the concrete exhibits a more predictable engineering material behavior with the increasing amount of catalyst in resin. It has been concluded that, unlike the brittle nature of concrete under pressure, its increased plastic deformation potential will provide an advantage in its use in earthquake zones, bridges, schools and other structures requiring strength.

Keywords: Concrete, Epoxy resin, Vacuum method

*Selda TOPÇU ŞENDOĞDULAR; selda.topcu@erciyes.edu.tr

1. Giriş

1. Introduction

Günümüzde artan nüfus ile birlikte büyük şehirlerde giderek büyüyen çarpık yapılaşma büyük sorun teşkil etmektedir. Büyük şehirlerde ki bu standart dışı yapılaşma sonucu yönetmeliklere uygun bulunmayan yapıların çeşitli doğal afetler ile yıkılması, afet sonrası hasar oluşumu ve tamir maliyeti, gelir ve can güvenliği açısından bölgemizin bulunduğu deprem koşulları sebebiyle çok miktarda servet kayıplarına sebep olmaktadır. Kentsel dönüşüm kapsamında bunun önüne geçilmesi istense de kısa vadede hem ekonomik hem de pratik açıdan sorunun tamamen çözülmesi mümkün görülmemektedir. Bununla birlikte deprem kuşağı üzerinde konumlanan Ülkemizin birçok Bölgesinde yüksek Richter ölçekli depreme yol açacağı düşünülen fay hatlarının enerji boşalmaları beklenmektedir (Ilki, vd., 1997; Doğangün, 2004). Böyle bir durumda maddi kayıplar bir yana birçok can kaybı yaşanacak olması endişe vericidir. Bu nedenlerle yapılarda gerçekleştirilen güçlendirmeler ile bu kayıpların önlenmesi, mali kayıpların yanı sıra deprem gibi yıkıcı doğal afetler sonucu can kayıplarının da önüne geçilmesi istenmektedir.

Beton, yapısında çimento, kum ve çakıl gibi dayanım elemanları içeren kompozit bir yapı malzemesidir. (Neville, 1995; Kuru Mutlu, 2022). İçerisinde ihtiva edilen bu dayanım elemanları, yapıya mukavemet vermek ve betonu bir arada tutmak gibi temel görevleri yerine getirmek üzere betonda bulunması gereken bileşenlerdir. Bir beton yapısının dayanımı; beton katkı malzemesi, beton türü ve uygulama şekline bağlıdır. Bu özellikler beton için gerekli dayanım değerlerinin sağlanmasında en önemli özelliklerdir. Buna bağlı olarak, modern yapılarda kullanılan belli bir standarda indirgenmiş nihai beton yapıları geliştirilmiştir. Ülkemizde bu standart; performans, imalat, özellik ve uygunluk bakımından TSE EN 206 ve TS13515 tamamlayıcı standardı ile tanımlanmaktadır. Ayrıca ASTM betonlarla ilgili birçok yapı ve özellik standardı oluşturmuştur. Bu standartlardan biri de yığma ve katlı yapılarda inşaat aşamasında ve sonrasında uygulanabilecek beton yüzey kaplama işlemleridir. Beton yapılara farklı kaplama uygulamaları yapılmaktadır. Gerçekleştirilmiş çalışmalarda betonlara uygulanan kaplamalar genelde 4 ana başlık altında incelenmiştir. Bunlar; yüzey kaplama, hidrofobik emdirme, gözenek tıkayıcı yüzey işlemi ve çok işlevli yüzey işlemi olarak tanımlanmıştır (Pan vd., 2017). Sahada kolay uygulanabilecek olan çalışma yüzey kaplama işlemleridir ve genellikle sanayi odaklı uygulanabilmektedir. Betonlarda yüzey kaplama işlemi, fiziksel bir bariyer görevi gören sürekli bir polimer film oluşturarak betonu korumak ve dışarıdan oluşabilecek aşındırıcı maddelerin çimentolu yüzeye nüfuz etmesini önlemek için uygulanır (Almusallam vd., 2003; Bertolini vd., 2013). Kaplanmış betonunun en çok maruz kalacağı ortam sulu ortamlardır. Kaplanmış betonun suya karşı dayanımı esas olarak polimer kaplamanın bariyer etkisiyle ilgilidir. Polimer kaplamalarda nem taşınımının kinetiği genellikle Fick yasası ile tanımlanmaktadır (Drozdov vd., 2003; Shen & Springer, 1976). Maggana ve ekibinin deneysel sonuçları (Maggana & Pissis, 1999), epoksi kaplamalarda nem difüzyonunun, denklem 1'de verilen Fick yasasından, özellikle de sıcaklık 20°C'den düşük olduğunda sapma gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu nedenle, polimer kaplamalarda nem difüzyonunun, kaplama betona uygulanmadan önce farklı sıcaklıklarda değerlendirilmesi gerekmektedir.

$$\partial c / \partial x = D (\partial^2 C) / (\partial x^2) \quad (1)$$

VanLandingham ve ekibine göre ise, polimer kaplamaların nem difüzyonu iki ana faktöre bağlıdır (VanLandingham vd., 1999). Bunlardan birincisi, polimerin mikroyapısına, çapraz bağ yoğunluğuna ve morfolojisine bağlı olan, polimer içindeki moleküler büyüklükteki deliklerin varlığıdır. Bu üç özellik, kürlenme derecesi, moleküler zincir sertliği, stokiyometri ve kaplamanın kohezif enerji yoğunluğunun sonucu olarak değerlendirilmektedir. İkinci faktör ise, polimer zincirleri boyunca hidrojen bağlarının varlığına bağlı olan polimer-nem afinitesidir. Polimer-nem afinitesinin etkisine bağlı olarak, Fick yasası yalnızca nem yayılımının başlangıç aşamasını tanımlayabilir, ancak tüm süreç boyunca geçerli değildir (Maggana & Pissis, 1999; VanLandingham vd., 1999; Pérez vd., 1999). Bu nedenler polimer malzemelerden oluşan kaplamaların kullanımı günümüzde önem arz etmektedir. Geleneksel polimer kaplamalar, polimer/kil nanokompozit kaplamalar ve çimentolu kaplamalar dâhil olmak üzere betonlara çeşitli yüzey kaplamaları uygulanmaktadır. Bu uygulamalardan akrilik kaplamalar; asit, alkali, oksidasyon ve hava koşullarına karşı iyi bir dirence sahiptir, ancak ara yüzey yapışma mukavemeti ve sünekliliği, epoksi reçineye kıyasla nispeten düşüktür (Diamanti vd., 2013). Poliüretan kaplamalar ise, betonu büzülmeden korur, aside karşı yüksek direnç gösterir ancak yüksek alkali bir ortamda istikrarlı değildir.

Polimer kaplamaların kullanımının yanında, bu kaplamaların beton yüzeyine hangi yöntemlerle uygulandığı da önemlidir. Beton yüzeyinin kaplanması ile ilgili farklı kaplama yöntemleri bulunmaktadır (C.M. Hansson, vd.,

1998; Delucchi vd., 1997; Pacheco-Torgal & Jalali, 2009; Franzoni vd., 2013; Elalaoui vd., 2012). Beton yüzeyinin kaplanması işlemi sırasında kullanılan yöntemin (püskürtme, fırçalama veya daldırma) etkisi çok büyüktür (Baltazar vd., 2014) Baltazar ve grubu (Baltazar vd., 2014), daha yüksek gözenekliliğe sahip betonda yüzey işleminin etkinliğinin daha önemli olduğunu, çünkü işlem ajanlarının bu betona daha kolay ve derinlemesine nüfuz edebileceğini göstermişlerdir. Franzoni, etil silikat (veya tetra etil orto silikat, TEOS) 'a daldırma yöntemi ile kaplanan betonun metal fırça ile fırçalanmış betona göre daha iyi (süreklilik testi açısından) olduğunu göstermiştir (Franzoni vd., 2014). Medeiros ve arkadaşları ise fırçalama sürelerinin sayısının da kaplama kalitesini etkilediğini göstermişlerdir (Medeiros & Helene, 2008). Literatürde, polimer matrisine nano katkılamaya yapılarak veya birden çok katman eklenerek geçirgenliği azaltma üzerine çalışmalar yapılmıştır. (Pérez vd., 1999; C.M. Hansson, vd, 1998; Delucchi vd., 1997; Pacheco-Torgal & Jalali, 2009; Franzoni vd., 2013; Elalaoui vd., 2012; Liu & Vipulanandan, 2001; Soebbing vd., 1996; Berndt, 2011; Yang vd., 2002; Perrin vd., 2009; Dang vd., 2014; Ramesh Singh, 2014). Ancak bu uygulamalar mevsimler arası yüksek sıcaklık farklarının yaşandığı ve çok yüksek veya çok düşük sıcaklıkların söz konusu olduğu bölgelerde zayıf ara yüzey ve polimer ile beton arasındaki farklı termal genleşme ve büzülme katsayıları nedeniyle mekanik açıdan dezavantajlıdır. Bu çalışmanın konusu olan vakum infüzyon yöntemi ile kaplamada ki bu gibi sorunlar ortadan kaldırılacağı düşünülmektedir. Literatürde vakum yöntemi ile reçine uygulamasına dayanan bir yapı güçlendirme çalışması 2002 yılında Lee Sung Woo tarafından patent aşamasında gerçekleştirilmiş fakat ticari olarak kullanımıyla ilgili bir araştırma sonucuna rastlanılmamıştır. Bu gibi avantajlarından dolayı bu çalışmada vakum infüzyon ile kaplama yöntemi kullanılmıştır (Bin, vd., 2019; Woo, 2002; Agwa vd., 2022).

Yapı ve malzeme teknolojilerinin gelişmesi ile karbon fiber yapılarda büyük önem kazanmıştır. Karbon elyaf fiber dokulu kumaş sarılı betonlar yüksek mukavemet ve yüksek rijitlik özellikleri nedeni ile araştırma konusu olmuştur. Bu çalışmalardan Akyıldız ve ekibi karbon elyaf ile güçlendirilmiş sargılı numunelerin sargısız numunelere göre dayanımlarını araştırmış ve karbon elyaf sargılı numunelerin mukavemetlerinde %42 artış olduğunu göstermiştir (Akyıldız et al. 2016). Diğer bir çalışmada da Mercimek ve ekibi birçok çalışmada karbon elyaf takvyeli polimerler kullanarak malzemelerin mekaiik davranışlarını iyileştirmişlerdir (İşleyen vd., 2021; Mercimek vd., 2022).

Diğer bir yandan, kaplama yöntemlerinde kullanılan reçine oranları da önemlidir. Epoksi gibi reçinelerde çapraz bağların artırılması ile geçirgenlik azalması arasında doğru orantılı bir ilişki bulunmaktadır (Maggana & Pissis, 1999). Reçinenin çapraz bağları üzerinde etkili olan tabaka kalınlığı ve içerisindeki boşluk oranı kaplamanın geçirgenliğini yakından ilgilendirmektedir. Ayrıca daha önce yapılan çalışmalarda polimer matrisine nano katkılamaya yapılarak veya birden çok katman eklenerek geçirgenliği azaltma çalışmaları gerçekleştirilmiştir (Yang et al., 2002). Bu konuda 2003 yılında yapılmış bir çalışmada polimer matrisine içerisine nano kil veya iğnemi inorganik partiküllerin eklenmesinin mekanik özellikleri geliştirdiği gözlemlenmiştir (Liu & Vipulanandan, 2001). Bu tür homojen yapılar farklı yükler altında 50 kata varan mukavemet artışı gösterebilmektedir. Mukavemet artışının temel sebebi nanometre mertebesinde parçacık boyutuyla çok büyük miktarda değişim gösteren partikül özellikleridir (Liu & Vipulanandan, 2001). Ayrıca reçineler, çimento içerisinde ağ yapıcı özellik göstererek dayanım artışı sağlarken yüzeylerde mikro çatlak oluşumunda azalmaya sebep olmaktadır (Hinder vd., 2005). Bu nedenlerle beton yüzeyine reçine uygulanması vakum yöntemi ile gözeneklerin kapatılıp mukavemetin artırılması beklenmektedir.

Sonuç olarak, çalışma kapsamında betonun yüzeyine, vakum altında polimerik reçinenin emdirilmesi amaçlanmaktadır. Karakterizasyon işlemleri karşılaştırma açısından faydalı olacağı düşünüldüğü için deneysel altyapı ve yöntemler, literatür esas alınarak gerçekleştirilmiştir (Pacheco-Torgal vd., 2012). Farklı oranlarda epoksi reçineli ve epoksi reçinesiz (kontrol numunesi) beton numuneler hazırlanmış ve vakum altında geleneksel yöntem ile reçine emdirilme işlemleri yapılmıştır. Böylece, reçineli betonlarda epoksi/sertleştirici oranına bağlı olarak vakum yönteminin geleneksel yöntemle göre dayanımın etkisi incelenebilmiştir.

2. Materyal ve metod

2. Material and method

2.1. Materyal

2.1.1. Material

Bu çalışmada karbon elyaf kumaş, epoksi/katalizör reçine ve C30 sınıfı beton kullanılmıştır. Karbon elyaf kumaş Tekno Yapı Kimyasalları Firmasının ürettiği teknowrap-300 300gr/m² tek yönlü dokunmuş üründür.

Kullanılan bağlayıcı, havacılık sektöründe ki kullanımı ile öne çıkan ve kürlendiğinde minimum kabarcıklanma yapan epoksi esaslı iki bileşenli (reçine/katalizör) bir bağlayıcıdır. İlgili reçine ve sertleştiricisinin ticari adı Araldite® EP1000 A reçine ve Araldite® EP1000 B sertleştirici olarak bilinmektedir.

2.2. Standartlara uygun beton numunelerin temin edilmesi

2.2. Provision of concrete samples conforming to standards

Bu çalışmada en yaygın kullanımı ile öne çıkan C30 standardında beton kullanımı planlanmıştır. Öncelikle standartlara uygun çimento, agrega ve su bileşimi ayrı ayrı hazırlanmıştır. Hazırlanan çimento EN 197-1'e, agregalar EN 12620 veya EN 13055'e ve kullanılan suyun EN 1008'e uygunluğu kontrol edilmiştir. Hazırlıklar tamamlandığında uygun su çimento oranı standartta belirtilen mukavemet değerlerini sağlayacak şekilde hesaplanarak harç hazırlanmıştır. Bu çalışmada, standart için belirlenen beton türüne göre su çimento karışımı uygulanmıştır. Standartlarda C15, C30 ve C45 sınıfı betonları için bu oranlar sırasıyla 0.79, 0.54 ve 0.37 olmaktadır. Beton numuneler, C15, C30 ve C45 TS EN 206-1 (Tablo 1) en büyük tane büyüklüğü 19-25mm arasında olacak şekilde, 150x300mm boyutlarında TS EN 12390-2'de belirtildiği şekilde kür edilerek hazırlanmış beton numunelerdir.

Tablo 1. TS EN 206-1 Standardına göre beton sınıfları ve özellikleri (*Türk Standardı, 2002*)

Table 1. Concrete classes and properties according to TS EN 206-1 Standard (*Türk Standardı, 2002*).

Beton Sınıfları	Silindir dayanımı, silindir N/mm ²	Küp dayanımı, küp N/mm ²
C12/15	12	15
C25/30	25	30
C35/45	35	45

Öncelikle epoksi kaplama uygulanacak beton numunelerin yapısında meydana gelen dayanım artışlarının kıyaslanması için kontrol numuneleri (kaplamasız, çıplak beton numuneleri) hazırlanmıştır. Bu numuneler herhangi bir yüzey kaplama ya da pürüz işlemlerine tabi tutulmamıştır. Her numune için toplamda 3 farklı tekrar gerçekleştirilmiştir. Ayrıca hazırlanan her bir beton numune test edilmeden veya yüzeyi kaplanmadan önce standartlarda belirtilen 28 günlük prizlenme süresi kapsamında bekletilmiştir. Böylece numunelere arasında prizlenme farklılıklarının önüne geçilmesi sağlanmıştır.

2.3. Karbon elyaf kumaşın betona sarılması

2.3. Wrapping concrete samples with carbon fiber fabric

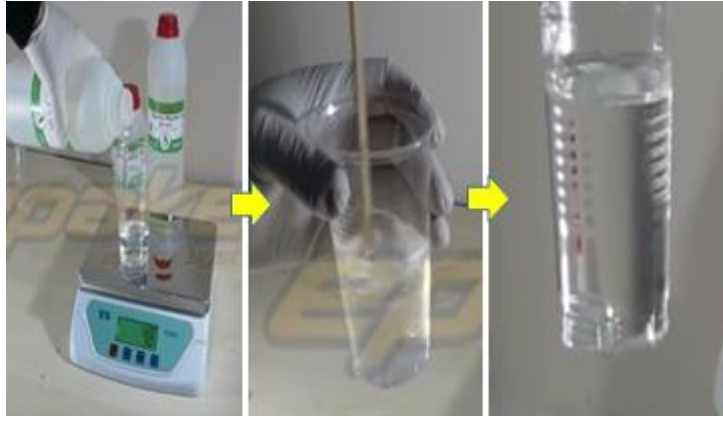
Kontrol numuneleri dışındaki tüm test numuneleri karbon elyaf kumaş ile sarılmıştır. Tüm numunelerde yaklaşık 0.15m² büyüklüğünde 45gr. kumaş sarılmıştır. Sarımın bitiş noktası başlangıç noktası yaklaşık 1cm geçecek şekilde üst üste bindirilmiştir. Kumaşın reçine öncesi beton numune etrafında sabitlenebilmesi için 3 adet paket lastiği kullanılmıştır.

2.4. Reçinenin hazırlanması

2.4. Preparation of the resin

Ticari olarak önerilen karışım oranı ağırlıkça 2:1 şeklindedir. Ancak istenilen setliğe bağlı olarak bu oran değiştirilebilmektedir. Oran değiştikçe reçinenin çapraz bağ oranının değiştiği dolayısıyla mekanik özelliklerinin değişkenlik gösterdiği bilinmektedir. Öncelikle belirlenen oranlarda reçine/katalizör çifti uygun kap içerisinde homojen bir karışım elde edilene kadar karıştırılmıştır (Şekil 1). Karıştırma işlemi sabit hızla kabarcık oluşumuna sebep olmayacak biçimde ahşap çubuk yardımıyla 5 dakika boyunca gerçekleştirilmiştir. Sürenin sonunda karışımın tek renk ve tek doku olması esas alınarak kaplama aşamasına geçilmiştir.

Planlanan ağırlıkça 5:2, 2:1 ve 5:3 oranlarında her bir epoksi/katalist karışımı yaklaşık 150gr. ağırlığında olacak şekilde hazırlanarak ayrı şekillerde fırça ve vakum teknikleri ile Şekil 2'de belirtilen önceden hazır hale getirilmiş karbon elyaf dokuma kaplı beton numunelerine uygulanmıştır.



Şekil 1. Reçinenin hazırlanması.
Figure 1. Preparation of the resin

2.4.1. El (firça) ile kaplama

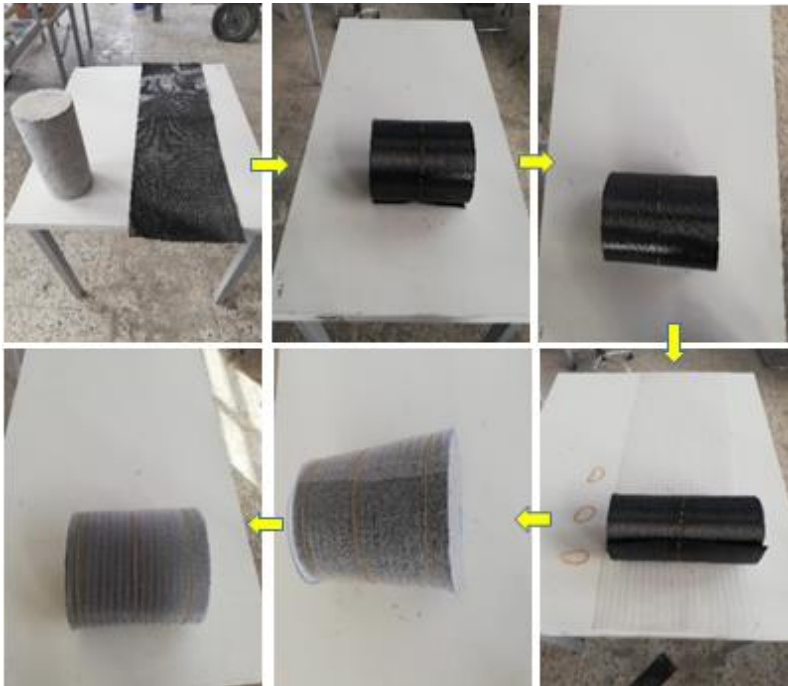
2.4.1. Coating by hand (brush)

Fırça ile kaplamada yöntem için hazır hale getirilmiş karışım bir boya fırçası yardımı ile yüzeye uygulanmıştır. Takviye aşamasında yüzeyde baloncuk ve kuru bölge kalmayınca kadar süreç devam ettirilmiştir. Uygulama sırasında ara sıra oluşmuş bazı boşluklar fırça yardımıyla alınmıştır. Küçük boyutlu ve fırça ile uzaklaştırılmayan boşluklar sıcak hava üfleyen bir üfleç yardımıyla yüzey ısıtılarak uzaklaştırılmıştır. Daha sonra kaplama yapılmamış her köşeye aynı işlemler tekrarlanmıştır. Kaplama aşaması bitmiş parçalar beton kenarlarından yüzeye yapışmaması için 4 cm çapa ve 1 cm yüksekliğe sahip çelik bir silindirin üzerine yerleştirilerek kürlenmeye bırakılmıştır. Kaplama sonrası numuneler oda sıcaklığında, çeker ocak altında 24 saat boyunca basınç dayanım testine hazır hale gelinceye kadar bekletilmiştir.

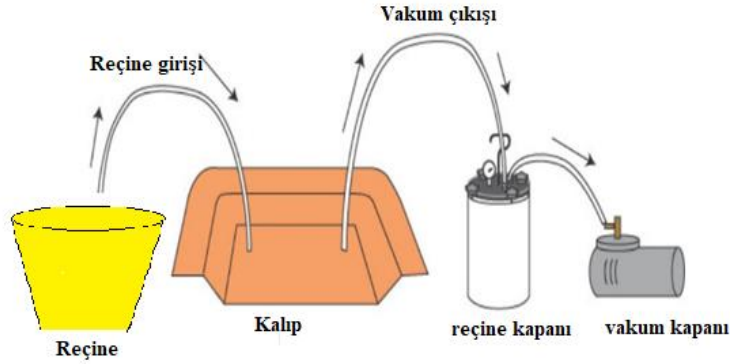
2.4.2. Vakum infüzyon kaplama

2.4.2. Vacuum infusion coating

Beton dökümünden oluşmuş sivri ve keskin köşeler zımparalandıktan sonra yüzeyler hava tabancası ile temizlenmiştir. Temizleme işlemi sonrasında, tüm beton yüzeylerine göre kesilmiş karbon elyaf ve mesh tabakası beton yüzeyine kenarlardan lastik yardımıyla tutturulmuştur. Böylelikle kumaşın kürlenme tamamlanana kadar yüzeyde kalması sağlanmıştır (Şekil 2). Numune ile ilgili işlemler bu noktada tamamlanmış olup vakum düzeneği kurulum aşamasına geçilmiştir.



Şekil 2. Numunenin karbon elyaf ile kaplanması işlemi.
Figure 2. The process of coating the sample with carbon fiber.



Şekil 3. Vakum infüzyon yöntemi uygulaması
Figure 3. Application of vacuum infusion method

Uygulanan vakum yönteminin (Şekil 3) kurulum aşamasında öncelikle vakum torbası tüm beton numuneyi içine alacak ve katlanma bölgelerinin kolayca oluşmasını sağlayacak şekilde fazla olarak kesilmiştir. Vakum torbası reçinenin girişi ve vakumun çıkışının sağlanabilmesi için uygun ölçülerde delinmiştir. Giriş çıkış aparatları bu deliklerin vakum torbasına temas edecek kısımlarına vakum macunu sarıldıktan sonra yerleştirilmiştir. Yerleştirme sonrası hazırlanmış beton numunesi vakum torbasının içerisine alınmış ve vakum torbasının kenarları vakum macunuyla kapatılmıştır. Daha sonra da giriş/çıkış hortumları yerleştirilmiştir. Reçine giriş hortumu reçine haznesine girecek şekilde kesilerek bir adet kısa hortumun vakumlama işlemi bittiğinde reçine akışını kesmek için reçine haznesinin üzerinde uygun bir seviyede tutturulmuştur. Kıskacın tutturulmasının amacı, vakumlama esnasında vakumla birlikte reçine akış hızını kontrol etmektir. Bu çalışmada 10 dakikada tam vakumlama yapacak şekilde kıskaç ayarlaması yapılmıştır. Ayrıca hortumların çıktığı dip noktaları vakum macunu ile sızdırmayacak şekilde kapatılmıştır. Numunenin diğer tarafında da vakum tuzağına girecek hortum kesilerek aynı işlemler uygulanmıştır. Tüm bu işlemlerden sonra vakum infüzyon işlemine hazır hale getirilen numunenin görseli Şekil 4'te verilmektedir.



Şekil 4. Hazırlanan numuneye reçine emdirilme işlemi.
Figure 4. Resin impregnation process of the prepared sample.

Düzenek kurulduktan sonra vakumlama işlemine geçilmiştir. Başlangıçta reçine giriş kısmında bulunan kıskaç sıkıştırılarak vakumlama işlemi yavaşça gerçekleştirilmiştir. Vakumlama sırasında torba kenarlarında oluşan kırışıklıklar düzeltilmiştir, vakum giriş çıkış aparatlarının torbaya zarar vermeyecek şekilde düzgün durması sağlanmış ve beton tamamen vakum altına alınmıştır. Bu işlemten sonra tüm sistem 30 dakika boyunca torbada

delik veya herhangi bir bileşende sızdırma olup olmadığını görmek amacı ile bekletilmiştir. Vakum tuzağının üzerindeki göstergeden basınç değişimi takip edilerek herhangi bir sızdırmazlık olup olmadığı kontrol edilmiştir. 30 dakika sonra reçine haznesine hortum daldırılmış ve kısaç dengeli bir akış oluşana kadar serbest bırakılmıştır. Bu aşamadan sonra 10 dakika içerisinde reçine yüzeyde tamamen yayılmıştır. Reçine yayıldıktan sonra, kısaç tekrar sıkıştırılarak vakum işlemi her iki yönden de durdurulmuş ve numunenin kürlenmesi için 24 saat beklenmiştir. Vakum işleminden sonra giriş çıkış aparatları yüzeyden çıkarılarak beton silindirin yüzeyleri temizlenmiştir. Beton numuneler, farklı sertleştirici (katalizör) oranlarıyla hem elle kaplama tekniği hem de vakum tekniği olmak üzere 2 farklı yöntemle uygulanarak incelenmiştir.

2.5. Karakterizasyon çalışmaları

2.5. Characterization studies

Hazırlanan numunelerin yüzey özelliklerinin incelemesi optik mikroskop (ZEISS Axio Lab A1) ile yapılmıştır. Yapılan çalışmada vakumlu ve vakumsuz olarak kaplama uygulanmış numunelerden basınç dayanım deneyi sonrası kırık parçalar alınmış ve bu numunelerin yüzeyleri mikroskop altında incelenmiştir. Alınan numuneler öncelikli olarak basınç dayanım yönüne dik şekilde tespit edilmiş ve basınç dayanım yönüne paralel olacak şekilde parlatma cihazında sırasıyla 180, 400, 800 ve 1600 inç başına kum adetli zımpara kâğıtları ile temizlenmiştir. Daha sonra doğrudan optik mikroskop altında 10x büyütme altında fotoğrafları çekilmiştir.

2.6. Su emme testi

2.6. Water absorption test

Tüm numuneler, arşimet prensibi ile çalışan terazi yardımıyla (Türkak AB 0064-K) porozite ve su emme özellikleri TS EN 1170-6 (1999) standardına uygun olarak belirlenmiştir. Beton numuneleri 28 gün sonunda kür havuzundan çıkartılıp tartının su içerisindeki sepete koyularak Arşimet Terazisi yardımıyla ağırlıkları kaydedilmiştir. Daha sonra yüzeyleri bir bez yardımı ile kurularak havadaki ağırlıkları alınmıştır. Numuneler 110 °C’de etüvde 24 saat boyunca kurutulup etüv kurusu haline getirilmiştir. Etüvden çıkan numuneler oda sıcaklığına gelinceye kadar soğutulduktan sonra etüv kurusu ağırlıkları tartılmıştır. Ağırlık ölçümleri her seri için 3'er numune üzerinde yapılarak ortalama değerleri alınmıştır.

2.7. Basınç deneyi

2.7. Pressure test

Numunelerin dayanımlarını test edebilmek için basınç dayanım testi yapılmıştır. Beton numunelerin basınç dayanımı tayininde Erciyes Üniversitesi Deprem Araştırma Laboratuvarı bünyesinde bulunan laboratuvarında Yüksel Kaya Makina marka bir basınç dayanım test cihazı kullanılmıştır. Standartlara uygun 150 mm x 300 mm boyutlarına sahip silindirik beton test numuneleri hazırlanmıştır. Basınç dayanımları, TS 3289 EN 1354'e göre (Türk Standardı, 1996) 200 ton kapasiteli pres altında yapılmıştır. Temas alt ve üst bölgelerine %30 kükürt ve %70 grafit bileşimi kullanılarak temas yüzeylerinin düzlüğü ve yükün homojen uygulanması sağlanmıştır.

3. Bulgular ve tartışma

3. Results and discussion

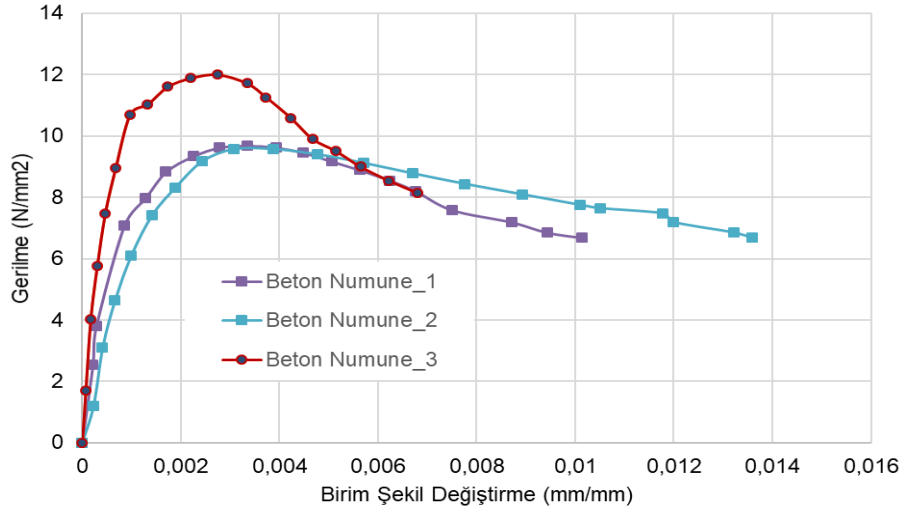
Hazırlanan numunelerin kaplama yapılmadan önce Arşimet deneyi ile su emme değerlerine bakılmıştır. Kaplamasız numunelerden üçü üzerine yapılan Arşimet deneyi sonucu numunelerdeki görünür boşluk oranı Tablo 2’de belirtilmiştir. Bu deneyden elde edilen çıktılar vakum infüzyon ile reçine kaplanması sırasında reçinenin difüze olacağı betonun yüzey gözenekliliği hakkında bilgi sağlamaktadır. Kullanılan numunelerde ortalama su emme değeri % 2,15 olarak elde edilmiştir. Ayrıca buna bağlı olarak görünür boşluk oranı % 5.06 olarak tespit edilmiştir.

Tablo 2. Ortalama su emme ve boşluk oranları

Table 2. Average water absorption and porosity ratios

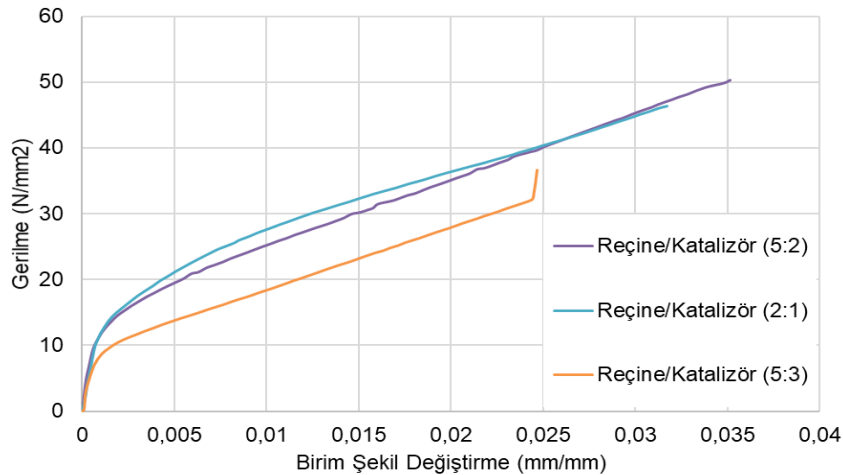
Beton numuneler	% Su emme	% Ortalama su emme	Hacimce emilen su %100*(Wkyd-Wk)/V	Ortalama boşluk oranı (Görünür porozite) (%)
Numune_1	2.33		5.51	
Numune_2	2.06	2.15	4.83	5.06
Numune_3	2.06		4.84	

Çalışmada beton numunelerin yapısal olarak dayanıklılığını tespit etmek için basınç dayanım testleri gerçekleştirilmiştir. Buna göre hiçbir işlem uygulanmadan basınç dayanım deneyi yapılan numunelere ait gerilme-birim şekil değiştirme sonuçları Şekil 5’de verilmektedir. Aynı koşullarda hazırlansalar bile beton numunelerinin birbirleri arasında mekanik özellik farklılıkları ortaya koydukları bilinmektedir. Bu nedenle tüm testler en az 3 kez tekrarlanmıştır. Bu sonuçlara göre kaplama öncesi beton numunelerinin ortalama 10.96 N/mm² maksimum gerilme davranışı tespit edilmiştir.



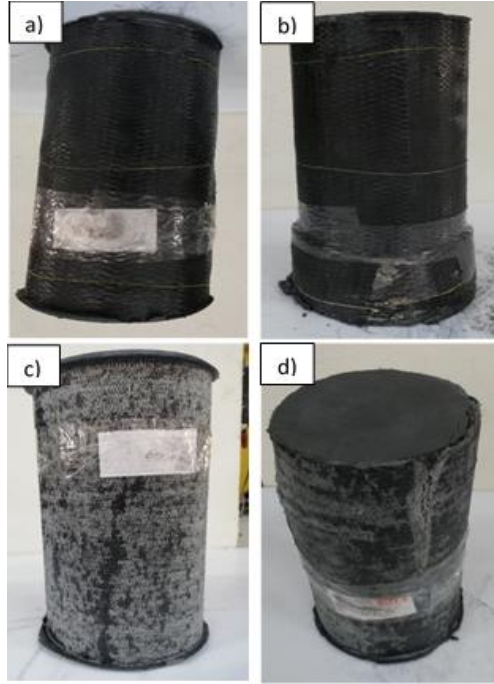
Şekil 5. Kaplamasız numunelerin gerilme-birim şekil değiştirme deneyi sonuçları.
Figure 5. Stress-strain test results of reference specimens.

Elle kaplama yöntemiyle üretilen numunelerde gerçekleştirilen basınç dayanım deneylerinden elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri Şekil 6’da gösterilmektedir. Fırçayla kaplama yöntemi ile ağırlıkça 5:2, 2:1, 5:3 oranlarında reçine/katalizör uygulanan numunelerin basma mukavemetleri sırasıyla yaklaşık 50,27-46,31 ve 40,06 MPa olarak kaydedilmiştir. Kaplamasız numunelerin ortalama basma mukavemeti (10.96 MPa) ile karşılaştırıldığında fırça yöntemi ile basma mukavemetlerinde yaklaşık 5 kata kadar bir artış görülmüştür. Ayrıca grafikte de görüldüğü üzere reçine/katalizör oranının artması basma dayanım değerlerini bir miktar düşürmüştür. 5:2, 2:1, 5:3 oranlarında uygulanan numunelerin birim şekil değiştirme değerleri de sırasıyla % 0,0351, 0,0317 ve 0,0246 mm/mm’dir. Şekil değiştirme değerleride reçine oranı arttıkça düşmektedir. Diğer numunelerden farklı olarak 5:3 reçine/katalizör bileşimi akma dayanımı değerinden sonra gerilme yükselişi göstermiştir. Deney sırasında beton yük altında dayanımını kaybetse bile onu çevreleyen reçine emdirilmiş karbon elyaf örgü numuneyi hacimsel olarak tutmaktadır. Bu nedenle kırılan beton numunesi sıkışmaya devam etmekte ve bir süre sonra direnç göstererek dayanımı arttırmaktadır. Ancak karbon elyaf kaplama parçalanınca tüm numune dağılmaktadır. Dolayısıyla betonun kopma dayanımı sonrası artan gerilme karbon elyaf kaplamadan kaynaklanmaktadır.



Şekil 6. El ile uygulama sonucu gerilme-birim şekil değiştirme grafiği
Figure 6. Stress-unit strain graph as a result of manual application

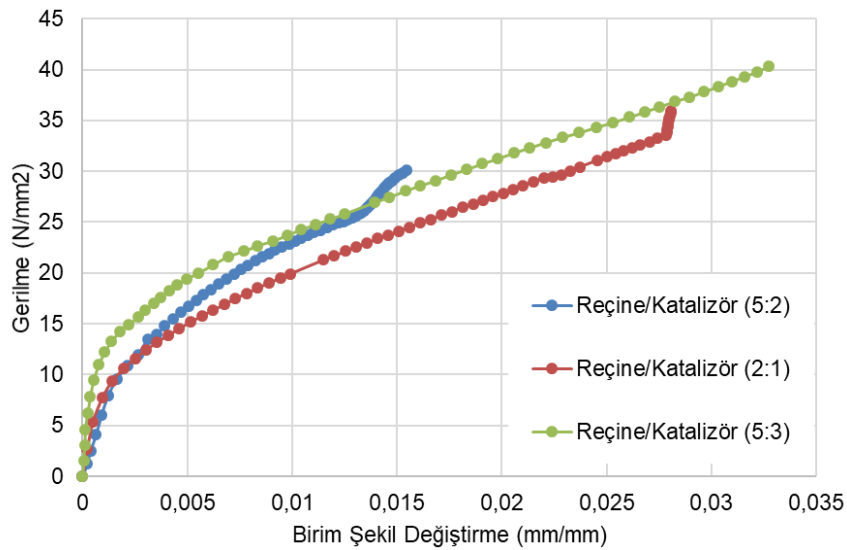
Şekil 7’de el ile kaplanan numunenin basınç dayanım deneyi (a) öncesi, (b) sonrası fotoğrafları gösterilmiştir. Fotoğraflar da numunelere basma mukavemeti uygulandığında belli bir yük altında numunelerin patladığı gözükmektedir. Ancak patlayan numunelerin bile kaplanmamış betona kıyasla kendini bırakmadığı ve tozlaşma oluşmadığı resimlerde görülebilmektedir.



Şekil 7. El ile kaplanan numunenin basınç dayanım deneyi (a) öncesi, (b) sonrası ve vakum ile kaplanan numunelerin basınç dayanım deneyi (c) öncesi, (d) sonrası görüntüleri

Figure 7. Images of the hand-coated sample before (a) and (b) after the compressive strength test, and of the vacuum-coated samples before (c), before (d) of the compressive strength test

Vakum infüzyon ile kaplanan numunelerin gerilme- birim şekil değiştirme grafiği Şekil 8’de gösterilmiştir. Grafikte her 3 bileşim oranına dair eğriler eklenmiştir. Vakum ile kaplama yöntemi ile 5:2, 2:1, 5:3 oranlarında reçine/katalizör uygulanan numunelerin basma mukavemetleri sırasıyla 30,12-36,23 ve 40,31 MPa’dır Buna göre 5:3 bileşimindeki epoksi/sertleştirici oranının 5:2 ve 2:1 numunelere göre daha yüksek dayanıma sahip olduğu gözükmektedir. 5:2, 2:1, 5:3 oranlarında reçine/katalizör uygulanan numunelerin birim şekil değiştirme değerleri de sırasıyla % 0,0154, 0,02825 ve 0,0328 mm/mm’dir.



Şekil 8. Vakum infüzyon ile uygulama sonucu gerilme-birim şekil değiştirme grafiği.
Figure 8. Stress-unit strain graph as a result of vacuum application.

Vakum infüzyon yönteminde de katalizör oranı arttıkça birim şekil değiştirme oranı artmıştır. Kaplanmış beton numunelerinin basma dayanımları esas alındığında el ile kaplanmış numunelerin vakum infüzyon tekniğine kıyasla daha yüksek değerler sunduğu görülmektedir. Bunun sebebinin vakum infüzyon tekniği ile kaplanan numunelerin sağladığı güçlü beton/reçine arayüzü olduğu düşünülmektedir. Çünkü beton gözenekliliğine difüze olan reçinenin yük altında beton numunelerin yüzeyinin kırılmasına sebep olması mümkündür. Bu nedenle beton ve reçine bütünlüklü bir davranış sergileyerek öngörülebilir bir mekanik davranış ile karşılaşılmaktadır.

Vakum infüzyon tekniğinin aksine el ile kaplama yönteminde beton/reçine arayüzeyi daha zayıftır. Dolayısıyla basma dayanımının artmasına imkan sağlayan bu yapı tabakalı malzeme davranışı sergilerken zayıf arayüzey temelli heterojen davranış malzemenin katalizör katkısına bakılmaksızın değişken bir mekanik özellik sergilemesine yol açmaktadır.

Sonuç olarak bu çalışmada vakum infüzyon tekniği ile öncelikle karbon elyaf kumaşın beton yüzeyinde stabilitesinin sağlanması ve devamında artan arayüzey etkileşimi ile mekanik özelliklerin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Ancak sonuçlar mekanik özelliklerin el ile uygulamaya kıyasla geliştirilemediği, bununla birlikte inşaat malzemelerinde özellikle statik hesaplanmasında malzemelerden istenilen tahmin edilebilir (mühendislik malzemesi) bir mekanik davranışın vakum infüzyon tekniği ile bu uygulamada elde edilmesi mümkün olmuştur.

Şekil 7 (c-d)'de ise vakum infüzyon ile kaplanan numunelerin basma deneyi öncesi ve sonrası görüntüleri yer almaktadır. Bu görüntülere göre el ile kaplama ile vakum infüzyon kaplama numunelerinin basma deneyi öncesi ve sonrası görüntülerinde renk farkı gözlemlenmektedir. Bunun sebebi vakum infüzyon tekniğinde vakum poşeti ile kaplı dış yüzeyin reçine ile hangi miktarlarda kaplanabildiği hassas bir şekilde kontrol edilememektedir. Dolayısıyla numune/hava arayüzeyi el ile kaplamaya kıyasla daha heterojendir. Çünkü el ile kaplama tekniğinde fırça yardımıyla dış yüzeyde reçine kaplanmayan yer olmadığından emin olunmakta ve görselde ki gibi homojen bir sonuç elde edilebilmektedir.

Şekil 9'da tüm numunelerin gerilme-birim şekil değiştirme deneylerinin karşılaştırılması bir grafik üzerinde gösterilmiştir. Tablo 3'de de hazırlanan tüm numunelerin gerilme-birim şekil değiştirme grafiklerinden elde edilen mekanik özellikleri özetlenmiştir. Grafikte görüleceği üzere yapılan deneylerde en yüksek basma dayanım değeri el ile kaplama yöntemi ile sağlanmıştır. Daha öncede bahsedildiği üzere bunun ana sebebinin beton/reçine arayüzeyi olduğu düşünülmektedir. Güçlü bir arayüzey yapısı basınç altında reçinenin difüze olduğu beton yüzeyini tahrir etmesine yol açmaktadır.

Tablo 3. Hazırlanan numunelerin mekanik özellikleri
Table 3. Mechanical properties of prepared samples

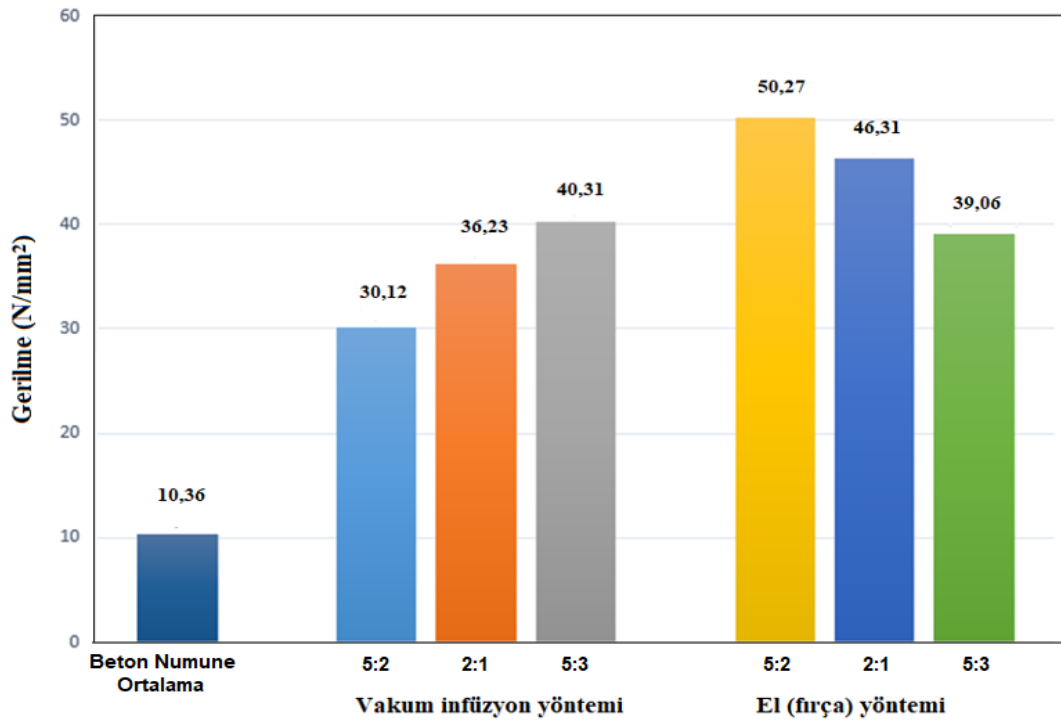
Kaplama yöntemi	Numune ismi	Basma mukavemeti (MPa)	Şekil değişimi (mm/mm)	Elastik modülü (GPa)
Kaplamasız	Beton Numune_1	12	0,0028	3,5
	Beton Numune_2	10,01	0,0025	2,8
	Beton Numune_3	9,07	0,0038	1,9
	Beton Numune Ort.	10,36	0,0030	2,73
El ile kaplama	5:2	50,27	0,0351	1,43
	2:1	46,31	0,0317	1,46
	5:3	39,06	0,0246	1,5
Vakum infüzyon ile kaplama	5:2	30,12	0,0154	1,95
	2:1	36,23	0,0282	1,28
	5:3	40,31	0,0328	1,22

Kaplama yöntemlerinde, en önemli parametrelerin difüzyon derinliği ve ara yüzey yapısı olduğu bilinmektedir. Söz konusu kaplama işleminin amaca uygun olarak çalışabilirliği beton yüzeyi ile nem gibi istenmeyen etkenlerin temasını kesmek ya da minimuma indirmektir. Vakum yöntemi ile el uygulama yöntemi karşılaştırıldığında bu etki en aza indirilmiştir. Yapılan çalışmalarda özellikle reçine kullanımı için difüzyon değişimi sıcaklıkla ve ortamdaki nem difüzyonu ile bağlantılıdır (Maggana & Pissis, 1999; Pérez vd., 1999). Polimerin difüzyonu da denklem 2’de belirtildiği gibi sıcaklık ve neme bağlıdır.

$$D = D_0 \exp\left(\frac{-E_a}{RT}\right) \quad (2)$$

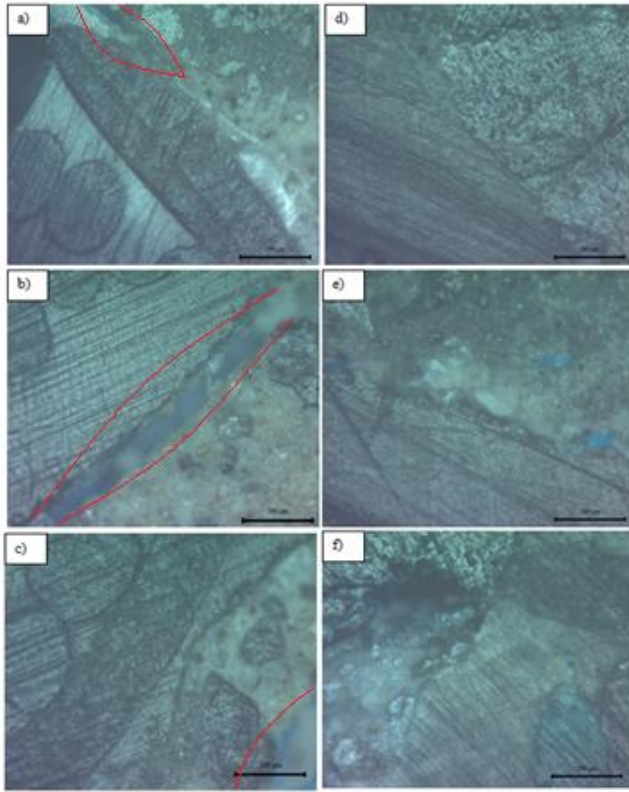
D_0 : mm²/s sabit, E_a : kcal/mol cinsinden aktivasyon enerjisi, R: gaz sabiti ve T: Sıcaklık (Fick, 1855). Bu polimerlerde başlangıç difüzyon değerleri ile ilerleyen zamanlardaki difüzyon değerleri aynı hızda olmadığı anlamına gelmektedir. Bunun temel sebebi polimerin kendi iç yapısından gelen zincir ve yönlenme özellikleridir. Gelecek çalışmalarda bu değişkenler üzerinde çalışarak vakum infüzyon yöntemi ile betonun mekanik özellikleri iyileştirilebilir.

Literatürde bulunan polimer emdirilmiş beton (Portland çimentosu betonunun daha sonra çapraz bağ yoğunluğu üzerinden katı polimere dönüştürülen bir monomer ile difüzyon edilmesine) ve polimer çimento betonu (beton karışımının çimento bağlayıcısının bir kısmı polimer ile değiştirilir) ürünler geleneksel betona göre daha yüksek dayanım ve düşük su geçirgenliğine sahip olduğu gösterilmiştir (Blaga, 1985). Bu çalışma kapsamında da beton yüzeyinin kaplanması yöntemi vakum altında uygulanarak açık gözeneklerin içerisinde yer alabilecek gazlar uzaklaştırılarak difüzyon performansı artırılarak betonun mekanik performansı iyileştirildiği düşünülmektedir.



Şekil 9. Tüm basınç dayanım deneylerinin karşılaştırılması
Figure 9. Comparison of all compressive strength tests

Hazırlanan numunelerin optik mikroskop görüntüleri Şekil 10 'da gösterilmiştir. Vakum infüzyon yöntemi (a) 5:2, (b) 2:1, (c) 5:3 reçine/katalizör oranı ve el ile kaplama yöntemi % (d) 5:2, (e) 2:1, (f) 5:3 reçine/katalizör oranı numunelerinin görüntüleridir. Görüntüler incelendiğinde basma test sonrası numunelerin yüzeye yakın kesitlerinde beton numunenin iç hacimlerinde reçine parçaları görülmektedir. Buna göre reçinenin vakum altında ilgili hacimsel boşluklara da difüze olduğu düşünülmektedir.



Şekil 10. Vakum infüzyon yöntemi (a) 5:2, (b) 2:1, (c) 5:3 reçine/katalizör oranı ve el ile kaplama yöntemi (d) 5:2, (e) 2:1, (f) 5:3 reçine/katalizör oranı ile elde edilen ürünlerin optik mikroskop görüntüleri

Figure 10. Vacuum infusion method (a) 5:2, (b) 2:1, (c) 5:3 resin/catalyst ratio and manual coating method obtained with (d) 5:2, (e) 2:1, (f) 5:3 resin/catalyst ratio optical microscope images of products

El ile ve vakum infüzyon tekniği karşılaştırıldığında reçinenin kurlenme performansının mekanik testlere farklı yansıdığı görülmektedir. Bu bağlamda öncelikle karbon elyaf dokumanın iflas eden betonun yığılmasını önleyerek sıkıştırılabilirliğini sürdürmesine katkıda bulunduğunu anlamak önemlidir. Bu dikkate alındığında vakum infüzyon tekniği sonrası beton/elyaf/reçine üçlününün tek bir malzeme gibi davrandığı ve kuvvet aktarımının sertleşen reçine üzerinden homojen bir şekilde ele alındığı düşünülmektedir. Ancak geleneksel yöntemde ise beton ile elyaf/reçine çiftinin iki ayrı malzeme gibi davrandığı düşünülmektedir. Dolayısıyla sertleşen reçinenin kırılma yapısının elyaf dokumayı daha fazla kararlı tutamadığı ve bu nedenle kurlenmenin betonun mekanik davranışı üzerinde olumsuz etkiye sebep olduğu görülmektedir.

Her iki teknik sonrasında betonun mekanik özelliklerinin geliştirilebilirliği desteklenmiştir. Geleneksel yöntem hali hazırda uygulanan bir teknik olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak kurlenmenin teknik üzerinde ki olumsuz etkileri dikkate alındığında geleneksel kaplamanın zaman içerisinde betonun mekanik özelliklerine devam eden kurlenme ve zamanla sertleşen reçine dolayısıyla olumsuz yansıtacağı düşünülebilir. Bu nedenle vakum infüzyon tekniğinin de tam tersine reçinenin zamanla kurlenmesi ve sertleşmesi ile daha da betonun niteliğini ve taşıma kapasitesini arttıracakları öngörülmektedir. Sonuçlara göre polimerle güçlendirilmiş betonların deprem bölgelerinde, köprü, okul ve diğer dayanım gerektiren yapılarda kullanılabilir olduğu gösterilmiştir

4. Sonuç

4. Conclusion

Bu çalışmada 5:2, 2:1, 5:3 epoksi/sertleştirici bileşimine sahip bir polimerik bağlayıcı el ile kaplama ve vakum infüzyon teknikleri üzerinden karbon elyaf sarılı beton yüzeylerine uygulanmıştır. Bu beton numunelerine uygulanan basınç dayanım testleri de kaplamasız betonlardan elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılarak kaplama malzemesi ve ara yüzey yapısının betonun taşıyıcılığı üzerinde ki etkiler incelenmiştir. El ile kaplama yönteminde reçine miktarı arttıkça mukavemet değerlerinde azalma görünürken vakum infüzyon tekniğinde tam tersi olarak reçine miktarı arttıkça mukavemet değerleri artmıştır. Tekrarlanan testler vakum infüzyon tekniği ile beklenildiği üzere ara yüzeyin güçlendirilmesine ve daha homojen, öngörülebilir bir mekanik davranış elde edilmesine katkı sağlandığını göstermiştir. Bu anlamda beton gibi Weibull Modülü kapsamında zayıf bir nitelik içeren malzeme vakum infüzyon sonrası daha gelişmiş bir mühendislik malzemesi karakteri göstererek statik hesaplamaları daha güvenilir kılmaktadır. Böylece deprem ve afet kapsamında önceden hesaplanabilir ve öngörülebilir hasar tespiti mümkün olabilecektir. Buna göre güçlendirmeler gerçekleştirilebilecektir.

Bu tip malzemelerin tercih edilme sebebi, genellikle yorulma davranışı gösteren otoyol ve köprü gibi üzerlerinde sürekli yük taşıyan yapıların uzun süreler boyunca dayanımlarını korumak, deprem esnasında betonun daha fazla plastik davranış sergilemesi ile felaketlerin önlenmesinin istenmesidir. Uygulanacak yöntem, sağlayacağı avantajlar göz önünde bulundurulduğunda vakum altında uygulanan kaplama işleminde dayanım değerleri boşluk oranlarının azaltılması ve atmosferin kontrollü olmasından dolayı avantajlıdır. Gelecek çalışmalarda bu vakum infüzyon yönteminin reçinenin süresiz elyaf yapılar ile harmanlanarak beton yüzeyine uygulanması ve böylelikle ara yüzeyin daha güçlendirilmesi ile çalışma kapsamının daha da iletilmesi istenmektedir.

Teşekkür

Acknowledgement

Erciyes Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeler Birimi (BAP) (Proje no: FYL-2020-10477) tarafından desteklenmiştir.

Yazar katkısı

Author contribution

Tüm yazarlar, literatür taraması, deneysel çalışmaların yürütülmesi, sonuçların yorumlanması, makalenin yazımı ve düzenlenmesinde görev almıştır.

Etik beyanı

Declaration of ethical code

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

Çıkar çatışması beyanı

Conflicts of interest

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar

References

- Agwa, M. A., Youssef, S. M., Ali-Eldin, S. S., & Megahed, M. (2022). Integrated vacuum assisted resin infusion and resin transfer molding technique for manufacturing of nano-filled glass fiber reinforced epoxy composite. *Journal of Industrial Textiles*, 51(3), 5113S-5144S. <https://doi.org/10.1177/1528083720932337>
- Almusallam, A. A., Khan, F. M., Dulaijan, S. U., & Al-Amoudi, O. S. B. (2003). Effectiveness of surface coatings in improving concrete durability. *Cement and Concrete Composites*, 25(4-5 SPEC), 473-481. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(02\)00087-2](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(02)00087-2)
- Baltazar, L., Santana, J., Lopes, B., Paula Rodrigues, M., & Correia, J. R. (2014). Surface skin protection of concrete with silicate-based impregnations: Influence of the substrate roughness and moisture. *Construction and Building Materials*, 70, 191-200. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.07.071>
- Berndt, M. L. (2011). Evaluation of coatings, mortars and mix design for protection of concrete against sulphur oxidising bacteria. *Construction and Building Materials*, 25(10), 3893-3902. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.04.014>
- Bertolini, L., Elsener, B., Pedferri, P., Polder, R. B. (2013). *Corrosion of Steel in Concrete: Prevention, diagnosis repair*. Wiley, 414.
- Bin, X., Su, X., Feng, H., Xuefeng, L., Bo, W., Long, Y., Meijun, H., Hongjun, Y., N. Z. (2019). *Resin concrete anti-cracking structure and implement thereof*.
- Blaga a., B. J. J. (1985). Polymer Modified Concrete - NRC-IRC. In *Government of Canada, National Research Council Canada, Institute for Research in Construction*.

- C.M. Hansson, L. Mammoliti, and B. B. H. (1998). Corrosion Inhibitors in Concrete—Part I: The Principles. *Cement and Concrete Research*, 28(October), 1775–1781.
- Dang, Y., Xie, N., Kessel, A., McVey, E., Pace, A., & Shi, X. (2014). Accelerated laboratory evaluation of surface treatments for protecting concrete bridge decks from salt scaling. *Construction and Building Materials*, 55, 128–135. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.01.014>
- Delucchi, M., Barbucci, A., & Cerisola, G. (1997). Study of the physico-chemical properties of organic coatings for concrete degradation control. *Construction and Building Materials*, 11(7–8), 365–371. [https://doi.org/10.1016/S0950-0618\(97\)00060-3](https://doi.org/10.1016/S0950-0618(97)00060-3)
- Diamanti, M. V., Brenna, A., Bolzoni, F., Berra, M., Pastore, T., & Ormellese, M. (2013). Effect of polymer modified cementitious coatings on water and chloride permeability in concrete. *Construction and Building Materials*, 49, 720–728. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.08.050>
- Doğangün, A. (2004). Performance of reinforced concrete buildings during the May 1, 2003 Bingöl Earthquake in Turkey. *Engineering Structures*, 26(6), 841–856. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2004.02.005>
- Drozdo, A. D., De, J., Gupta, R. K., & Shah, A. P. (2003). Model for anomalous moisture diffusion through a polymer-clay nanocomposite. *Journal of Polymer Science, Part B: Polymer Physics*, 41(5), 476–492. <https://doi.org/10.1002/polb.10393>
- Elalaoui, O., Ghorbel, E., Mignot, V., & Ben Oueddou, M. (2012). Mechanical and physical properties of epoxy polymer concrete after exposure to temperatures up to 250 °c. *Construction and Building Materials*, 27(1), 415–424. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.07.027>
- Fick, A. (1855). Ueber Diffusion. *Annalen Der Physik*, 170(1), 59–86. <https://doi.org/10.1002/ANDP.18551700105>
- Franzoni, E., Pigino, B., & Pistolesi, C. (2013). Ethyl silicate for surface protection of concrete: Performance in comparison with other inorganic surface treatments. *Cement and Concrete Composites*, 44, 69–76. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2013.05.008>
- Franzoni, E., Varum, H., Natali, M. E., Bignozzi, M. C., Melo, J., Rocha, L., & Pereira, E. (2014). Improvement of historic reinforced concrete/mortars by impregnation and electrochemical methods. *Cement and Concrete Composites*, 49, 50–58. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2013.12.013>
- Hinder, S. J., Lowe, C., Maxted, J. T., Perruchot, C., & Watts, J. F. (2005). Intercoat adhesion failure in a multilayer organic coating system: An X-ray photoelectron spectroscopy study. *Progress in Organic Coatings*, 54(1), 20–27. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2005.03.012>
- Ilki, A., Celeb, Z. (1997). Earthquakes, existing buildings and seismic design codes in turkey. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 37, 365–380.
- İşleyen, Ü. K., Ghoroubi, R., Mercimek, Ö., Anil, Ö., & Erdem, R. T. (2021). Behavior of glulam timber beam strengthened with carbon fiber reinforced polymer strip for flexural loading. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 40(17–18), 665–685. https://doi.org/10.1177/0731684421997924/ASSET/IMAGES/LARGE/10.1177_0731684421997924-FIG13.JPEG
- Kuru Mutlu, H. (2022). Applied research into muttalip clay in Eskişehir. *Eskişehir Teknik Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi B - Teorik Bilimler*, 10(1), 27–34.
- Liu, J., & Vipulanandan, C. (2001). Evaluating a polymer concrete coating for protecting non-metallic underground facilities from sulfuric acid attack. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 16(4), 311–321. [https://doi.org/10.1016/S0886-7798\(01\)00053-0](https://doi.org/10.1016/S0886-7798(01)00053-0)
- Maggana, C., & Pissis, P. (1999). Water sorption and diffusion studies in an epoxy resin system. *Journal of Polymer Science, Part B: Polymer Physics*, 37(11), 1165–1182. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-0488\(19990601\)37:11<1165::AID-POLB11>3.0.CO;2-E](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-0488(19990601)37:11<1165::AID-POLB11>3.0.CO;2-E)
- Medeiros, M., & Helene, P. (2008). Efficacy of surface hydrophobic agents in reducing water and chloride ion penetration in concrete. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, 41(1), 59–71. <https://doi.org/10.1617/s11527-006-9218-5>

- Mercimek, Ö., Ghoroubi, R., Baran, M., & Anil, Ö. (2022). Behaviour of steel beams retrofitted with anchored carbon-fibre-reinforced polymer strips. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Structures and Buildings*, 175(7), 561–576. <https://doi.org/10.1680/JSTBU.19.00176>
- Neville, A. M. (1995). *Properties of concrete*. 4th Edition. Pitman Publishing Comp. Ltd., New York
- Pacheco-Torgal, F., Abdollahnejad, Z., Miraldo, S., Baklouti, S., & Ding, Y. (2012). An overview on the potential of geopolymers for concrete infrastructure rehabilitation. *Construction and Building Materials*, 36, 1053–1058. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.07.003>
- Pacheco-Torgal, F., & Jalali, S. (2009). Sulphuric acid resistance of plain, polymer modified, and fly ash cement concretes. *Construction and Building Materials*, 23(12), 3485–3491. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.08.001>
- Pan, X., Shi, Z., Shi, C., Ling, T. C., & Li, N. (2017). A review on concrete surface treatment Part I: Types and mechanisms. *Construction and Building Materials*, 132, 578–590. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2016.12.025>
- Pérez, C., Collazo, A., Izquierdo, M., Merino, P., & Nóvoa, X. R. (1999). Characterisation of the barrier properties of different paint systems. Part II. Non-ideal diffusion and water uptake kinetics. *Progress in Organic Coatings*, 37(3), 169–177. [https://doi.org/10.1016/S0300-9440\(99\)00073-9](https://doi.org/10.1016/S0300-9440(99)00073-9)
- Perrin, F. X., Merlatti, C., Aragon, E., & Margailan, A. (2009). Degradation study of polymer coating: Improvement in coating weatherability testing and coating failure prediction. *Progress in Organic Coatings*, 64(4), 466–473. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2008.08.015>
- Ramesh Singh. (2014). *Corrosion Control for Offshore Structures*. Gulf Professional Publishing, Boston.
- Shen, C.-H., & Springer, G. S. (1976). Moisture Absorption and Desorption of composite materials. *Journal of Composite Materials*, 10(February), 2–20.
- Soebbing, J. B., Skabo, R. R., Michel, H. E., Guthikonda, G., & Sharaf, A. H. (1996). Rehabilitating water and wastewater treatment plants. *Journal of Protective Coatings and Linings*, 13(5), 54–64.
- Türk Standardı TS EN 206-1, (2002). *Beton- Bölüm 1: Özellik, performans, imalat ve uygunluk*.
- Türk Standardı 3289 EN 1354. (1996). *Gözenekli Beton-Hafif Agregal-Basınç Mukavemeti Tayini*.
- VanLandingham, M. R., Eduljee, R. F., & Gillespie, J. W. (1999). Moisture Diffusion in Epoxy Systems. *Journal of Applied Polymer Science*, 71(5), 787–798. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4628\(19990131\)71:5<787::AID-APP12>3.0.CO;2-A](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4628(19990131)71:5<787::AID-APP12>3.0.CO;2-A)
- Woo, L. S. (2002). *Rehabilitation of Concrete Structures with Composites by Vacuum Bag*.
- Yang, X. F., Tallman, D. E., Bierwagen, G. P., Croll, S. G., & Rohlik, S. (2002). Blistering and degradation of polyurethane coatings under different accelerated weathering tests. *Polymer Degradation and Stability*, 77(1), 103–109. [https://doi.org/10.1016/S0141-3910\(02\)00085-X](https://doi.org/10.1016/S0141-3910(02)00085-X)

A356 alüminyum alaşımının dökümünde katılaşma zamanı ve Nb ilavesinin mikroyapıya etkisinin incelenmesi

Investigation of the effect of solidification time and Nb addition on the microstructure of A356 aluminum alloy castings

Önder YALÇIN*¹, Mehmet TOKATLI², Ahmet TIĞLI*³, Murat ÇOLAK²

¹Bayburt Üniversitesi, Lisansüstü Enstitüsü, 69000, Bayburt, Türkiye

²Bayburt Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, 69000, Bayburt, Türkiye

³Sinop Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, 57000, Sinop, Türkiye

• Geliş tarihi / Received: 03.08.2023

• Kabul tarihi / Accepted: 05.02.2024

Öz

Alüminyum alaşımları hafiflik, korozyon direnci, elektrik ve ısı iletkenliğinin yüksek olması yüksek dayanım, sünek olması gibi özelliklerinde dolayı oldukça önemli bir mühendislik malzemesidir. Bu sebeple; otomotiv, havacılık, savunma, uzay endüstrisi, makine imalat, gıda endüstrisi gibi birçok alanda yaygınca kullanım bulmaktadır. Özellikle otomotiv sanayi ve yüksek teknoloji gereksinimi olan birçok sektörde kullanımı artmakla birlikte kalite gereksinimleri de artmaktadır. Alüminyum döküm alaşımlarından kalite beklentisindeki artışa bağlı olarak farklı alaşım elementi ilaveleri ile dökümler yapılması ve üretimde yeni teknoloji kullanımları üzerinde çalışmalar devam etmektedir. Bu çalışmada A356 alüminyum döküm alaşımına %0.03, %0.06 ve %0.1 Niyobyum ilavesinin değişen kesitler içeren kokil kalıba dökümünde mikroyapı üzerindeki etkileri incelenecektir. Çalışmada ergitme, sıvı metal temizleme, kokil kalıba döküm, metalografik numune hazırlama, mikroyapı inceleme ve imaj analiz teknikleri kullanılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde katılaşma zamanına ve Nb ilave miktarına bağlı olarak döküm mikro yapılarında değişimler olduğu gözlenmiştir.

Anahtar kelimeler: A356 alüminyum döküm, Katılaşma zamanı, Mikroyapı, Nb ilavesi

Abstract

Aluminum alloys are very important engineering materials due to their lightness, corrosion resistance, high electrical and thermal conductivity, high strength, and ductility. Therefore; It is widely used in many areas such as automotive, aviation, defense, space industry, machinery manufacturing, and food industry. The demand for high-quality aluminum products is also growing as their applications increase. This study aims to explore the influence of adding 0.03%, 0.06%, and 0.1% niobium to the A356 aluminum casting alloy on the resulting microstructure. The investigation focused on permanent step mold casting with different cross-sectional profiles. In the study, melting, liquid metal cleaning (lance degassing), permanent mold casting, metallographic sample preparation, microstructure examination, and image analysis techniques were used. It was observed that SDAS and SDAL of A356 increased with decreasing cooling rate. With the addition of 0.1% Nb, the dimensions of SDAS demonstrated a reduction when contrasted with the as-received A356 castings.

Keywords: A356 aluminum casting, Solidification time, Microstructure, Nb addition

*Ahmet TIĞLI; atigli@sinop.edu.tr

1. Giriş

1.1. Introduction

Hafif alaşımlar, otomotiv, havacılık gibi çeşitli sektörlerde yaygın olarak kullanılan malzemeler arasında yer almaktadır. Alüminyum ve alaşımları da endüstride en çok kullanılan hafif alaşımlardan biridir. Alüminyum alaşımları yüksek dayanım/ağırlık oranı, korozyon direnci, dökülebilirlik gibi çeşitli üstün özelliklere sahiptir (Ridvan vd., 2018). Endüstride yaygın bir şekilde kullanılan alüminyum alaşımlarından biri olan A356 (Al7Si0.3Mg) alaşımı, özellikle iyi dökülebilirlik, yüksek dayanım, kaynaklanabilirlik, korozyon direnci ve işlenebilirlik gibi özellikleriyle öne çıkmaktadır (Erzi vd., 2019).

Alüminyum alaşımlarının mekanik özellikleri inklüzyon, safsızlık, alaşım elementi, tane boyutu ve morfolojisi gibi birçok faktör tarafından etkilenmektedir (Tokatlı vd., 2022). Mekanik özellikleri zayıflatan veya güvenilirliğini azaltan en önemli kusurlardan birisi ise döküm içinde karşılaşılan porozitelerdir. (Tigli vd., 2023). Alüminyum alaşımların mekanik özelliklerini etkileyen önemli bir faktör ise tane boyunu ve morfolojidir. Alüminyum tane boyunu düşürerek mekanik özellikleri artırmak mümkündür (Jeong vd., 2015). Yajjala vd. (2020) A356 alaşımın kum ve Fe-Cr cürufuna gerçekleştirmiştir. Yaptıkları dökümlerin hem mekanik özelliklerine hem de mikro yapılarını incelemiştir. Kum kalıba yapılan dökümde 144 ve 42 µm tane ve SDAS (İkincil Dendrit Kol Aralığı) boyutuna ölçmüşlerdir. Diğer taraftan Fe-Cr cürufunu kalıp malzemesi olarak kullandıkları dökümde ise 72 ve 17 µm tane ve SDAS boyutu bulmuşlardır. Bununla beraber sertlik, çekme dayanımı ve yüzde uzama değerleri 63 HV, 115 MPa, ve % 10.94 e den 71 HV, 130 MPa ve % 12.41' e yükselmiştir. Buradan da anlaşılacağı gibi mekanik özellikler tane boyutundaki inceleme ile iyileştirilebilir.

Alüminyum alaşımlarda tane inceltmenin birkaç yöntemi vardır bunlar: titreşim ve karıştırma, katılaşma (soğuma) hızını arttırarak, tane inceltici ekleyerek ve plastik deformasyon yaparak tane inceltmedir (Çolak & Kayıkçı, 2009; Guan & Tie, 2017; Uslu vd., 2023; Uslu & Yetgin, 2021). Birol (2013) Al-5Ti-1B ve Al-3B master alaşımlarının A356 alüminyum alaşımı üzerindeki tane inceltici etkisini incelemiştir. Tane inceltici kullanılmayan dökümlerdeki ortalama tane boyutu 1450±145 µm Al-5Ti-1B kullanılan dökümlerde tane boyutu 465±102 µm ve Al-3B kullanılan dökümlerde tane boyutu 156±29 µm olarak ölçülmüştür. Fakat tane boyutundaki incelmeye kıyasla SDAS boyutları 30±5 µm ile büyük bir değişim göstermemektedir. SDAS boyutundaki değişimin mekanik özellikler üzerinde etkisinin tane boyutuyla kıyaslanırsa daha belirgin olduğuna değinilmiştir.

Diğer tane inceltme yöntemlerinden bir tanesi Ti ve B içeren tane inceltici kullanılmasıdır (Birol, 2009; Çolak & Arslan, 2022; Çolak & Kayıkçı, 2009; Quested, 2004). Tamuly vd. (2022) Al-Ti-B ve Sr kullanarak sıkıştırılmalı A356 dökümünde tane boyutu ve mekanik özellikler üzerindeki etkisine incelemiştir. Sıkıştırılmalı döküm sayesinde tane boyutu 45 and 26 ±2 µm düşmüştür. Tane incelticiler sayesinde SDAS boyutları 20 (±3) µm kadar düşmüştür. Fakat mekanik özelliklerde tane incelticinin sönümlenmesi ve pota tabanında bor ve bor kompozisyonlarının çökmesinden dolayı azalma gözlenmiştir.

Son zamanlarda Er (Erbiyum) ve Nb (Niyobyum) gibi nadir toprak elementleride tane inceltici olarak kullanılmaktadır (Aydogan vd., 2022a; Aydogan vd., 2022b; Emam vd., 2022; Sahin & Dispınar, 2023). Narducci vd. (Narducci Jr vd., 2021) Nb ilavesinin Al(7-9-12) ağ % Si ve 1 ağ % Fe alaşımının mikroyapı boyutu ve morfolojisi üzerindeki etkisi incelemiştir. % 0.02 Nb ilavesi ile tane boyutu ortalama olarak 1000 µm den 200 µm kadar düştüğü gözlemlenmiştir. Diğer yandan, eklenen Nb miktarının artması ile beraber, tane boyunun hafif bir artış gözlemlenmiştir. Diğer yandan Al-Si alaşımı içindeki Si miktarını artması Nb-B ilave edilen dökümlerdeki tane boyutunda yaklaşık olarak 190 µm den 250-300 µm'a kadar artış gözlenmiştir. Buna ek olarak Si tane kabalaştırıcı soğuma zamanının artması (katılaşma hızının azalması) ile beraber artmaktadır. Bolzoni ve Babu (2015) 96Al-2Nb-2B master alaşımın A356 alaşımının üzerindeki tane inceltici etkisi incelemiştir. Tane boyutu Master alaşımı ilavesiz dökümler 1000 µm ile ilaveli dökümlerde 250-330 µm civarındadır. Buna ek olarak soğuma hızı arttıkça tane incelmeye gözlemlenmiştir.

Diğer bir tane inceltici yöntem ise soğuma hızının artırılmasıdır (Zhang vd., 2008). Soğuma hızını etkileyen faktörlerden bir tanesi döküm parçasının yüzey alanı/hacmi oranının değiştirilebilmesidir (Xu vd., 2020). Diğer bir parametre ise döküm yapılan kalıp malzemesini ısı iletkenliğini yüksek malzemeler ile değiştirmek (kum kalıp yerine metal kalıp kullanmak). Pulivarti ve Birru (2018) döküm sıcaklığının ve kalıp kaplamasının A206 alaşımın akışkanlığa ve mikro yapısı üzerindeki etkisini incelemiştir. Alaşımın tane boyunun hem döküm

sıcaklığı hem de kalıbın kaplanmasından etkilenmektedir. 700, 750 ve 780 °C döküm sıcaklıklarında, kaplamasız kalıpta sırasıyla 164, 151 ve 155 µm, grafen kaplı kalıpta 147, 103 ve 121 µm, sabuntaşı kaplı kalıpta ise 95, 64 ve 82 µm tane boyutları gözlemlenmiştir. Tang vd. (2019) Al-5Mg-3Zn-1Cu alaşımını basamak kalıba dökümünü gerçekleştirmiştir. Basamak kalıpta yapılan ölçümlerde, basamak kalınlığının 50, 25, 10 ve 5 mm düşmesi ile beraber ölçülen soğuma hızı 2.3, 3.4, 9.8 ve 24.1 K/saniye artmıştır. Soğuma hızının artması ile beraber SDAS değerleri sırasıyla 43, 34, 22 ve 14 µm ve tane boyutu 550, 420, 320 ve 240 µm olarak tespit edilmiştir.

Bu çalışma, A356 alüminyum alaşımının mekanik ve mikroyapısal özelliklerine çeşitli oranlarda Nb (niyobyum) ilavesinin etkisini incelemeyi amaçlamaktadır. A356 alaşımı, ilavesiz olarak, %0.03 Nb, %0.06 Nb ve %0.1 Nb oranlarında ilaveli olarak kokil kalıba döküm yöntemiyle üretilmiştir. Sıvı metalin temizliğini gözlemlenmek için vakum altında katılaşma (PRT) testi uygulanmıştır. A356 alaşımının mikroyapısı üzerinde katılaşma hızının etkisini araştırmak amacıyla kokil basamak kalıp kullanılarak dökümler gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemle, katılaşma süresinin ve Nb ilavesinin mikroyapı üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde çalışmada analiz edilmiştir.

2. Materyal ve metod

2. Material and method

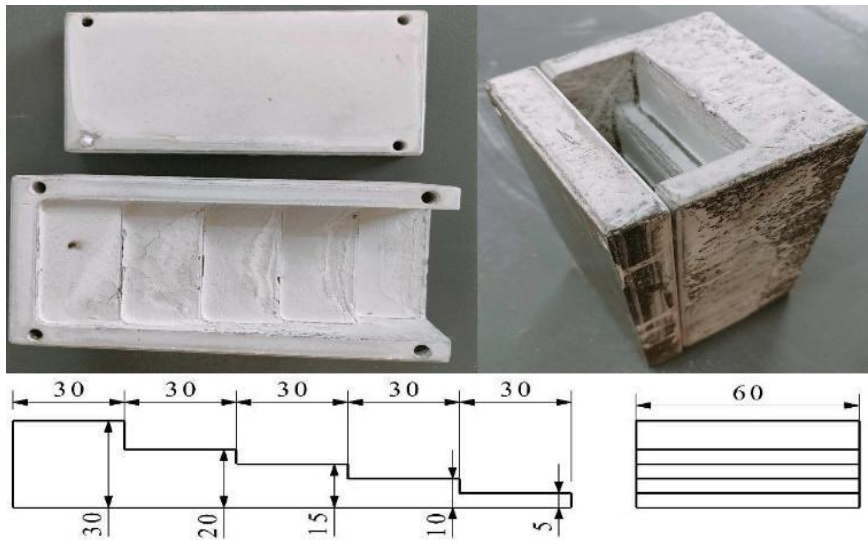
Döküm deneylerinde, A356 alaşımının ilavesiz, %0.03, %0.06 ve %0.1 oranlarında ağırlıkça Nb ilavesi olacak şekilde döküm parametreleri belirlenmiştir. 700 °C'de eritme ocağında eritilen sıvı metal, 200 °C ön ısıtma uygulanan kokil kalıplara dökülmüştür. Nb ilave oranı, yapılan literatür araştırmalarına bağlı olarak etkisi ve ticari kullanılabilirlik şartlarına göre belirlenmiştir (Aydoğan vd., 2022a; Aydoğan vd., 2022b). Dökümler sıvı metal temizliği yapıldıktan sonra gerçekleştirilmiştir. Deneylerde A356 alaşımı ve Nb ilavesi için kullanılan master alaşımına ait kimyasal bileşim içerikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. A356 alaşımının ve Nb elementin kimyasal analizleri (Seydisehiraluminyum, t.y.)

Table 1. Chemical analysis of A356 alloy and Nb element

Alaşım	Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Ni	Ti	Nb	B	Al
A356	0.20	6.60-7.40	0.02	0.03	0.03-0.45	0.04	0.02	0.08-0.14	-	-	Kalan
Nb	-	-	-	-	-	-	-	-	3.5	0.5	96.0

Deneylerde kullanılan kalıp görüntüsü ve numune ölçüleri milimetre (mm) cinsinden Şekil 1'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi Modelde değişen kesit kalınlığı (kademeler) mevcuttur. Dökülen numunenin kesit kalınlığına bağlı olarak katılaşma hızı ve mikroyapı etkilenmektedir.



Şekil 1. Döküm deneylerinde kullanılan basamak kalıbı ve numune boyutları (birim: mm)

Figure 1. The dimensions of the step mold and samples used in casting experiments (in mm)

2.1. Ergitme ve döküm işlemleri

2.1. Melting and casting processes

Ergitme işlemi, çan tipi 8 kg sıvı alüminyum ergitme kapasitesine ve 10 kW gücünde elektrik direnç ocağı içerisinde bulunan SiC potada gerçekleştirilmiştir. Şekil 2’de gösterilen elektrik direnç ocağı, K tip termokupl ve elektronik kontaktör termostat donanımı ile sıcaklığı kontrol edilebilmektedir. Ocak astarı kalsiyum oksit türü yüksek termal izolasyon özelliğine sahip dökme astar malzemelerle yapılmıştır. Ocak üstünde azotla sıvı metal temizleme işlemlerinin yapılabilmesi için grafit lansın gireceği genişlikte bir delik mevcuttur.



Şekil 2. Ergitme işlemlerinin yapıldığı çan tipi elektrik direnç ocağı
Figure 2. Bell-type electric resistance furnace

Ergitme işlemleri için ilk olarak birincil A356 külçe ocak içerisinde 5 kg yüklenmiştir. Ergitme yapıldıktan sonra deney parametrelerine uygun olarak Nb ilavesi yapılmıştır. Alaşıma Nb ilavesi için AlNbB_{3.5/0.5} master alaşımı kullanılmıştır. Ergitme ve alaşım elementi ilavesi sonrası sıvı metal temizleme işlemine tabi tutulduktan sonra sıvı metal 700 °C sıcaklıkta döküm işlemlerine geçilmiştir. Döküm işleminde ilk olarak ergimiş metal ile dolu SiC pota ocaktan alınır. Ardından sıvı metalin yüzeyindeki cüruf tabakası sıyırma yöntemi ile temizlenir. Bunun ardından kepçe yardımıyla potadan alınan ergimiş metal ile Azaltılmış Basınç Test (RPT) numunesi dökümü gerçekleştirilir. Sonrasında pota çift kol yardımıyla kaldırılarak kokil kalıplara dökümler yapılır.

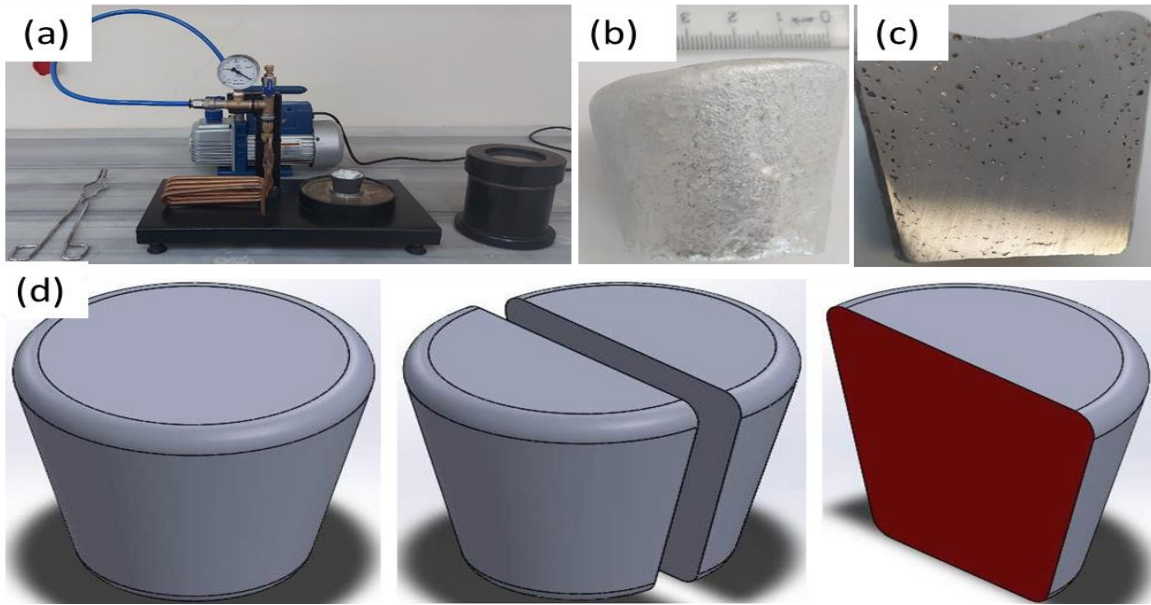
2.2. Sıvı metal temizleme işlemleri

2.2. Liquid metal cleaning processes

Temizleme işlemi ergitilmiş sıvı metal içerisinde çözünmüş halde bulunan hidrojen gazlarını gidermek için, azot gazı ile yıkama işlemi gerçekleştirilmiştir. Sıvı metalin temizleme işlemi döner tip şaft kolun sıvı metal içine daldırılarak, azot gazının sıvı içinde çok sayıda küçük gaz baloncuklar oluşturulması prensibiyle gerçekleştirilmiştir. Lansın özel tasarlanmış olup başlık kısmıyla ve dönme etkisiyle oluşan girdap sayesinde azot gazı sıvı metalin her tarafına dağılarak dışarıya atılmıştır. Azot gazının etkisiyle oluşan kabarcıklarla birlikte sıvı metaldeki inklüzyonlar flotasyon mantığı ile sıvı metalin yüzeyine çıkartılarak metal içerisinde çözünmüş bulunan hidrojen atomları bu baloncuklar içerisinde difüz ederek baloncuklarla beraber atmosfere atılmaktadır. Sıvı metal temizleme işlemlerinde gaz debisi ve çark hızı sabitlenmiş olup sırası ile 5 lt/dk ve 300 rpm olarak ve 5 dakika boyunca gaz giderme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Kokil kalıplara dökümler yapılmadan önce, ilk olarak azot gazı ile gaz giderme işlemi gerçekleştirilmiştir. Ardından, sıvı metalin gazlılık (kirlilik) seviyesini kontrol etmek amacıyla RPT numuneleri dökülmüştür. Şekil 3-a’da RPT cihazına ait görsel verilmiştir.

RPT numunesi alınması sırasında, 90-100 gram ağırlığındaki ergimiş A356 alaşımı metal bir krozede, RPT test cihazında basınç 80 mbar'a düşürülerek, ergimiş alüminyum alaşımı tamamen katılaşıncaya kadar bekletilmiştir. RPT numunelerindeki gözenekleri görmek için numuneler şekil 3-b-d’de gösterildiği gibi dikey olarak ortadan ikiye kesilmiştir. Kesilen yüzeyler zımparalama işlemine tabi tutulup, tarayıcıda kesit yüzey görüntüleri elde edilmiştir.



Şekil 3. (a)Azaltılmış basınç test (RPT) cihazı (b-d) RPT numunelerinin dikey olarak kesilmesi
Figure 3. (a) Reduced pressure test (RPT) device (b-d) Vertical cutting of RPT samples

2.3. Kalıpların hazırlanması ve döküm deneyleri

2.3. Preparation of molds and casting experiments

Döküm öncesi kalıplarda olası nemin atılması ve sıvı metalin kalıpta daha iyi ilerlemesi için ön ısıtma işlemi Elektromag M 4060 marka ısıtıcı tabla ile yapılmıştır. Dökümler, 700 °C sıcaklığındaki sıvı metalin, 200 °C sıcaklığındaki Kokil basamak kalıplarına dökülmesi suretiyle gerçekleştirilmiştir. Katılaşmanın tamamlanmasının ardından basamak kalıplarının açılmasıyla test numuneleri çıkarılmıştır.

2.4. Yoğunluk ölçümleri

2.4. Density measurements

Katılaşma sonrasında, döküm numuneleri kalıplardan çıkarılmış ve yoğunluk ölçümleri Arşimet prensibi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu prensibe göre, her bir numunenin ilk dört kademesi (5, 10, 15 ve 20 mm) ayrılmadan ağırlıkları önce havada daha sonra saf suda (sıcaklığı $T_s=20$ °C ve yoğunluğu $d_s=0.99821$ g/cm³) tartılmıştır. Tartım işlemi 0.02 g hassasiyete sahip elektronik teraziye kurulan arşimet düzeneği ile gerçekleştirilmiştir. A356 alaşımının yoğunluk değerleri, Denklem 1'deki formüle göre hesaplanmıştır.

$$d_n = \frac{m_h}{m_h - m_s} * d_s \quad (1)$$

Burada d_n döküm numunenin yoğunluğu, m_h numunenin havadaki ağırlığı, m_s numunenin saf sudaki ağırlığı, d_s oda sıcaklığında suyun yoğunluğunu ifade etmektedir.

2.5. Metalografik hazırlık aşamaları

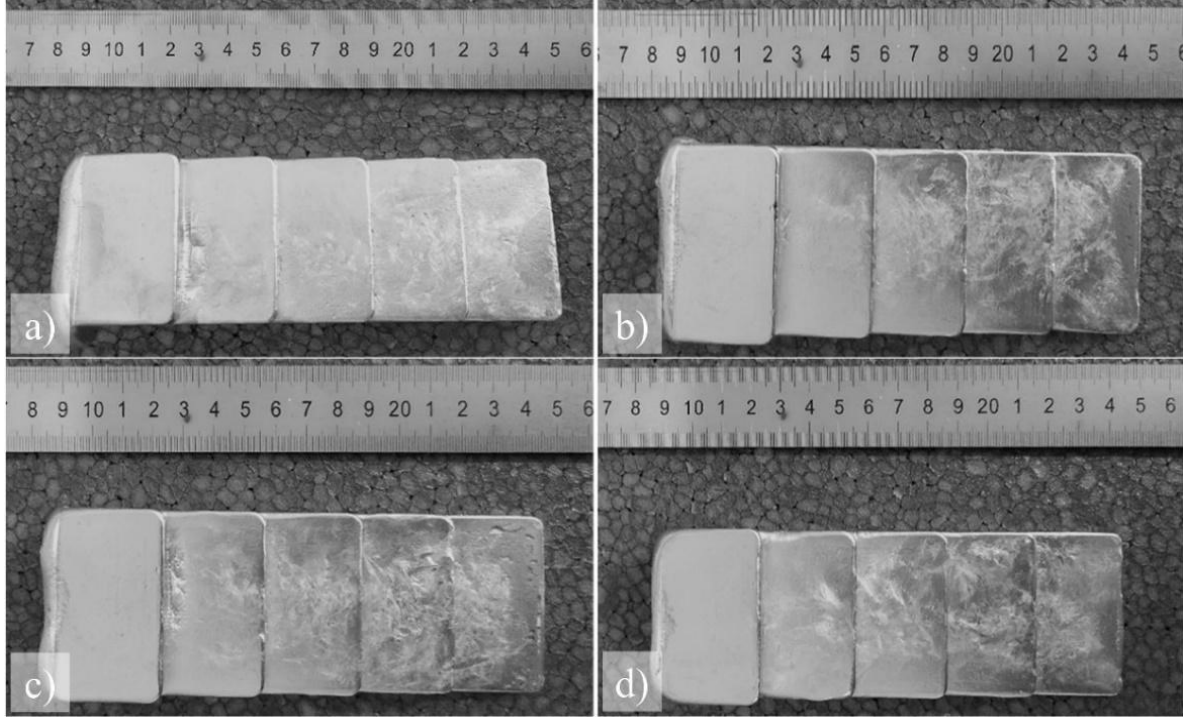
2.5. Metallographic preparation stages

Mikroyapı incelemeleri için basamak kalıbının her bir kademesinden numuneler alınmıştır. Numuneler sırasıyla 180, 400, 800, 1200 ve 2500 numaralı zımpara ile zımparalama işlemi uygulanmıştır. Uygulanan zımpara işleminin ardından 3µm, 1µm alümina süspansiyonu ve son olarak 0.05 µm'lik koloidal silika ile parlatılmıştır. Parlatma sonrası numuneler Keller çözeltisi (95 ml saf su, 2.5 ml HNO₃, 1.5 ml HCl, 1.0 ml HF) ile dağlama işlemi yapılmıştır. Mikro yapı incelemeleri Nikon marka metalürjik optik mikroskopta gerçekleştirilmiştir. Fotoğraf çekimleri de mikroskoba bağlı çalışan Nikon MA100N dijital kamera ile gerçekleştirilmiştir.

3. Deneysel sonuçlar ve değerlendirilmesi

3. Experimental results and evaluation

Döküm deneylerinde katılaşma ve soğuma sonrası numuneler kalıptan çıkarılarak incelemelere tabi tutulmuştur. Şekil 4'te dökümlerden elde edilen numune resimleri verilmiştir. Döküm numuneler mikroyapı testleri için her bir kademedan (5, 10, 15 ve 20 mm) kesilerek incelenmiştir. 25 mm kalınlığındaki 5. Basamak besleyici olarak kullanıldığında incelemelerde kullanılmamıştır.

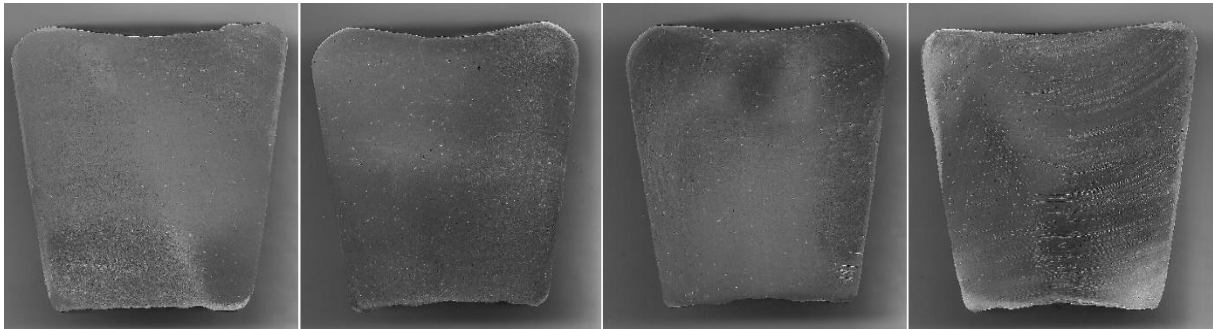


Şekil 4. Döküm numune görüntüleri (a) ilavesiz, (b) 0.03 % Nb , (c) 0.06 % Nb ve (d) 0.1 % Nb ilaveli
Figure 4. Sample images of the pour (a) without addition, (b) with 0.03 % Nb, (c) with 0.06 % Nb and (d) with 0.1 % Nb addition

3.1. Sıvı metal temizliğinin uygunluğunun kontrolü

3.1. Checking the suitability of liquid metal cleaning

Döküm deneylerinde sıvı metal kalitesinin döküm sonuçlarına etki etmemesi adına sıvı metal temizliği işlemleri gerçekleştirilmiş ve uygunluğun kontrolü için RPT numuneleri kesit yüzeyleri incelenmiştir. Şekil 5'te RPT numune kesit görüntüleri verilmiştir.



Şekil 5. RPT numune kesit yüzey görüntüleri, a) ilavesiz, b) %0.03 Nb ilaveli, c) %0.06 Nb ilaveli, d) %0.1 Nb ilaveli
Figure 5. RPT sample cross-sectional images, a) no added, b) 0.03% Nb added, c) 0.06% Nb added, d) 0.1% Nb added

Şekil 5'te görüldüğü gibi tüm dökümlerin sıvı metal kalitesi açısından uygun olduğu, yüzeylerinde çöküntü ve kesitlerinde gözeneklerin minimum seviyelerde olduğu tespit edilmektedir. Sıvı metal temizliği açısından uygulanan yöntemler, elde edilen sonuçlar açısından değerlendirildiğinde kesit yüzeylerine bağlı olarak sıvı

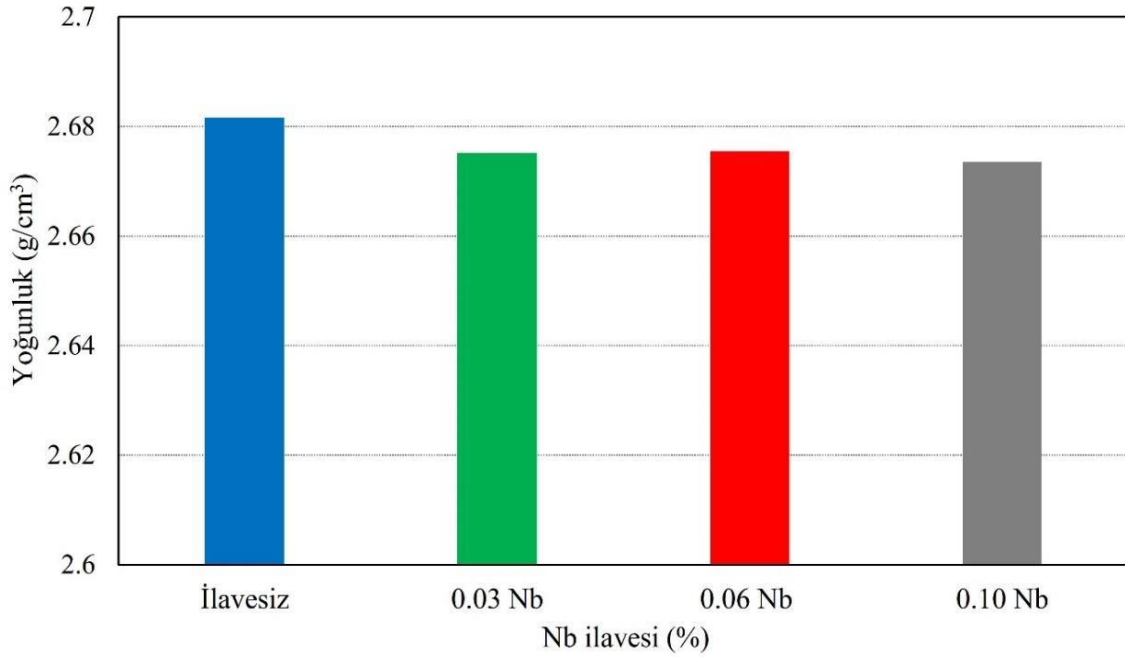
metalini uygun olduğu anlaşılmaktadır. Sıvı metal temizlemede kullanılan gaz, uygulama süresi ve debinin de sonuçlar itibari ile literatür açısından uygun olduğu tespit edilmiştir (Çolak vd., 2016; Erzi vd., 2019; Tan vd., 2011; Tokatlı vd., 2022).

3.2. Yoğunluk Ölçüm Sonuçları

3.3. Density Measurement Results

Döküm modeli değişen katılma zamanına bağlı olarak her bir kademedeki numuneler alınarak yoğunluk testlerine tabi tutulmuştur. Yoğunluk testi sonuçları Şekil 6'da verilmiştir.

Şekil 6'da verilen sonuçlar incelendiğinde her bir dökümde yoğunluk değerlerinin 2.67 gr/cm^3 civarında olduğu tespit edilmiştir. Bu değerlerin alaşıma ait değerlerde olduğu ve sonuçların parçada gözenek oluşumunun minimum seviyede olduğunun bir göstergesi şeklinde yorumlanmıştır.



Şekil 6. İlavesiz, 0.03, 0.06 ve 0.1 ilavesi ile dökülen A356 basamağın (ilk 4 basamak) yoğunluk ölçüm sonuçları

Figure 6. Density measurement results of A356 steps (first 4 steps) poured without addition and with the addition of 0.03, 0.06 and 0.1

3.3. Mikroyapı inceleme sonuçları

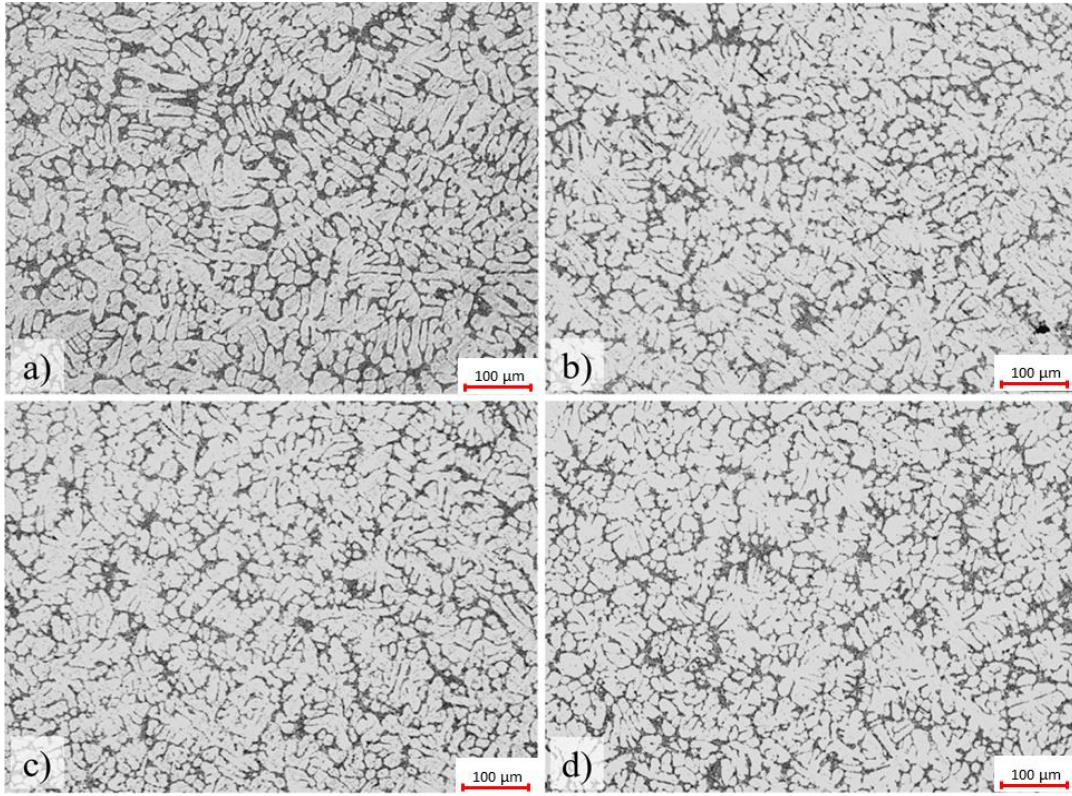
3.3. Microstructure examination results

A356 alüminyum alaşımının mikroyapı incelemeleri, iki farklı başlık altında gerçekleştirilmiştir. İlk başlık olan (i) ilave edilen Nb oranına göre mikroyapı incelemeleri, Nb (niyobyum) elementinin alaşıma ilave edilmesinin mikroyapı üzerindeki etkisini araştırmayı amaçlamaktadır. İkinci başlık olan (ii) basamak kalınlığına (5, 10, 15 ve 20 mm) göre mikroyapı incelemeleri ise, alaşımın farklı basamak kalınlıklarına sahip numuneleri üzerinde mikroyapının incelenmesini içermektedir. Mikroyapı incelemelerine ilişkin görseller Şekil 7'de 5 mm kesitli, Şekil 8'de 10 mm kesitli, Şekil 9'da 15 mm kesitli ve Şekil 10'da 20 mm kesitli bölgelerden alınan 100X büyütme ile çekilmiş mikroyapı fotoğraflarını içermektedir. Bu görseller, A356 alüminyum alaşımının farklı kesit kalınlıklarına sahip bölgelerinden elde edilen mikroyapısal detayları göstermektedir. Bu resimler kullanılarak, SDAS (Secondary Dendrite Arm Spacing, ikincil dendrit kol aralığı) ve SDAL (Secondary Dendrite Arm Length, ikincil dendrit kol uzunluğu) ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Şekil 7'de, A356 alüminyum alaşımının 5 mm kalınlığındaki ilavesiz ve farklı oranlarda Nb (niyobyum) ilavesiyle dökülen basamak numunelerinin mikroyapıları gösterilmektedir. Şekil 7-a, ilavesiz A356 alaşımının mikroyapı fotoğrafını gösterir. İlavesiz 5 mm kalınlığındaki basamağın SDAS ve SDAL değerleri sırasıyla $11.54 \mu\text{m}$ ve $47.8 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. 0.03% Nb ilaveli 5 mm kalınlığındaki numunenin SDAS ve SDAL

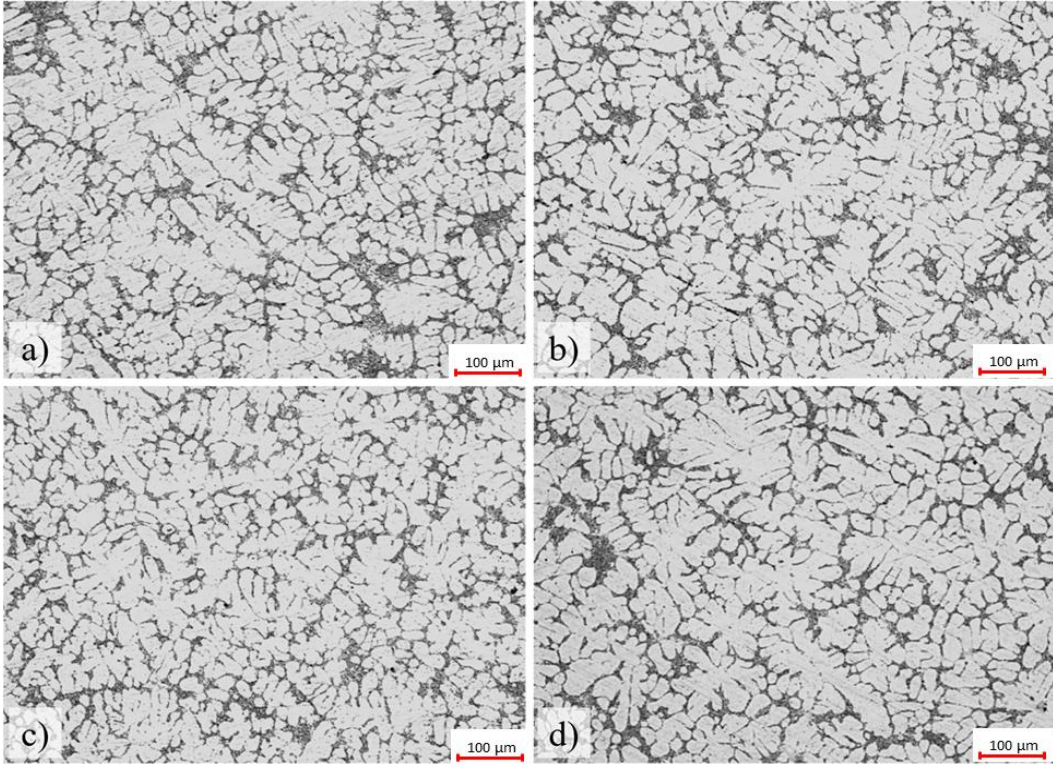
değerleri sırasıyla 13.24 μm ve 47 μm olarak ölçülmüştür. 0.06% Nb katkılı numunenin SDAS ve SDAL değerleri ise sırasıyla 14.5 μm ve 43 μm olarak ölçülmüştür. Nb oranının %0.06' ya kadar artırıldığı numunelerde SDAS değerlerinde artış, SDAL değerlerinde ise azalma gözlemlenmiştir. Diğer taraftan, %0.1 Nb içeren 5 mm kalınlığındaki basamağın SDAS ve SDAL değerleri sırasıyla 12.4 μm ve 53.6 μm olarak ölçülmüştür. Burada yapılan gözlemler, daha önceki çalışmalar ve literatürle uyum içindedir. [Bolzoni vd. \(2015\)](#) çalışmalarında, A380 ve A356 alüminyum alaşımlarına (<45 μm boyutunda) %0.1 ağırlıkça Nb-B tozu ilavesi ile dökümler gerçekleştirmişlerdir. Nb-B ilavesinin etkisi sonucunda, A380 alaşımının tane boyutunda yaklaşık olarak 18 ± 4 'lük bir azalma gözlenmiştir. Ayrıca, bu tane inceltme oranı A356 alaşımı için 48 ± 6 'ya kadar ulaştığını göstermişlerdir. [De Albuquerque Sousa vd. \(2022\)](#), NbB tane inceltme etkisini 6201 alüminyum alaşımı üzerinde incelemişlerdir. 1 K/saniye soğuma hızında, 6201 alaşımının SDAS değeri, NbB tane inceltme etkisi ile 35 μm den 25 μm 'ye kadar düştüğünü göstermişlerdir. Ancak, soğuma hızının artmasıyla birlikte NbB ilavesinin SDAS değerleri üzerindeki etkisi azaldığını göstermişlerdir.

Şekil 8a-d'de verilen fotoğraflarda, 10 mm kalınlığındaki A356 basamağının farklı Nb ilave oranlarına sahip mikroyapıları gösterilmiştir. İlavesiz, %0.03, %0.06 ve %0.1 Nb katkısı olan 10 mm kalınlığındaki basamağın SDAL değerleri sırasıyla 17.51 μm , 18 μm , 17.63 μm ve 15.53 μm olarak ölçülmüştür. Diğer yandan SDAL değerleri ise sırasıyla 58.4 μm , 61.6 μm , 58.6 μm ve 65.8 μm olarak ölçülmüştür. 10 mm kalınlığındaki numunede, en büyük SDAS değeri 18 μm ile 0.03 Nb ilaveli mikroyapıda ölçülmüş olup, SDAL değerleri arasında herhangi bir belirgin trend gözlenmemiştir.



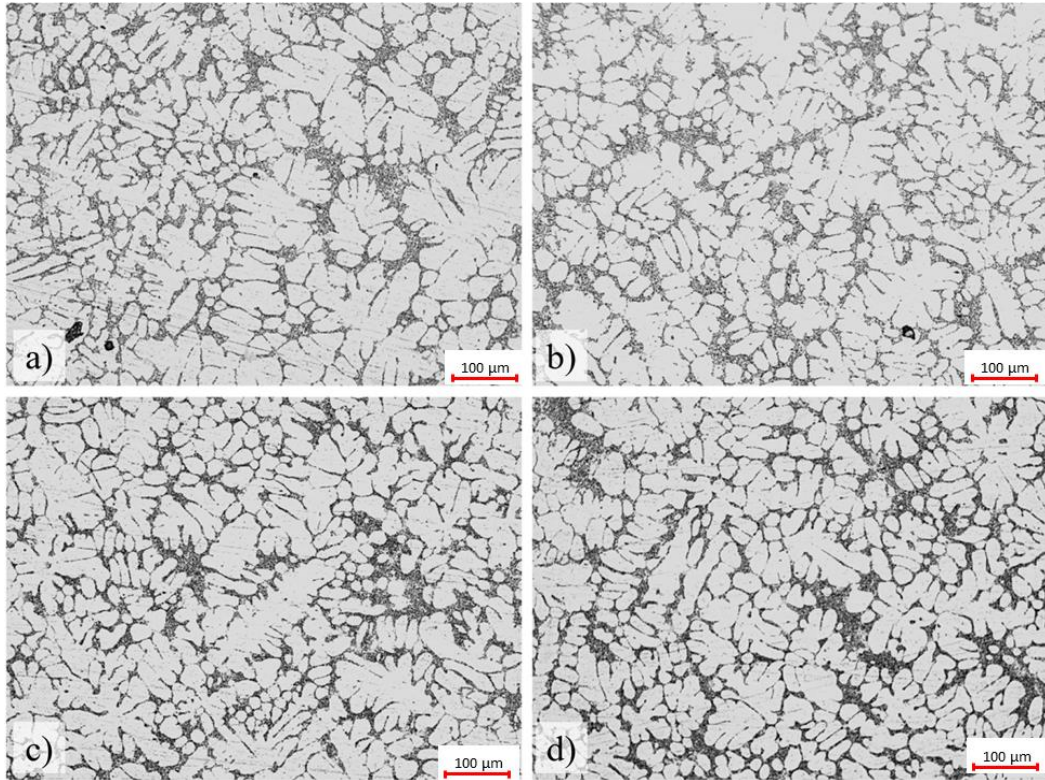
Şekil 7. Basamak kalıplarındaki 5 mm kalınlıktaki basamağa ait mikroyapı görüntüleri: (a) ilavesiz, (b) 0.03 % Nb ilaveli, (c) 0.06 % Nb ilaveli ve (d) 0.1 % Nb ilaveli

Figure 7. Microstructure images of the 5 mm thick step in the step molds: (a) no addition, (b) 0.03 % Nb addition, (c) 0.06 % Nb addition and (d) 0.1 % Nb addition



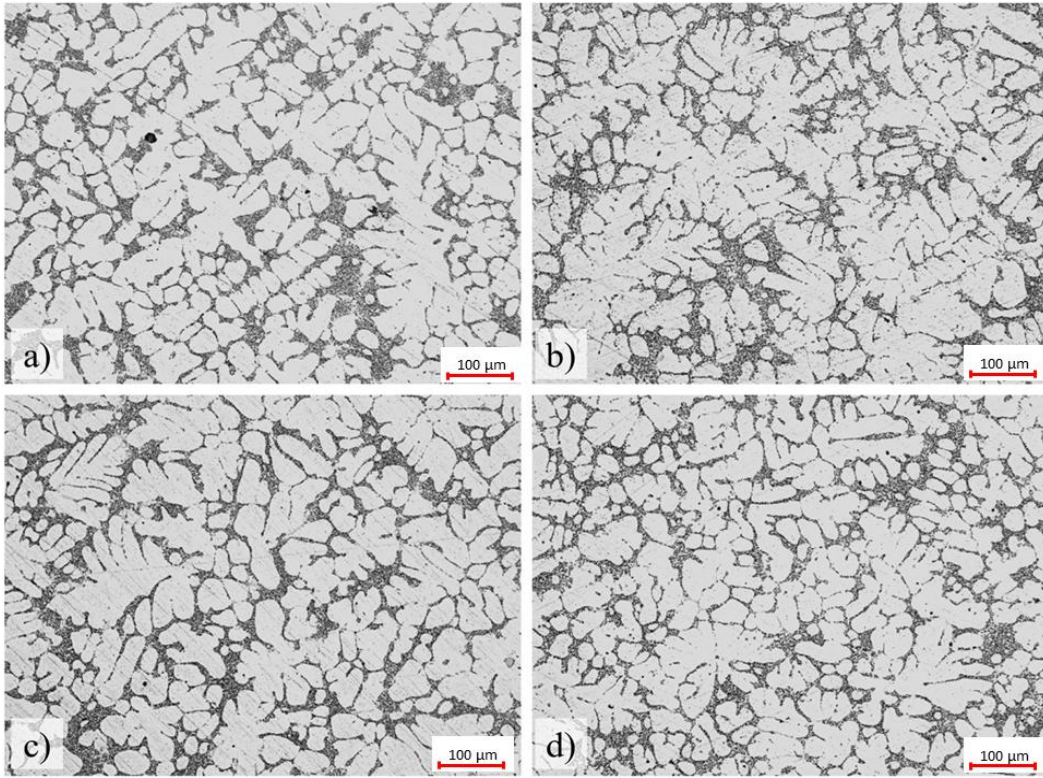
Şekil 8. Basamak kalıplarındaki 10 mm kalınlıktaki basamağa ait mikroyapı görüntüleri: (a) ilavesiz, (b) 0.03 % Nb ilaveli, (c) 0.06 % Nb ilaveli ve (d) 0.1 % Nb ilaveli

Figure 8. Microstructure images of 10 mm thick step in step molds: (a) no addition, (b) 0.03 % Nb addition, (c) 0.06 % Nb addition and (d) 0.1 % Nb addition



Şekil 9. Basamak kalıplarındaki 15 mm kalınlıktaki basamağa ait mikroyapı görüntüleri: (a) ilavesiz, (b) 0.03 % Nb ilaveli, (c) 0.06 % Nb ilaveli ve (d) 0.1 % Nb ilaveli

Figure 9. Microstructure images of 15 mm thick step in the step molds: (a) no addition, (b) 0.03 % Nb addition, (c) 0.06 % Nb addition and (d) 0.1 % Nb addition



Şekil 10. Basamak kalıplarındaki 20 mm kalınlıktaki basamağa ait mikroyapı görüntüleri: (a) ilavesiz, (b) 0.03 % Nb ilaveli, (c) 0.06 % Nb ilaveli ve (d) 0.1 % Nb ilaveli

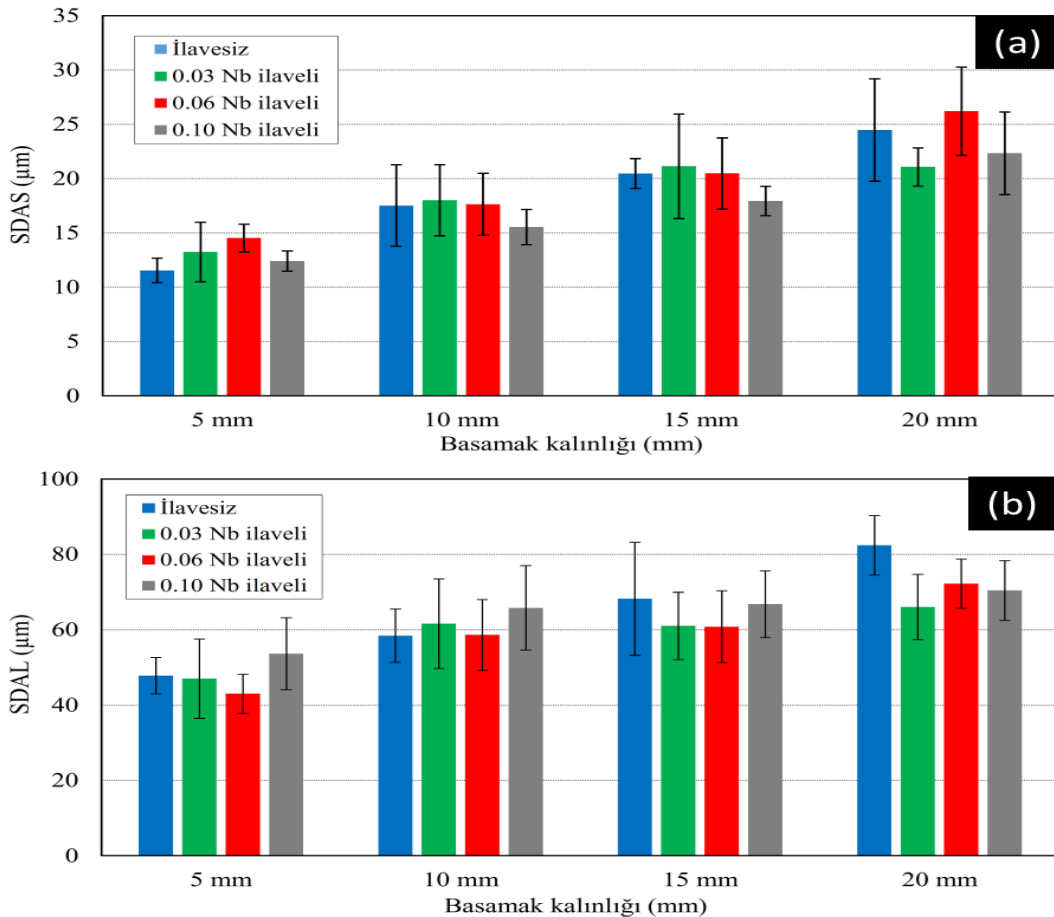
Figure 10. Microstructure images of 20 mm thick step in step molds: (a) no addition, (b) 0.03 % Nb addition, (c) 0.06 % Nb addition and (d) 0.1 % Nb addition

Şekil 9’da, 15 mm kalınlığındaki A356 basamağının Nb ilave oranlarına bağlı olarak mikroyapısındaki (dentrit yapıdaki) değişimler gösterilmiştir. 15 mm kalınlığındaki basamağın ilavesiz, %0.03, %0.06 ve %0.1 Nb katkı oranlarına sahip mikroyapıları için SDAS değerleri sırasıyla 20.46 µm, 21.13 µm, 20.46 µm ve 17.93 µm olarak ölçülmüştür. Bununla birlikte diğer taraftan SDAL değerleri sırasıyla 68 µm, 61 µm, 60.8 µm ve 66.8 µm olarak tespit edilmiştir. Benzer şekilde 10 mm kalınlığındaki numunelere göre, %0.03 Nb ilaveli numune en yüksek SDAS değeri olan 21.13 µm sergilemiştir. Ayrıca, SDAL değerlerinde % Nb oranının artmasıyla azalma gözlenmiştir. Şekil 10’da, 20 mm kalınlığındaki basamak numunelerinin mikroyapısındaki değişimler gösterilmiştir. %0.03, %0.06 ve %0.1 Nb katkı oranlarına sahip mikroyapılar için SDAL değerleri ise sırasıyla 82 µm, 66 µm, 72 µm ve 70 µm olarak belirlenmiştir; bununla birlikte, SDAS değerleri sırasıyla 24.47 µm, 21.06 µm, 26.2 µm ve 22.33 µm olarak ölçülmüştür.

Yukarıda yer verilen bulgular daha önce yapılan A356 ve farklı alüminyum alaşımları kullanılarak yapılan döküm çalışmaları ile uyum içindedir. [Aydoğan vd. \(2022a\)](#) Al11Si alaşımı çeşitli tane incelticileri (MTS 1582, Al5Ti1B ve Al3Nb1B) ilavesi ile çalışmıştır. Nb master alaşımı ilavesi ile tane boyunu 260 µm kadar düşürebilmişlerdir. Katılaşma sırasında oluşan NbB₂ ve Al₃Nb fazlar α-Al heterojen çekirdeklenmesi için en uygun yerleri oluşturur. [Aydoğan vd. \(2022a\)](#) diğer bir çalışmasında ağırlıkça 0.03, 0.06 ve 0.1 Al-3Nb-0.55B master alaşımı ilavesinin mikroyapı ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisini incelemiştir. Mikroyapılarını incelemek için 5 mm den 30 mm kadar değişen kalınlıklarda basamak kalıp kullanmışlardır. Mikroyapı incelemelerinde DAS (Dendrite Arm Spacing) değerleri 95 ile 120 µm arasında değişmektedir. Diğer yandan SDAS değerleri 15 ile 20 µm arasında değişmektedir.

Mikroyapı oluşumunu belirleyen başka bir faktör ise sıvı metalin soğuma (katılaşma) hızıdır, zira katılaşma hızının artması, mikroyapıda bir incelme oluşturması beklenir. Bu çalışmada, soğuma hızının etkisini inceleyebilmek amacıyla, ilavesiz ve farklı oranlarda Nb ilaveli A356 alaşımının dökümleri basamak kalıba gerçekleştirilmiştir. Basamak kalınlıkları 5 mm ile 20 mm arasında değişmektedir. 5 mm kalınlıktaki basamakta soğuma ve katılaşma hızı yüksek, diğer taraftan 20 mm kalınlıkta soğuma hızının daha düşük olması beklenir.

Şekil 11-a'da, basamak kalınlığına bağlı olarak SDAS değerlerinin değişimi gösterilmektedir. İlavesiz A356 alaşımı için basamak kalınlığının 5 mm' den 20 mm' ye çıkmasıyla birlikte SDAS değerleri sırasıyla 11.54 μm , 17.51 μm , 20.45 μm ve 24.45 μm olarak artmıştır. Benzer bir artış trendi, 0.03 Nb, 0.06 Nb ve 0.1 Nb ilaveli numunelerde de gözlemlenmiştir. Basamak kalınlığı 20 mm' den 5 mm' ye düştüğünde, soğuma hızının arttığı bilinmektedir. Şekil 11-b'de, basamak kalınlığına bağlı olarak SDAL değerlerinde bir azalma olduğu gözlemlenmektedir, bu durum soğuma hızının artmasıyla ilişkilendirilebilir. Elde edilen sonuçlar, önceden yapılan soğuma hızının mikroyapı üzerindeki etkisine yönelik çalışmalarla uyumludur. Jeon ve Bae, (2019) 5, 10, 15 ve 20 mm kalınlıklarında döküm yapmak için kum kalıp kullanmışlardır ve böylelikle soğuma hızının mikroyapı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Bu kalınlıklara karşılık gelen soğuma hızları sırasıyla 1.9, 0.8, 0.5 ve 0.3 K/saniye olarak ölçülmüştür. Bu soğuma hızına karşılık gelen SDAS değerleri ise sırasıyla 30, 40, 55 ve 70 μm olarak belirlenmiştir. Sheykh-Jaberi vd. (2019) soğuma hızının A356 mikroyapısı üzerindeki etkisi araştırmıştır. Yaptıkları çalışmada, 1.8, 0.12 ve 0.08 K/saniye soğuma hızına karşılık gelen SDAS değerleri sırasıyla 43, 90 ve 124 μm olarak belirlenmiştir. Khakzadshahandashti vd. (2019) 4 farklı kalınlığa sahip basamak kalıplara A356 dökümü gerçekleştirmişlerdir (basamak kalınlıkları 5,8 mm olarak artmaktadır). Basamak kalınlığının azalmasıyla birlikte SDAS değerleri sırasıyla 75, 55, 45 ve 33 μm olarak azalmıştır. Çolak vd. (2015), A356 alaşımının akışkanlığını ve mikroyapısını incelemişlerdir. Bu çalışmanın dökümlerini, 1 mm'den 8 mm'e kadar değişen kesit kalınlıklarına sahip ahtapot tipi model kullanarak üretilen kum kalıba yapmışlardır. Akışkanlık test çubuğunun kesit kalınlığı arttıkça, SDAS değerleri 11 μm 'den 45 μm 'e kadar artmıştır.



Şekil 11. Ölçülen SDAS ve SDAL değerlerinin basamak kalınlığı ve Nb oranına göre değişimi
Figure 11. Variation of measured SDAS and SDAL values according to step thickness and Nb ratio

Şekil 11'de, basamak kalınlığına bağlı olarak SDAL değerlerindeki değişim gösterilmektedir. İlavesiz A356 alaşımı için 5, 10, 15 ve 20 mm kalınlıktaki basamaklara denk gelen SDAL değerleri sırasıyla 48 μm , 58 μm , 68 μm ve 82 μm olarak ölçülmüştür. Benzer bir artış trendi, 0.03 Nb, 0.06 Nb ve 0.1 Nb ilaveli numunelerde de gözlemlenmiştir. Örneğin 0,1 Nb ilaveli basamak kalıbı dökümü için SDAL değerleri 54, 66, 67 ve 70 μm olarak ölçülmüştür. Soğuma hızının artması (basamak kalınlığının azalması) ile beraber SDAL değerlerinde azalma olmuştur.

4. Genel sonuçlar

4. Conclusion

Bu çalışmada, A356 standart alüminyum döküm alaşımına ilavesiz, %0.03, %0.06 ve %0.1 oranlarında ağırlıkça AlNbB3.5/0.5 master alaşımı eklenerek kokil basamak kalıplara döküm işlemi gerçekleştirilmiştir. Basamak kalınlığının ve Nb ilavesinin numunen mikroyapısı üzerine olan etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar maddeler halinde sıralanabilir:

- Basamak kalınlığının 5 mm den 20 mm ye artması ile beraber soğuma hızı azalmıştır. Soğuma hızının azalmasına bağlı olarak, SDAS ve SDAL boyutlarında sırası ile %110 ve %72 varan oranlarda artış gözlenmiştir.
- %0.03 ve 0.06 oranında Nb ilavesi SDAS boyutlarında artış gözlenmiştir.
- % 0.1 oranında Nb ilavesi ile SDAS boyutları ilavesiz, %0.03 ve 0.06 oranında Nb ilaveli A356 dökümlerine kıyasla incelenmiştir.

Yazar katkısı

Author contribution

Birinci yazar araştırma çalışmasının planlanması, literatür taraması, deneysel çalışmaların yapılması; ikinci yazar deneysel çalışmaların yapılması, sonuçların incelenmesi; üçüncü yazar deneysel çalışmaların yapılması, sonuçların incelenmesi, yazım denetimi ve makalenin kontrolü; dördüncü yazar konusunun seçiminde, deneysel çalışmaların yapılması, sonuçların incelenmesi ve makalenin son yazım aşamalarında katkı sunmuştur.

Etik beyanı

Declaration of ethical code

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

Çıkar çatışması beyanı

Conflicts of interest

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar

References

- Aydoğan, F., Dizdar, K. C., Sahin, H., Mentese, E., & Dispınar, D. (2022a). Mechanical property comparison of Al11Si wheels grain refined by Ti, Nb and MTS. *Archives of Foundry Engineering*, 22.
- Aydoğan, F., Dizdar, K. C., Sahin, H., Mentese, E., & Dispınar, D. (2022b). Weibull analysis evaluation of Ti, B, Nb and MTS grain refined Al11Si alloy. *Materials Chemistry and Physics*, 287, 126264.
- Bırol, Y. (2009). A novel Al-Ti-B alloy for grain refining Al-Si foundry alloys. *Journal of Alloys and Compounds*, 486(1-2), 219-222.
- Bırol, Y. (2013). Impact of grain size on mechanical properties of AlSi7Mg0.3 alloy. *Materials Science and Engineering: A*, 559, 394-400.
- Bolzoni, L., & Babu, N. H. (2015). Refinement of the grain size of the LM25 alloy (A356) by 96Al-2Nb-2B master alloy. *Journal of Materials Processing Technology*, 222, 219-223.
- Bolzoni, L., Nowak, M., & Babu, N. H. (2015). Grain refinement of Al-Si alloys by Nb-B inoculation. Part II: Application to commercial alloys. *Materials & Design* (1980-2015), 66, 376-383.
- Çolak, M., Kayıkci, R., & Dispınar, D. (2015). Influence of different cross sections on fluidity characteristics of A356. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 68, 275-281.

- Çolak, M., & Arslan, İ. (2022). Investigation of the effect of the addition of grain refiner and modifier addition on wear properties in sand and permanent mould casting of A357 and A380 aluminium alloys. *International Journal of Cast Metals Research*, 1-7. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/13640461.2022.2069912>
- Çolak, M., Kayıkci, R., & Dispınar, D. (2016). Melt cleanliness comparison of chlorine fluxing and argon degassing of secondary Al-4Cu. *Metallurgical and Materials Transactions B*, 47(5), 2705-2709.
- Çolak, M., & Kayıkçı, R. (2009). Alüminyum dökümlerinde tane inceltme. *Sakarya University Journal of Science*, 13(1), 11-17.
- De Albuquerque Sousa, S. M., Saldanha, F. E., de Gouveia, G. L., Garcia, A., & Spinelli, J. E. (2022). NbB refining capability: Effects of slow and rapid solidification on dendritic spacings and grain sizes of a 6201 alloy. *Materials Letters*, 315, 131960.
- Ernam, O., Sekban, T., Tugan, O., Dizdar, K., Sahin, H., & Dispınar, D. (2022). Effect of heat treatment on mechanical properties of Er-, Dy-, and Eu-modified A356 alloy. In *Light Metals 2022* (pp. 785-789). Springer.
- Erzi, E., Gürsoy, Ö., Yüksel, Ç., Colak, M., & Dispınar, D. (2019). Determination of acceptable quality limit for casting of A356 aluminium alloy: supplier's quality index (SQI). *Metals*, 9(9), 957.
- Guan, R.-G., & Tie, D. (2017). A review on grain refinement of aluminum alloys: progresses, challenges and prospects. *Acta Metallurgica Sinica (English Letters)*, 30, 409-432.
- Jeon, J., & Bae, D. (2019). Effect of cooling rate on the thermal and electrical conductivities of an A356 sand cast alloy. *Journal of Alloys and Compounds*, 808, 151756.
- Jeong, G., Park, J., Nam, S., Shin, S.-E., Shin, J., Bae, D., & Choi, H. (2015). The effect of grain size on the mechanical properties of aluminum. *Archives of Metallurgy and Materials*, 60.
- Khakzadshahandashti, A., Varahram, N., Davami, P., & Pirmohammadi, M. (2019). Evaluation of simultaneous effect of melt filtration and cooling rate on tensile properties of A356 cast alloy. *Iranian Journal of Materials Science & Engineering*, 16(3).
- Narducci Jr, C., Brollo, G. L., de Siqueira, R. H. M., Antunes, A. S., & Abdalla, A. J. (2021). Effect of Nb addition on the size and morphology of the β -Fe precipitates in recycled Al-Si alloys. *Scientific reports*, 11(1), 1-14.
- Pulivarti, S. R., & Birru, A. K. (2018). Effect of mould coatings and pouring temperature on the fluidity of different thin cross-sections of A206 alloy by sand casting. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 71(7), 1735-1745.
- Quested, T. (2004). Understanding mechanisms of grain refinement of aluminium alloys by inoculation. *Materials Science and Technology*, 20(11), 1357-1369.
- Ridvan, G., Serhat, A., Kisasoz, A., GULER, K. A., & Karaaslan, A. (2018). Influence of T6 heat treatment on A356 and A380 aluminium alloys manufactured by thixoforging combined with low superheat casting. *Transactions of nonferrous metals society of China*, 28(3), 385-392. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(18\)64672-2](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1003-6326(18)64672-2)
- Sahin, H., & Dispınar, D. (2023). Effect of rare earth elements erbium and europium addition on microstructure and mechanical properties of A356 (Al-7Si-0.3 Mg) alloy. *International Journal of Metalcasting*, 1-10.
- Seydisehiraluminyum. (t.y.). Alüminyum külçe kimyasal bileşim. <https://seydisehiraluminyum.com.tr/aluminyum-kulce>
- Shabani, M., Mazahery, A., Bahmani, A., Davami, P., & Varahram, N. (2011). Solidification of A356 Al alloy: experimental study and modeling. *Kovove Material*, 49, 253-258.
- Sheykh-Jaberi, F., Cockcroft, S., Maijer, D., & Phillion, A. (2019). Comparison of the semi-solid constitutive behaviour of A356 and B206 aluminum foundry alloys. *Journal of Materials Processing Technology*, 266, 37-45.
- Tamuly, R., Behl, A., & Borkar, H. (2022). Effect of addition of grain refiner and modifier on microstructural and mechanical properties of squeeze cast A356 alloy. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 75(9), 2395-2408.

- Tan, E., Tarakçılar, A., Dispınar, D., Colak, M., & Kayıkci, R. (2011). Reproducibility of reduced pressure test results in testing of liquid aluminum gas levels. *16*, 18.
- Tang, H.-P., Wang, Q.-D., Lei, C., Ye, B., Wang, K., Jiang, H.-Y., . . . Zhang, J.-B. (2019). Effect of cooling rate on microstructure and mechanical properties of an Al-5.0 Mg-3.0 Zn-1.0 Cu cast alloy. *Journal of Alloys and Compounds*, *801*, 596-608.
- Tigli, A., Tokatlı, M., Uslu, E., Colak, M., & Dispınar, D. (2023). Correlation between k-value, density index and bifilm index in determination of liquid al cleanliness. *Archives of Foundry Engineering*.
- Tokatlı, M., Saydam, F., Murat, H., Koşatepe, A., Çolak, M., & Yüksel, Ç. (2022). Alüminyum alaşımlarının dökümünde yaygınca kullanılan sıvı metal temizleme yöntemlerinin incelenmesi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, *12*(1), 423-434.
- Uslu, E., Tigli, A., & Çolak, M. (2023). The effect of cooling plate, mechanical vibration, and grain refinement on the microstructure and hardness of A380 produced by sand mold. *International Journal of Cast Metals Research*, 1-9.
- Uslu, E., & Yetgin, S. H. (2021). A360 Alüminyum döküm alaşımının kum kalına dökümünde mekanik titreşim, eğimli, soğutma plakası ve tane incelticinin etkisinin incelenmesi. *TURAN: Stratejik Arastirmalar Merkezi*, *13*(52), 228-234.
- Xu, Z., Wang, S., Wang, H., Song, H., Li, S., & Chen, X. (2020). Effect of cooling rate on Microstructure and properties of twin-roll casting 6061 aluminum alloy sheet. *Metals*, *10*(9), 1168.
- Yajjala, R. K., Inampudi, N. M., & Jinugu, B. R. (2020). Correlation between SDAS and mechanical properties of Al-Si alloy made in Sand and Slag moulds. *Journal of Materials Research and Technology*, *9*(3), 6257-6267.
- Zhang, L., Jiang, Y., Ma, Z., Shan, S., Jia, Y., Fan, C., & Wang, W. (2008). Effect of cooling rate on solidified microstructure and mechanical properties of aluminium-A356 alloy. *Journal of Materials Processing Technology*, *207*(1-3), 107-111.

Farklı yüksekliğe sahip betonarme binalarda perde duvar yerleşiminin bina davranışına etkisinin doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlerle incelenmesi

Investigation of the effect of shear wall placement on building behavior in reinforced concrete buildings with different heights using linear and non-linear methods

İsmail TOZLU¹ , Şenol GÜRİSOY*¹ 

¹Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 78050, Karabük

• Geliş tarihi / Received: 18.09.2023

• Kabul tarihi / Accepted: 07.02.2024

Öz

Depreme dayanıklı bina tasarımında betonarme perde duvarların kullanımı kaçınılmaz olmaktadır. Bu nedenle deprem bölgelerinde tasarlanan binalarda kullanılan perde duvarların yapısal davranışa etkisinin anlaşılması önem arz etmektedir. Ayrıca perde duvarlı binalarda doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri için yapısal davranışların ortaya konulmasını gerekmektedir. Bu makalede planda 4 farklı şekilde yerleştirilmiş perde duvarlı çerçeve taşıyıcı sisteme sahip az, orta ve yüksek (6, 9 ve 12) katlı 12 adet bina modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan bina modellerinin doğrusal ve doğrusal olmayan (itme ve zaman tanım alanında (ZTA) hesap yöntemleri kullanılarak) analizleri Sta4-Cad programıyla gerçekleştirilmiş ve yapısal davranışlar karşılaştırılmıştır. Doğrusal yapısal çözümlerden elde edilen sonuçların, perde duvarların en dış akslara yerleştirilmesi durumunda bina yüksekliği arttıkça daha elverişsiz olabileceğini ortaya koymaktadır. İtme ve ZTA doğrusal olmayan çözümlerden elde edilen sonuçlar ise perde duvarların yerleşiminin merkeze yaklaşması durumunda bina yüksekliği arttıkça kirişlerdeki hasar seviyesini arttığını buna karşın düşey taşıyıcı elemanlardaki hasar seviyesinin azaldığını göstermektedir. Ayrıca performans düzeylerinde, itme analizinde kiriş hasarlarının etkisi fazla iken ZTA hesapta düşey taşıyıcı elemanlardaki hasarların etkisinin fazla olduğu görülmektedir.

Anahtar kelimeler: Betonarme perde duvarlar, Doğrusal olmayan analiz, Yapısal performans

Abstract

The use of reinforced concrete shear walls is inevitable in earthquake-resistant building design. For this reason, it is important to understand the effect of shear walls used in buildings designed in earthquake zones on structural behaviour. In addition, it is necessary to reveal the behaviours for linear and non-linear calculation methods in buildings with shear walls. In this article, 12 building models were created in 4 different floor plans with 6, 9 and 12 storeys, having frame structural systems with shear walls, respectively, to represent low, medium and high-rise buildings. Linear and nonlinear (pushover and non-linear time history (NTH)) analyses of the created building models were carried out with the Sta4-Cad program and their linear and nonlinear behaviours were compared. The results obtained from linear structural analyses reveal that if shear walls are placed on the outermost axes, they will become more unfavourable as the building height increases. The results obtained from pushover and NTH analyses show that if the placement of the shear walls approaches the centre, the damage level in the beams increases as the building height increases, in contrast with the damage level in the vertical structural elements decreases. In addition, while the effect of beam damage is greater in the pushover analysis at performance levels, it is seen that the damage effect on vertical structural elements is greater in the NTH analysis.

Keywords: Reinforced concrete shear walls, Nonlinear analysis, Structural performance

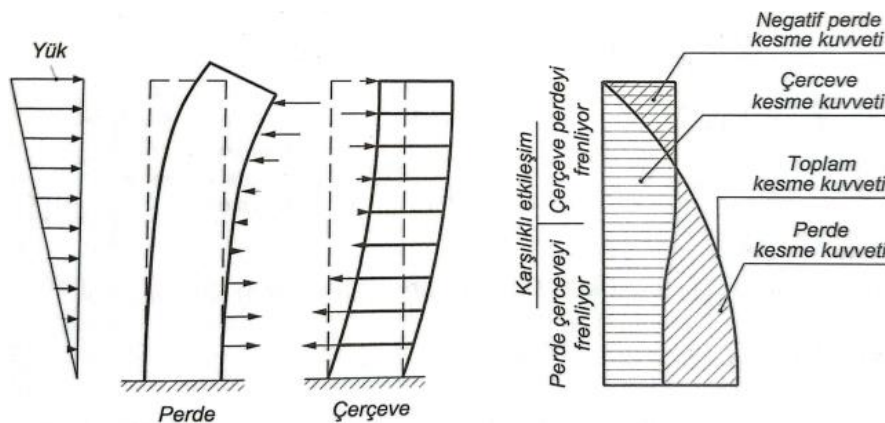
*Şenol GÜRİSOY; sgursoy@karabuk.edu.tr

1. Giriş

1. Introduction

Depreme dayanıklı yapı tasarımında deprem etkilerinin tamamının malzeme dayanımı ile karşılanmaya çalışılması, taşıyıcı sistem elemanlarının enkesit boyutlarını büyüteceğinden ekonomiklik ve kullanılabilirlik açısından elverişsiz tasarımlar ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle söz konusu malzemenin elastik ötesi davranışının hesaplara katılarak deprem etkilerinin dayanımla birlikte plastik şekildeğiştirmelerle karşılandığı taşıyıcı sistemler kullanılmaktadır. Bu husus da süneklik kavramının açıklanması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Çeşitli yüklere maruz malzeme, yapısal eleman ya da yapının göçmeden önce yapabileceği plastik şekildeğiştirme mertebesi hakkında bilgi veren sünekliğin artmasıyla şekildeğiştirme mertebesi de artmaktadır. Bu durum da yapıların tasarımında bir diğer önemli kavram olan yapı rijitliği gerekliliğini ortaya koymaktadır. Özetle depreme dayanıklı yapı tasarımında yeterli dayanım, yeterli süneklik ve yeterli rijitliğin birlikte sağlanması gerekmektedir (Karadoğan vd., 2011; Gürsoy, 2013).

Süneklik düzeyi yüksek olan çerçeve sistemlerde bina yüksekliği arttıkça yatay yerdeğiştirmelerin sınırlandırılması yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle bu sistemlerin tasarımda belirli bir yükseklikten sonra perde duvarların kullanımı zorunlu olmaktadır. Diğer taraftan söz konusu binadaki perde duvar oranının artması bina rijitliğini arttırmaktadır. Ancak bina rijitliğinin gereğinden fazla olması söz konusu binaya etkileyen deprem yüklerinin artmasına neden olmaktadır. Bu durumda çerçeve + perde duvarlar birlikte kullanılarak yeterli süneklik ve rijitliğin birlikte sağlanması hedeflenmektedir (bkz. Şekil 1). Diğer taraftan düşey taşıyıcı yapısal elemanların plandaki yerleşimlerinde en temel ilke kat kütle merkezi ile rijitlik merkezlerinin çakıştırılarak burulma etkisinin getireceği ekstra zorlanmalardan kaçınmaktır. Bu husus kat rijitlik merkezini kolonlara göre daha çok etkileyen perde duvarlarda daha da önemli olmaktadır. Bu amaçla perde duvarlar planda her iki yönde yeterli rijitliği sağlayacak şekilde simetrik yerleştirilmektedir. Ayrıca moment eğrilik ilişkisinde aksel basınç yükünün olumlu katkısından faydalanabilmek için perde duvarların mümkün olduğunca planda homojen dağıtılması gerekmektedir. Bu durumda perde duvarlarda eğilme momenti azalacağından donatı miktarı da azalmaktadır. Perde duvarların plandaki yerleşiminin söz konusu yapı davranışına etkisini incelemek, farklı zemin sınıfları için yapısal elemanlarda oluşan hasarların değerlendirilmesi, farklı perde duvar oranlarının doğrusal olmayan hesap yöntemiyle performans seviyelerine etkisinin araştırılması, perde duvarların doğrusal olmayan davranış üzerine etkisini araştırmak, perde duvar geometrisinin yapısal davranışa etkisini, çerçeve+perde betonarme binaların periyot hesaplarının TBDY'ne göre değerlendirilmesi, perde duvar-çerçeve betonarme binalarda deprem tasarım sınıflarının bina maliyetine etkisini ve yüksek yapılarda perde duvarların davranışını incelemek amacıyla birçok çalışma yapılmıştır (Uçar & Merter, 2009; Aktan & Kıraç, 2010; Sayın vd., 2010; Sakcalı vd., 2017; Aksoylu & Arslan, 2019; Yaman vd., 2019; Kaya & Özsoy Özbay, 2019; Onat & Usta, 2021; Değer & Başdoğan, 2021; Foroughi & Yüksel, 2021; Dogan vd., 2022; Garip & Eren, 2022; Boru, 2022).

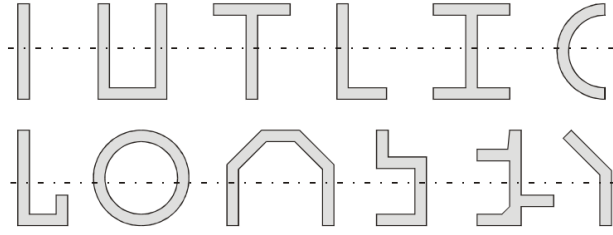


Şekil 1. Perde duvarlı çerçeve davranışı (Celep, 2019)

Figure 1. Frame behaviour with shear wall (Celep, 2019)

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine (TBDY) göre planda uzun kenarın kısa kenara oranının en az 6 olduğu düşey taşıyıcı elemanlar perde duvar olarak nitelendirilmektedir (TBDY, 2019). Perde duvarlar genellikle I, T, L, H, C, U, O, Y vb. şekillerde tasarlanabilmektedirler (bkz. Şekil 2). Düşey yük taşıma kapasitesi oldukça büyük olan perde duvarlar, özellikle uzun kenarları doğrultusunda oldukça rijit olduğundan yatay yük taşımada ve yerdeğiştirmeleri sınırlandırmada oldukça etkili olmaktadır. Diğer bir ifadeyle perde duvarlar görelî kat

yerdeğiştirmelerini ve ikinci merteye etkilerini sınırlandırmaktadırlar. Ayrıca perde duvarlar rijitlikleri nedeniyle depremler sırasında oluşan yatay yüklerin önemli bir kısmını karşılamakta dolayısıyla diğeri taşıyıcı elemanların hasar görmesini önlemektedirler.



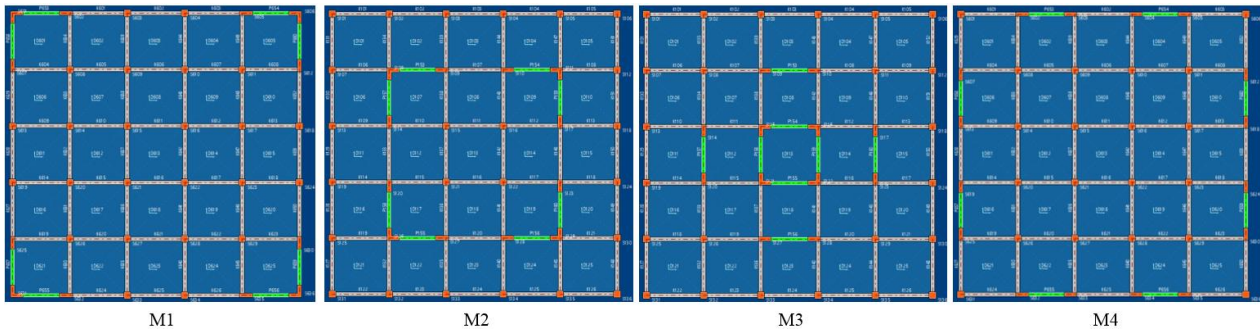
Şekil 2. Uygulamalarda kullanılan çeşitli perde duvar kesitleri (Tuna, 2000)
Figure 2. Various shear wall sections used in applications (Tuna, 2000)

Bu makalede planda perde duvar yerleşiminin doğrusal ve doğrusal olmayan yapısal davranışa etkisi karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir. Bu amaçla planda dış akslardan bina merkezine doğru ve her iki yönde kesme alanları eşit olacak şekilde 4 farklı perde duvar yerleşiminde 6, 9, 12 katlı toplam 12 adet model oluşturulmuştur. Oluşturulan bina modellerinin Sta4-Cad programıyla doğrusal ve tek modlu itme ile zaman tanım alanında analiz yöntemleri kullanılarak doğrusal olmayan yapısal çözümlenmeleri gerçekleştirilmiştir (Sta4-Cad, 2021). Gerçekleştirilen doğrusal yapısal çözümlenmeler sonucunda doğal periyot değerleri, mod şekilleri, görece kat ötelenmeleri, yapısal burulma katsayıları ve donatı metrajları, doğrusal olmayan yapısal çözümlenmeler sonucunda ise yapısal elemanların hasar seviyeleri ve söz konusu binadaki dağılımları karşılaştırılmıştır. Böylelikle perde duvar yerleşiminin doğrusal ve doğrusal olmayan yapısal davranışa etkisi değerlendirilerek bina yüksekliğine bağlı olarak uygun perde duvar yerleşimine ilişkin bazı sonuçlar ve öneriler sunulmuştur.

2. Bina modellerinin oluşturulması ve yapısal çözümlenmeler

2. Creation of building models and structural analyses

Bu makalede, perde duvarların plandaki yerleşimin söz konusu binanın davranışına etkisini incelemek amacıyla teknik literatürde verilen 4 farklı kat planı (bkz. Şekil 3) dikkate alınmıştır (Gürsoy, 2017). Ayrıca düşey taşıyıcı elemanların yerleşimi ile birlikte bina yüksekliğinin değişiminin de söz konusu binanın davranışa etkisi incelenmiştir. Bu amaçla önce her bir kat planı için az, orta ve yüksek (6, 9 ve 12) katlı 12 adet bina modeli oluşturulmuş, daha sonra söz konusu bina modellerinin Sta4-Cad programıyla doğrusal ve doğrusal olmayan yapısal analizleri gerçekleştirilmiştir.



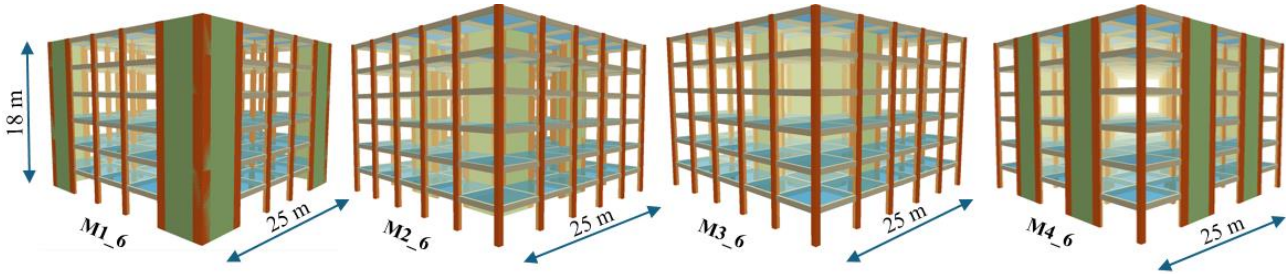
Şekil 3. Bina modellerinin kat planlarında perde duvarların yerleşimleri
Figure 3. Locations of shear walls in the storey plan of building models

Bina modellerinin, Karabük ilinin Safranbolu ilçesinde inşa edileceği, kat yüksekliklerinin 3 m dolayısıyla 6, 9 ve 12 katlı bina modellerinin toplam yüksekliğinin sırasıyla 18, 27 ve 36 m olduğu, her iki doğrultuda 5'er metreden 5'lik açıklıklı dolayısıyla plan boyutlarının her iki doğrultuda 25 m olduğu ve taşıyıcı sisteminin süneklik düzeyi yüksek perde duvar + çerçeve sisteminden oluştuğu kabul edilmiştir. Bina modelleri oluşturulurken TBDY'de verilen etkin kesit rijitlikleri dikkate alınmış, döşemeler için rijit diyafram kabulü yapılmış, kolon-kiriş birleşimi yarı rijit ve düşey taşıyıcı elemanların temele tam ankastre olarak mesnetlendiği kabul edilmiştir. Diğer taraftan modellerin kat planlarında perde duvarların kesme alanları her iki doğrultuda eşit olacak şekilde yerleştirilmiş ve kat kütle merkezi ile rijitlik merkezi çakıştırılmıştır. Yapısal çözümlenmelere ilişkin diğeri tasarım parametreleri Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. Yapısal çözümlerinde kullanılan tasarım parametreleri
Table 1. Design parameters used in structural analyses

Bina önem katsayısı (I)		1
Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R)		5,6
Dayanım fazlalığı katsayısı (D)		2,5
Hareketli yük katılım katsayısı (n)		0,3
Kolon enkesit boyutları (mm)		500 x 500
Kiriş enkesit boyutları (mm)		250 x 500
Perde duvarların kalınlığı (mm)		300
Döşemelerin kalınlığı (mm)		150
Deprem düzeyi		DD2
Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı (S_s)		0,678
1s'lik periyot için harita spektral ivme katsayısı (S_1)		0,233
Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (S_{ds})		0,833
1s'lik periyot için tasarım spektral ivme katsayısı (S_{d1})		0,335
Eksantrisite		% 5
Sönüm oranı		% 5
Zemin sınıfı		ZC
Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu	T_a (s)	0,08
	T_b (s)	0,402
Malzeme sınıfları	Beton	C30
	Donatı	B420C
Elastisite modülü (MPa)	Beton	31800
	Donatı	200000
Tüm döşemeler için kaplama yükü	G (kN/m ²)	2,12
	Q (kN/m ²)	2
Tuğla duvar	Kalınlığı (mm)	130
	Yükü (kN/m)	6,25
Betonarme birim hacim ağırlığı (kN/m ³)		25

Burada duvar boşluklarının ihmal edildiğini, bina modellerinin isimlendirilmesinde ilk sayı plan şeklini, ikinci sayı ise toplam kat sayısını ifade ettiğini belirtmek yararlı olacaktır. Örneğin M1_6, 1. kat planına sahip 6 katlı bina modelini temsil etmektedir. 6 katlı bina modellerinin 3 boyutlu görünüşleri Şekil 4'te verilmektedir.



Şekil 4. 6 katlı modellerin 3 boyutlu görünüşleri (18x25x25 m)
Figure 4. 3D views of 6-storey models (18x25x25 m)

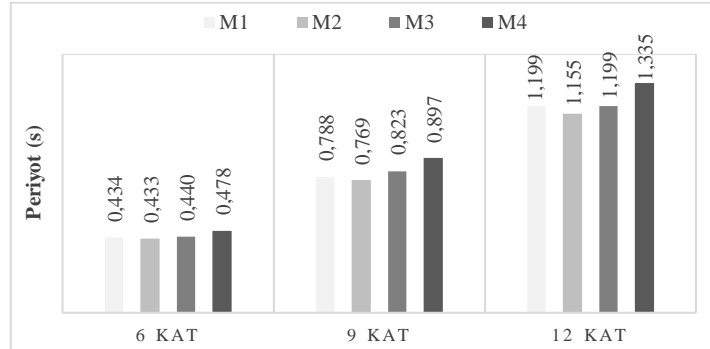
2.1. Doğrusal yapısal çözümler

2.1. Linear analysis

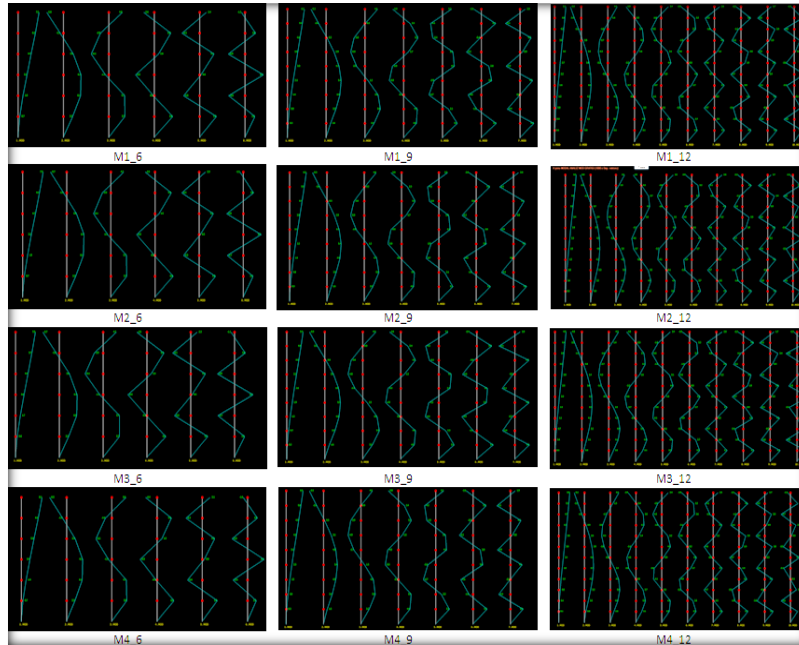
Bina modellerinin modal analiz sonucu elde edilen yapı hâkim periyot değerleri Şekil 5'te verilmektedir. Bu şekilde dikkate alınan kat planlarından en küçük periyot değerinin M2 bina modellerinden elde edildiği, en büyük periyot değerlerinin ise M4 modelleri için elde edildiği ve bina yüksekliğine bağlı olarak elde edilen periyot değerlerinin sıralamasının değişmediği görülmektedir. Diğer taraftan yapısal çözümlerden bina yüksekliği arttıkça burulma modunun davranışa katkısının arttığı görülmüştür. Ayrıca elde edilen mod şekillerinden bina yüksekliğin artmasıyla genlikler değişse de bina mod şekillerinin benzerlik gösterdiği görülmüştür (bkz. Şekil 6).

Perde duvarlar yüksek rijitliklerinden dolayı kat planındaki yerleşimleri burulma etkisine neden olabilmektedir. Uygulamada yönetmelik koşullarının sağlanması amacıyla genellikle bina merkezinde perde duvarlar yerleştirilmekte ve dış akslarda çerçeve sistemler kullanılmaktadır. Bu durum özellikle kat planı boyutları arttıkça dış akslardaki yapısal elemanlar bina merkezindekilere göre sünek davranmakta dolayısıyla söz konusu binada burulma etkileri ortaya çıkabilmektedir. Bu durumun kontrolü için dikkate alınan bina

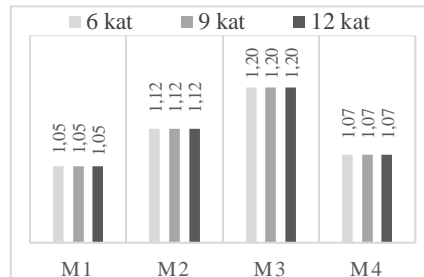
modellerinin yüksekliğe bağlı olarak eşdeğer deprem yükü yönteminden elde edilen burulma katsayıları verilmiştir (bkz. Şekil 7). Bu şekilden perde duvarların yerleşimi söz konusu binanın merkezine yaklaştıkça elde edilen burulma katsayılarının arttığı, ancak bina yüksekliğinin artmasıyla burulma katsayılarının değişmediği anlaşılmaktadır. Bu husus bina modellerinin 1. mod şekillerinin ve görel kat ötelenmelerinin benzerlik göstermesiyle açıklanabilmektedir (bkz. Şekil 8).



Şekil 5. Bina modellerinin doğrusal yapısal çözümlerden elde edilen hâkim periyot değerleri
Figure 5. Dominant period values obtained from linear structural analysis of building models

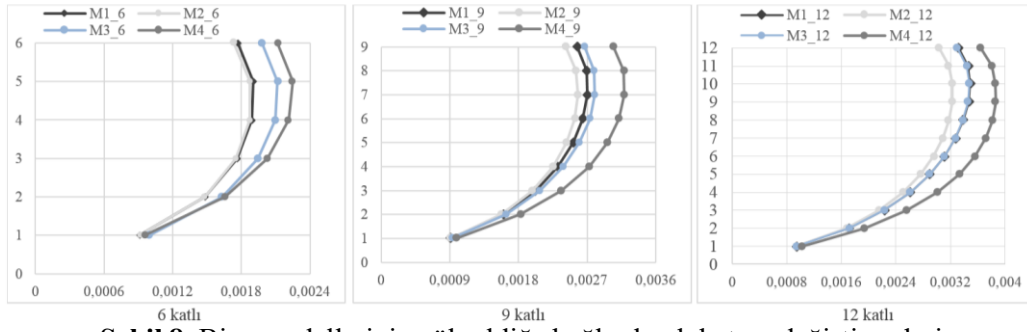


Şekil 6. Bina modellerinin doğrusal yapısal çözümlerden elde edilen mod şekilleri
Figure 6. Mode shapes obtained from linear structural analysis of building models



Şekil 7. Bina modellerinin eşdeğer deprem yükü yönteminden yüksekliğe bağlı olarak elde edilen burulma katsayıları

Figure 7. Torsional coefficients obtained from the equivalent earthquake load method of building models depending on height



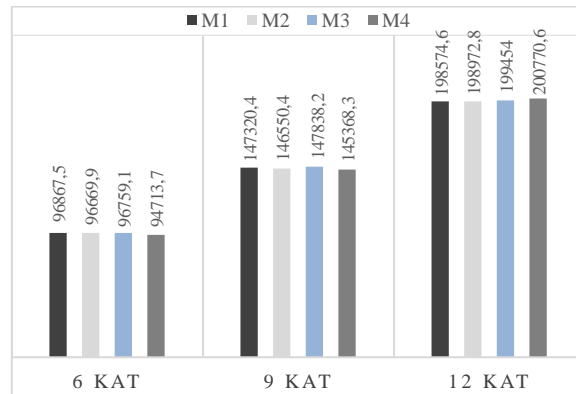
Şekil 8. Bina modellerinin yüksekliğe bağlı olarak kat yerdeğiştirmeleri
Figure 8. Storey displacement of building models depending on height

Eşdeğer deprem yükü (EDY) ve mod birleştirme (MB) yöntemleriyle gerçekleştirilen yapısal analizler sonucu elde edilen taban kesme kuvvetleri ve maksimum çatı yerdeğiştirmesi değerleri Tablo 2’de verilmiştir. Bu tablodan bina yüksekliği arttıkça periyot değerlerinin artmasına bağlı olarak spektral ivme değerlerinin azalması nedeniyle taban kesme kuvvetlerinin azaldığı görülmektedir. Ayrıca az ve orta katlı binalar için MB yönteminden elde edilen taban kesme kuvveti değerleri EDY yönteminden elde edilenden daha büyük olmasına karşın, yüksek binalar için tam tersi bir durum olduğu görülmektedir. Bu durum yüksek modların katkısını ortaya koymaktadır. Bu hususta EDY yönteminde bina yüksekliğine bağlı kısıtlama getirilmesi nedenini doğrulamaktadır.

Bina modellerinin doğrusal yapısal çözümleme sonucu elde edilen toplam donatı metrajları Şekil 9’da verilmiştir. Bina modelleri için TBDY’ne göre R katsayısı 7 olarak seçilse de M1 ve M4 modellerinde kenar aks perde duvarları için M_{dev}/M_o oranı $1/6$ ’dan ve M3 modeli perde duvarlarında M_{dev}/M_o oranı $1/3$ ’ten büyük olduğundan R katsayısı %20 azaltılarak 5.6 alınmıştır. Bu nedenle karşılaştırma yapılabilmesi amacıyla tüm bina modellerinde $R=5.6$ olarak dikkate alınmıştır. Ancak bu durumda M2 için tasarımda kullanılacak deprem yükü değeri olması gerekenden daha fazla alınmıştır. Buna göre az ve orta katlı binalar için en az donatı miktarı M4 modelinde yüksek binalarda ise M1 modelinde elde edilmiştir.

Tablo 2. Bina modellerinin deprem yükleri (kN)
Table 2. Earthquake loads of building models (kN)

Bina modelleri	Kat sayısı	EDY yöntemi	MB yöntemi	Maksimum çatı yerdeğiştirmesi (mm)
M1	6	4986.3	6081.93	9.7258
	9	4592.7	5046.75	19.9906
	12	4507.2	4417.95	33.9069
M2	6	5038.18	6144.47	9.6317
	9	4656.08	5181.34	19.2622
	12	4563.42	4591.87	31.9224
M3	6	4968.4	6047.47	10.7741
	9	4632.03	5044.24	20.6173
	12	4506.15	4425.61	33.9363
M4	6	4409.35	5315.99	11.227
	9	4151.68	4409.67	23.3991
	12	4085.93	3947.73	38.1154



Şekil 9. Bina modellerinin doğrusal çözümleme sonucu hesaplanan toplam donatı metrajları (kg)
Figure 9. Total reinforcement quantities calculated as a result of linear analysis of building models (kg)

2.2. Doğrusal olmayan yapısal çözümler

2.2. Nonlinear structural analysis

Doğrusal olmayan hesaplamalarda TBDY koşulları dikkate alınmıştır. Analiz modellerinde kolon ve kirişler çubuk eleman, perde duvarlar ise kabuk eleman olarak modellenmiştir. Tüm kolonlar için boyuna donatı 20Ø14 ve sargı donatısı Ø8/15/8, kiriş alt donatısı 5Ø14, üst donatısı 2Ø14+3Ø12, etriyesi Ø8/9 olarak ve perde duvarlar için donatılar düşeyde her iki tarafta simetrik 16Ø12 ve yatayda Ø8/10 olarak alınmıştır. Doğrusal olmayan hesap yöntemleri olarak tek modlu itme analizi ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi tercih edilmiştir. TBDY'ne göre tek modlu itme yöntemi kullanılabilirlik durumu değerlendirildiğinde modellerin kütle katılım oranları ve burulma katsayılarının uygun olduğu görülmüştür (bkz. Şekil 7). Bu makalede, pratikliği nedeniyle sıkça tercih edilen tek modlu itme yönteminin yapı davranışını yansıtmakta yetersiz kaldığı ortaya koymak için, doğrusal olmayan davranışı en yakın şekilde temsil eden ZTA doğrusal olmayan analiz sonuçları ile tek modlu itme analizi sonuçları karşılaştırılmıştır. Ayrıca Bina Yükseklik Sınıfı (BYS) açısından kullanılan 6 ve 9 katlı binalar (BYS=5) TBDY'ne göre tek modlu itme analizi sınır değerlerini sağlamaktadır. Buna karşın 12 katlı bina modellerinde tek modlu itme analizinin kullanılabilirliği için TBDY koşullarının sağlamamasına rağmen karşılaştırma için tercih edilmiştir. Böylelikle yönetmelikteki sınır durumun aşılmasının sonuçları ne kadar değiştirdiği ortaya konmak hedeflenmiştir. ZTA analiz için teknik literatürde birçok çalışmada sıklıkla tercih edilen Newmark metodu tercih edilmiştir (Çavdar & Bayraktar, 2016; Çavdar, 2022). Ayrıca doğrusal olmayan çözümlerde taşıyıcı sistem elemanlarında yayılı plastik mafsalsal davranış modeli dikkate alınmıştır.

2.2.1. Tek modlu itme analizi

2.2.1. Single-mode pushover analysis

Doğrusal olmayan yapısal çözümlerde beton ve çelik malzemeleri için kullanılan malzeme modelleri Şekil 10'da verilmektedir. Bina modellerinin bu malzeme modelleri kullanılarak gerçekleştirilen itme analizleri sonucu elde edilen yerdeğiştirmeleri Şekil 11'de verilmiştir. Bu şekilden bina modelleri yerdeğiştirmeleri sıralamasının bina yüksekliğiyle değişmediği ve söz konusu binanın periyot sıralamasıyla uyumlu olduğu görülmektedir. Ayrıca yerdeğiştirme talebi, periyot değeri yüksek olan M4 modellerinde en büyük iken periyot değerleri az olan M2 modellerinde en küçük çıkmıştır.

Bina modellerinin yapısal elemanlardaki birim şekil değiştirmeler TBDY'ne göre değerlendirilmiş ve yapısal elemanlardaki hasar seviyeleri belirlenmiştir (bkz. Şekil 12). ϵ_c beton birim kısalmasını, ω_{we} etkin sargı donatısının mekanik donatı oranını, α_{se} sargı donatısı etkinlik katsayısını, $\rho_{sh,min}$ iki yatay doğrultuda hacimsel enine donatı oranının küçük olanını, f_{ywe} sargı donatısının beklenen akma dayanımını, f_{ce} betonun beklenen basınç dayanımını, ρ_{sh} hacimsel etriye oranını, A_{sh} sargı donatısı alanını, s etriye aralığını, a_i yatayda bir etriye kolu veya çiroz tarafından mesnetlenen boyuna donatıların eksenleri arasındaki uzaklığı, b_o ve h_o göbek betonunu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan kesit boyutunu göstermek üzere beton ve çelik sınır değerleri Göçmenin Önlenmesi (GÖ) performans düzeyi için sırasıyla (1), (2), (3) ve (4) bağıntılarıyla belirlenmiştir. Kontrollü Hasar (KH) performans düzeyi için sınır değerler GÖ değerlerinin %75'i, Sınırlı Hasar (SH) performans düzeyi için ise sınır değerler beton ezilmesi için 0.0025, donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi için 0.0075 olarak dikkate alınmıştır. Buna göre kirişlerin ve düşey taşıyıcı elamanların hasar seviyelerinin katlardaki yüzdesel dağılımları Tablo 3'te verilmektedir. Ayrıca bina modellerinin performans düzeyleri ise Tablo 4'te verilmiştir. Bu tablolardan, 6 katlı bina modellerinde kirişlerin tamamının SH bölgesinde olduğu ve düşey taşıyıcı elamanlarda ise M3 bina modelinde ilk iki kattaki yapısal elamanların %0.3~0.5 BH bölgesine geçtiği görülmektedir. Buna göre 6 katlı bina modellerinden M1, M2 ve M4 SH performans düzeyini sağlarken M3 modeli ise KH performans düzeyi sağlamaktadır. 9 katlı bina modellerinden M1 modelindeki bütün kirişlerin SH bölgesinde olduğu, M2 ve M3 modellerinde üst kat kirişlerinin %7.7'sinin ve M4 modelinde ise 4. kattan itibaren kirişlerin %69.2 BH bölgesine geçtiği görülmektedir. Ayrıca 9 katlı M1 ve M4 modellerindeki düşey taşıyıcı elamanlarda hasar görülmezken, M3 modelinde %0.3~0.5 ilk dört katta ve M2 modelinde ise ilk iki kattaki düşey taşıyıcı elamanların % 43~46'sı BH bölgesine geçtiği görülmektedir. Buna göre 9 katlı bina modellerinden sadece M1 modeli SH performans düzeyini sağlarken, diğer tüm bina modelleri KH performans düzeyinde olduğu görülmektedir. 12 katlı bina modellerinden M1 modelindeki üst kat kirişlerinin %7.7 BH bölgesine geçmiş, ancak perde duvarların yerleşimi bina merkezine yaklaştıkça kirişlerdeki hasar oranları M2 için % 42, M3 için % 61.5 ve M4'de ise % 90'nı BH bölgesine geçmiştir. Ayrıca kiriş hasar yüzdeleri artmasıyla düşey taşıyıcı elamanlardaki hasar seviyelerinin azaldığı görülmektedir. 12 katlı M1 ve M2 modellerindeki 1. kattaki düşey yapısal elamanların

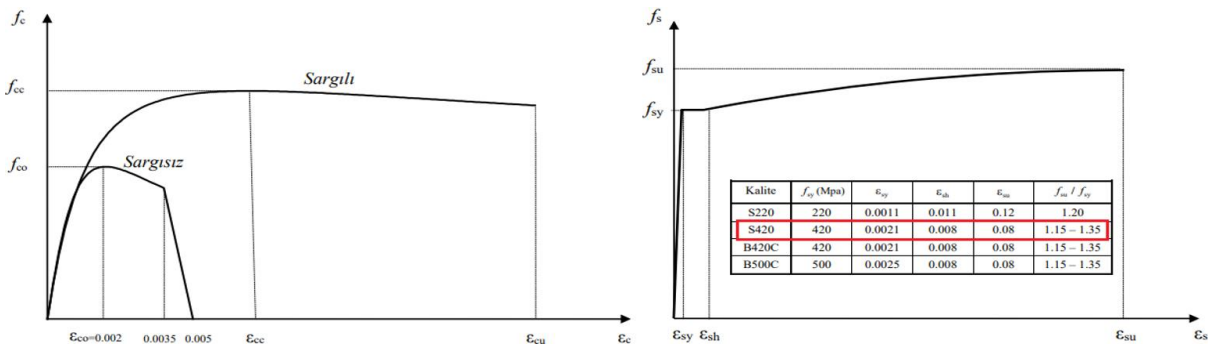
neredeyse yarısı, M3'te maksimum %3'ü ve M4'te maksimum %11.4'ü BH bölgesine geçmektedir. Elde edilen bulgulardan, perde duvar yerleşiminin bina merkezine yaklaşmasıyla, dikkate alınan modellerin alt katlarındaki düşey taşıyıcı elemanlardaki hasar oranlarının azaldığı, buna karşın üst katlardaki kiriş hasar oranlarının ise arttığı görülmektedir. Bu sonuç 12 katlı bütün bina modellerinin KH performans düzeyinde olduğunu göstermektedir.

$$\varepsilon_c^{(G\ddot{O})} = 0,0035 + 0,04\sqrt{\omega_{we}} \leq 0,018 \quad (1)$$

$$\omega_{we} = \alpha_{se} * \rho_{sh,min} \frac{f_{ywe}}{f_{ce}} \quad (2)$$

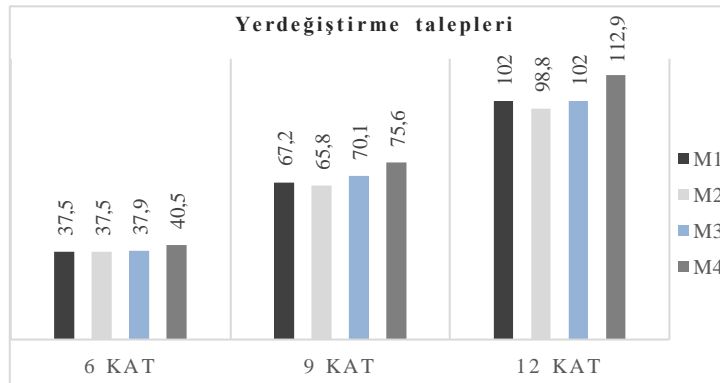
$$\rho_{sh} = \frac{A_{sh}}{b_k * s} \quad (3)$$

$$\alpha_{se} = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6 * b_0 * h_0}\right) * \left(1 - \frac{s}{2 * b_0}\right) * \left(1 - \frac{s}{2 * h_0}\right) \quad (4)$$



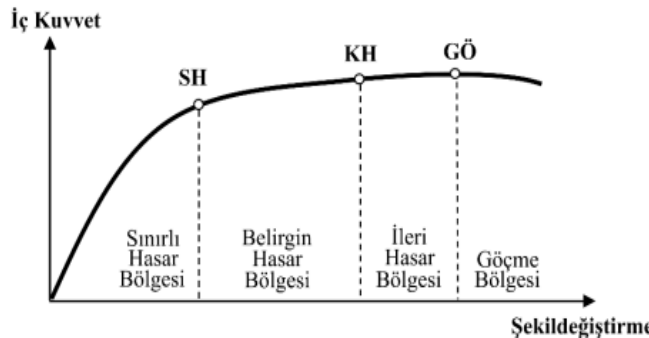
Şekil 10. Bina modellerinin tek modlu itme analizinde kullanılan beton ve donatı doğrusal olmayan malzeme modelleri (TBDY, 2019)

Figure 10. Concrete and reinforcement nonlinear material models used in single-mode pushover analysis of building models (TBDY, 2019)



Şekil 11. Bina modellerinin tek modlu itme analizi sonucu elde edilen yerdeğiştirme değerleri (mm)

Figure 11. Displacement values obtained from single-mode pushover analysis of building models (mm)



Şekil 12. TBDY'ne göre kesit hasar bölgeleri (TBDY, 2019)

Figure 12. Damage zones according to TBDY (TBDY, 2019)

Tablo 3. Tek modlu itme analizi sonucunda kirişler ve düşey taşıyıcı yapısal elemanlardaki hasarların katlara göre yüzdesel dağılımları**Table 3.** The percentage distribution of damages in beams and vertical load-bearing structural elements as a result of single-mode pushover analysis

Kat sayısı	Kirişler (%)												Düşey taşıyıcı yapısal elemanlar (%)												
	M1			M2			M3			M4			M1			M2			M3			M4			
	SH	BH	IH	SH	BH	IH	SH	BH	IH	SH	BH	IH	SH	BH	IH	SH	BH	IH	SH	BH	IH	SH	BH	IH	
6 katlı modeller	6	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-
	5	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-
	4	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-
	3	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-
	2	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	99.7	0.3	-	100	-	-
	1	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	99.5	0.5	-	100	-	-
9 katlı modeller	9	100	-	-	92.3	7.7	-	92.3	7.7	-	30.8	69.2	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-
	8	100	-	-	92.3	7.7	-	92.3	7.7	-	30.8	69.2	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-
	7	100	-	-	92.3	7.7	-	92.3	7.7	-	30.8	69.2	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-
	6	100	-	-	92.3	7.7	-	92.3	7.7	-	30.8	69.2	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-
	5	100	-	-	92.3	7.7	-	100	-	-	30.8	69.2	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-
	4	100	-	-	100	-	-	100	-	-	61.5	38.5	-	100	-	-	100	-	-	99.7	0.3	-	100	-	-
	3	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	99.7	0.3	-	100	-	-
	2	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	53.7	46.3	-	99.7	0.3	-
	1	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	56.2	43.8	-	99.6	0.4	-
12 katlı modeller	12	96.2	3.8	-	57.7	42.3	-	38.5	61.5	-	15.4	84.6	-	100	-	-	100	-	-	98.1	1.9	-	100	-	-
	11	92.3	7.7	-	57.7	42.3	-	38.5	61.5	-	15.4	84.6	-	100	-	-	99.7	0.3	-	99.3	0.7	-	100	-	-
	10	92.3	7.7	-	57.7	42.3	-	38.5	61.5	-	7.7	92.3	-	100	-	-	99.7	0.3	-	99.1	0.9	-	100	-	-
	9	92.3	7.7	-	57.7	42.3	-	38.5	61.5	-	7.7	92.3	-	100	-	-	99.7	0.3	-	99.4	0.6	-	100	-	-
	8	92.3	7.7	-	57.7	42.3	-	38.5	61.5	-	7.7	92.3	-	100	-	-	99.6	0.4	-	99.3	0.7	-	100	-	-
	7	100	-	-	57.7	42.3	-	38.5	61.5	-	7.7	92.3	-	100	-	-	99.9	0.1	-	99.3	0.7	-	100	-	-
	6	100	-	-	57.7	42.3	-	38.5	61.5	-	7.7	92.3	-	100	-	-	99.2	0.8	-	99.3	0.7	-	99.1	0.9	-
	5	100	-	-	57.7	42.3	-	50	50	-	30.8	69.2	-	93.5	6.5	-	98.8	1.2	-	99.3	0.7	-	91.3	8.7	-
	4	100	-	-	57.7	42.3	-	50	50	-	84.6	15.4	-	92.1	7.9	-	99.5	0.5	-	97	3	-	88.6	11.4	-
	3	100	-	-	61.5	38.5	-	69.2	30.8	-	100	-	-	93.1	6.9	-	99.5	0.5	-	97.6	2.4	-	90.7	9.3	-
	2	100	-	-	100	-	-	88.5	11.5	-	100	-	-	93.1	6.9	-	50.3	49.7	-	99.1	0.9	-	92.3	7.7	-
	1	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	49.7	50.3	-	56	44	-	99	1	0	91.6	8.4	-

Tablo 4. Bina modellerinin tek modlu itme analizi sonucu elde edilen performans düzeyleri**Table 4.** Performance levels obtained as a result of single-mode pushover analysis of building models

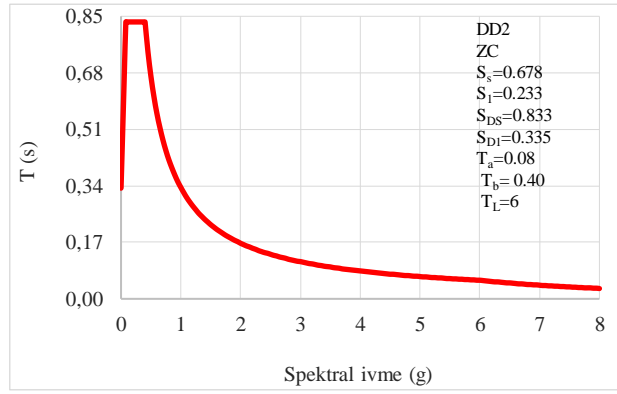
Kat Sayısı	Performans Düzeyi			
	M1	M2	M3	M4
6	SH	SH	KH	SH
9	SH	KH	KH	KH
12	KH	KH	KH	KH

2.2.2. Zaman tanım alanında analiz

2.2.2. Time-history analysis

Zaman tanım alanında (ZTA) analizdeki en önemli husus, uygun deprem hareketlerinin seçilmesi ve ölçeklenmesidir. Buradaki ana amaç analizlerde kullanılacak depremlerin tasarım spektrumu ile uyumlu olması gerekliliğidir. Söz konusu binaların bulunduğu lokasyon ve zemin sınıfı için AFAD'ın interaktif web uygulamasından elde edilen tasarım spektrumu Şekil 13'te verilmiştir. (AFAD, 2023). Bu amaçla Peer veri bankasından (Peer, 2023) gerekli parametrelere göre indirilen 100 adet deprem hareketinden uygun deprem hareketinin seçimi için (5) bağıntısı kullanılmıştır. (5) bağıntısındaki T_A ve T_B ölçeklendirmenin yapılacağı periyot aralığının başlangıç ve bitiş değerlerini, $S_a^{gerçek}$ ölçeklenecek yer hareketi ivme değerini ve S_a^{hedef} tasarım spektrumu ivme değerlerini temsil etmektedir. α depremin ivme zaman grafiği ile tasarım spektrumu arasındaki en küçük kareler yöntemi kullanılarak belirlenen bir katsayıdır (Özdemir & Fahjan, 2007). Bu çalışmada seçilen 11 adet deprem hareketi ve α katsayıları Tablo 5'te verilmektedir.

$$\alpha = \frac{\sum_{T=T_A}^{T_B} (S_a^{gerçek}(T) * S_a^{hedef}(T))}{\sum_{T=T_A}^{T_B} (S_a^{gerçek}(T))^2} \quad (5)$$



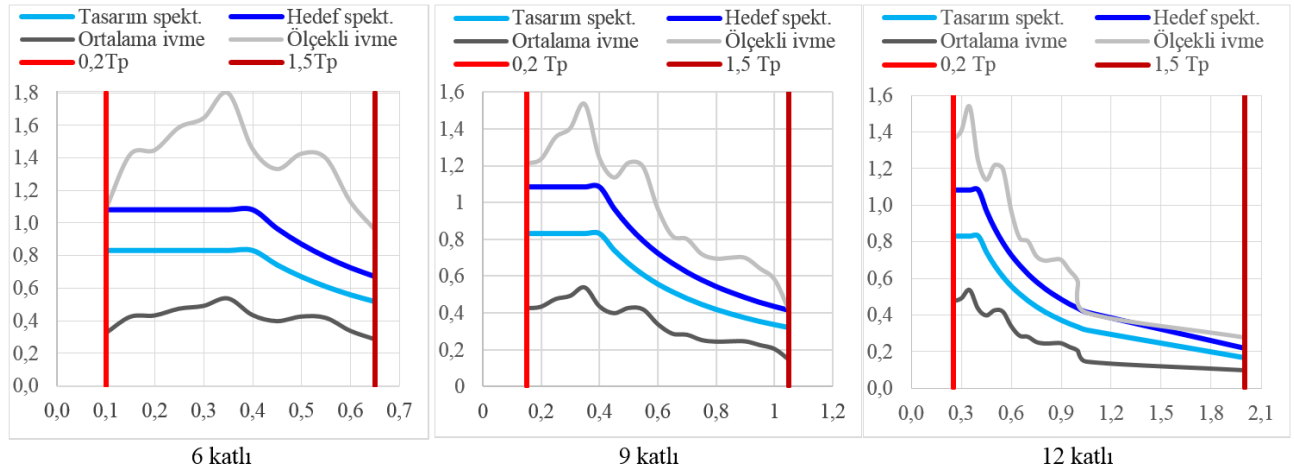
Şekil 13. Tasarım spektrumu
Figure 13. Design spectrum

Tablo 5. Seçilen deprem kayıtları (Peer, 2023)

Table 5. Selected earthquake records (Peer, 2023)

RSN	Deprem Adı	Yıl	İstasyon Adı	Magnitüde	α
832	Landers	1992	Amboy	7.28	1.68
838	Landers	1992	Barstow	7.28	1.94
855	Landers	1992	Fort Irwin	7.28	1.98
928	Big Bear-01	1992	Sage- Fire Station	6.46	1.77
1160	Kocaeli_Türkiye	1999	Fatih	7.51	0.99
1166	Kocaeli_Türkiye	1999	İzmit	7.51	1.80
1619	Duzce_Türkiye	1999	Mudurnu	7.14	2.18
1627	Caldiran_Türkiye	1976	Maku	7.21	3.43
1762	Hector Mine	1999	Amboy	7.13	1.24
1770	Hector Mine	1999	Big Bear Lake- Fire Station	7.13	1.01
1794	Hector Mine	1999	Joshua Tree	7.13	1.24

TBDY’de basit ölçekleme ve spektral uyum sağlanacak şekilde ölçekleme olmak üzere iki farklı yöntem önerilmektedir. Teknik literatürde yapılan çalışmalara bakıldığında basit ölçekleme yönteminin daha elverişsiz sonuçlar verdiği görülmektedir (Tozlu, 2023). Bu makalede, emniyetli tarafta kalabilmek adına basit ölçekleme yöntemiyle ölçekleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Basit ölçekleme yönteminde deprem hareketi ivme değerlerinin ortalaması alınarak yapı hâkim periyotlarının (T_p) 0.2~1.5 katı arasında tasarım ivme spektrumu değerlerinin 1.3 katından daha küçük olmayacak şekilde ölçekleme yapılmaktadır. Aynı kat sayısına sahip bina modelleri için aynı ölçek katsayıları kullanılmıştır. Bu nedenle 6, 9 ve 12 katlı bina modellerinin hâkim periyot değerleri, kendi içlerinde ortalamaları alınarak dikkate alınmıştır (bkz. Tablo 6). Yapılan ölçekleme işlemi sonucu 0.2~1.5 T_p aralığı için davranış spektrumları Şekil 14’te ve ölçekleme işlemi yapılmamış deprem ivme-zaman grafikleri de her iki doğrultu için sırasıyla Şekil 15~Şekil 17’de verilmiştir.



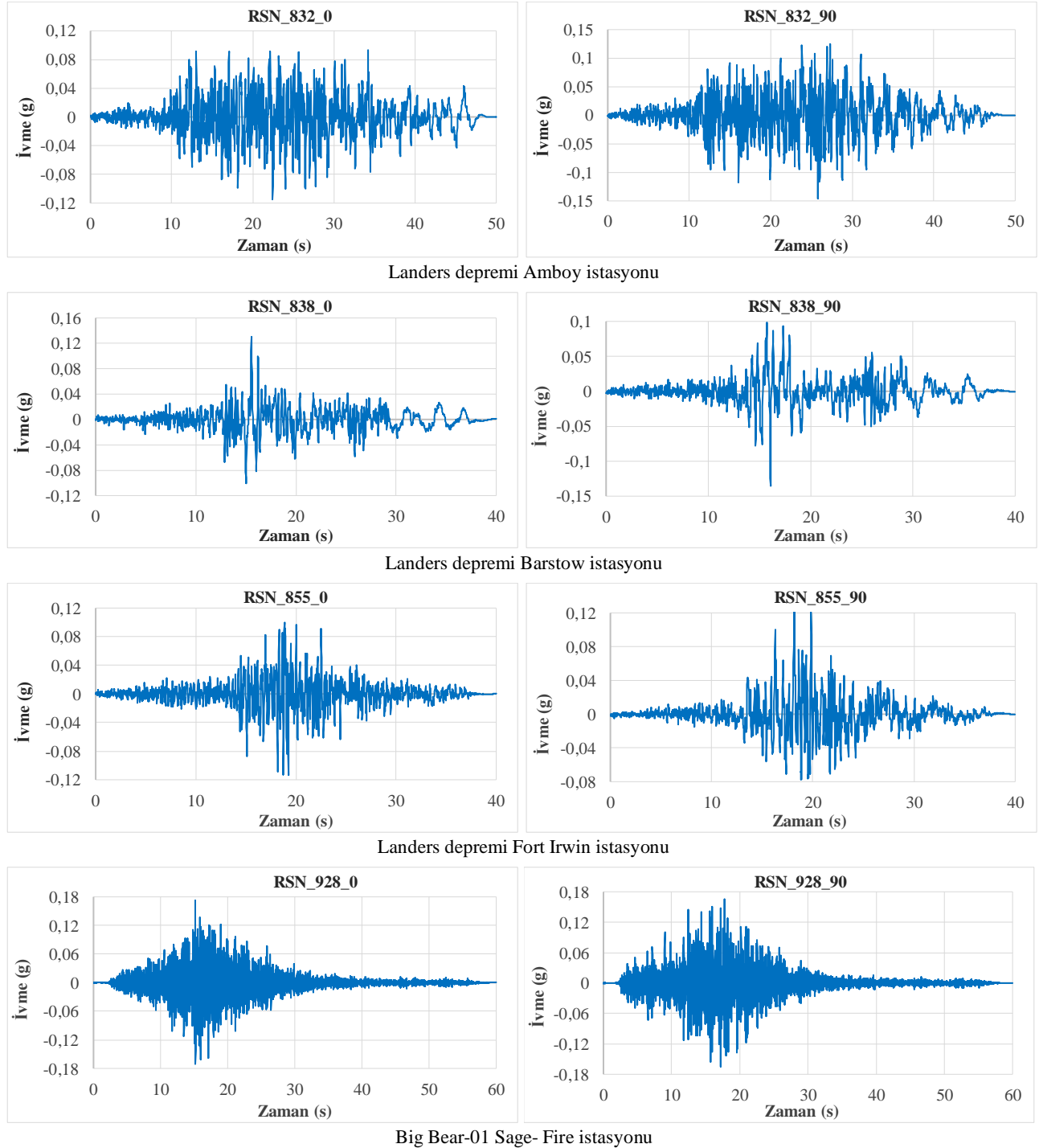
Şekil 14. Basit ölçekleme işlemi

Figure 14. Amplitude Scaling Method

Tablo 6. Deprem kayıtlarının ölçek katsayıları
Table 6. Scale coefficients of earthquake records

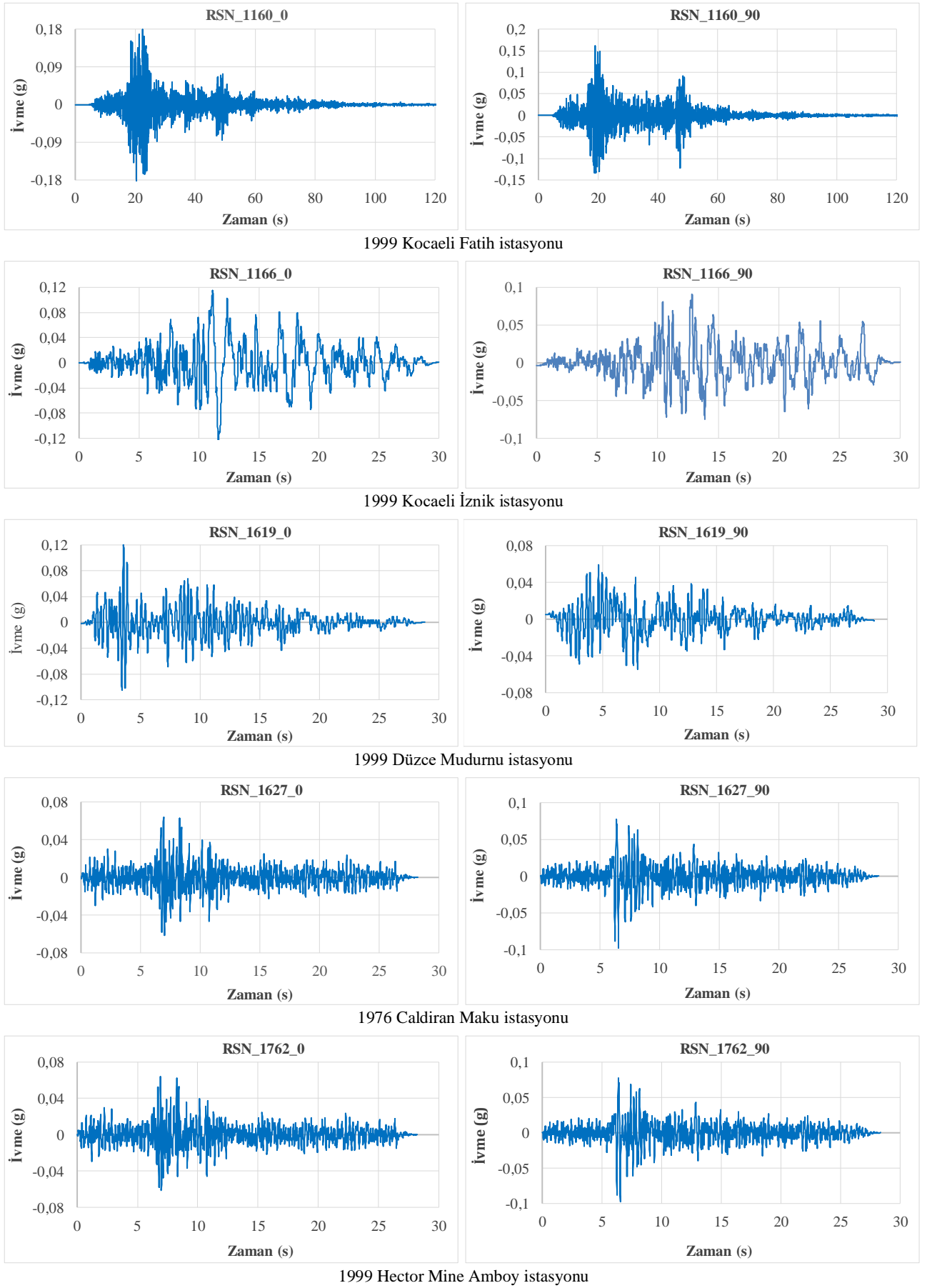
Kat Sayısı	T_p Ortalama	$0.2 T_p$	$1.5 T_p$	Ölçek Katsayısı
6	0.45	0.09	0.67	3.35
9	0.82	0.16	1.23	2.86
12	1.22	0.24	1.83	2.86

Burada dikkate alınan ivme-zaman kayıtlarının hassasiyetine göre ölçek aralığında yaklaşık değerler kabul edilmiş olduğu ve bina modelleri simetrik olduğu için yapısal çözümlerinde tek doğrultudaki hesabın yeterli görüldüğünden deprem ivme kayıtları 90° çevrilerek analizlerin tekrar yapılmadığını belirtmek yararlı olacaktır.



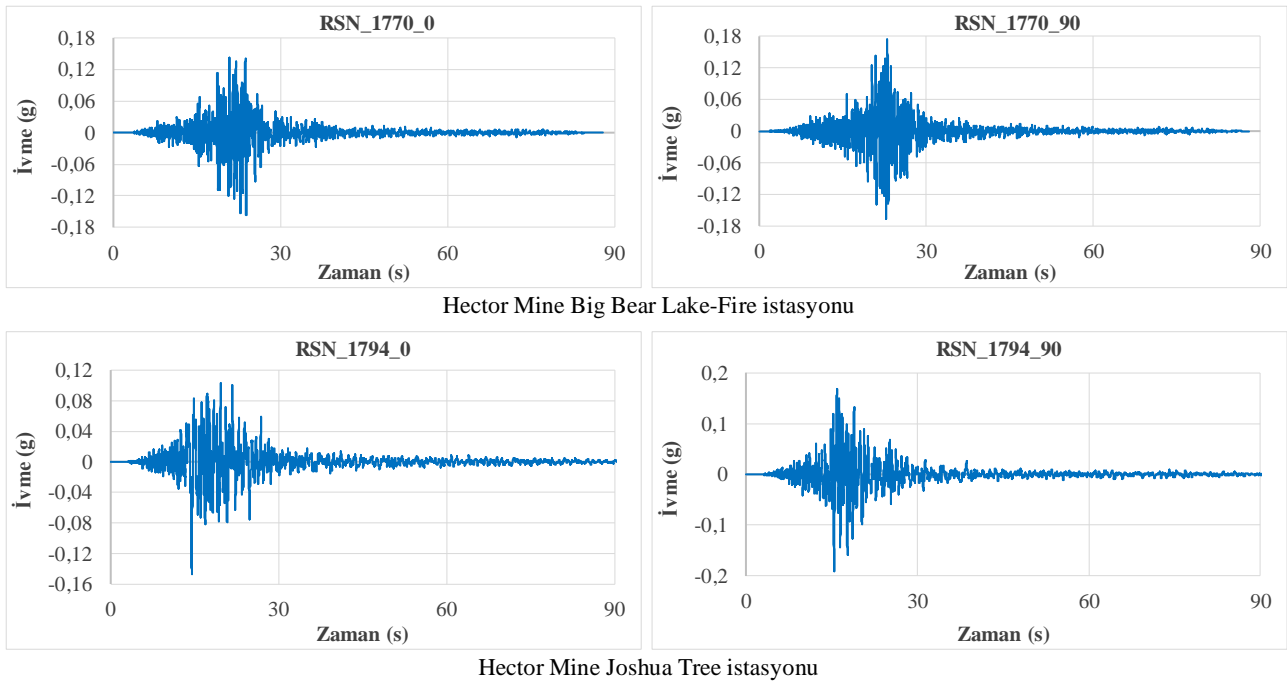
Şekil 15. 1992 Landers ve Big Bear-01 depremlerinin ivme zaman grafikleri

Figure 15. Acceleration-time history graphs of 1992 Landers and Big Bear-01 earthquakes



Şekil 16. Kocaeli, Düzce, Caldıran ve Hector Mine depremlerinin ivme zaman grafikleri

Figure 16. Acceleration-time history graphs of Kocaeli, Düzce, Caldıran and Hector Mine earthquakes



Şekil 17. 1999 Hector Mine depremlerinin ivme zaman grafikleri

Figure 17. Acceleration-time history graphs of 1999 Hector Mine earthquakes

ZTA doğrusal olmayan analiz sonucundaki yapısal elemanların hasar seviyeleri ve katlardaki dağılımları Tablo 7’de verilmektedir. Ayrıca bina modellerinin performans düzeyleri ise Tablo 8’de verilmiştir.

Table 7. ZTA analiz sonucunda kirişler ve düşey taşıyıcı elemanlardaki hasarların katlara göre dağılımları (%)
Table 7. The distribution of damages in beams and vertical structural elements as a result of NTH analyses (%)

Kat sayısı	Kirişler (%)												Düşey taşıyıcı yapısal elemanlar (%)														
	M1			M2			M3			M4			M1			M2			M3			M4					
	SH	BH	IH	SH	BH	IH	SH	BH	IH	SH	BH	IH	SH	BH	IH	SH	BH	IH	SH	BH	IH	SH	BH	IH			
6 katlı modeller	6	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-		
	5	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-		
	4	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-		
	3	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-		
	2	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-		
	1	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	93.2	6.8	-	86.4	6.8	6.8	100	-	-	100	-
9 katlı modeller	9	100	-	-	92.3	7.7	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-		
	8	100	-	-	92.3	7.7	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-		
	7	100	-	-	92.3	7.7	-	97.7	2.3	-	98.1	1.9	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-		
	6	100	-	-	92.3	7.7	-	95.5	4.5	-	99.6	0.4	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-		
	5	100	-	-	92.3	7.7	-	100	-	-	99.6	0.4	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-		
	4	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-		
	3	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-		
	2	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-		
	1	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	93.2	4.5	2.3	84.1	6.8	9.1	95.5	4.5	-	100	-
12 katlı modeller	12	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	98.1	1.9	-	100	-	-		
	11	92.3	7.7	-	94.2	5.8	-	84.6	15.4	-	96.2	3.8	-	100	-	-	100	-	-	99.3	0.7	-	100	-	-		
	10	92.3	7.7	-	92.3	7.7	-	84.6	15.4	-	96.2	3.8	-	100	-	-	100	-	-	99.1	0.9	-	100	-	-		
	9	90.4	9.6	-	92.3	7.7	-	84.6	15.4	-	96.2	3.8	-	100	-	-	100	-	-	99.4	0.6	-	100	-	-		
	8	90.4	9.6	-	92.3	7.7	-	84.6	15.4	-	88.5	11.5	-	100	-	-	100	-	-	99.3	0.7	-	100	-	-		
	7	90.4	9.6	-	92.3	7.7	-	84.6	15.4	-	88.5	11.5	-	100	-	-	100	-	-	99.3	0.7	-	100	-	-		
	6	90.4	9.6	-	92.3	7.7	-	84.6	15.4	-	86.5	13.5	-	100	-	-	100	-	-	99.3	0.7	-	100	-	-		
	5	92.3	7.7	-	96.2	3.8	-	84.6	15.4	-	92.3	7.7	-	100	-	-	100	-	-	99.3	0.7	-	100	-	-		
	4	100	-	-	96.2	3.8	-	84.6	15.4	-	96.2	3.8	-	100	-	-	100	-	-	97	3	-	100	-	-		
	3	100	-	-	61.5	38.5	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	97.6	2.4	-	100	-	-		
	2	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	99.1	0.9	-	100	-	-		
	1	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	86.4	4.5	9.1	56	44	-	97.7	-	2.3	100	-	-		

Tablo 8. Bina modellerinin ZTA analiz sonucu elde edilen performans düzeyleri
Table 8. Performance levels of building models obtained as a result of NTH analysis

Kat Sayısı	Performans Düzeyi			
	M1	M2	M3	M4
6	KH	GÖ	SH	SH
9	KH	Göçme	KH	SH
12	GÖ	Göçme	GÖ	SH

Bu tablolardan 6 katlı bina modellerinde kirişlerin tamamının SH bölgesinde olduğu ve düşey taşıyıcı elamanların M1 bina modelinin KH performans düzeyinde, M2 bina modelinin GÖ performans düzeyinde ve M3 ve M4 bina modellerinin ise SH performans düzeyinde olduğu görülmektedir. 9 katlı bina modellerinden M3 ve M4 modellerinde orta katlardaki kirişlerin (bina performans düzeyini etkilemeyecek kadar az miktarda) BH bölgesinde olduğu, M1 ve M2 modellerinde ise kirişlerde hasar oluşmadığı görülmektedir. Ayrıca 9 katlı bina modellerinin düşey taşıyıcı elemanlardaki hasarın M1 ve M3 modellerinde KH düzeyinde, M2 modelinde Göçme bölgesinde ve M4 modelinde ise SH performans düzeyinde olduğu görülmektedir. 12 katlı bina modellerinde kirişlerin tamamının SH bölgesinde olduğu ve düşey taşıyıcı elamanların M1 ve M3 bina modellerinin KH performans düzeyinde, M2 bina modelinin Göçme bölgesinde ve M4 bina modelinin ise SH performans düzeyinde olduğu görülmektedir.

3. Sonuçlar ve öneriler

3. Conclusions and recommendations

Bu çalışmada, 4 farklı kat planına sahip 6, 9 ve 12 katlı betonarme perde duvar-çerçeve taşıyıcı sistemli 12 adet bina modelinin doğrusal ve doğrusal olmayan davranışları incelenmiştir. Perde duvarların yerleşimi, her iki doğrultuda kesme alanları eşit olacak şekilde, dış akslardan merkeze doğru kaydırılarak kat planları oluşturulmuştur. Gerçekleştirilen yapısal çözümlerden elde edilen başlıca sonuçlar ve öneriler aşağıda sunulmaktadır.

- Doğrusal yapısal çözümlerden, dikkate alınan bina yükseklikleri (6, 9 ve 12 kat) için, en küçük hâkim periyot değerleri M2 modellerinde ve en yüksek hâkim periyot değerleri M4 modellerinden elde edilmiştir. Elde edilen bu bulgu rijitliği en yüksek olan bina modelinin M2 modeli olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca bina yüksekliğinin artmasıyla periyot değerlerinin sıralamasını değiştirmedeği görülmektedir.
- Gerçekleştirilen doğrusal yapısal çözümlerden bina yüksekliğinin artmasıyla genlikler değişse de mod şekillerinin aynı olduğu görülmüştür. Bu bulgu bina yüksekliğinin mod şekillerini değiştirmedeğini ortaya koymaktadır. Ayrıca bina yüksekliği arttıkça burulma etkilerinin davranışa katkısının arttığı görülmektedir.
- Kat planlarında perde duvarların yerleşiminin bina merkezine doğru kayması durumunda çerçeve sistemlerden oluşan dış akslardaki yerdeğiştirme değerlerinin bina merkezine göre daha fazla olduğu dolayısıyla yapısal davranışta karmaşıklığa neden olan burulma etkilerinin arttığı görülmektedir. Buna karşın perde duvarların dış akslara yerleştirilmesi durumunda, bina merkezindeki yerdeğiştirme değerleri dış akslara göre daha fazla olmakta dolayısıyla söz konusu bina davranışındaki düzensizlikleri arttırmaktadır. Bu nedenle, özellikle plan boyutlarının artmasıyla birlikte, perde duvarların tüm akslarda homojen olacak şekilde dağıtılması gerekmektedir.
- Doğrusal yapısal çözümler sonucunda en büyük ortalama kat yerdeğiştirme değerleri M4 modellerinden elde edilmiştir. Bununla birlikte perde duvarların dış akslarda yoğunlaştığı M1 modelinde ortalama kat yerdeğiştirme değerlerinin bina yüksekliği arttıkça burulma etkilerinin büyük olduğu M3 modeline yaklaştığı, hatta 12 katlı bina modelinde üst katlarda daha büyük olduğu görülmektedir. Elde edilen bu sonuç burulma etkileri kaygısıyla en dış akslara perde duvarlar yerleştirilerek oluşturulan modellerden, bina yüksekliği arttıkça daha elverişsiz değerlerin elde edilebileceğini göstermektedir.
- EDY ve MB yöntemleriyle yapılan doğrusal analizlerden, bina yüksekliğinin artmasıyla, periyotlardaki uzamalar nedeniyle, söz konusu binaya etki eden deprem yüklerinin dolayısıyla da taban kesme kuvvetlerinin azaldığı görülmektedir. Ayrıca az ve orta yükseklikteki binalar için EDY yönteminden elde edilen sonuçlar daha küçük iken, yüksek bina için tam tersi bir durum söz konusudur. Diğer taraftan EDY ve MB yöntemlerinden elde edilen taban kesme kuvvetleri sıralamasının periyot değerleri sıralamasının tam tersi olduğu görülmektedir. Elde edilen bu sonuç TBDY’de EDY yönteminin bina yüksekliğine göre kısıtlanması hüküm ve önerilerini doğrulamaktadır.
- Doğrusal yapısal çözümler sonucunda her bir bina yüksekliği için beton metrajı aynı iken, az ve orta yükseklikteki binalar için M4 modellerinden ve yüksek binalar için M1 modelinden en küçük donatı metrajı

elde edilmiştir. Bu durumun bina yüksekliğinin artmasına bağlı olarak kat yerdeğiştirmelerinin artması dolayısıyla ikincil merteye etkilerinin getirdiği kesit zorlarından kaynaklandığı söylenebilir.

- Doğrusal yapısal çözümlerden M4 modelinde perde duvarları bağlayan kat kirişlerinde, bina yüksekliği arttıkça perde elemanlardaki eğilme etkilerinin artmasına bağlı olarak söz konusu kirişlerdeki ilave donatı miktarı artmaktadır.
- İtme analizi sonucu elde edilen talep yerdeğiştirmelerinin sıralamasının periyot değerleri sıralamasıyla uyumluluk gösterdiği ve en yüksek talebin sünekliliği en fazla olan M4 modellerinde, buna karşın en düşük talebin ise M2 modellerinde olduğu görülmektedir.
- Gerçekleştirilen itme analizlerden, perde duvarların yerleşimi merkeze yaklaştıkça kirişlerdeki hasar seviyelerinin arttığı, perde duvarların dikdörtgen kesitli olması durumunda özellikle perde duvara bağlanan kirişlerde yüksek oranda hasar meydana geldiği ve perde duvarların L şeklinde teşkil edilmesi durumunda deprem doğrultusuna göre çalışmayan doğrultudaki perde duvar kolunda depremin doğrultusuna göre çekme ya da basınç oluştuğu, buna karşın deprem doğrultusuna göre çalışan perde duvar kolunda oluşan eğilmeye bağlı yerdeğiştirmelerin azaldığı dolayısıyla bu durumun perde duvara bağlanan kirişlerdeki hasar seviyelerini düşürdüğü görülmektedir.
- Planda perde duvarların L şeklinde teşkil edilmesi durumunda söz konusu binanın performansını alt katlardaki düşey yapısal eleman hasarları belirlerken, diğer durumda orta ve üst katlardaki kiriş hasarları belirlemiştir.
- ZTA doğrusal olmayan analiz sonucunda perde duvarların yerleşimi söz konusu binanın merkezine yaklaştıkça kirişlerdeki hasar yüzdelerinin arttığı, düşey taşıyıcı elemanlardakinin ise azaldığı görülmektedir. Elde edilen bu sonuç kiriş hasarlarıyla sönmölenen toplam enerjinin arttığını dolayısıyla düşey taşıyıcı elemanlardaki hasar seviyelerini düşüğünü göstermektedir. Ayrıca dikdörtgen perde duvarları bağlayan kirişlerdeki hasar seviyeleri bu makalede dikkate alınan diğer bina modellerine göre daha fazla iken bina yüksekliğinin artmasıyla artan burulma etkilerinden dolayı M3_12 modelinde tam tersi bir durum söz konusudur.
- Yapısal çözümlerden, her bina yükseklik gurubunda perde duvarların dış akslarda olmasıyla burulma etkilerinin ve düşey taşıyıcı eleman hasarlarının az buna karşın kiriş hasarlarının yüksek olduğu M4 bina modellerinin diğer bina modellerine göre daha iyi performans gösterdiği görülmüştür.
- İtme analizi ile ZTA doğrusal olmayan yapısal çözümlerden elde edilen bina performans düzeylerinin farklılık gösterdiği, itme analizden sadece 1. mod şekline uyumlu olarak tek doğrultuda talep noktasına kadar itilmesi, plan doğrultularında ayrı ayrı hesap yapılması nedenleriyle özellikle yapı yüksekliğinin ve deprem etkilerinin artmasıyla söz konusu binanın davranışını temsil etmekte yetersiz kaldığı görülmektedir. Ayrıca itme analizinde oluşan hasar yüzdelerinin ZTA hesap yöntemiyle hesaplanan hasar yüzdelerinden daha fazla olduğu görülmüştür.
- Performans düzeylerinde, itme analizinde kiriş hasarlarının etkisi fazlayken ZTA düşey taşıyıcı elemanlardaki hasarların etkisi fazla olduğu görülmektedir.
- Bu çalışmayla, TBDY’de verilen itme analizine ilişkin verilen sınır değerlerin yapısal davranışı ortaya koymada oldukça kritik olduğu doğrulanarak özellikle dikdörtgen kesitli perde duvarların itme analizlerinde kirişlerdeki hasarlar nedeniyle daha da elverişsiz sonuçlar verdiği görülmüştür. Yazarlar taşıyıcı sistemi bu tür binalar için ZTA doğrusal olmayan hesap yönteminin kullanılmasını önermektedirler.

Yazar katkısı

Author contribution

Yazarlar, Prof. Dr. Şenol GÜRSOY ve Arş. Gör. İsmail TOZLU bu makalenin gelişmesinde, yazımı ve denetlenmesinde katkıda bulunmuştur.

Etik beyanı

Declaration of ethical code

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

Çıkar çatışması beyanı

Conflicts of interest

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar*References*

- AFAD (2023). Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması, <https://tdth.afad.gov.tr/>
- Aksoylu, C., ve Arslan, M. H. (2019). Çerçeve + perde türü betonarme binaların periyod hesaplarının TBDY-2019 yönetmeliğine göre ampirik olarak değerlendirilmesi, *Uludağ University Journal of the Faculty of Engineering*, 24(3), 365-382. <https://doi.org/10.17482/uumfd.603437>
- Aktan, S. ve Kırış, N. (2010). Betonarme binalarda perdelerin davranışa etkileri, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23 (1), 15-32.
- Boru, E. (2022). Betonarme perdelerin planda farklı yerleşiminin bina davranışına etkisinin incelenmesi, *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 10 (2), 259-272. <https://doi.org/10.29109/gujsc.1062254>
- Celep, Z. (2019). *Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı*, 7. Baskı, Beta Basım ve Yayımlar Dağıtım A.Ş., İstanbul.
- Çavdar, Ö. ve Bayraktar, A. (2016). Nonlinear earthquake performance evaluation of a structure collapsed during the Van, Turkey, earthquake on October 23, 2011, *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 30 (4), [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0000816](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000816)
- Çavdar, Ö., (2022). Seismic performance of a high-rise building by using linear and nonlinear methods, *Natural Hazards*, 112 (2), 1359-1378. <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05231-z>
- Çolakoğlu, H. E. (2019). U şekilli betonarme perdelerin farklı yatay yük etkileri altında doğrusal olmayan davranışı, *Teknik Dergi*, 30 (1), 8887-8912. <https://doi.org/10.18400/tekderg.344813>
- Değer, Z. ve Başdoğan, Ç. (2021). Betonarme perdelerin yığılı plastik davranış ile doğrusal olmayan modellenmesi ve hasar sınırları, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 36 (2), 641-654. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.719923>
- Dogan, O., Genç, Y. ve Odacıoğlu, O. G. (2022). Betonarme taşıyıcı sistemlerin depreme dayanıklı tasarımında uyumlu perde-çerçeve davranışı için minimum perde oranının belirlenmesi, *Politeknik Dergisi*, 25 (4), 1561-157. <https://doi.org/10.2339/politeknik.871889>
- Foroughi, S. ve Yüksel, B. (2021). Sünek betonarme perde duvarların şekil değiştirme esaslı hasar sınırları, *Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences*, 7 (2), 244-255. <https://doi.org/10.28979/jarnas.845418>
- Garip, Z.Ş. ve Eren, E., (2022). Perde duvarlı ve çerçeveli betonarme binalarda deprem tasarım sınıflarının bina maliyetine etkisi, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 10(2), 700-715. <https://doi.org/10.29130/dubited.937668>
- Gürsoy, Ş., (2017). Betonarme perde duvar konumunun binaların deprem davranışı ve kaba inşaat maliyeti üzerine etkisi, *2nd International Conference on Advanced Engineering Technologies (ICADET 2017)*, 21-23 Eylül, 1-10, Bayburt/TÜRKİYE.
- Gürsoy, Ş., (2013). Farklı rijitleştirici elemanlara sahip binaların depreme göre maliyetlerinin karşılaştırılması, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 28(3), 533-544.
- Karadoğan, F. Pala, S. Yüksel, E. ve Durgun, Y. (2011). *Yapı Mühendisliğine Giriş Yapısal Çözümleme*, Cilt 1, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Kaya, G. ve Özsoy Özbay, A. E. (2019). Perde ve çerçeveli betonarme yapılarda perde konumunun planda düzenlenmesi ve yapısal davranışa etkisi, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7 (1), 7-17. <https://doi.org/10.21923/jesd.429880>
- Onat, Ö. ve Usta, P. (2021). 20 katlı betonarme yapının farklı perde duvar yerleşimlerine göre deprem analizi, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 363-369. <https://doi.org/10.31590/ejosat.912625>
- Özdemir, Z. ve Fahjan, Y. M. (2007). Gerçek deprem kayıtlarının tasarım spektrumlarına uygun olarak zaman ve frekans tanım alanlarında ölçekleme yöntemlerinin karşılaştırılması”, *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, 16-20 Ekim, 435-446, İstanbul.

- Peer, (2023). Pacific Earthquake Engineering Research Center Ground Motion Database, <https://ngawest2.berkeley.edu/>
- Sakcalı, G. B., Tekeli, H. ve Demir, F. (2017). The effects of shear wall amount on building performance in RC buildings, *Sakarya University Journal of Science*, 21 (2), 157-168. <https://doi.org/10.16984/saufenbilder.296998>
- Sayın, E., Yön, B. ve Calayır, Y. (2010)., Perde konumunun ve zemin sınıfının betonarme yapılarıdaki hasar oranına etkisi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 26 (1), 1-6.
- Sta4-CAD (2021). Structural analysis for computer aided design”, ver.14.1. www.sta.com.tr
- TBDY (2019). *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 30364 Sayılı Resmi Gazete.
- Tozlu, İ. (2023). *Tünel kalıp sistemli orta katlı betonarme binaların deprem performansının belirlenmesinde yer hareketi kaydı ölçekleme yöntemlerinin ve güçlü yer hareketi kısmının etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tuna, M. E. (2000). Depreme dayanıklı yapı tasarımı”, Tuna eğitim ve kültür vakfı, Ankara.
- Uçar, T. ve Merter, O. (2009). Planda perde yerleşiminin betonarme perde-çerçeve binaların deprem davranışına etkisi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 11 (2), 11-18.
- Yaman, S. Tekeli, H. ve Demir, F. (2019). Betonarme binalarda perde yeri değişiminin bina performansına etkisi, *Avrupa bilim ve teknoloji dergisi*, 16, 194-204. <https://doi.org/10.31590/ejosat.528665>

Ultras ses dalga hızının tahmininde farklı makine öğrenimi yöntemlerinin karşılaştırılması

Comparison of different machine learning methods for prediction of ultrasonic pulse velocity

Serhat DEMİRHAN*¹, Necim KAYA², Selahattin AKALP¹

¹Batman Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 72060, Batman

²Batman Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, İnşaat Teknolojisi Programı, 72060, Batman

• Geliş tarihi / Received: 19.09.2023

• Kabul tarihi / Accepted: 07.02.2024

Öz

Deneysel sonuçlardan elde edilen basınç dayanımı sonuçlarına bağlı olarak ultras ses dalgası hızı sonuçlarının tahmin edilmesi amacıyla, farklı oranlarda mineral katkı içeren on iki (12) farklı çimento harcı üretilmiştir. Üretilen harç numunelerinin 1, 3, 7, 28 ve 90 günlük kür yaşları için hem basınç dayanımı hem de ultras ses dalgası hızı sonuçları deneysel olarak elde edilmiştir. Farklı kür koşulları için harç numunelerinden elde edilen basınç dayanımı deneysel verileri Aşırı Öğrenme Makinesi, Destek Vektör Makinesi ve Grup Veri İşleme Yöntemi olmak üzere üç farklı regresyon yöntemi kullanılarak ultras ses dalgası hızı değerlerinin tahmininde kullanılmıştır. Regresyon yöntemlerinin uygulanmasında iki farklı yaklaşım izlenmiştir. İlk yaklaşımda, farklı kür yaşları için ultras ses dalgası hızı sonuçları, basınç dayanımı değerleri göz ardı edilerek tahmin edilmiştir. Diğer yaklaşımda ise ultras ses dalgası hızı sonuçlarının tahmin etmek için basınç dayanımı değerleri dikkate alınmıştır. Böylece hem basınç dayanımı hem de ultras ses dalgası hızı değerleri ile regresyon modelleri ile elde edilen başarı sonuçları arasındaki ilişki belirlenip, karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada, Yöntem 1'deki Grup Veri İşleme Yöntemi modeli ile en iyi test performansları (yani R^2 ve MSE için) sırasıyla 0.856 ve 0.037; Yöntem 2'de ise Grup Veri İşleme Yöntemi modeli ile en iyi test performansları sırasıyla 0.977 ve 0.003 olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar dikkate alındığında, ultras ses dalgası hızı değerleri seçilen regresyon modelleri ile yüksek başarı oranlarıyla elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Basınç dayanımı, Regresyon, Ultras ses dalga hızı

Abstract

In order to predict the ultrasonic pulse velocity results based on the compressive strength results obtained from the experimental results, twelve (12) different cement mortars including mineral admixtures with different proportions were cast. Five curing ages of 1, 3, 7, 28, and 90 days were chosen in order to obtain experimental testing results of compressive strength and ultrasonic pulse velocity. Ultrasonic pulse velocity values have been estimated with regression methods developed via the experimental results of Compressive strength by using Extreme Learning Machine, Support Vector Machine and Group Method of Data Handling. Two distinct approaches were employed for each regression method. In Method 1, ultrasonic pulse velocity values were estimated without compressive strength test results. In Method 2, ultrasonic pulse velocity values were estimated using the compressive strength results. Hereby, first experimental test results of compressive strength and ultrasonic pulse velocity were determined and then estimated results of compressive strength and ultrasonic pulse velocity via regression models were compared in terms of success rate of regression models. When evaluating the performance, the Group Method of Data Handling model achieved the highest test performance among the approaches used in Method 1 and the results for R^2 and MSE were 0.856 and 0.037, respectively. In Method 2, the best test performance was achieved with the Group Method of Data Handling model, while the results for R^2 and MSE were 0.977 and 0.003, respectively. It has been revealed that the selected regression models have achieved high success in estimating ultrasonic pulse velocity (with/without considering compressive strength).

Keywords: Compressive strength, Regression, Ultrasonic pulse velocity

*Serhat DEMİRHAN; serhat.demirhan@batman.edu.tr

1. Giriş

1.1. Introduction

Yapısal betonun üretim sonrası dayanım özelliklerinin doğrudan ölçümle belirlenmesi ve test numunelerinin toplanmasındaki zorluklar, zaman alıcı ve tahribatlı gerilmeler içerir. İnşaat mühendisliği alanında pek çok sorunların giderilmesi için pek çok tahribatsız değerlendirme metodu geliştirilmiştir (Çalışkan vd., 2022; Gültekin & Doğan, 2022; Gültekin & Doğan, 2023). Geleneksel olarak, tahribatsız testler, rehabilitasyon işlerinde çimento esaslı malzemenin basınç dayanımını tahmin etmek ve inşaat sırasında ve yapının yaşam döngüsü boyunca beton dayanımını tahmin etmek ve izlemek için kullanılmıştır (Revilla-Cuesta vd., 2021). Bunlar, betonun belirli fiziksel ve mikro yapısal özelliklerinin dayanımla ilişkilendirilebilmesi ve tahribatsız metodlarla ölçülebilmesine bağlıdır. Bu özellik, sertlik, penetrasyon direnci, geri tepme kapasitesi ve ultrases ses dalgası hızı (UPV), X-ışını ve gama ışınlarını iletme kabiliyetini içerir (Ghosh vd., 2018). Mevcut yöntemler arasında, schmidt çekici prensibi ve UPV testi, hem maliyet açısından verimli olmaları hem de uygulamalarının kolaylığı nedeniyle en çok tercih edilen tahribatsız test yöntemleri olarak öne çıkmaktadır. İlk yöntem, yüzey sertliğini ölçer ve ikincisi, test numunesinin bir ucundan diğer ucuna yayılan bir stres dalgasının hızını dolaylı olarak hesaplamaktadır. Her ikisi de yapısal sağlık izleme ve beton yapıların dayanım değerlendirmesi için önerilir (Hamidian vd., 2012). Basınç dayanımıyla aralarında yüksek bir korelasyonun bulunduğu UPV'nin belirlenmesi (Hong vd., 2021), mühendislik yapılarında çimento esaslı malzemenin mikro yapısal karakteristiğinin tahmin edilmesinde tercih edilen en popüler tahribatsız yöntemlerden biridir (Sajid vd., 2016; Zengin vd., 2023). Diğer testlere kıyasen, UPV testi, betonun kalitesini güvence altına almak için nispeten ucuz bir yerde tespit test yöntemidir. Çimento esaslı malzemenin içinden geçen UPV'nin hareket süresini ölçer.

Üretim, zaman ve maliyetten gelen zorlukların azaltılması ve iyileştirilmesi adına deneysel sonuçların makine öğrenmesi yöntemleri ile işlenmesi son dönemlerde popüler olarak tercih edilen bir yöntemdir. Literatürde, makine öğrenmesi yöntemleri (Çalışkan vd., 2022) ve görüntü işleme yöntemlerinin kullanılarak basınç dayanımının ön görüldüğü (Zengin vd., 2023) pek çok araştırma mevcuttur (Li vd., 2023; Lee vd., 2023). Yaprak vd. (2013) tarafından önerilen YSA modelinde çimento esaslı malzemenin basınç dayanımının tahmin edilmesinde eğitim veri seti için regresyon ve MSE değerleri sırasıyla 0.994 ve 1.078 elde edilirken test veri seti için ise sırasıyla 0.987 ve 2.456 olarak tespit edilmiştir. Çimento, kür yaşı ve kür koşulları gibi farklı parametrelerin girdi parametresi olarak değerlendirildiği bu çalışmada YSA kullanılmıştır. Çimento esaslı malzemelerin basınç dayanımlarının tahmin edilmesinde tercih edilen diğer yöntemlere alternatif bir yöntem olduğu belirlenmiştir. Ling vd. (2019), deniz koşullarındaki mukavemet bozulmasını tahmin etmek ve değerlendirmek için k-kat çapraz doğrulama ile optimize edilmiş SVM modelini önermişlerdir. YSA ve karar ağacı algoritmaları SVM modelindeki doğruluk oranını kıyaslamak için kullanılmıştır. Hammoudi vd. (2019), çimento bazlı malzemenin basınç dayanımını tahmin etmek için 7, 28 ve 56 günlük kür sürelerinde hem tepki yüzeyi yöntemini (TYM) hem de yapay sinir ağı (YSA) yaklaşımını kullanmışlardır. Yapılan yöntemler arası karşılaştırmalar, YSA modelinin TYM'e göre daha üstün sonuçlar sunduğunu göstermiştir.

Literatürde, basınç dayanımı esas alınarak UPV değerlerini tahmin etme konusunda herhangi bir araştırmaya rastlanmamıştır. Ayrıca, her bir tahmin metodu farklı düzeyde tahmin oranları ile sonuç verdiği için dolayı farklı tahmin metodlarının kıyaslanması da büyük önem arz etmektedir. Akademik literatürdeki bu eksikliği gidermek hedefiyle, bu çalışmada farklı mineral katkı oranlarına sahip ve çeşitli kür yaşlarına sahip harç numuneleri kullanılmıştır. Bu numunelerin UPV değerlerinin tahmin edilmesi için üretilen harç numunelerinin ilgili kür yaşlarına bağlı olarak basınç dayanımı değerleriyle birlikte kullanılma veya kullanılmama senaryolarına üç farklı tahmin yöntemi uygulanmış ve bu tahmin yöntemleri arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu amaç doğrultusunda, farklı tür (uçucu kül ve nano kalsit) ve oranda mineral katkı içeren 12 farklı harç karışımı üretilmiş ve bu numunelerin 1, 3, 7, 28 ve 90 günlük kür yaşlarında elde edilen basınç dayanımı değerlerine göre UPV tahminleri ELM, SVM ve GMDH regresyon modelleriyle tespit edilmiştir. Çimento, uçucu kül, nano kalsit kullanım oranı ve numune kür yaşı olmak üzere dört girdi parametresi ile iki çıktı parametresi olan basınç dayanımı ve UPV sonuçları regresyon modellerinde kullanıldı. Karışımlara ve kür yaşlarına bağlı olarak elde edilen basınç dayanımı ve UPV sonuçları elde edilmiştir.

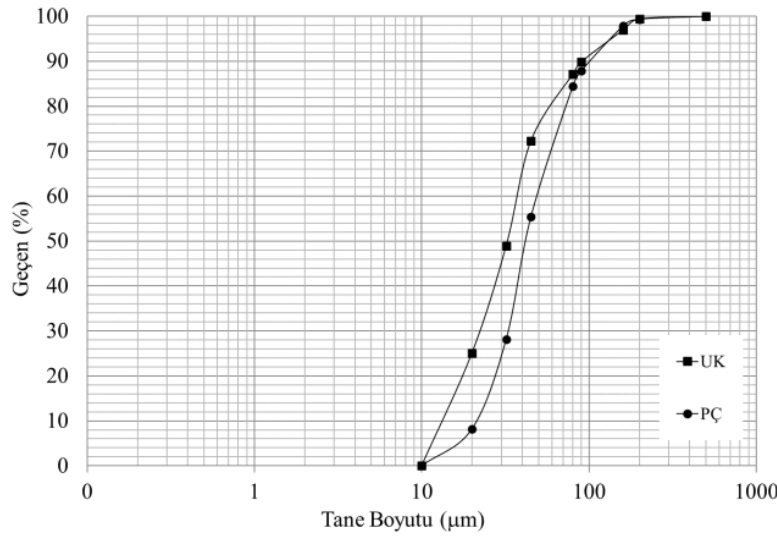
2. Materyal ve metot

2. Material and method

2.1. Materyal

2.1. Materials

Çimento harçlarının üretiminde bağlayıcı malzeme olarak TS EN 197-1 (2012) minimum standart şartlarını sağlayan Normal Portland Çimentosu (PÇ) (CEM I 42,5 N) ve CaO oranı %1.95 olan F tipi Uçucu kül (UK) kullanılmıştır. Minör ilave bileşen olarak nano boyutlu kalsit (NK) kullanılırken, en büyük tane boyutu 2 mm olan standart CEN referans kumu kullanılmıştır. UK ve PÇ'nin tane boyutu dağılımı Şekil 1'de gösterilmiş, aynı zamanda tüm bağlayıcı malzemelerin (PÇ, UK ve NK) fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 1'de detaylı bir şekilde sunulmuştur. Ayrıca, bağlayıcı malzemelerin taramalı elektron mikroskopu (SEM) görüntüleri ve NK'nin Termogravimetrik/Diferansiyel Termal Analizleri (TGA/DTA) ve x-ray kırınımı (XRD) diyagramı sırasıyla Şekil 2 ve Şekil 3'te verilmiştir.



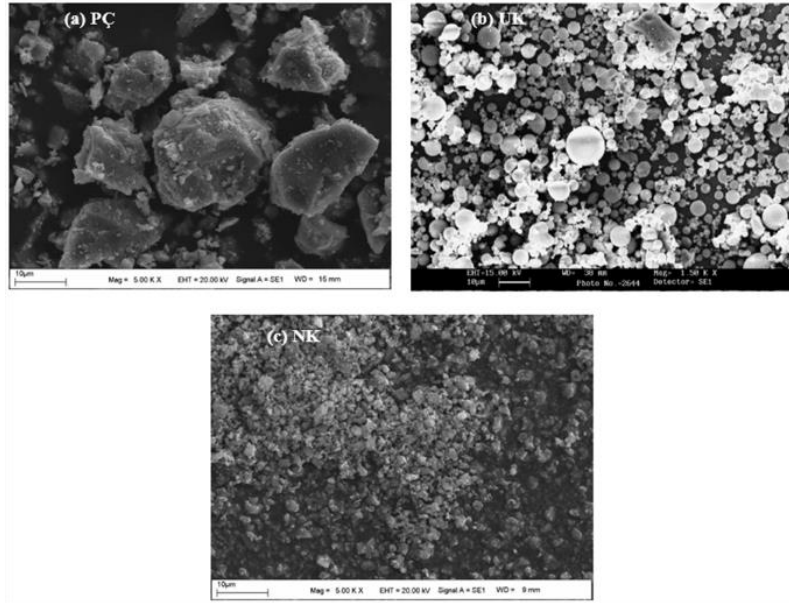
Şekil 1. PÇ ve UK tane boyutu dağılımı

Figure 1. Particle size distribution of PC and UK

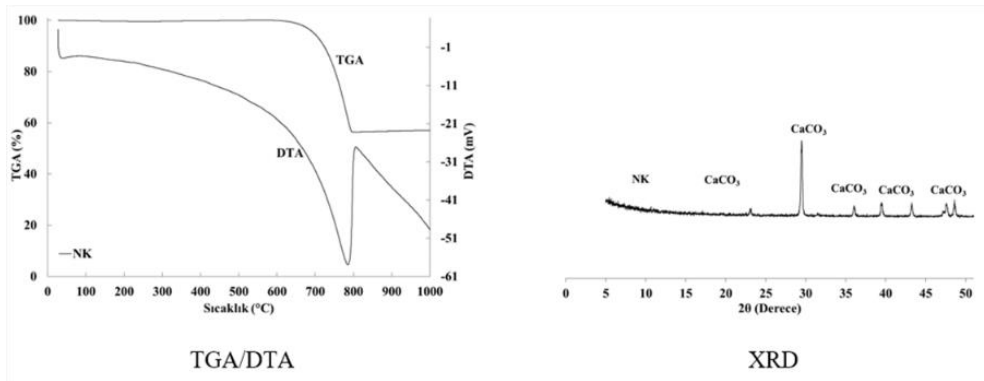
Tablo 1. Bağlayıcı malzemelerin fiziksel özellikleri ve kimyasal bileşimleri

Table 1. Physical properties and chemical compositions of cementitious materials

Kimyasal Bileşim, %	PÇ	UK	NK
SiO ₂	20.41	61.07	0.24
Al ₂ O ₃	5.34	19.99	0.21
Fe ₂ O ₃	3.10	8.94	0.04
MgO	3.48	1.48	0.55
CaO	61.36	2.95	56.14
SO ₃	2.57	0.43	0.06
Na ₂ O	0.37	0.91	-
K ₂ O	0.94	2.15	-
Kızdırma Kaybı	2.46	2.08	42.76
Fiziksel Özellikleri			
Özgül ağırlık, gr/cm ³	3.24	2.38	2.69
Blaine, cm ² /gr	3092	3560	-
BET yüzey alanı, m ² /kg	-	-	7.4



Şekil 2. Bağlayıcı malzeme SEM görüntüleri
Figure 2. SEM images of cementitious material



Şekil 3. NK için TGA/TDA eğrisi ve XRD diyagramı
Figure 3. TGA/TDA curve and XRD diagram of NK

2.2. Metod

2.2. Method

Karışım oranları TS EN 197-1'e göre belirlenmiş ve basınç dayanımı testi ile UPV değerlerinin ölçümü ise sırasıyla TS EN 196-1 (2002) ve TS EN 12504-4 (2012) standartlarında belirtilen şekilde yapılmıştır. Tasarlanan 12 karışımda standarda uygun olarak su/bağlayıcı oranı 0,5 olarak sabit tutulmuş, UK/PÇ oranı ve NK ikame oranı sırasıyla %0.0, %0.25, %0.54, %1.0 ve %0.0, %2.5 ve %5.0 olarak belirlenmiştir. Deneysel verilerin elde edilmesi için tasarlanmış olan karışımların bileşen oranları Tablo 2'de sunulmuş olup, her bir karışım farklı değişkenlere göre tasarlandığı için tüm karışımlar farklı sayı ve harflerden oluşan bir kodlama ile ifade edilmiştir. Örneğin; NK_2.5_UK/PÇ_1.0 karışımında, NK_2.5 ile toplam bağlayıcı oranının %2.5'i kadar NK kullanılırken, UK/PÇ_1.0 ise UK/PÇ oranının 1.0 olduğunu ifade etmektedir.

Basınç dayanımı ve UPV sonuçlarının değerlendirilmesi için kullanılan ELM, SVM ve GMDH regresyon yöntemlerinden elde edilen tahmin sonuçları kıyas edilerek karşılaştırılmıştır. Farklı kür yaşları için elde edilen hem basınç hem de UPV analiz sonuçları arasındaki ilişki regresyon yöntemleriyle tespit edilmiştir. Deneysel sonuçlardan elde edilen veri setindeki verilerin %70'i eğitim için kullanılırken %30'u ise test için değerlendirilmiştir.

ELM regresyon metodunun uygulanmasında en yüksek başarı performansının elde edilmesi için her farklı uygulamada aktivasyon fonksiyonları (AF) ve gizli nöron sayısı (GNS) belirlenir. Bu amaçla, ELM metodunun kullanıldığı farklı deneylere bağlı olarak en iyi sonucu veren değişkenler Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 2. Karışım oranları
Table 2. Mixture proportions

Karışım #	Karışım ID	PÇ	UK/PÇ	Su/Bağlayıcı	Kum	NK/Bağlayıcı, %	Blaine, cm ² /gr	Özgül ağırlık, gr/cm ³
1	NK_0.0_UK/PÇ_0.0	1	0	0.5	3	0	3092	1.03
2	NK_2.5_UK/PÇ_0.0	1	0	0.5	3	2.5	3821	3.22
3	NK_5.0_UK/PÇ_0.0	1	0	0.5	3	5	4283	3.18
4	NK_0.0_UK/PÇ_0.25	1	0.25	0.5	3	0	3567	3.08
5	NK_2.5_UK/PÇ_0.25	1	0.25	0.5	3	2.5	3958	3.06
6	NK_5.0_UK/PÇ_0.25	1	0.25	0.5	3	5	4786	3.07
7	NK_0.0_UK/PÇ_0.54	1	0.54	0.5	3	0	3960	2.95
8	NK_2.5_UK/PÇ_0.54	1	0.54	0.5	3	2.5	4396	2.92
9	NK_5.0_UK/PÇ_0.54	1	0.54	0.5	3	5	4982	2.91
10	NK_0.0_UK/PÇ_1.0	1	1	0.5	3	0	4217	2.88
11	NK_2.5_UK/PÇ_1.0	1	1	0.5	3	2.5	4720	2.84
12	NK_5.0_UK/PÇ_1.0	1	1	0.5	3	5	5069	2.83

Tablo 3: ELM sınıflandırma yönteminde basınç dayanımı tahmini uygulamaları için en iyi sonuçları veren AF ve GNS parametreleri

Table 3: AF and GNS parameters giving the best results for compressive strength estimation application in ELM classification method

Metotlar	AF ve GNS parametreleri
Basınç dayanımı test verileri dikkate alınmadan UPV tahmini (Yöntem 1)	AF='sin' and GNS=18
Basınç dayanımı test verileri dikkate alınarak UPV tahmini (Yöntem 2)	AF='radbas' and GNS=20

SVM sınıflandırma yöntemi basınç dayanımı tahmin uygulamasında en iyi sonuçları veren çekirdek fonksiyonu kübik çekirdek olarak belirtilmiştir. Öte yandan, GMDH sınıflandırma yönteminde ise MaxLayerNeurons: 15, MaxLayers:4, alpha:0.6 ve pTrain:0.85 olarak tanımlanmıştır.

ELM, temelde gizli katmana sahip bir YSA olduğundan dolayı ELM, yapay sinir ağlarıyla belirli ölçülerde benzer çalışma prensiplerine sahiptir. Ancak ELM'de gizli katmanda rastgele bir ağırlık ataması vardır ve eğitimin sonraki adımlarında değerler değişmez. Bu bağlamda, gizli ve çıktı katmanları arasındaki ağırlıklar, matematiksel bir model kullanılarak sistematik ve pratik bir yaklaşımla belirlenmektedir (Tang vd., 2015).

Gizli katmanında \tilde{N} nöronlu standart ileri beslemeli YSA ve aktivasyon fonksiyonu denklem (1)'deki gibidir.

$$Y_p = \sum_{i=1}^{\tilde{N}} \beta_i g(w_i x_i + b_{ij}) = o_j, j = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

Bu modelde, β_i ; çıkış ağırlığını, w_i ise giriş ağırlık matrisini ifade ederken, ayrıca b_i ise i nöronundaki eşik değerini simgeler. (Ding vd., 2015).

Hiper düzlemler oluşturarak sınıflandırma işlemlerini gerçekleştiren Destek Vektör Makinesi, SVM, birincil sınıflandırma yöntemi olup, çok boyutlu bir uzayda farklı sınıfları ayıran yöntemidir. Regresyon ve sınıflandırma işlemlerini destekleyen SVM, sürekli ve kategorik olan değişkenleri işleyebilir. (Rodríguez-Pérez vd., 2017). SVM yöntemi, sınıflandırma ve regresyon görevlerini gerçekleştirmek için doğrusal olmayan karar sınırları oluşturabilir. Bu esneklik, öznelik uzayının özelliklerinden kaynaklanır ve SVM'in geniş bir uygulama alanına sahip olmasına olanak tanır. SVM yöntemi, istatistiksel öğrenme teorisine ve ayrıca yapısal risk azaltımına bağlıdır. SVM yönteminde parametreler net değildir. Giriş ve çıkış değerlerinin dağılımı hakkında önceden bilgi mevcut değildir. Eğitim veri setlerinde, giriş ve çıkış değerleri birbirleriyle ilişkilendirilir. Bu ilişkilendirmeler kullanılarak yeni veri setlerini sınıflandırmak için karar fonksiyonları oluşturulur.

SVM ile bulunan düzlem denklemi; denklem (2) ile ifade edilir (Fung & Mangasarian, 2005).

$$f(x) = (w, x) + b \quad (2)$$

Burada w ağırlık vektörü ve b skaler bir sabittir. n boyutlu x vektörleri eğitim verilerini temsil edilir. w ile x vektörlerinin iç çarpımı alınarak b skaleri eklenir ve bu işlem sonucunda fonksiyonun değeri elde edilir. Eğitim verilerinin her biri, bir n -boyutlu vektörle ifade edilir. Veri kümesini oluşturan m sayısı, $y \in \{+1, -1\}$ kümesindeki öğelerden birine etiketlenir. SVM modeli, sınıf örneklerinin uzaydaki nokta temsili olarak kullandığı bir modele sahiptir (Ling vd., 2019).

1, 3, 7, 28 ve 90 günlük kür yaşları dikkate alınarak basınç dayanımı testi ve UPV analizi ile elde edilen çimento harcı verileri on iki farklı karışımdan elde edilmiş olup, karışım oranları Tablo 4'te verilmiştir. Regresyon modelleri için çimento, uçucu kül, nano kalsit kullanım oranı ve numune kür süresi dört giriş değişkeni ve basınç dayanımı ve UPV sonuçları ise iki çıkış değişkeni olarak kullanılmıştır. Karışımlara ve kür yaşlarına bağlı olarak elde edilen basınç dayanımı ve UPV sonuçları Tablo 4'te verilmiştir.

Regresyonda, sistemin çıktısı rastgele bir değişkendir (Sun vd., 2019). Bu rastgele değişken, gerçek değerler kümesinden değerler alır ve kararlı bir fonksiyon toplamı olarak yorumlanabilir.

$$y = g(x) + \varepsilon \quad (3)$$

Kararlı fonksiyon $g(x)$, çıkış koşullu olasılığının ortalamasıdır.

$$g(x) = \int y p(y|x) d_y \quad (4)$$

Regresyonda kayıp fonksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$L(y, f(x, w)) = (y - f(x, w))^2 \quad (5)$$

Tablo 4. Basınç dayanımı ve UPV test sonuçları
Table 4. Compressive strength and UPV test results

Karışım ID	Kür Yaşı (Gün)	Basınç Dayanımı, MPa	UPV, km/sn.	Karışım ID	Kür Yaşı (Gün)	Basınç Dayanımı, MPa	UPV, km/sn.	Karışım ID	Kür Yaşı (Gün)	Basınç Dayanımı, MPa	UPV, km/sn.
NK_0.0_UK/PÇ_0.0	1	11.50	3.39	NK_5.0_UK/PÇ_0.54	3	21.5	3.83	NK_2.5_UK/PÇ_0.25	28	46.10	4.22
NK_2.5_UK/PÇ_0.0	1	13.40	3.49	NK_0.0_UK/PÇ_1.0	3	9.2	3.4	NK_5.0_UK/PÇ_0.25	28	46.20	4.27
NK_5.0_UK/PÇ_0.0	1	12.45	3.43	NK_2.5_UK/PÇ_1.0	3	13.7	3.61	NK_0.0_UK/PÇ_0.54	28	37.50	4.08
NK_0.0_UK/PÇ_0.25	1	7.10	3.02	NK_5.0_UK/PÇ_1.0	3	13.4	3.64	NK_2.5_UK/PÇ_0.54	28	43.80	4.21
NK_2.5_UK/PÇ_0.25	1	11.50	3.18	NK_0.0_UK/PÇ_0.0	7	33.8	4.1	NK_5.0_UK/PÇ_0.54	28	46.10	4.31
NK_5.0_UK/PÇ_0.25	1	10.90	3.30	NK_2.5_UK/PÇ_0.0	7	37.3	4.2	NK_0.0_UK/PÇ_1.0	28	30.70	4.02
NK_0.0_UK/PÇ_0.54	1	5.10	2.83	NK_5.0_UK/PÇ_0.0	7	37.7	4.11	NK_2.5_UK/PÇ_1.0	28	37.60	4.22
NK_2.5_UK/PÇ_0.54	1	7.30	3.01	NK_0.0_UK/PÇ_0.25	7	28.3	3.98	NK_5.0_UK/PÇ_1.0	28	35.70	4.20
NK_5.0_UK/PÇ_0.54	1	8.20	3.16	NK_2.5_UK/PÇ_0.25	7	35.6	4.17	NK_0.0_UK/PÇ_0.0	90	43.20	4.30
NK_0.0_UK/PÇ_1.0	1	3.00	2.66	NK_5.0_UK/PÇ_0.25	7	34.2	4.22	NK_2.5_UK/PÇ_0.0	90	46.00	4.37
NK_2.5_UK/PÇ_1.0	1	5.10	2.78	NK_0.0_UK/PÇ_0.54	7	21.1	3.84	NK_5.0_UK/PÇ_0.0	90	44.90	4.31
NK_5.0_UK/PÇ_1.0	1	4.90	2.88	NK_2.5_UK/PÇ_0.54	7	26.5	3.95	NK_0.0_UK/PÇ_0.25	90	47.60	4.29
NK_0.0_UK/PÇ_0.0	3	25.30	3.94	NK_5.0_UK/PÇ_0.54	7	27.7	4.01	NK_2.5_UK/PÇ_0.25	90	52.80	4.41
NK_2.5_UK/PÇ_0.0	3	29.70	4.13	NK_0.0_UK/PÇ_1.0	7	13.1	3.7	NK_5.0_UK/PÇ_0.25	90	52.60	4.45
NK_5.0_UK/PÇ_0.0	3	29.20	4.09	NK_2.5_UK/PÇ_1.0	7	20.2	3.86	NK_0.0_UK/PÇ_0.54	90	45.10	4.24
NK_0.0_UK/PÇ_0.25	3	19.20	3.80	NK_5.0_UK/PÇ_1.0	7	18.8	3.85	NK_2.5_UK/PÇ_0.54	90	50.00	4.31
NK_2.5_UK/PÇ_0.25	3	25.60	3.97	NK_0.0_UK/PÇ_0.0	28	42.7	4.19	NK_5.0_UK/PÇ_0.54	90	53.70	4.34
NK_5.0_UK/PÇ_0.25	3	26.30	4.06	NK_2.5_UK/PÇ_0.0	28	43.3	4.26	NK_0.0_UK/PÇ_1.0	90	38.10	4.22
NK_0.0_UK/PÇ_0.54	3	14.70	3.67	NK_5.0_UK/PÇ_0.0	28	43.4	4.2	NK_2.5_UK/PÇ_1.0	90	45.90	4.32
NK_2.5_UK/PÇ_0.54	3	19.00	3.75	NK_0.0_UK/PÇ_0.25	28	43.2	4.1	NK_5.0_UK/PÇ_1.0	90	43.90	4.31

Bu bağlamda, öğrenme süreci, risk fonksiyonunu minimize eden $f(x, w_0)$ formülünü bulmayı içerir. Regresyon için risk, gürültü varyansı ve doğruluk yaklaşımının bir kombinasyonunu ifade eder. En düşük riskli tahmin, yani en kesin $g(x)$ fonksiyonunu bulmakla eşdeğerdir.

Grup Veri İşleme Yöntemi, GMDH, karmaşık sistemleri modellemek ve karakterize etmek için iki veya daha fazla değişken niceliği analiz etmek için geliştirilmiştir (Live vd., 2020). GMDH ağları, ileri beslemeli ve kendi kendini düzenleyen ağlardır. GMDH, bu transfer fonksiyonunun katsayılarının regresyon bazlı bir yöntemle elde edildiği, ikinci dereceden ve üç kuadratik polinom transfer fonksiyonlarına bağlı bir ileri beslemeli ağda analitik olarak oluşturulmuş bir fonksiyon üretir. Bu ağın en önemli özelliklerinden biri kendi kendini organize eden aktif nörondan oluşmasıdır. GMDH, veri madenciliği, tahmin, karmaşık sistem modelleme, optimizasyon ve örüntü tanıma gibi farklı alanlarda kullanılan bir yöntem olup, bu teknik, doğrusal olmayan karmaşık sistemlerin tanımlanmasında kullanılan yaygın yöntemlerden biridir. GMDH, karmaşık sistemler için yüksek dereceli regresyon türü modeller oluşturmaktadır.

GMDH'nin ilk katmanı olan giriş katmanında girdi değişkenleri kullanılarak regresyon denklemleri oluşturulmuştur. Bir sonraki katmanda, girdi değişkenleri bir önceki katmanın regresyon denklemleri kullanılarak oluşturulur. Görüldüğü gibi, mevcut katmandaki regresyon denklemlerinin çıktıları bir sonraki katmana yeni girdiler oluşturur. Bu nedenle çıktı katmanı, ardışık bağımlılıkları ile tüm katmanlardan seçilen regresyon denklemlerinden oluşur ve her katmandaki hata değerinin bir önceki katmandaki hata değerinden daha az olması beklenir. GMDH modellerinin ürettiği tekrarlanabilir ve evrimsel algoritmalar, daha önce kullanılmış modellere ve geleneksel denklemlere kıyasla daha kesin tahminler sunar.

Çok girişli ve tek çıkışlı veriler arasındaki ilişki göz önüne alındığında, denklem aşağıdaki gibi yazılabilir (M adet gözlem için).

$$y_i = f(x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \dots, x_{in}) \quad (i = 1, 2, \dots, M) \quad (6)$$

Bu doğrultuda, girdi vektörü olan $X = (x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \dots, x_{in})$ için \hat{y}_i çıktılarının tahmin edilmesi aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$\hat{y}_i = \hat{f}(x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \dots, x_{in}) \quad (i = 1, 2, \dots, M) \quad (7)$$

Gerçek ve tahmin edilen çıktı değerleri arasındaki farkın karesinin mümkün olabilecek en düşük seviyeye indirilmesi, GMDH sinir ağının temel sonuçlarından biridir.

$$\sum_{i=1}^M [\hat{f}(x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \dots, x_{in}) - y_i]^2 \quad (8)$$

GMDH sinir ağlarında, Kolmogorov-Gabor polinomu genellikle girdi değişkenleri ile çıktı değişkenleri arasında genel fonksiyonel ilişkiler kurmak için referans olarak alınır (Madandoust vd., 2010).

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^m a_i x_i + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m a_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^m a_{ijk} x_i x_j x_k + \dots \quad (9)$$

Bu çalışmada R^2 ve Minimum Square Error (MSE) regresyon metrikleri kullanılmıştır. R^2 , modelin doğruluk derecesini ölçen bir karar katsayısıdır. Ek olarak, regresyon çizgisinin genel değişimi gerçek verilere göre yansıtmaktadır. Belirlenen bu katsayının yüksek olarak elde edilmesi, tahmin oranının yüksek olduğunu göstermekte olup, R^2 için en temel tanım formülü aşağıda verilen şekliyledir (Sharma & Chandra, 2020):

$$R^2 = 1 - \frac{SS_{error}}{SS_{total}} \quad (10)$$

Analizde R^2 değeri bulunur ve bulunan değer 0 - 1 aralığında olmalıdır. MSE, bir regresyon eğrisinin bir dizi noktaya ne kadar yakın olduğunu belirler. MSE, tahmin edici olan bir makine öğrenimi modelinin verimini ve verimliliğini değerlendirir. Her zaman pozitif değerlidir ve MSE değeri sıfıra yakın olan tahmin edicilerin daha iyi performans gösterdiği söylenebilir. MSE formülü aşağıdaki gibidir (Hosseinpour vd., 2018):

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n e_j^2 \quad (11)$$

3. Bulgular ve tartışma

3. Results and discussion

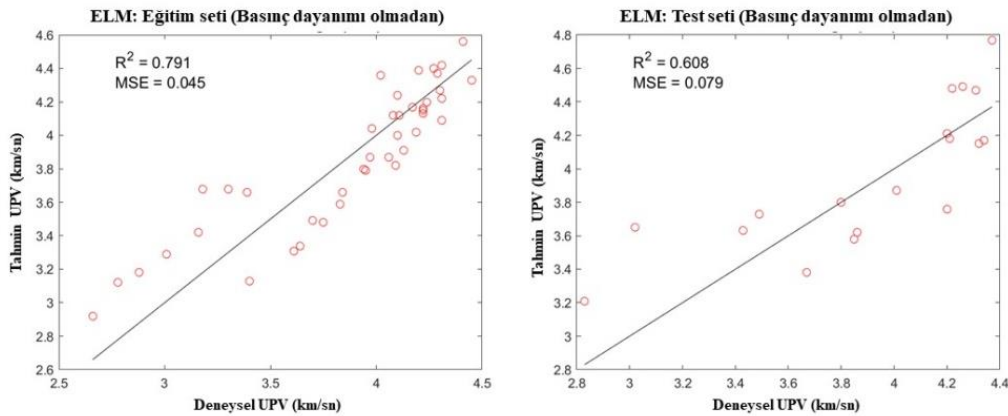
Mevcut çalışmada; 1, 3, 7, 28 ve 90 günlük kür yaşları için üretilen harç numunelerinin hem basınç hem de UPV sonuçları değerlendirilmiş olup, 60 basınç dayanımı ve 60 UPV sonucu ile toplamda 120 veri ile çalışma yapılmıştır. Veri seti kısıtlı olmasına rağmen üretilen numunelerin hem küçük hem de harç numunesi olması ve beton numunelerine kıyasen daha homojen bir mikroyapıya sahip olarak üretilebildiği için veri seti az olmasına rağmen başarı oranları yüksek çıkmıştır.

Çalışma kapsamında hedeflenen sonuçların elde edilmesi amacıyla, R^2 ve MSE parametreleri deneysel ve tahmin edilen sonuçları karşılaştırmak ve performanslarını belirlemek için kullanılmıştır. Her bir regresyon yöntemi için iki farklı yöntem uygulanmıştır. Bunlar; Yöntem 1: Basınç dayanımı test sonuçlarını içermeyen UPV değerlerinin tahmini ve Yöntem 2: Basınç dayanımı sonuçlarını içeren UPV değerlerinin tahminidir. Her regresyon modelinin sonuçları ayrıntılı olarak farklı biçimlerde sunulmuştur (Şekil 4-9).

R^2 , verilerin ideal regresyon çizgisine ne kadar uygun olduğunu istatistiksel olarak değerlendiren bir ölçüdür. Bu nedenle tahmin modellerinin performansının değerlendirilmesi ve ideal modelin atanması için her modelin R^2 yani belirleme katsayısı diğer modellerle karşılaştırılır.

Bütün tabloların gösterdiği gibi, seçilen modeller ve yöntemler, R^2 değerleri bağlamında başarılı sonuçlar elde etmektedir. Ayrıca, uygulanan yöntemlere göre tüm modellerin tahmin sonuçları ile sıkı bir tutarlılığın olduğu ve korelasyon katsayısı değerlerinin 0.608 ile 0.989 arasında değiştiği Tablolardan açıkça ortaya konmuştur. Sonuçların literatürle uyumlu olduğu görülmüştür (Nash't vd., 2005). Ek olarak, basınç dayanımının UPV tahmininde dikkate alındığı Yöntem 2 için UPV tahmini daha üstün bir sonuç göstermiştir. Bunun temel nedeni, UPV değeri ve basınç dayanımını sonuçlarının çimento esaslı malzemelerin mikro yapısal karakteristiği yansıtan sonuçlar olmalarındandır. Bu nedenle, bu değerler arasındaki korelasyon sinerjisi, modellerin tahminlerinin doğruluğunu artırıcı bir etki yapmaktadır.

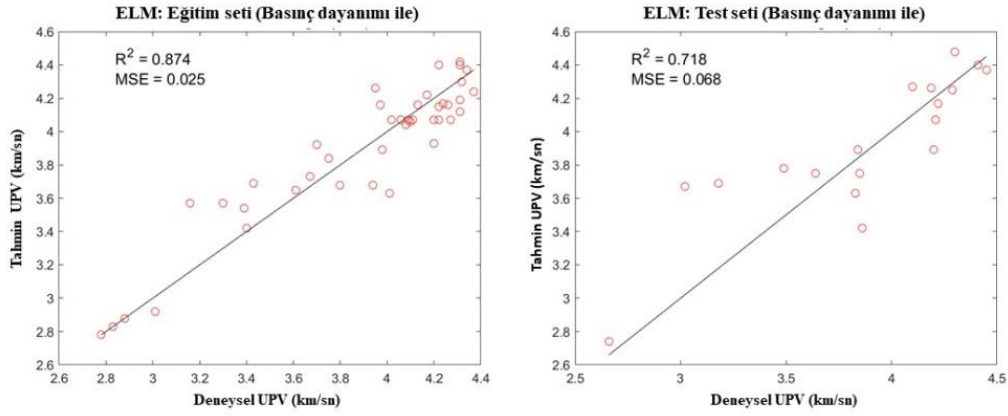
ELM modeli ile basınç dayanımı verileri kullanılmadan elde edilen UPV tahminleri Şekil 4'te verilmiştir. Bu regresyon modeli kullanılarak birinci yöntem için eğitim ölçütleri sırasıyla R^2 değeri 0.791 ve MSE değeri ise 0.045 olarak elde edilirken test performans ölçütleri için ise R^2 değeri 0.608 ve MSE değeri ise 0.079 olarak elde edildi.



Şekil 4. ELM yöntemi ile basınç dayanımı (MPa) değerleri dikkate alınmadan elde edilen deneysel ve tahmin edilen UPV (km/sn.) değerleri

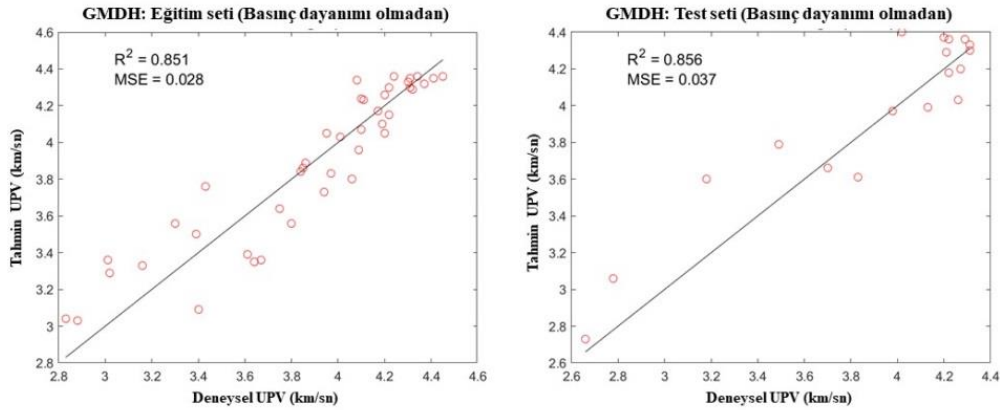
Figure 4. Experimental and estimated UPV (km/s) values obtained by ELM method without considering compressive strength (MPa) values

ELM modeli kullanılarak basınç dayanımı verilerinin değerlendirmeye alınarak hesaplanan UPV tahminleri, Şekil 5'te sunulmuştur. Bu regresyon modeli kullanılarak ikinci yöntem için eğitim ölçütleri için R^2 değeri 0.874 ve MSE değeri ise 0.025 olarak gözlemlenirken, test performans ölçütleri için ise R^2 değeri 0.718 ve MSE değeri 0.068 olarak gözlemlendi.



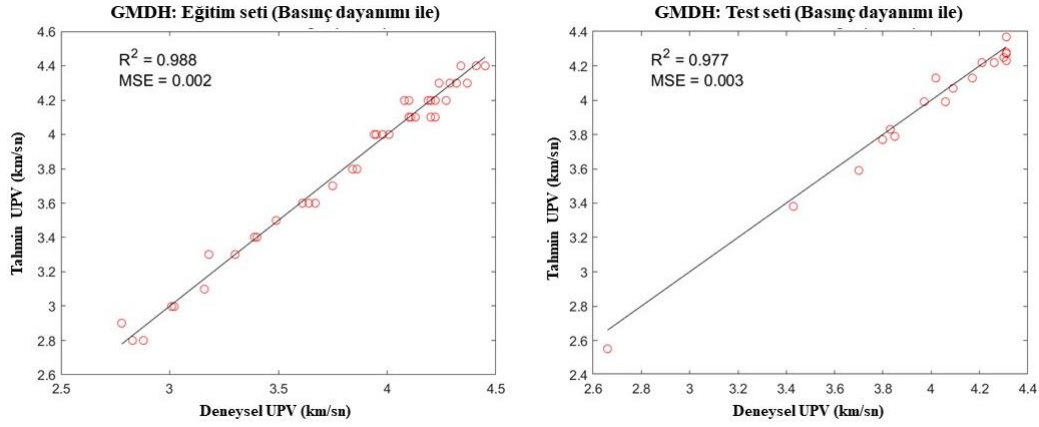
Şekil 5. ELM yöntemi ile basınç dayanımı (MPa) değerleri dikkate alınarak elde edilen deneysel ve tahmin edilen UPV (km/sn.) değerleri
Figure 5. Experimental and estimated UPV (km/s) values obtained by ELM method with considering compressive strength (MPa) values

Basınç dayanımı test sonuçlarının tahmin için değerlendirmeye katılmadan GMDH modeli kullanılarak elde edilen UPV değeri tahmin sonuçları Şekil 6'da verilmiş olup, bu regresyon metodunun kullanılmasıyla uygulanan birinci yöntem için eğitim ve test başarı kriterleri sırasıyla; $R^2 = 0.851$, $MSE = 0.028$ ve $R^2 = 0.856$, $MSE = 0.037$ olarak tespit edilmiştir.



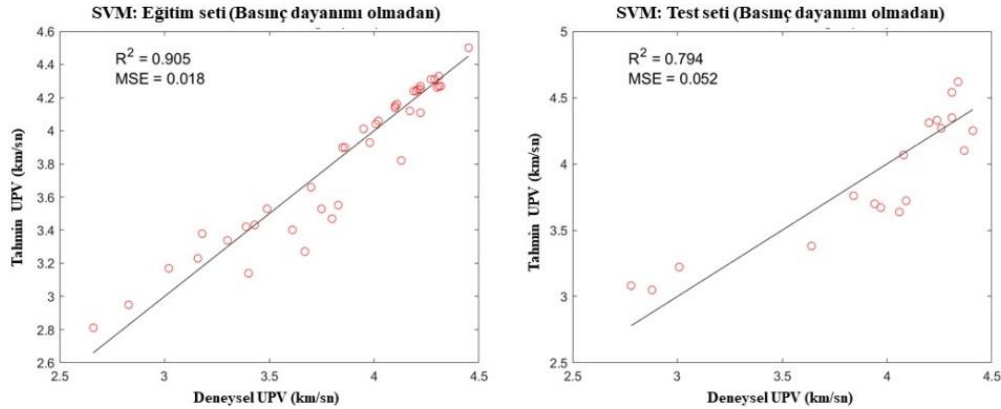
Şekil 6. GMDH yöntemi ile basınç dayanımı (MPa) değerleri dikkate alınmadan elde edilen deneysel ve tahmin edilen UPV (km/sn) değerleri
Figure 6. Experimental and estimated UPV (km/s) values obtained by GMDH method without considering compressive strength (MPa) values

Basınç dayanımı verileri kullanılmadan GMDH modeli ile elde edilen UPV tahminleri Şekil 7'de verilmiştir. Bu regresyon modeli kullanılarak ikinci yöntem için eğitim başarı kriterleri için R^2 değerleri 0.988 ve MSE değerleri 0.002 olarak kaydedilirken, test başarı kriterleri için ise R^2 değerleri 0.977 ve MSE değerleri 0.003 olarak belirlenmiştir.



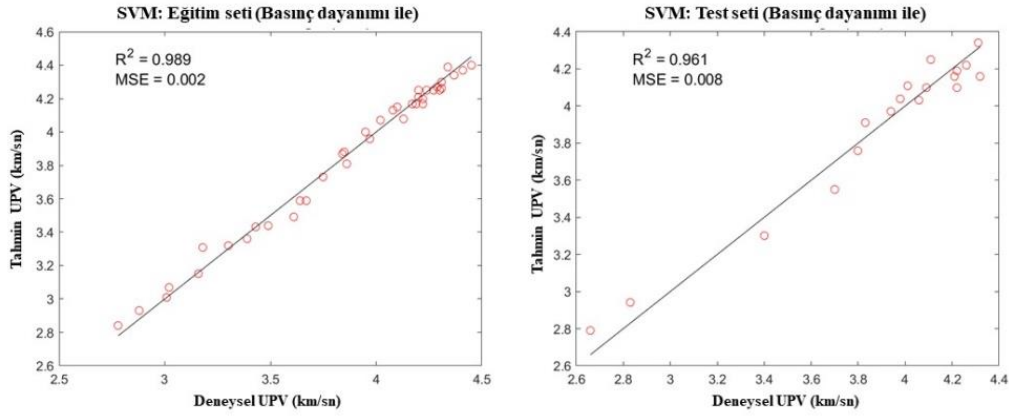
Şekil 7. GMDH yöntemi ile basınç dayanımı (MPa) değerleri dikkate alınarak elde edilen deneysel ve tahmin edilen UPV (km/sn) değerleri
Figure 7. Experimental and estimated UPV (km/s) values obtained by ELM method with considering compressive strength (MPa) values

Basınç dayanımı test sonuçlarının tahmin için değerlendirmeye katılmadan SVM modeli kullanılarak elde edilen UPV değeri tahmin sonuçları Şekil 8'de verilmiş olup, bu regresyon metodunun kullanılmasıyla uygulanan *birinci yöntem* için eğitim ve test başarı kriterleri sırasıyla; $R^2 = 0.905$, $MSE = 0.018$ ve $R^2 = 0.794$, $MSE = 0.052$ olarak tespit edilmiştir.



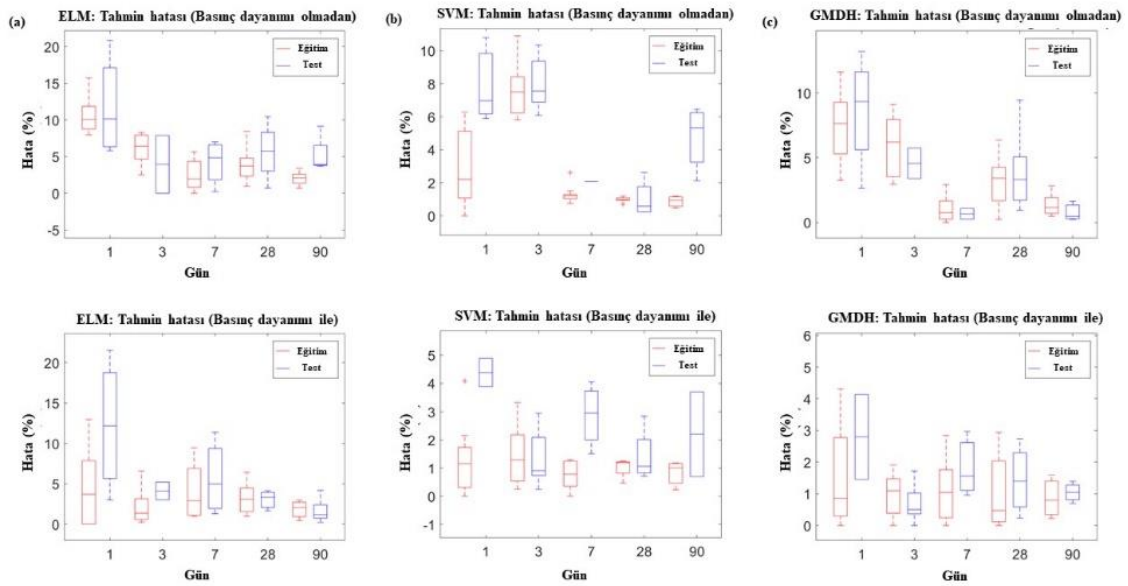
Şekil 8. SVM yöntemi ile basınç dayanımı (MPa) değerleri dikkate alınmadan elde edilen deneysel ve tahmin edilen UPV (km/sn) değerleri
Figure 8. Experimental and estimated UPV (km/s) values obtained by SVM method without considering compressive strength (MPa) values

Basınç dayanımı test sonuçlarının tahmin için değerlendirmeye katılmadan SVM modeli kullanılarak elde edilen UPV değeri tahmin sonuçları Şekil 9'da verilmiş olup, bu regresyon metodunun kullanılmasıyla uygulanan *ikinci yöntem* için eğitim ve test başarı kriterleri sırasıyla; $R^2 = 0.989$, $MSE = 0.002$ ve $R^2 = 0.961$, $MSE = 0.008$ olarak tespit edilmiştir.



Şekil 9. SVM yöntemi ile basınç dayanımı (MPa) değerleri dikkate alınarak elde edilen deneysel ve tahmin edilen UPV (km/sn) değerleri
Figure 9. Experimental and estimated UPV (km/s) values obtained by SVM method with considering compressive strength (MPa) values

ELM, SVM ve GMDH yöntemleriyle elde edilen tahminlerin hata çubukları (% olarak) kür yaşına göre belirlenmiş olup, birinci ve ikinci yöntemler için sırasıyla Şekil 10-a, Şekil 10-b ve Şekil 10-c'de verilmiştir. Hata oranları belirlenirken mutlak yüzde hatası yöntemi kullanılmıştır ($e_j = |a_j - p_j|$, a_j : gerçek değerler, p_j : tahmin edilen değerler).



Şekil 10. Kür yaşına (gün) göre tahmin hatası (%) çubukları
Figure 10. Prediction error bars (%) by cure ages (days).

Şekil 10'da verilen hata çubuklarında ve Tablo 5'te sunulan ayrıntılı istatistiklerde (min, max ve medyan) görüldüğü üzere, birinci ve ikinci yöntemlerde, kür yaşı artışıyla birlikte hata yüzdesinin azaldığı tespit edilmiştir. Mikroyapısal gelişimin erken dönemi olduğundan dolayı en yüksek tahmin hata yüzdesinin genellikle 1 günlük kür yaşlarında elde edildiği tespit edilmiş olup, buna dair istatistik veriler Tablo 5'te verilmiştir. Öte yandan, mikroyapısal gelişimin büyük bir çoğunluğu tamamlandığı için en düşük tahmin hatası yüzdeleri 90 günlük kür yaşı için elde edilmiştir.

Bu sonuçlar, hem (i) çimento hidratasyonları hem de (ii) puzolanik reaksiyonların, Kür yaşına bağlı olarak halen devam eden ve/veya mikroyapısal gelişime katkısı daha yüksek olan nano boyutlu malzemelerin

(Demirhan, 2020; Çiftçi & Demirhan, 2021), özellikle erken yaşlarda kullanılmasının yanı sıra, Buradaki istisnaların rastgele seçilen tarih ve test veri setlerinin dağılımından kaynaklandığı söylenebilir.

Bu çalışmada kullanılan regresyon modellerinin başarı performansları, birinci ve ikinci yöntemler için Tablo 5'te verilmiş olup, tabloya verilen bilgilere göre hem birinci hem de ikinci yöntemler için en başarı ornlarnının elde edildiği model GMDH regresyon modelidir. R^2 ve MSE için değerler sırasıyla 0.859/0.037 ve 0.977/0.003 olarak tespit edilmiştir.

Tablo 5. Tüm uygulamaların tahmin performansı (Metotlar)
Table 5. Prediction performance of all applications (Methods)

Metot	Sınıflandırma Metotları	Eğitim		Test	
		R^2	MSE	R^2	MSE
Metot 1	ELM	0.791	0.045	0.608	0.079
	SVM	0.905	0.018	0.794	0.052
	GMDH	0.851	0.028	0.856	0.037
Metot 2	ELM	0.874	0.025	0.718	0.068
	SVM	0.989	0.002	0.961	0.008
	GMDH	0.988	0.002	0.977	0.003

Çimento esaslı malzemelerin basınç dayanımı tahmini ile ilgili yapılan çalışmalar, yöntemleri ve başarı performansları Tablo 6'da listelenmiştir. Çimento esaslı malzemelerin basınç dayanımını tahmin etmek için bir yapay sinir ağı (YSA) modeli önerenlerden biri de Kostić ve Vasović (2015)'tir. Çalışmalarının YSA modelinde eğitim veri seti için R^2 ve standart hata değerleri sırasıyla 0.948 ve 1.581, test veri seti için 0.951 ve 2.028 olarak bulunmuştur. Yaprak vd. (2013) tarafından önerilen Yapay Sinir Ağı modelinde, eğitim veri seti için R^2 ve MSE değerleri sırasıyla 0.994 ve 1.078, test veri seti için ise 0.987 ve 2.456 olarak tespit edilmiştir. Ling vd. (2019), SVM modelinin tahmin hassasiyetini karşılaştırmak için YSA ve DT algoritmalarını kullanmışlardır. SVM, YSA, DT modelleri için R^2 'yi eğitim veri seti sırasıyla; 0.960, 0.920, 0.810 ve test veri seti için; 0.883, 0.775, 0.764 olarak buldular. Hammoudi vd. (2019), çimento esaslı malzemelerin basınç dayanımını tahmin etmek için RSM ve YSA yöntemlerini kullanmışlardır. Karşılaştırma sonuçlarına göre, YSA modeli ($R^2=0.999$), RSM'den ($R^2=0.987$) daha üstün performans sergilemiştir. Shahmansouri vd. (2021), çimento esaslı malzemelerin basınç dayanımını tahmin etmek için kullandıkları YSA modellerinde, eğitim veri seti için elde edilen R^2 değeri 0.985 ve MSE değeri 3.526 iken, test veri seti için R^2 değeri 0.961 ve MSE değeri 9.288 olarak bulunmuştur.

Mevcut çalışmada, daha önce bahsedilen çalışmaların aksine, GMDH modelinin R^2 ve MSE değerleri eğitim veri seti için sırasıyla 0.988 ve 0.002 ve test veri seti için ise 0.977 ve 0.003 olarak doğruluk ve düşük hata payı ile yüksek değerlerle verdiği görülmüştür.

Tablo 6. Çimento Esaslı Malzemelerde Basınç Dayanımı Tahmin Çalışmalarında Metotsal Karşılaştırma
Table 6. Methodical Comparison of Compressive Strength Estimation Studies in Cement-Based Materials

Ref. No.	Veri seti	Sınıflandırma Metotları	Sonuçlar
Mevcut çalışma	1, 3, 7, 28 ve 90 günlük kür yaşları için 60 harç numunesi, basınç dayanımı ve UPV.	ELM SVM GMDH	$R^2 = 0.970 - 0.994$ MSE = 1.270 - 6.359 $R^2 = 0.982 - 0.982$
Yaprak vd., (2013)	72 beton numunesi, basınç dayanımları: 3, 7, 28 ve 90 gün.	YSA-I ve YSA-II	$R^2 = 0.969 - 0.990$
Hammoudi vd., (2019)	17 farklı karışımda çimento içeriği değişik oranlarda bulunmakta olup, bu karışımlar için kür süreleri 7, 28 ve 56 gündür	RSM YSA	$R^2 = 0.987 - 0.994$ MSE = 1.078 - 2.456
Shahmansouri vd., (2021)	39 farklı karışımdan üretilmiş 117 beton numunesi, basınç dayanımları: 7, 28 ve 90 gün.	YSA	$R^2 = 0.883 - 0.960$

4. Sonuçlar

4. Conclusions

Bu mevcut bilgisayar destekli deney çalışması, çimento harcı numunelerine ait verileri temel alarak regresyon modelleri oluşturulmuştur. Farklı karışım parametrelerine bağlı olarak üretilen çimento harcı numunelerinin UPV sonuçları, basınç dayanımı değerlerini değerlendirmeye katmak veya katmamak şeklinde tahmin edilmiştir. ELM, SVM ve GMDH regresyon yöntemleri gibi makine öğrenmesi teknikleri kullanılmış ve bu yöntemlerin tahmin sonuçları karşılaştırmalı bir şekilde sunulmuştur. Tespit edilmiş olan başarı performanslarına göre, harç numunelerinin basınç dayanımı ve UPV değerlerinin deneysel sonuçları ile eğitilmiş regresyon yöntemlerinin tahminleri arasında hata oranı çok düşük elde edilirken karşılaştırmada başarı oranı ise yüksek çıkmıştır. Ayrıca, mikroyapısal gelişimin devam etmesinden dolayı hem basınç hem de UPV değerleri değişkenlik gösterdiklerinden dolayı kür yaşının tahmin hata yüzdesi üzerinde etkili bir parametre olduğu tespit edilmiştir. Tüm sınıflandırma yöntemleri için Yöntem 1 ve Yöntem 2'nin her ikisinde de, yüksek kür yaşlarının tahmin hatalarının, düşük kür yaşlarının hatalarından genellikle daha düşük olduğu ifade edilebilir. Bu sonuç, daha önce bahsedildiği gibi, karışıma bağlı olarak kullanılan çimento esaslı malzemeye bağlı hidrasyon mekanizmasına dayandırılabilir.

Kullanılan regresyon modellerinin, çimento harçlarının UPV değerlerini tahmin etmede güvenilir yöntemler olduğu ortaya çıkmıştır. Hem Yöntem 1'de hem de Yöntem 2'de GMDH modeli ile en iyi test performansları (yani R^2/MSE için) elde edilmiş olup, sırasıyla 0.856/0.037 ve 0.977/0.003 olarak elde edilmiştir. Daha iyi başarı sonuçları yönteme bağlı olsa da genel olarak GMDH modelinin yüksek doğruluk ve düşük hata payı ile en iyi başarı sonuçlarını verdiği gözlemlenmiştir.

Bu araştırma kapsamında, farklı kürlenme sürelerine sahip çimento harcı numunelerine ait deneysel verileri kullanarak, çimento dayanımı ve UPV değerlerinin yüksek hassasiyet ve düşük hata payıyla tahmin edilmesi mümkün hale getirilmiştir. Bu sayede zaman, malzeme, işgücü ve maliyet unsurları en aza indirgenebilir.

Yazar katkısı

Author contribution

Araştırmacılarından Dr. Demirhan mevcut çalışmada incelenen numunelerin üretimleri ve testlerini yapmış olup, bunların dışında kalan tüm işlemlerde ise Öğr. Gör. Necim KAYA ve Arş. Gör. Dr. Selahattin AKALP ile eşit oradadırlar.

Etik beyanı

Declaration of ethical code

Bu çalışmada, “Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi” kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin “Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler” başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Çıkar çatışması beyanı

Conflicts of interest

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar

References

- Atici, U. (2011). Prediction of the strength of mineral admixture concrete using multivariable regression analysis and an artificial neural network. *Expert Systems with applications*, 38(8), 9609-9618. <https://doi.org/1016/j.eswa.2011.01.156>
- Ciftci, M., & Demirhan, S. (2021). Effect of nano type and slag replacement level on cement mortars. *Gumushane University Journal of Science Institute*, 11(2), 482-496. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.867858>

- Çalışkan, A., Demirhan, S., & Tekin, R. (2022). Comparison of different machine learning methods for estimating compressive strength of mortars. *Construction and Building Materials*, 335, 127490. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127490>
- Ding, S., Zhao, H., Zhang, Y., Xu, X., & Nie, R. (2015). Extreme learning machine: algorithm, theory and applications. *Artificial Intelligence Review*, 44(1), 103-115. <https://doi.org/10.1007/s10462-013-9405-z>
- Demirhan, S. (2020). Combined Effects of Nano-Sized Calcite and Fly Ash on Hydration and Microstructural Properties of Mortars. *Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering Sciences*, 20(6), 1051-1067. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.825862>
- Fung, G. M., & Mangasarian, O. L. (2005). Multicategory proximal support vector machine classifiers. *Machine learning*, 59(1-2), 77-97. <https://doi.org/10.1007/s10994-005-0463-6>
- Gültekin, N., & Doğan, A. (2023). Makine Öğrenimi Yöntemleriyle Bazaltlarda Tek Eksenli Sıkışma Dayanımının Değerlendirilmesi ve Performanslarının Karşılaştırılması. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 11(2), 1059-1074. <https://doi.org/10.29130/dubited.1173624>
- Gültekin, N., & Doğan, A. (2022). Kohezyonlu zeminlerde net limit basınç ve deformasyon modülünün makine öğrenimi temelli modeller kullanılarak tahmin edilmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11(4), 1025-1033. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.1155568>
- Ghosh, R., Sagar, S. P., Kumar, A., Gupta, S. K., & Kumar, S. (2018). Estimation of geopolymer concrete strength from ultrasonic pulse velocity (UPV) using high power pulser. *Journal of building engineering*, 16, 39-44. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2017.12.009>
- Hamidian, M., Shariati, A., Khanouki, M. A., Sinaei, H., Toghroli, A., & Nouri, K. (2012). Application of Schmidt rebound hammer and ultrasonic pulse velocity techniques for structural health monitoring. *Scientific Research and Essays*, 7(21), 1997-2001. <https://doi.org/10.5897/SRE11.1387>
- Hammoudi, A., Moussaceb, K., Belebchouche, C., & Dahmoune, F. (2019). Comparison of artificial neural network (YSA) and response surface methodology (RSM) prediction in compressive strength of recycled concrete aggregates. *Construction and Building Materials*, 209, 425-436. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.119>
- Hong, G., Oh, S., Choi, S., Chin, W. J., Kim, Y. J., & Song, C. (2021). Correlation between the Compressive Strength and Ultrasonic Pulse Velocity of Cement Mortars Blended with Silica Fume: An Analysis of Microstructure and Hydration Kinetics. *Materials*, 14(10), 2476. <https://doi.org/10.3390/ma14102476>
- Hosseinpour, M., Sharifi, H., & Sharifi, Y. (2018). Stepwise regression modeling for compressive strength assessment of mortar containing metakaolin. *International Journal of Modelling and Simulation*, 38(4), 207-215. <https://doi.org/10.1080/02286203.2017.1422096>
- Kostić, S., & Vasović, D. (2015). Prediction model for compressive strength of basic concrete mixture using artificial neural networks. *Neural Computing and Applications*, 26(5), 1005-1024. <https://doi.org/10.1007/s00521-014-1763-1>
- Lee, S., Nguyen, N. H., Karamanli, A., Lee, J., & Vo, T. P. (2023). Super learner machine-learning algorithms for compressive strength prediction of high performance concrete. *Structural Concrete*, 24(2), 2208-2228.
- Li, D., Tang, Z., Kang, Q., Zhang, X., & Li, Y. (2023). Machine Learning-Based Method for Predicting Compressive Strength of Concrete. *Processes*, 11(2), 390. <https://doi.org/10.3390/pr11020390>
- Ling, H., Qian, C., Kang, W., Liang, C., & Chen, H. (2019). Combination of support vector machine and K-fold cross validation to predict compressive strength of concrete in marine environment. *Construction and Building Materials*, 206, 355-363. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.02.071>
- Madandoust, R., Ghavidel, R., & Nariman-Zadeh, N. (2010). Evolutionary design of generalized GMDH-type neural network for prediction of concrete compressive strength using UPV. *Computational Materials Science*, 49(3), 556-567. <https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2010.05.050>
- Revilla-Cuesta, V., Skaf, M., Serrano-López, R., & Ortega-López, V. (2021). Models for compressive strength estimation through non-destructive testing of highly self-compacting concrete containing recycled concrete aggregate and

slag-based binder. *Construction and Building Materials*, 280, 122454. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122454>

Rodríguez-Pérez, R., Vogt, M., & Bajorath, J. (2017). Support vector machine classification and regression prioritize different structural features for binary compound activity and potency value prediction. *ACS omega*, 2(10), 6371-6379. <https://doi.org/10.1021/acsomega.7b01079>

Sajid, S. H., Ali, S. M., Saeed, S., Sajid, H. U., & Naeem, A. (2016). Non-destructive testing for in-place strength estimation of concrete masonry units. *Insight-Non-Destructive Testing and Condition Monitoring*, 58(3), 152-156. <https://doi.org/10.1784/insi.2016.58.3.152>

Shahmansouri, A. A., Yazdani, M., Ghanbari, S., Bengar, H. A., Jafari, A., & Ghatte, H. F. (2021). Artificial neural network model to predict the compressive strength of eco-friendly geopolymer concrete incorporating silica fume and natural zeolite. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123697. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123697>

Sharma, D., & Chandra, P. (2020). Linear regression with factor analysis in fault prediction of software. *Journal of Interdisciplinary Mathematics*, 23(1), 11-19. <https://doi.org/10.1080/09720502.2020.1721641>

Sun, J., Zhang, J., Gu, Y., Huang, Y., Sun, Y., & Ma, G. (2019). Prediction of permeability and unconfined compressive strength of pervious concrete using evolved support vector regression. *Construction and Building Materials*, 207, 440-449. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.02.117>

Tang, J., Deng, C., & Huang, G. B. (2015). Extreme learning machine for multilayer perceptron. *IEEE transactions on neural networks and learning systems*, 27(4), 809-821. <https://doi.org/10.1109/TNNLS.2015.2424995>

TS EN 196-1, 2002, Methods of testing cement - Part 1: Determination of strength

TS EN 197-1, 2012, Cement- Part 1: Compositions and conformity criteria for common cements

TS EN 12504-4, 2012, Testing concrete - Part 4: Determination of ultrasonic pulse velocity

Turgut, P. (2004). Research into the correlation between concrete strength and UPV values. *NDT. net*, 12(12), 1-9.

Yaprak, H., Karacı, A., & Demir, I. (2013). Prediction of the effect of varying cure conditions and w/c ratio on the compressive strength of concrete using artificial neural networks. *Neural Computing and Applications*, 22(1), 133-141. <https://doi.org/10.1007/s00521-011-0671-x>

Zengin, S., Demirhan, S., Gözkeser, M. Y., Başaran, E., & Çalışkan, A. (2023). Monitoring consumption of calcium hydroxide via a new approach. *Materials Today Communications*, 36, 106672. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2023.106672>

Potential controlled electrochemical coating and characterization of nanocrystalline Sn-Zn based thin films

Nanokristal Sn-Zn bazlı ince filmlerinin gerilim kontrollü elektrokimyasal kaplanması ve karakterizasyonu

Begüm ÜNVEROĞLU ABDİOĞLU* 

Ankara Yıldırım Beyazıt University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Metallurgy and Materials Engineering, 06010, Ankara

• Received: 22.03.2023

• Accepted: 07.02.2024

Abstract

Sn-Zn thin films are commonly used in many areas of the industry, and the facile production of these layers is vital. This study aims to produce Sn-Zn layers via potentially controlled electrochemically deposited coatings. The potentially controlled mode was used to eliminate the extensive hydrogen evolution reaction during the electrochemical processes. The electrochemical reduction and oxidation reactions were first investigated with cyclic voltammetry to determine the applied potential sets. Later, cathodic pulse potential electrodeposition of the layers was performed. The characterization of the coated Sn-Zn thin films was performed with an X-ray diffraction device (XRD), scanning electron microscope (SEM), energy dispersive spectroscopy (EDS), four-point probe, potentiodynamic polarization measurements, and electrochemical impedance spectrometry. As the cathodic pulse potential value increased, the ratio of Zn in the Sn-Zn alloy increased, and the microstructure of the layers was also affected. Electrochemical studies showed that the corrosion resistance of the Sn-Zn thin films increased with the increasing Zn amount in the coating.

Keywords: Corrosion resistance, Electrochemical coating, Pulse potential, Sn-Zn alloy

Öz

Sn-Zn ince filmler endüstrinin birçok alanında yaygın olarak kullanılmaktadır ve bu katmanların kolay üretimi önem taşımaktadır. Bu çalışma, potansiyel olarak kontrollü elektrokimyasal olarak biriktirilmiş kaplamalar yoluyla Sn-Zn katmanları üretmeyi amaçlamaktadır. Potansiyel olarak kontrol edilen mod, elektrokimyasal işlemler sırasında şiddetli hidrojen oluşumu reaksiyonunu ortadan kaldırmak için kullanılmıştır. İlk olarak, elektrokimyasal indirgeme ve oksidasyon reaksiyonları, uygulanan potansiyel setlerini belirlemek için döngüsel voltametri ile araştırılmıştır. Daha sonra katmanların katodik darbe potansiyelli elektrokaplaması gerçekleştirilmiştir. Kaplanmış Sn-Zn ince filmlerin karakterizasyonu X-ışını kırınım cihazı (XRD), taramalı elektron mikroskobu (SEM), enerji dağılımlı spektroskopi (EDS), dört noktalı prob, potansiyodinamik polarizasyon ölçümleri ve elektrokimyasal empedans spektrometrisi ile gerçekleştirilmiştir. Katodik darbe potansiyeli değeri arttıkça Sn-Zn alaşımındaki Zn oranı artmış ve katmanların mikro yapısı da etkilenmiştir. Elektrokimyasal çalışmalar, Sn-Zn ince filmlerinin korozyon direncinin, kaplamadaki Zn miktarının artmasıyla arttığını göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Korozyon direnci, Elektrokimyasal kaplama, Darbeli potansiyel, Sn-Zn alaşımı

*Begüm ÜNVEROĞLU ABDİOĞLU; bunveroglu@aybu.edu.tr

1. Introduction

Binary alloy coatings in the industry have always been vital to obtain mechanical stability, corrosion protection, and the aesthetic appearance of objects (Zangari, 2015). Besides, the industry needs a green solution for a sustainable production process (Baines et al., 2012). Some of the industrial alloys need replacement due to their toxic nature like Cd-based coatings (Zhimov et al., 2003). Therefore, attempts to create alternative coatings with electrochemical baths without toxic electrolytes such as cyanide are the center of attraction of binary and ternary alloy electrodeposition systems. The Sn-Zn binary alloys have the potential to replace some of the toxic elements like Cd and Pb in various applications. Sn-Zn thin film coatings can be used as a solder material, as a glucose sensor, as a corrosion protection layer, and as a lubricant layer (Hou et al., 2019; Khan et al., 2020; Pereira et al., 2012; Yamada & Usami, 2022).

Sn-Zn alloy electrodeposited were reported in the literature, for different baths with various additives, pH values, and complexing agents (Esfahani et al., 2018; Hairin et al., 2018; Pereira et al., 2012). The first Sn-Zn films were electrodeposited from cyanide-based solutions but, alternative baths were reported in the literature (Hairin et al., 2018; Kazimierczak et al., 2014; Kazimierczak & Ozga, 2013; Taguchi et al., 2008). However, more environmentally friendly electrolyte alternatives are required in our era. In a recent study, an environmentally friendly approach was reported in the literature with a citrate-based electrolyte. Kazimierczak et al (2014) studied the electrodeposition behavior of Zn-Sn citrate baths with cyclic voltammetry and stability tests (Kazimierczak et al., 2014). In their studies, they found that the stability and existence of metal ions are strongly dependent on the solution pH. They used a complexing agent, trisodium citrate, to narrow the electrodeposition window of the Zn-Sn system and indicated that in the pH range of 4.5-6 citrate-tin and citrate-zinc coexist together. The current efficiency of the system is reported to stay around 85-90% at more negative potentials than -1.0 V.

Although citrate-based baths are environmentally friendly and do not require toxic additives, the presence of hydrogen evolution reaction (HER) is a bottleneck to obtaining smooth, uniform, and high-quality coatings (Munir et al., 2018; Tsurusaki & Ohgai, 2020). Because, a continuous hydrogen evolution reaction causes local pH change, resulting in the generation of fragile Zn compounds through the consumption of ZnSO₄ electrolyte and active Zn metal, all these cause unevenness of the electrode surface (Zhai et al., 2022). Besides that, the regions with a strong electric field, where hydrogen evolution reactions take place accelerate vertical dendrite growth rather than planer growth of Zn (Zhai et al., 2022).

To overcome these negative effects of Zn electrodeposition, various strategies have been proposed to suppress the Zn dendrite growth such as surface modification of the working electrode, changing electrodeposition parameters, or modifying electrolyte recipe (Choi et al., 2006; Pereira et al., 2012; Taguchi et al., 2008). Depending on the deposition parameters coatings with different compositions and morphologies can be obtained (Jung et al., 2009; Kazimierczak et al., 2014; Khan et al., 2020). Applied potential is an important parameter not only for composition but also for physical properties of the coating such as roughness, thickness, and morphology of the layers due to the co-existent reaction, hydrogen evolution, in Zn electrodeposition. Therefore, controlling the applied potential to produce homogenous Sn-Zn alloys is one way to modify the quality of the layers. So far, the various researchers put efforts to manufacture anticorrosive Sn-Zn layers for different applications with alternative electrolytes and deposition parameters, and their endeavors collected around understanding the electrolyte and electrodeposition system, however, only a limited number of researchers have reported the electrodeposited layers' electrochemical behavior along with the chemical, structural and morphological behaviors (Alesary et al., 2020; Benidir et al., 2022; Choi et al., 2006; Fashu et al., 2015; Hadi Wijaya & Soegijono, 2019; Pereira et al., 2021).

This study aims to coat Sn-Zn layers from a citrate-based electrolyte with a cathodic pulsed potential electrodeposition mode to minimize the harmful effects of hydrogen evolution reaction. Understanding the deposition behavior of the Sn-Zn electrolyte is crucial for defining the precise deposition potentials, therefore, various characterization techniques were applied to investigate the influences of applied potential sets on the layer properties in this study.

2. Material and method

A typical three-electrode cell was used to electrodeposit Sn-Zn thin film from a simple solution. The carbon was used as a counter electrode, Ag/AgCl was used as a reference electrode, and 316 SS steel foil was used as a working electrode. The 316 SS steel foil substrate is mechanically polished with sandpapers (320-1200), cleaned with ethanol, etched in dilute H₂SO₄, and rinsed in distilled water before each electrochemical deposition. The electrodeposition electrolyte contains 0.25 M Na₃C₆H₅O₇ as a supporting electrolyte, 104 mM NaC₁₂H₂₅SO₄ as complexing agents and a surfactant and metal salts. The metal salts 10 mM ZnSO₄·7H₂O, and 5 mM SnSO₄ were added to the electrolyte, respectively. All chemicals are analytical grade. The pH of the electrolyte was adjusted to 5.5 with a dilute H₂SO₄ and fresh electrolyte was used before each experiment. Cyclic voltammetry was applied with the scan rate of 25 mV/s between 0.5 V to -1.5 V to investigate the reduction-oxidation behavior of the electrolyte system. The cathodic pulse potential electrodeposition took place according to the parameters given in Table 1 at 20±2 °C for an hour each. These parameters were determined after cyclic voltammetry analyses.

Table 1. Cathodic pulse potential electrodeposition parameters

Sample Code	Pulse-on potential (V)	Pulse-reversal Potential (V)	Pulse-on Period (s)	Pulse-reversal Period (s)
-1.0V/-1.3V	-1.3	-1.0	30	30
-1.1V/-1.4V	-1.4	-1.1	30	30
-1.2V/-1.5V	-1.5	-1.2	30	30

The characterization of the Sn-Zn thin films was performed with the XRD analyses (Rigaku-Miniflex 600) where the structure was measured with CuK α radiation of 40 kV and 15 mA at a 2 $^{\circ}$ /min scan rate. The average crystal size of the samples can be calculated according to the Debye-Scherrer formula given below.

$$D = \frac{0.94 \lambda}{\beta \cos \theta} \quad (1)$$

Here D is the average crystal size of the samples, λ is the wavelength radiation, β is the FWHM of the selected X-ray diffraction peak and Θ is the diffraction angle. Besides that, the dislocation density and the crystal density are also important crystal parameters which influences physical and chemical properties of materials. Therefore, these parameters were also investigated according to the equations given below.

$$\delta = \frac{1}{D^2} \quad (2)$$

$$N = \frac{t}{D^3} \quad (3)$$

Here, δ is the dislocation density, N is the number of crystals per unit area and t is the thickness of the thin film. The SEM analyses were conducted with Hitachi SU 500 FE-SEM, the EDS analyses were performed with Oxford X- MaxN80. The four-point probe technique was used to determine the electrical resistivity with Lucas Labs Pro 4-Point Probe test system with Keithley 2400 standard series source and a TEKTRONIX Keithley Kickstart 2.0 software. The tungsten carbide tips with 1.016 mm tip spacing were used during the electrical measurements. Besides that, the following model for the four-point probe sheet resistance measurements was used for the thin film coatings.

$$R_{sh} = \frac{V}{I} \frac{\pi}{\ln 2} = \frac{V}{I} 4.5324 \quad (4)$$

Here R_{sh} is the sheet resistance, V is the voltage between the inner probes, and I is the current through the outer probes. Besides that, the specific resistance of the thin films was calculated according to the formula given in equation 5. Here ρ and τ show the specific resistance and film thickness, respectively.

$$\rho = R_{sh} \tau \quad (5)$$

Current-voltage values of the films are calculated according to formula given below.

$$\rho = \frac{\pi t}{\ln 2} \left(\frac{V}{I} \right) \quad (6)$$

The corrosion behavior of samples was determined with potentiodynamic polarization curves in 3.5 wt% NaCl solution with a 5 mV/s scan rate and the electrochemical impedance spectrometry were investigated in 3.5 wt% NaCl solution with an amplitude of 5 mV between 1 Hz and 1×10^5 Hz. All the electrochemical experiments were performed with CH Instrument device.

3. Results and discussion

3.1. Cyclic voltammetry of Sn-Zn electrolyte system

The cyclic voltammetry curves for the Sn-Zn system have been shown in Figure 1. The cyclic voltammetry studies were held to understand the reduction and oxidation behaviour of the Sn-Zn electrolyte system. For that reason, cyclic voltammetry of the base solution (consisting of supporting electrolyte and the complexing agent), Sn electrolyte, Zn electrolyte and Sn-Zn electrolyte were investigated. A major cathodic peak and 5 anodic peaks were observed in the measurements. The large cathodic peak at around -1.2 V was corresponding to complexing agents and metal ion(s) in the electrolyte. In the literature, the cyclic voltammetry study of Sn and Zn metal ions in different electrolyte were reported for individual baths and alloy solution (Munir et al., 2018). It has been reported that the Zn ion reduction from Sn-Zn electrolyte was taking place at more positive potentials compared to Zn only electrolyte suggesting an earlier electrodeposition of Zn ions. In this study, the reduction is also taking place at slightly more positive potentials in the alloy electrolyte compared to Zn only electrolyte like the reported literature values. Besides that, the intensity of the peak was the lowest for the Sn-Zn electrolyte suggesting less HER in the binary electrolyte. The black curve was corresponding to base solution, and no specific anodic peaks were observed for this electrolyte. The anodic peaks A₁, A₂, and A₃ were attributed to the Sn and Sn complex dissolution. The peaks labelled as A₄ and A₅ were attributed to the Zn dissolution.

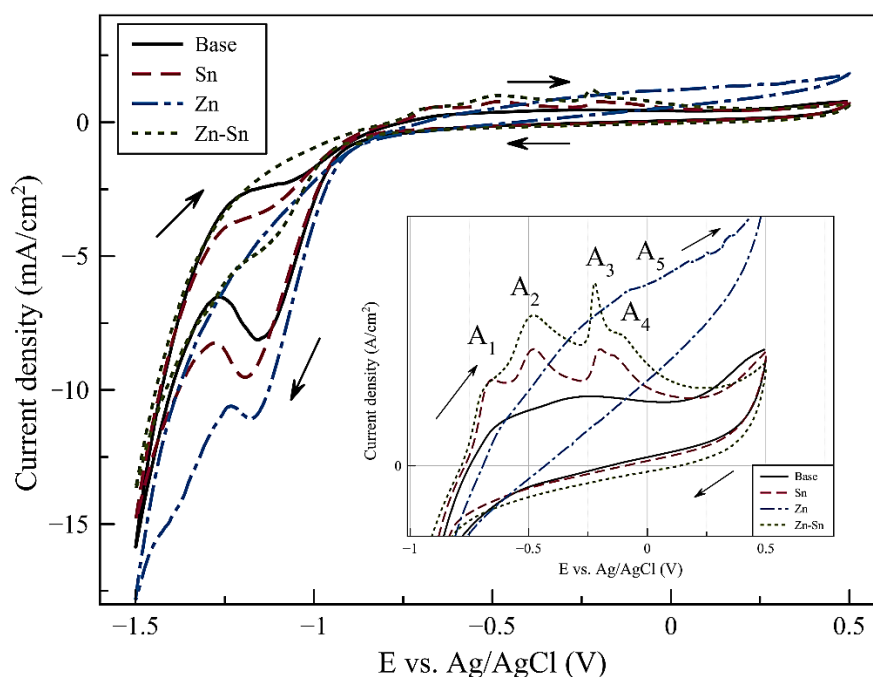


Figure 1. Cyclic voltammograms of Sn-Zn system, inset: the anodic region

3.2. Cathodic pulse potential electrodeposition of Sn-Zn thin films

The cathodic pulse potential electrodeposition was held with three different conditions. Figure 2 shows the current density and time graph for these samples during the first 400 seconds of the electrodeposition. First

more positive potential values were applied to the samples and then more negative potentials were applied to samples to start nucleation with low overpotentials. The current density for more negative potentials was higher compared to more positive potentials. Particularly, a dramatic increase in the current density was observed for the applied potential -1.5 V for the last sample due to the co-existing of high intensity HER and Zn reduction. The thickness of the layers has been found to be 32, 37 and 44 μm for -1.0/-1.3 V, -1.1/-1.4 V and -1.2/-1.5 V samples respectively according to SEM measurements.

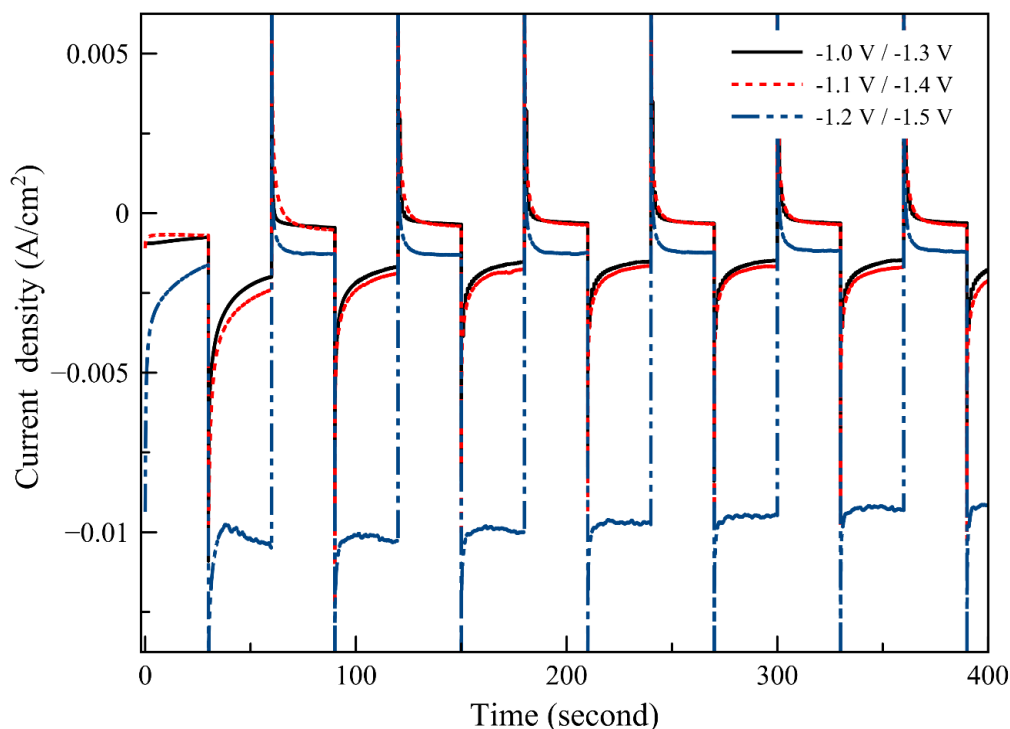


Figure 2. Current density and time graph for Sn-Zn thin film cathodic pulse potential set

3.3. Crystal Structure Analyses of Sn-Zn thin films

Figure 3 shows the XRD patterns for the Sn-Zn based thin films electrodeposited at different cathodic pulse potential conditions. In all layers, elemental Sn and Zn phases were observed with the tetragonal crystal structure of β -Sn and the hexagonal close-packed (HCP) crystal structure of the Zn phase according to standard data files (JCPDS number 01-089-2958 for Sn and JCPDS number 00-004-0784 for Zn). Besides Sn and Zn based phases, the coatings also contained oxide form of tin. One peak for the SnO_2 phase was observed in the XRD patterns according to the standard data file (JCPDS number 01-077-0447) which may come from the solution or formed during the electrodeposition process. The formation of Sn-Zn based thin films was investigated in the literature for different manufacturing systems. In the literature, the Sn-Zn thin films were also electrodeposited from a citrate-based electrolyte with a direct current and the hexagonal Zn phase and tetragonal β -Sn phase were also observed in their study (Salhi et al., 2016). In the literature study, only elemental phases of Sn and Zn were reported (Salhi et al., 2016). However, SnO_2 phase was not reported in the reported study in the literature (Salhi et al., 2016). The difference between the studies could be related to the electrodeposition mode change such as potentially controlled mode. The average crystal size of the samples was calculated according to the Debye Scherrer formula based on the most intense Sn and Zn peaks. The average crystal size of the samples according to Sn peak was 46 nm, 31 nm, and 33 nm for the samples electrodeposited with -1.0V/-1.3V, -1.1V/-1.4V, and -1.2V/-1.5V cathodic pulse potential conditions, respectively. The average crystal size of the samples according to Zn peak was 26 nm, 30 nm, and 33 nm for the samples electrodeposited with -1.0V/-1.3V, -1.1V/-1.4V, and -1.2V/-1.5V cathodic pulse potential conditions, respectively. The average crystal size of the Sn phases decreased slightly with the increasing applied negative potential set, whereas the average crystal size of the Zn phase increased slightly with the increasing applied negative potential sets. As the applied negative potential increases, the overpotential for the reduction of Zn metal ions increases which elevates the growth of the Zn crystals in the competitive Sn and

Zn reduction system. Therefore, it is possible that the Sn reduction was slightly suppressed under the competitive reactions and the crystal size of the Sn phase might have been influenced and resulted in slightly smaller average crystal sizes. The dislocation density and the crystallization density were calculated according to the main phase, Sn, and the results are listed in Table 2. The dislocation density slightly increased with the applied negative potential sets and the crystal density increased with the applied negative potential sets.

Table 2. Average crystal size, dislocation density and crystal density

Sample	Sn phase D (nm)	Zn phase D (nm)	δ (lines/nm ²)	N (1/nm ²)
-1.0V/-1.3V	46	26	0.000473	2.46 X 10 ⁻⁸
-1.1V/-1.4V	31	30	0.001041	1.10 X 10 ⁻⁷
-1.2V/-1.5V	33	33	0.000918	1.16 X 10 ⁻⁷

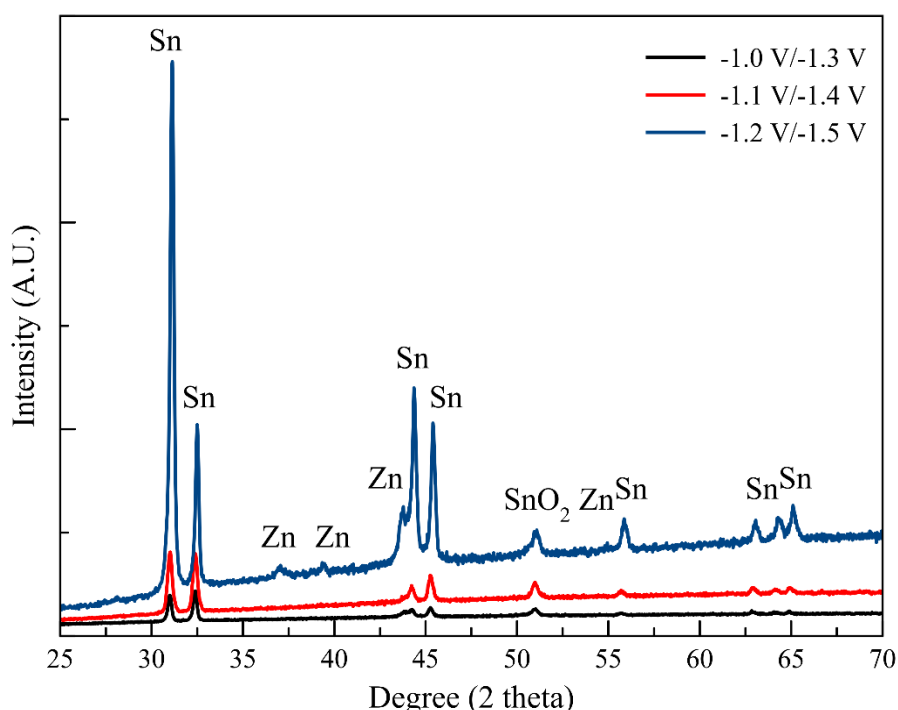


Figure 3. XRD analysis of Sn-Zn thin films

3.4. Compositional and morphological analyses of Sn-Zn thin films

The compositional fraction of the Sn-Zn thin films was measured and given in Table 3 with the standard deviations for elemental Sn and Zn. It has been found that the Zn at% was increased with the increasing applied overpotential sets. Besides that, the standard deviation of the Sn and Zn compositional fraction was increased with the applied overpotential sets.

Table 3. EDS elemental analysis of Sn-Zn thin films

Sample	Sn	Zn
-1.0V/-1.3V	96 at% ±0.9	4 at% ±1,5
-1.1V/-1.4V	91 at% ±1,2	9 at% ±1,8
-1.2V/-1.5V	60 at% ±1,4	40 at% ±2,1

Figure 4 shows the EDS element mapping of the Sn-Zn thin film which was electrodeposited with -1.1 V/-1.4 V cathodic pulse potential, together with a single element color map for the Sn and Zn individually. According to these figures, it can be said that the elements are homogeneously distributed over the substrate for both elements.

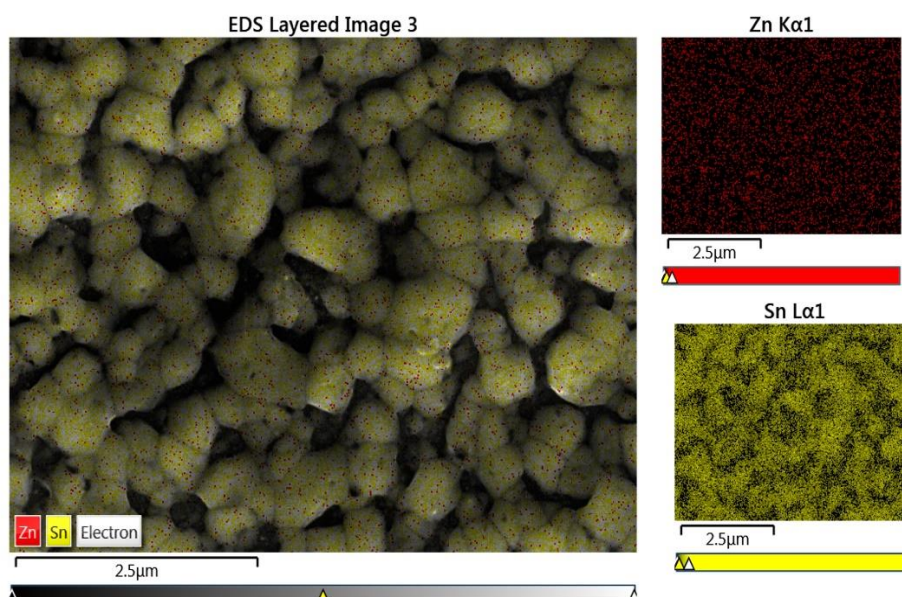


Figure 4. EDS element mapping of Sn-Zn thin film (-1.1V/ -1.4V)

Figure 5 shows the top-down SEM images of the electrodeposited Sn-Zn thin films. The surface of the substrate was covered mostly with the Sn-Zn layer without any macrogaps. The increasing overpotential of the cathodic pulse potential influenced on the morphology of the Sn-Zn thin films. In the first sample, Figure 5.(a), there exists an almost compact layer without large gaps. In the second sample, Figure 5.(b), the geometrically different formations began to form locally. In the last sample, Figure 5.(c), some features were distributed over the substrate and there exist microcracks through the layer. Please note that the composition of the layers is different, particularly for the last sample, therefore, the SEM images of the sample shows fundamental differences. In the literature, the morphology of Zn-Sn thin films and Sn-Zn thin films were reported for gluconate based and citrate-based electrolytes respectively (Esfahani et al., 2018; Kazimierczak et al., 2014). The reported morphology of Zn-Sn thin films electrodeposited with a pulse electrodeposition mode from a gluconate-based electrolyte was micron sized grains with gaps and rough surface (Esfahani et al., 2018). On the other hand, the reported morphology of Sn-Zn thin films electrodeposited with galvanostatic mode from a citrate-based electrolyte were micron sized and homogenous coatings (Kazimierczak et al., 2014). In this study, cathodic pulse potential was used to produce Sn-Zn layers from a citrate-based electrolyte and similar morphologies but with some microgaps and microcracks were observed different than the literature.

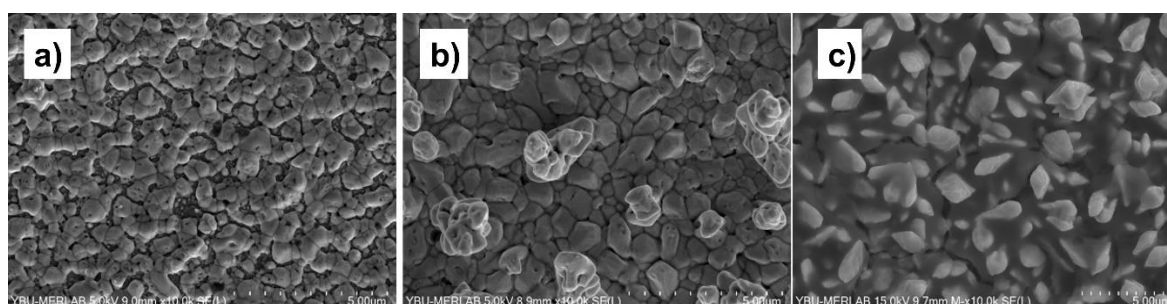


Figure 5. SEM images of Sn-Zn thin film (a) -1.0V/-1.3V, (b) -1.1V/-1.4V and (c) -1.2V/-1.5V

3.5. Electrochemical and electrical analyses of Sn-Zn thin films

Figure 6 shows the potentiodynamic polarization curves for the Sn-Zn thin films between -0.75 V and -0.15 V. The active polarization curves were observed for all the samples. The cathodic and anodic branches of the Tafel curves showed dramatic differences in current density for three of the samples.

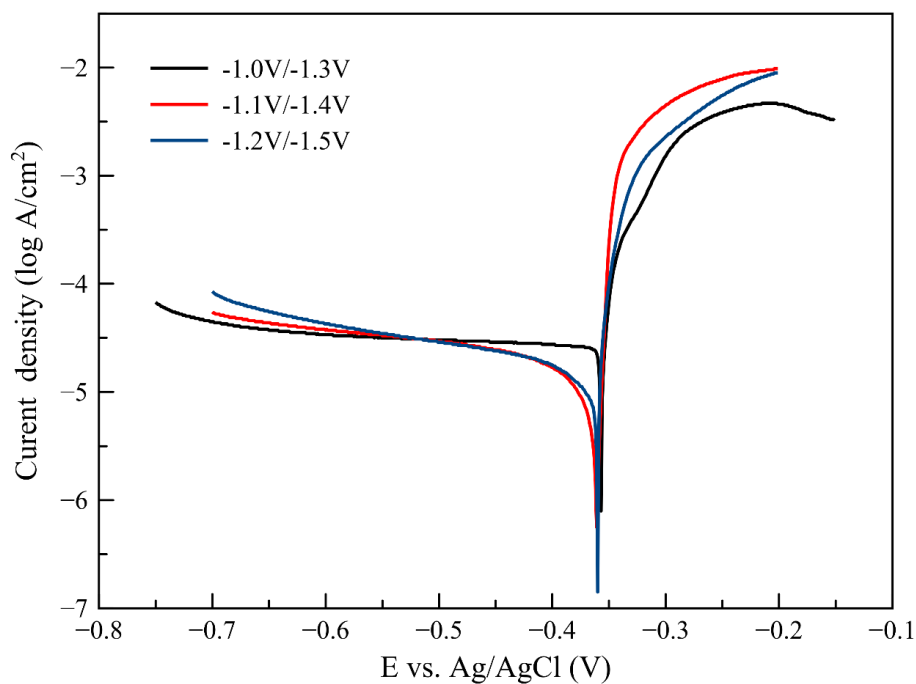


Figure 6. Potentiodynamic polarization curves of Sn-Zn thin films

Table 4 shows the potentiodynamic polarization data and the electrical resistance of the Sn-Zn thin films. The corrosion current density decreased with the increasing overpotential for the cathodic pulse potential sets. Besides that, the corrosion potential shifted to more negative potentials. The polarization resistance and the electrical resistance were increased with the increasing applied overpotential for the cathodic pulse potentials. The electrical resistance of the layers was also investigated via the four-point-probe technique and the coatings were found to be more resistant with increasing applied negative potential sets (Figure 7). The sheet resistance and specific resistance of the layers was higher than the one reported in the literature which may be due to the presence of SnO₂ and other oxides at the surface which may formed at the surface of the layer (Dybel & Pstruś, 2023).

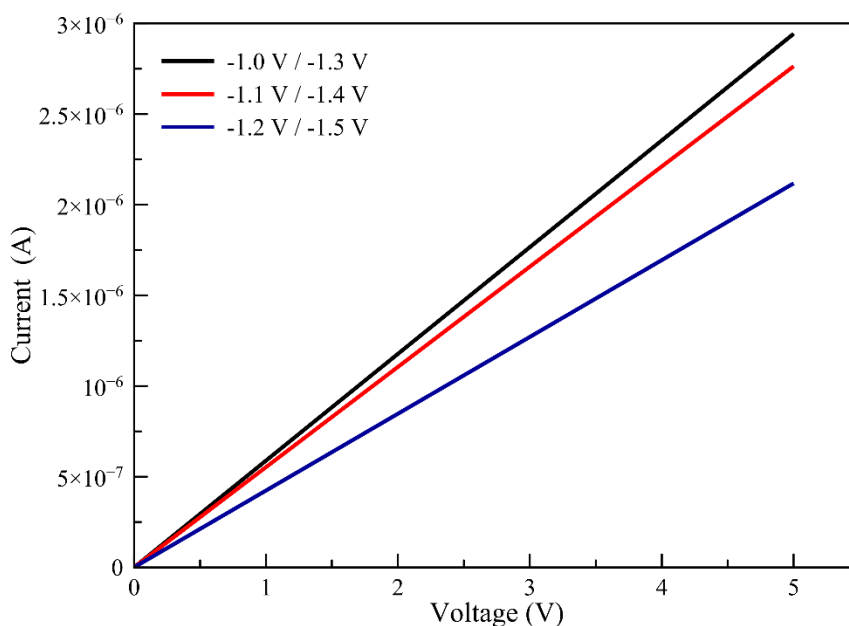


Figure 7. Current-voltage curves of the Sn-Zn thin films

In the literature, the corrosion resistance of the Sn-Zn alloys were attributed to the composition, morphology, microstructure, uniformity and the grain sizes (Benidir et al., 2022; Liu et al., 2016). It has been reported that the corrosion mechanism of the Sn-Zn thin films in NaCl solution is mainly depended on the Zn dissolution, therefore, the fine Zn grains are leading to more uniform voltage distribution over the surface, hence reducing the localized corrosion intensity and enhancing the corrosion resistance of the thin film. The corrosion resistance and the polarization resistance of Sn-Zn thin films in this study are less compared the values in the literature (Benidir et al., 2022; Liu et al., 2016). Although uniform and relatively compact layers were observed in this study, the relatively large grains led to large voltage differences over the surface and increased the corrosion current density. Besides that, the amount of Zn influences the corrosion resistance due to the electrochemical activity of Zn and the formation of ZnO and Zn(OH)₂ over the surface of the coating (Gerhátová et al., 2022). In the literature, the corrosion resistance of the Sn-Zn based layers was reported to be dependent on the Zn amount (Méndez et al., 2018; Mohd Nazeri et al., 2019). Also, the increasing amount of Zn was reported to increase the pitting corrosion (Mohd Nazeri et al., 2019). However, the increasing amount of possible oxide over the coating surface might influence the corrosion resistance of the relatively Zn rich layers in this layer and slightly increase the corrosion resistance compared to relatively Sn rich layers. Also, average crystal size, dislocation density and crystal density had an influence on the corrosion resistance and electrical resistivity. As the Sn phase crystal size decreased the corrosion resistance increased and as the dislocation and crystal density trend showed an increase the corrosion resistance also showed a slight increase.

According to these findings, a good corrosion resistance for Sn-Zn thin films are not only depends on the uniformity and the smooth surfaces, but also on the grain size, average crystal sizes, dislocation density and crystal density. Therefore, for future studies, cathodic pulse potential parameters can be modified to observe smaller grains and modified crystals.

Table 4. Potentiodynamic polarization data and electrical resistance of the Sn-Zn thin films

Sample	I _{corr} (A/cm ²)	E _{corr} (mV)	Polarization Resistance (Ω.cm ²)	Sheet Resistance (Ω/sq)	Specific Resistance (Ω.cm)
V/-1.3V	5.04 x 10 ⁻⁴	-357	135	77 x 10 ⁻⁵	2.46 x 10 ⁻⁵
-1.1V/-1.4V	3.74 x 10 ⁻⁴	-363	178	82 x 10 ⁻⁵	3.03 x 10 ⁻⁵
-1.2V/-1.5V	6.44 x 10 ⁻⁵	-361	190	107 x 10 ⁻⁵	4.7 x 10 ⁻⁵

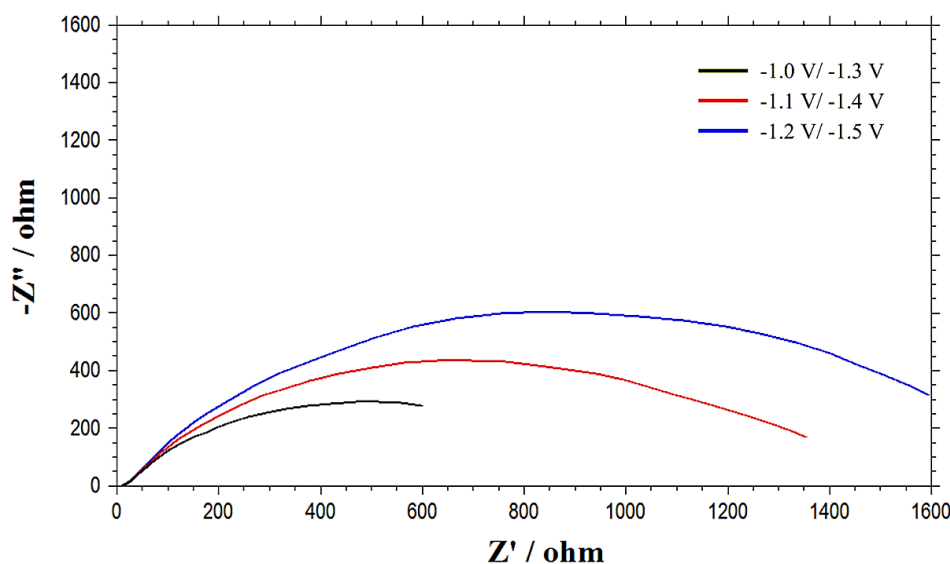


Figure 8. Nyquist curves of Sn-Zn thin films

Figure 8 shows the Nyquist plots of Sn-Zn thin films. The layers showed slightly different behavior due to the compositional and morphological changes in the layers. The curves showed the nonideal behavior of the double layer and acted like a constant phase element instead of a capacitor. As the negative applied potential set increased the curves showed relatively more capacitor-like behavior indicating an improvement in the corrosion resistance. In literature, a pseudo capacitor-like behavior was also reported for the Sn-Zn based layers with non-ideal double-layer capacitor (Méndez et al., 2018; Peng et al., 2017).

4. Conclusions

The cathodic pulse potential electrodeposition technique has been used to coat SS 316 foils with Sn-Zn thin films from a citrate-based electrolyte to minimize the harmful effects of the hydrogen evolution reaction. The potentials for the cathodic pulse potential electrodeposition were carefully selected after cyclic voltammetry studies. It has been found that relatively smooth layers with alternating compositions were coated onto the substrates with different morphologies with varying potential sets. The morphological investigations indicated that some features formed at more negative potentials than -1.4 V. The corrosion current density of the samples showed a slight increase with the increasing Zn amount and the electrical resistivity of the Sn-Zn thin films was similar. It was found that the applied overpotential and the electrodeposition mode for the potentially controlled systems can be used to modify the surface quality, morphology, and the compositional fraction of the binary coatings such as the Sn-Zn system. Designing the potentially controlled mode is particularly crucial for systems containing Zn where hydrogen evolution reaction is taking place and influencing the physical and chemical stability of the thin films. Further studies can be applied with cathodic pulse potential mode to reduce the grain size of the Sn-Zn films for enhanced corrosion resistance.

Acknowledgement

The author sincerely thanks the referees for their careful reading and valuable comments.

Author Contribution

The author contributed to all sections. The author read and approved the last version of the manuscript.

Declaration of ethical code

The author of this article declares that the material and the methods used in this study do not require ethical committee approval and/or a special legal permission.

Conflicts of interest

The author declares that she has no conflict of interest.

References

- Alesary, H. F., Ismail, H. K., Shiltagh, N. M., Alattar, R. A., Ahmed, L. M., Watkins, M. J., & Ryder, K. S. (2020). Effects of additives on the electrodeposition of Zn–Sn alloys from choline chloride/ethylene glycol-based deep eutectic solvent. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 874, 114517. <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2020.114517>
- Baines, T., Brown, S., Benedettini, O., & Ball, P. (2012). Examining green production and its role within the competitive strategy of manufacturers. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 5(1), 53–87. <https://doi.org/10.3926/jiem.405>
- Benidir, S., Madani, A., Baka, O., Kherfi, A., Delhalle, J., & Mekhalif, Z. (2022). Influence of applied potential on tin content in electrodeposition of Zn–Sn alloy coatings and its effect on corrosion protection. *Inorganic and Nano-Metal Chemistry*, 0(0), 1–11. <https://doi.org/10.1080/24701556.2021.2025105>
- Choi, Y. S., Ganesan, P., Kumaraguru, S. P., & Popov, B. N. (2006). Development of sacrificial Zn-Sn coatings by pulse electrodeposition process. *National Association for Surface Finishing Annual Technical Conference 2006, SUR/FIN 2006*, 1(803), 335–350.
- Dybeł, A., & Pstruś, J. (2023). New Solder Based on the Sn-Zn Eutectic with Addition of Ag, Al, and Li. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 32(July), 5710–5722. <https://doi.org/10.1007/s11665-023-08103-0>
- Esfahani, M., Zhang, J., Wong, Y. C., Durandet, Y., & Wang, J. (2018). Electrodeposition of nanocrystalline zinc-tin alloy from aqueous electrolyte containing gluconate in the presence of polyethylene glycol and hexadecyltrimethylammonium bromide. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 813, 143–151. <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2018.02.021>

- Fashu, S., Gu, C. D., Zhang, J. L., Bai, W. Q., Wang, X. L., & Tu, J. P. (2015). Electrodeposition and characterization of Zn-Sn alloy coatings from a deep eutectic solvent based on choline chloride for corrosion protection. *Surface and Interface Analysis*, 47(3), 403–412. <https://doi.org/10.1002/sia.5728>
- Gerhátová, Ž., Babincová, P., Drienovský, M., Pašák, M., Černičková, I., Ďuriška, L., Havlík, R., & Palcut, M. (2022). Microstructure and Corrosion Behavior of Sn–Zn Alloys. *Materials*, 15(20). <https://doi.org/10.3390/ma15207210>
- Hadi Wijaya, R., & Soegijono, B. (2019). Corrosion Resistance of Sn-Zn Coated on Low Carbon Steel Material in Wet Gas Pipeline. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 694(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/694/1/012029>
- Hairin, A. L. N., OTHMAN, R., REZAL, F., & DAUD, F. D. M. (2018). Physiochemical Characterization of Sn-Zn Coatings Electrodeposited from an Acidic Chloride Bath in the Absence of Complexing Agent. *International Journal of Current Research in Science, Engineering & Technology*, 1(Spl-1), 493. <https://doi.org/10.30967/ijcrset.1.s1.2018.493-498>
- Hou, Z., Niu, T., Zhao, X., Liu, Y., & Yang, T. (2019). Intermetallic compounds formation and joints properties of electroplated Sn–Zn solder bumps with Cu substrates. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 30(22), 20276–20284. <https://doi.org/10.1007/s10854-019-02412-8>
- Jung, H. Y., Huang, S. Y., Ganesan, P., & Popov, B. N. (2009). Performance of gold-coated titanium bipolar plates in unitized regenerative fuel cell operation. *Journal of Power Sources*, 194(2), 972–975. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2009.06.030>
- Kazimierczak, H., & Ozga, P. (2013). Electrodeposition of Sn–Zn and Sn–Zn–Mo layers from citrate solutions. *Surface Science*, 607, 33–38. <https://doi.org/10.1016/j.susc.2012.08.010>
- Kazimierczak, H., Ozga, P., Jałowiec, A., & Kowalik, R. (2014). Tin-zinc alloy electrodeposition from aqueous citrate baths. *Surface and Coatings Technology*, 240, 311–319. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2013.12.046>
- Khan, S., Rasheed, M. A., Waheed, A., Shah, A., Mahmood, A., Ali, T., Nisar, A., Ahmad, M., Karim, S., & Ali, G. (2020). The role of electrodeposition current density in the synthesis and non-enzymatic glucose sensing of oxidized zinc-tin hybrid nanostructures. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 109(September 2019), 104953. <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2020.104953>
- Liu, J. C., Wang, Z. H., Xie, J. Y., Ma, J. S., Zhang, G., & Sukanuma, K. (2016). Understanding corrosion mechanism of Sn-Zn alloys in NaCl solution via corrosion products characterization. *Materials and Corrosion*, 67(5), 522–530. <https://doi.org/10.1002/maco.201508605>
- Méndez, C. M., Scheiber, V. L., Rozicki, R. S., Kociubczyk, A. I., & Ares, A. E. (2018). Electrochemical behavior of Sn–Zn alloys with different grain structures in chloride-containing solutions. *Arabian Journal of Chemistry*, 11(7), 1084–1096. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2016.12.019>
- Mohd Nazeri, M. F., Yahaya, M. Z., Gursel, A., Cheani, F., Masri, M. N., & Mohamad, A. A. (2019). Corrosion characterization of Sn-Zn solder: a review. *Soldering and Surface Mount Technology*, 31(1), 52–67. <https://doi.org/10.1108/SSMT-05-2018-0013>
- Munir, K. S., Esfahani, M., Wen, C., Zhang, J., Durandet, Y., Wang, J., & Wong, Y. C. (2018). Mechanical properties of electrodeposited nanocrystalline and ultrafine-grained Zn-Sn coatings. *Surface and Coatings Technology*, 333(October 2017), 71–80. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2017.10.059>
- Peng, H. T., Che, C. S., & Kong, G. (2017). Effect of minor Cu addition on corrosion behavior of Sn-Zn-xCu touch-up solder alloys. *Materials and Corrosion*, 68(7), 791–798. <https://doi.org/10.1002/maco.201609313>
- Pereira, J. C., dos Santos, L. P. M., Alcanfor, A. A. C., de Sant’Ana, H. B., Feitosa, F. X., Campos, O. S., Correia, A. N., Casciano, P. N. S., & de Lima-Neto, P. (2021). Effects of electrodeposition parameters on corrosion resistance of ZnSn coatings on carbon steel obtained from eutectic mixture based on choline chloride and ethylene glycol. *Journal of Alloys and Compounds*, 886, 161159. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2021.161159>
- Pereira, Salomé, S., Pereira, C. M., & Silva, A. F. (2012). Zn-Sn electrodeposition from deep eutectic solvents containing EDTA, HEDTA, and Idrenal VII. *Journal of Applied Electrochemistry*, 42(8), 561–571. <https://doi.org/10.1007/s10800-012-0431-3>

- Salhi, Y., Cherrouf, S., Cherkaoui, M., & Abdelouahdi, K. (2016). Electrodeposition of nanostructured Sn-Zn coatings. *Applied Surface Science*, 367, 64–69. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2016.01.132>
- Taguchi, A. D. S., Bento, F. R., & Mascaro, L. H. (2008). Nucleation and growth of tin-zinc electrodeposits on a polycrystalline platinum electrode in tartaric acid. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 19(4), 727–733. <https://doi.org/10.1590/S0103-50532008000400017>
- Tsurusaki, T., & Ohgai, T. (2020). Mechanical properties of solder-jointed copper rods with electrodeposited Sn-Zn alloy films. *Materials*, 13(6), 1–12. <https://doi.org/10.3390/ma13061330>
- Yamada, M., & Usami, H. (2022). Tribological Properties of Tin-Zinc Hybrid Coating on Bronze in Lubricated Condition. *Tribology Online*, 17(1), 54–58. <https://doi.org/10.2474/trol.17.54>
- Zangari, G. (2015). Electrodeposition of alloys and compounds in the era of microelectronics and energy conversion technology. *Coatings*, 5(2), 195–218. <https://doi.org/10.3390/coatings5020195>
- Zhai, C., Zhao, D., He, Y., Huang, H., Chen, B., Wang, X., & Guo, Z. (2022). Electrolyte Additive Strategies for Suppression of Zinc Dendrites in Aqueous Zinc-Ion Batteries. *Batteries*, 8(10). <https://doi.org/10.3390/batteries8100153>
- Zhirnov, A. D., Karimova, S. A., Ovsyannikova, L. V., & Gubenko, O. A. (2003). New protective coatings for replacing cadmium coatings on steel parts. *Metal Science and Heat Treatment*, 45(1–2), 23–25. <https://doi.org/10.1023/A:1023939928052>

Small object detection method with k-detector for metal parts surface defect detection

Metal parçaların yüzey kusurlarını tespit için k-detektörü ile küçük nesne tespit yöntemi

Yavuz Selim BALCIOĞLU* 

Gebze Teknik Üniversitesi, İşletme Fakültesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, 41400, Kocaeli

• Received: 15.11.2023

• Accepted: 07.02.2024

Abstract

In the process of its development, intelligent manufacturing often focuses on production flexibility, client customization, and quality control, all of which are required for the manufacture of powder-based metallurgy. In particular, the identification and categorization of defects are crucial steps in the production processes involved in powder-based metallurgy. Intelligent strategies to detect faults in metal parts continue to be a challenge in automated industrial production lines. These techniques have been a particular concern for microscopic metal component producers for a long time. Due to its precision and speed, the YOLOv4 approach has been widely used for object detection. On the other hand, the identification of tiny targets, particularly imperfections on the surface of metal parts, continues to present a number of obstacles and difficulties. To increase the overall performance of detection, this research provided a technique for the detection of tiny objects based on YOLOv4 for such objects. To increase the effectiveness of the detection process, this involves expanding the size of the k detector while simultaneously eliminating unnecessary branches of the YOLO head network. Experiments have shown that the KD-YOLO model performs better than its predecessors, YOLOv4, YOLOv5, and PP-YOLO, in terms of the total number of parameters, classification accuracy and detection precision.

Keywords: Object detection, Surface detection, Quality control

Öz

Gelişim sürecinde, akıllı imalat genellikle üretim esnekliğine, müşteriye özel üretime ve kalite kontrolüne odaklanmaktadır, bunların hepsi toz bazlı metalurji üretimi için gereklidir. Özellikle, toz bazlı metalurjide üretim süreçlerinde hataların tespiti ve kategorize edilmesi kritik adımlardır. Metal parçalardaki hataları tespit etmek için akıllı stratejiler, otomatik endüstriyel üretim hatlarında hala bir meydan okumadır. Bu teknikler, özellikle mikroskopik metal bileşen üreticileri için uzun zamandır özel bir endişe kaynağı olmuştur. Hassasiyeti ve hızı nedeniyle, YOLOv4 yaklaşımı nesne tespiti amacıyla yaygın olarak kullanılmıştır. Öte yandan, özellikle metal parçaların yüzeyindeki kusurlar gibi küçük hedeflerin tanımlanması, birçok engel ve zorluk sunmaya devam etmektedir. Bu araştırma, tespit performansını genel olarak artırmak için, YOLOv4'e dayalı küçük nesnelerin tespiti için bir teknik sunmaktadır. Tespit sürecinin etkinliğini artırmak için, bu, YOLO baş ağının gereksiz dallarının kaldırılması ile k detektörünün boyutunun genişletilmesini içermektedir. Deneyler, KD-YOLO modelinin toplam parametre sayısı, sınıflandırma doğruluğu ve tespit hassasiyeti açısından önceki modelleri YOLOv4, YOLOv5 ve PP-YOLO'dan daha iyi performans gösterdiğini göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Obje tanıma, Yüzey tespiti, Kalite kontrol

*Yavuz Selim BALCIOĞLU; ysbalcioglu@gtu.edu.tr

1. Introduction

Powder metallurgy (Panda et al., 2018) is highly dependent on the quality of the deliverables, customer customization, and strict quality control, all of which have received a lot of attention in the development of intelligent manufacturing. Detection and categorization of defects are crucial for production operations in the powder metallurgy sector. Detection of defects is essential for effective product quality management (Silvius & Schipper, 2014). The traditional detection technique is time-consuming (Moreira Monteiro et al., 2021), and poor detection efficiency and a large proportion of missed inspections could be the end consequences of using manual detection for a prolonged period of time. Moreover, most broken metal parts are either recycled or fixed, and those that cannot be fixed are usually thrown away.

Defective metal components must be sorted according to the kind of defect before they can be processed efficiently. It is a gold mine of data to spot manufacturing flaws. In spite of this, the vast majority of technologies for detection still rely on human intervention (Smietañska & Podziewski, 2019). Because of this, powder-based metallurgical processing, manufacturers have always had a strong incentive to come up with better ways to find flaws in metal products as they move along an automated industrial production line.

When metal components using powder metallurgy, it is possible for a number of different types of flaws to manifest in the final product, including interfacial tension and faulty solder joints. See Fig. 1 for a breakdown of the types of edge defects (big and tiny) that are the subject of this investigation.

Due to its mix of speed, accuracy, and minimal resource usage, You Only Look Once v4 (also known as YOLOv4) has been a popular alternative for object identification applications (Parico & Ahamed, 2021) ever since it was first made available. Identification of tiny targets, such as surface flaws on metal components, remains challenging and complex. To enhance the detection performance, due to the findings of this study, a method for the identification of small objects called KD-YOLO that is based on YOLOv4 was proposed. See Fig. 2 for an illustration of the KD-YOLO tiny object identification result.

The study's contribution to the field is that the YOLOv4 network model served as the basis for the KD-YOLO architecture that was suggested. However, four adjustments were made to accommodate especially the detection of tiny objects.

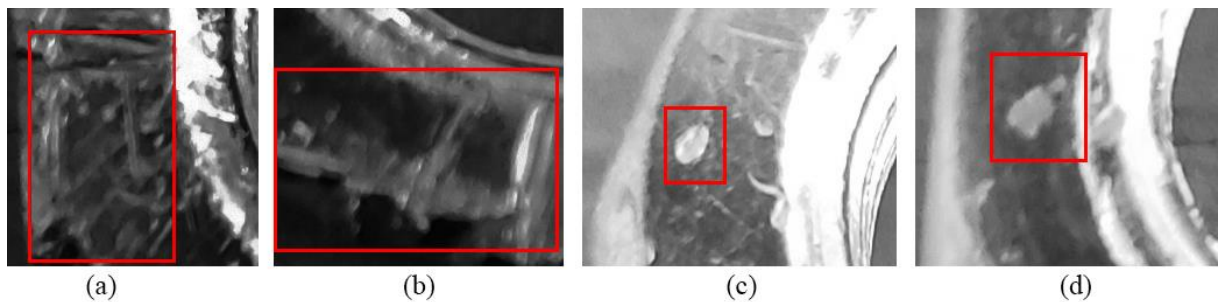


Figure 1. The large region missing (a) - (b) and the little area missing (c) – (d) are both common surface flaws in metal nuts.

To begin, we present a novel feature Graph Convolutional Neural Network (GCNN) with a k approach to satisfy tiny item recognition and further improve the network's prediction accuracy without slowing it down. We altered the features of the b2gray module and performed network pruning to raise the bar for tiny object recognition precision. The KD-YOLO module, which makes use of graph convolution neural networks, replaces the traditional feature color with a grayscale representation (GCNN). Deep convolutional neural networks, also known as DCNNs (Atwood & Towsley, 2016), have the ability to learn hierarchical features in several layers, allowing them to collect input from objects of varied sizes. Specifically, the spatially rich characteristics that are found in shallow layers have higher resolution, making them more helpful for finding small things. Unfortunately, many of the fine features of tiny objects may be lost since GCNN and Feature Pyramid Network (FPN) use the deconvolution layer for the top-most feature maps. Furthermore, systems based on the characteristics of the dimension of the color perform connections for each prediction layer, which indicates that the greater the number of layers, the greater the computational cost.



Figure 2. KD-YOLO flaw detection findings on a sample metal nut picture.

When the number of colors used to represent an item is increased, more details of that item are kept in memory. As a result, reliable detection of tiny objects using simply the highest-level layers is challenging. The suggested feature k approach is more suited for detecting small objects.

Next, an adaptively optimized number and size of anchor boxes are achieved by training using the k-means clustering algorithm. Defect detection performance for tiny objects may be enhanced by using a priori boxes scaled to the size of the sample. Next, the previous anchor boxes are put to use in the detection process, which may make the prediction scale more flexible.

Lastly, in order to reduce the number of model parameters and computations required for the detection of very small objects, the duplicated YOLO head network connections have been removed, with the large-scale feature layer being the only exception. Typical detection techniques are not suitable for detecting tiny objects since the average defect area is just 0.5 mm², while metal components are typically 10 mm² in size. Thus, the whole network is pruned, except for the top-level characteristics.

The main contributions of our study can be summarized as follows:

Novel Model Architecture: The study presents the KD-YOLO model which modifies the standard YOLOv4 architecture. The key distinction lies in the Path Aggregation Network (PANet) architecture where shallow feature information is preserved to improve the detection of very small objects.

- **K-Method Feature:** We introduce the "k-method" to enhance the detection of small objects. By integrating various types of feature information, both deep semantically rich features and shallow geographically rich features are utilized for superior detection performance.
- **K-Means++ for Preliminary Anchor Estimation:** Our study uses the k-means++ clustering method to estimate prior anchor boxes, improving the model's ability to determine bounding boxes.
- **Enhanced Data Augmentation:** We utilize the mosaic data augmentation method, based on the cut-mix theory, to increase the diversity and volume of their training data, enhancing model performance.
- **Evaluation and Comparative Analysis:** We evaluate our KD-YOLO model on a dataset of images from a domestic manufacturing facility and compare its performance with the original YOLOv4, YOLOv5, and PP-YOLO models. The KD-YOLO model shows superior performance in our experiments.
- **Application to Real-world Problems:** The KD-YOLO model is applied for the detection of flaws in metal components, demonstrating the practical utility of their research.

2. Related work

Recently, machine learning techniques have seen widespread use in the field of surface defect identification and quality assurance. For instance, by using an algorithm from the Region-Based Convolutional Neural Network (RCNN), family (R-CNN (Chu et al., 2021), Fast R-CNN (MathWorks.com, 2019), Faster R-CNN (Lin et al., 2017), and Mask R-CNN (He et al., 2019), the issue of defect detection may become a two-stage object detection problem. This can be accomplished by employing the R-CNN method. This is accomplished by using a detector based on the method. Compared to several other algorithms, it has superior detection accuracy. However, compared to a single-stage detector like the single-shot multibox detector (SSD) or YOLO, this method requires more computer processing time. The YOLOv4 method is especially useful for identifying objects because it works quickly and makes good use of parallel computations.

Recently, more error-free detectors, such as Fast R-CNN (Girshick, 2015) and Faster R-CNN. In particular, the Spatial Pyramid Pooling Net (SPPNet) (He et al., 2015) is the source of inspiration for the Faster R-CNN (Cao et al., 2019), which is responsible for introducing the Region Proposal Network (RPN) (Cao et al., 2019). A fully convolutional network with the ability to predict object limitations in addition to object scores at each location simultaneously is referred to as an RPN. However, because their receptive fields are fixed, the top-most feature maps are incompatible with objects in pictures of varying sizes. Because there is not much information left on the topmost characteristics, particularly for smaller items, it is difficult to utilize this information in our investigation regarding the identification of surface flaws in metal components. Liao et al. (2021) propose an end-to-end detector based on cutting-edge deep learning, YOLOv4, to automatically detect surface defects in printed circuit boards. Through the evaluation of the detector based on a custom dataset, the research demonstrates that the proposed detector has a higher performance in terms of mean average precision (mAP) and detection speed compared to similar research work. They improve on the original YOLOv4 by including some new approaches that improve how surface patches are accumulated and how defects are searched. Chen et al. (2020) propose DeepNDEC, an YOLO-V4 backbone network enhanced with focal loss that promotes a balance in accuracy between positive and negative samples, overcoming issues of imbalance. They designed and implemented a target detection algorithm for electrical power equipment that can successfully classify images of one of 16 objects, including oil leakage, electric equipment, vehicles, rocks, and others. Liu et al. (2021) propose a surface defect detection algorithm based on YOLOv4, which has both improved recognition accuracy and computational efficiency. They pushed the mean average precision for steel strip surface defect detection to 85.41%, from 84.64% for the previous state-of-the-art, in the context of comparing against edge point clouds. With a mean average precision of 84.64%, YOLOv4 outperforms the original YOLOv3.

Deep learning and machine learning are two examples of automated inspection approaches that are beginning to replace human inspectors in the area of industrial product inspection. Defect detection in manufactured goods is increasingly striving towards real-time detection. Although it works better at identifying industrial defects, deep learning still has to deal with problems such as incomplete defect data sets, short samples, and small goals.

3. Proof of theorem for k-methods

The following assertion demonstrates the existence of a valid dual quadratic under the condition that the components in the support are suitably spaced apart, and as a direct result of this, the theorem of the K method follows as a direct consequence.

This notion will be demonstrated throughout the rest of this section. Our approach involves first interpolating v on T using a low-frequency kernel and then correcting the interpolation to guarantee that the derivative of the dual quadratic is zero on T . This is how we get our results. The essential component that we use is;

$$K(t) = \left[\frac{\sin\left(\left(\frac{f_c}{2}+1\right)\pi t\right)}{\left(\frac{f_c}{2}+1\right)\sin(\pi t)} \right], 0 < k < 1 \quad (1)$$

And $k(0) = 1$. If f_c is an even number, then $K(t)$ is the square of the Fejer kernel, which is a trigonometric polynomial with frequencies that satisfy the condition that $|k| \leq f_c/2$. As a direct result of this, K takes the form.

If the reader is paying close attention, they could notice that the selection of the interpolation kernel seems to be quite random. In the point of fact, one may also utilize the Fej'er kernel or any other power of the kernel by using very comparable approaches for the proof. We have discovered that the second equation gives a decent constant, since it strikes a reasonable balance between the transfer between localization in temporal and in frequency. This makes it a useful constant.

In order to build the dual quadratic, we first interpolate v with K and then with K' , which is K 's derivative. When the following q functions are investigated (2, 3, 4), the boxing expressions of the image mappings are eliminated at the location where the k value is discovered.

$$q(t) = \sum_{t_j \in T} \sigma_j K(t - t_j) + \beta_j K'(t - t_j), \tag{2}$$

$$q(tk) = \sum_{t_j \in T} \sigma_j K(tk - t_j) + \beta_j K'(tk - t_j) = vk, \quad \forall tk \in T, \tag{3}$$

$$q(tk) = \sum_{t_k \in T} \sigma_j K(tk - t_j) + \beta_j K'(tk - t_j) = 0, \quad \forall tk \in T. \tag{4}$$

Because of this, as we shall see in the next section, it follows that the magnitude of q achieves a local maximum at these sites, which, in turn, is used to demonstrate that the hypothesis is valid.

The demonstration of this proposition relies on these equations, each of which will be the topic of discussion in the subsequent section. The first one demonstrates that it is feasible to interpolate any sign pattern perfectly, provided that the support is spread out and distributed in a certain way.

The proofs of the formulas discussed above make extensive use of the fact that the interpolation kernel and its derivatives decay at an increasingly fast rate as one moves further away from the origin. The intermediate result, which may be seen below (5, 6), demonstrated that. The distribution range of the spatial states of the picture files may be stated by looking at equation 7, which can be found here.

$$|k(\tau)(t)| \leq Be(t) = \left\{ Bl(t) = \frac{\pi^l He(t)}{(fc+2)t^4} \right\} \frac{1}{2} \tau c \leq k \leq \sqrt{\frac{2}{\pi}}, \quad \sqrt{\frac{2}{\pi}} \leq k \leq \frac{1}{2} \tag{5}$$

Where $K_0 = 1, K_1 = 3, K_2 = 17, K_3 = 76,$

$$K_0(t) = \sigma^4(t), K_1(t) = \sigma^4(t)(2 + 2b(t)), K_2(t) = \sigma^4(t)(4 + 7b(t) + 6b^2(t)), K_3(t) = \sigma^4(t)(8 + 24b(t) + 30b^2(t) + 16b^3(t)), \tag{6}$$

And

$$a(t) = \frac{2}{\pi(1 - \frac{\pi^2 t^2}{6})}, b(t) = \frac{1}{fc} \frac{a(t)}{t}. \tag{7}$$

First, we take into account the sum of all positive t_i that are less than K , and designate by t_+ the positive element in K that is closest to 0. The following equation (8) is an illustration of the expression of the input values over the sampled model of the K value.

$$\sum_{t_i \in K: 0 < t_i \leq 1/2} |K^{(l)}(t - t_i)| = |K^{(l)}(t - t_i)| + \sum_{t_i \in K \setminus \{t_i\}: 0 < t_i \leq 1/2} |K^{(l)}(t - t_i)|. \tag{8}$$

Let us suppose that $K_+ < 3\Delta \min\{\tilde{f}_0\}$ [(if $K_+ > 3\Delta \min\{\tilde{f}_0\}$ is less than two dimensions, (if K_+ is more than two dimensions, the logic is essentially similar). If $fc \geq 128$ to $24\Delta \min\{\tilde{f}_0\}$ [$< 0.33 < \sqrt{(2/\pi)}$]]. When we talk about the minimal separation requirement equation 9, we indicate that the second term on the right-hand side is the maximum allowed.

$$\sum_{j=3}^{24} Bl(j\Delta min - k) + \frac{\pi l}{(fc+3)^{24-l}} \sum_{j=24}^{\infty} \frac{Kl}{(j\Delta min+t)}, \tag{9}$$

which might have an upper limit established due to the fact that calculations were made to determine the maximum and lowest ranges of the K value (10, 11) over the picture being targeted.

$$\sum_{j=24}^{\infty} \frac{K_l^{\infty}}{(j\Delta min+t)} \leq \sum_{j=23}^{\infty} \frac{K_l^{\infty}}{(j\Delta min)} = \frac{K_l^{\infty}}{\Delta min} (\sum_{j=1}^{\infty} \frac{1}{j} - \sum_{j=1}^{23} \frac{1}{j}) = \frac{K_l^{\infty}}{\Delta max} (\frac{\pi}{99} - \sum_{j=1}^{22} \frac{1}{j}) \tag{10}$$

$$|K^{(l)}(t - ti)| \leq \{(min\Delta \leq k \leq 3\Delta min.) (max\Delta \leq k \leq 3\Delta max.)\}, k \leq 3\Delta min, k \leq 3\Delta max, \tag{11}$$

4. Methods

The backbone, neck, and head networks constitute the standard architecture for object detection. The backbone network is utilized for the extraction from an image. Common examples are the VGG Net, ResNet (McNeely-White et al., 2020) and Inception Net (Punn & Agarwal, 2020). The neck network, which may be either a Feature Pyramid Network (FPN) (Wang & Zhong, 2021), a Path Aggregation Network (PANet) (Liu et al., 2018), or a Bidirectional Feature Pyramid Network (BiFPN) (Cao et al., 2021), has seen extensive application for combining features from several layers through either a bottom-up or a top-down route. The head network may be utilized for prediction once data are gathered and processed from the neck and backbone networks. One-stage object detectors like YOLO and SSD, and four-stage detectors like the R-CNN series are common ways to classify the head network.

The KD-YOLO network architecture (shown in Fig. 3) consists of four modules: the input model; the backbone, a modified PANet; and a detector network. The PANet architecture is the primary distinction between YOLOv4 and KD-YOLO. The KD-PANet YOLO's were modified so that shallow feature information could be saved. This was done because the lack of shallow feature information could cause the identification of very small objects to be inaccurate. There are two phases to this adjustment (see Fig. 3). YOLO's network is responsible for feature extraction from incoming pictures first. Second, a convolutional neural network is used to classify the items inside each of the image's regressed bounding boxes. It is suggested to combine PANet with KD-YOLO in order to improve the accuracy and speed of detecting metal component faults. Finally, flaws in metal components may be found with the help of the detection network. The FPN findings are used as the foundation for the construction of a bottom network, which is then used to supplement the shallow location information contained in FPN discoveries. Because of this, PANet is now a k-method backbone network that operates both top-down and bottom-up.

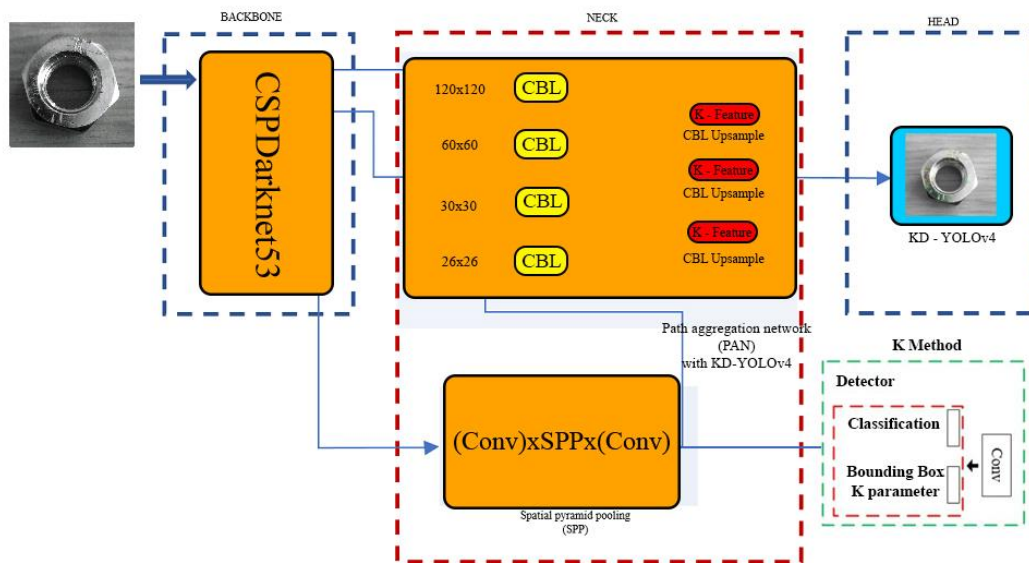


Figure 3. The suggested architecture of KD-YOLO

The k method's feature for tiny items: handling feature size concerns is critical for detecting tiny objects. In particular, semantically rich features have the potential to enhance shallow spatially rich features. It is possible to obtain both deep semantically rich features and shallow geographically rich features via the integration of many types of feature information, which is a trait that the k-method has. As a result, the form of k is crucial for this investigation. The sample study of detecting defective parts in the analysis phase is shown in Fig. 4. The highest color value determined in the 144 square area divided into 12 * 12 grid areas was 98. The error was detected in two different square areas belonging to 90% and above the color value. As a result of the analysis, the defective parts are seen compared to the original pictures of the product.

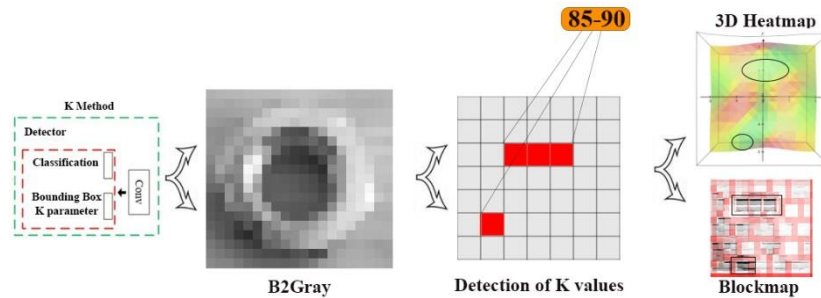


Figure 4. Structure of the K method (Detector)

The YOLOv4 algorithm for tiny object recognition begins by upsampling the 30x30 feature map acquired from the SPP network to 60x60, and then adding a k layer in between the feature maps as seen in Fig. 4. The original 60x60 feature map is then simply upsampled to 120x120. Finally, it makes contact with the 60x60 and 120x120 feature layers.

The YOLOv4 PANet integrates both low-and high-level data. However, it might have drawbacks when used to detect tiny objects. Upsampling from 60x60 to 120x120 may cause predictive data loss. When going from 256 channels to 128, there may be some information loss. Furthermore, on the 120x120 scale, the amount of model computation for the head network may increase. In Fig. 5, we can see the proposed KD-Feature YOLO's Fusion network in action.

Figure 5 shows the layout of the improved PANet. The feature maps of 60x60 with 256 channels, 26x26 with 128 channels, and 120x120 with 128 channels all have a feature of kSPP, rather than being upsampled directly from 60x60 to 120x120. The suggested KD-YOLO feature of k-network is shown in Fig. 4 to have an extra k layer in comparison to the original YOLOv4 architecture.

The network of pruners, enhanced when using the box as an anchor, precedes it with a priori. A rough estimate of the number of previous anchor boxes, as well as their aspect ratio, can be obtained by applying the K-means++ clustering method. The ability to determine bounding boxes may then be improved with the help of the previous anchor boxes. K was limited to a range of one to twelve. Figure 5 shows that these data suggest that the knee point of K is five, leading to an average IoU and a complexity of the model that are both manageable. The results show that there are five cluster centers with larger box-bound sizes (24, 24), (20, 36), (38, 12), (24, 28), and (30, 36).

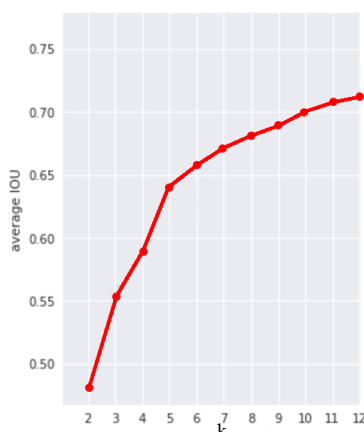


Figure 5. Shows the average IOU for a variety of anchor box counts.

4.1. Head kd-yolo

In the original YOLOv4 method, there are 5 prediction bounding boxes for each of the 120x120, 60x60, and 30x30 pixel feature maps. Larger receptive fields are ideal for small object detection in KD-YOLO, and deep-layer features like 60x60 and 30x30 with semantic-rich information are ideal. Research has shown that the detection of tiny objects might be challenging for sensors with a narrow receptive field. This study stopped using smaller feature maps in favor of a 120x120 feature map, which also reduced the complexity of the network.

5. Results

5.1. The Selection and Preparation Process of the Training and Testing Data

In this study, the training and testing data for the KD-YOLO model were meticulously selected and prepared from a domestic manufacturing facility, ensuring relevance and applicability to real-world industrial settings. A total of 2,400 high-resolution images (3264x2448 pixels) were captured using a single industrial camera, focusing on a range of metal parts with surface defects. The defects represented in these images comprise no more than 4% of the total area, reflecting realistic scenarios where defects are typically small and discrete. To prepare this dataset for effective model training and testing, we employed an 8:2 split, ensuring a comprehensive learning process while retaining a substantial portion for unbiased evaluation. The augmentation of the dataset was a critical step in our methodology. This system is equipped with a single NVIDIA GeForce GTX1650ti graphics card, 32GB of RAM, and an AMD Ryzen 7 4800 7 core processor. We used a learning rate of 0.001, an attenuation coefficient of 0.0005, and an iteration rate of 40000. Python 3.9 and the Darknet framework were used for this. Techniques like geometric distortion and mosaic data augmentation, based on the cut-mix theory, were employed. This approach helped in enhancing the dataset's diversity, adding contextual richness, and simulating various potential defect scenarios. The mosaic technique involved combining images in a 12x12 grid format, which proved particularly beneficial in increasing the complexity and variability of the training data, challenging the model to identify defects under diverse conditions. This rigorous process of data selection, augmentation, and preparation was crucial in training the KD-YOLO model to recognize and classify defects with high precision. By using real images from a manufacturing environment, we ensured the model's training was grounded in practical, industry-relevant scenarios. The diverse nature of the data, enhanced by our augmentation techniques, was instrumental in developing a robust model capable of handling the intricacies of real-world defect detection in metal components.

Data augmentation techniques, such as geometric distortion and mosaic, were used to add to the original data set. The cut-mix theory is the basis for mosaic data augmentation. As opposed to the four pictures utilized by the mosaic, there are only two in the cut-mix. Mosaic's use is beneficial since it adds more contextual information to picture databases. The data set was first mirrored and rotated to increase its size by a factor of ten. The photos were then combined using the mosaic technique, as seen in Fig. 6.

When evaluating the performance of an object detector, two important metrics to consider are its average precision (AP) and its mean average precision (MAP) in relation to the ground truth and the predicted bounding box (IOU). In this research, we conducted two tests to test the accuracy of the optimized feature of the K network. Data from the experiments are shown in Table 1.

Table 1 summarizes the average findings of many separate tests. As the graph shows, increasing the feature map's dimension leads to more accurate predictions. The performance of the KD-YOLO-4/512 is superior to that of its predecessor, the Model KD-YOLO-2/256. Both models employ the same resblock body and feature map dimension as YOLOv4. Table 1 shows that MAP has increased from 73.61 percent to 85.42 percent. KD-YOLO has a lower IOU than KD-YOLO-2/256 since it does so with a less-than-ideal choice for the previous anchor box. Table 2 shows that compared to YOLOv4, the suggested technique has a higher performance in terms of both accuracy and processing time. Potential causes include a better harmony between semantic and spatial data, as well as a larger total number of factors. As seen in Fig. 7, the KD-YOLO method converges after 40000 iterations.

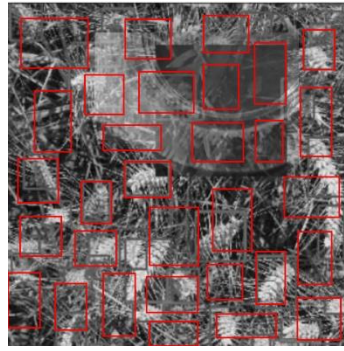


Figure 6. Example of mosaic data augmentation

Table 1. Comparison of mAP and IOU

METHOD	PRECISION	F1 SCORE	RECALL	MAP	AVERAGE IOU
KD-YOLO 2/128	82.83	80.67	81.25	80.56	51.25
KD-YOLO 2/256	85.25	84.17	84.08	84.03	54.63
KD-YOLO 4/512	86.58	85.25	85.58	85.42	53.29
YOLOV4	76.08	73.58	74.41	73.61	49.04

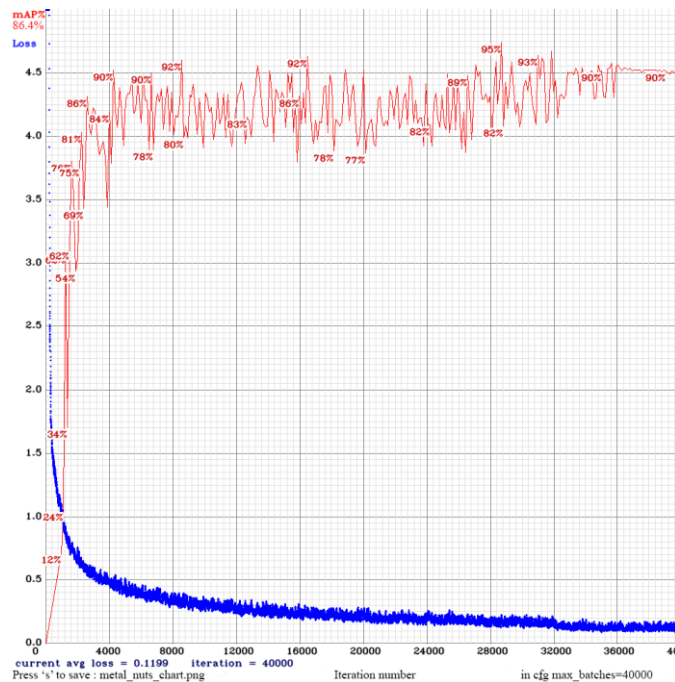


Figure 7. Training loss and mAP of KD-YOLO-4/512

Experiments were carried out to compare the performance of the KD-YOLO model with that of YOLOv4, YOLOv5, and PP-YOLO; the results are summarized in Table 2. All of these models were trained using the same data in this experiment. Based on the findings, the KD-YOLO model outperformed YOLOv4, YOLOv5, and PP-YOLO. For starters, KD-YOLO had the best mAP. Second, although the F1 values for KD-YOLO and PP-YOLO are quite close to each other, YOLOv4 is less accurate than KD-YOLO. Third, YOLOv4 has the worst performance of the four examined here. As a result, our results demonstrate that both deep and superficial information is necessary for tiny object recognition. In conclusion, our approach not only simplifies the model but also enhances the precision with which small objects are detected.

Table 2. Comparison of detection accuracy between KD-YOLO and the other models

MODEL	F1	MAP	BFLOP
YOLOV4	0.82	0.8	47.6
YOLOV5	0.85	0.84	100.4
PP-YOLO	0.86	0.83	118.5
KD-YOLO	0.89	0.91	70.1

6. Conclusions

In this investigation, KD-YOLO is offered as a method to improve chip surface categorization and defect detection. In this research, a novel technique called the k-feature method was used to improve the whole PANet, which was previously built on top of the CspDarknet53 meta network. Thus, by strategically combining the right layers, the receptive field can be improved using this technique. In addition, k-means++ was used as a preliminary anchor estimation technique in this investigation. Finally, the data set was preprocessed using the Mosaic data augmentation approach. Compared to the original YOLOv4 model, KD-YOLO performs better in terms of classification and detection accuracy, as well as the number of parameters. The suggested features of the k approach and pruning model may help with the identification of small objects. There is room for improvement in the accuracy of the detection and in the ability to make the model easier to understand. We expect to see both of these things in future research.

6.1. Practical Implications and Benefits

The KD-YOLO model, with its enhanced real-time processing capabilities, holds significant potential for practical applications in industrial settings, particularly in the field of production efficiency and quality control. In our study, the model's ability to swiftly process and analyze high-resolution images for defect detection in a real-world manufacturing environment showcases its practical utility. This rapid processing capability is essential in industrial production lines, where even small delays can accumulate, leading to significant time and resource expenditure. By integrating the KD-YOLO model into the quality control process, manufacturers can expect a more efficient workflow, with real-time detection allowing for immediate identification and rectification of defects. This immediacy not only helps in reducing waste but also ensures that the quality of the final product meets the high standards required in today's competitive market. Furthermore, the model's accuracy in defect detection minimizes the risk of false negatives, which are critical in maintaining product reliability and customer trust. Overall, the implementation of the KD-YOLO model in industrial environments exemplifies a move towards more automated, efficient, and reliable production processes, marking a significant step forward in the integration of advanced AI technologies in manufacturing.

6.2. Limitations of the KD-YOLO Model

In our study, we have identified several key limitations of the KD-YOLO model which are crucial for its future development and application in real-world scenarios. Firstly, the model was tested in a controlled manufacturing environment, and its performance in varied lighting conditions or complex backgrounds typical of real-world industrial settings is yet to be evaluated. This raises concerns about the model's adaptability and robustness in less controlled environments, highlighting the need for training on more diverse datasets. Secondly, while the model excels in detecting small-scale defects, its efficacy across a diverse range of object sizes, especially larger defects, is not extensively validated. This suggests a potential need for further tuning to maintain high accuracy across all defect sizes. Thirdly, the significant computational resources required by the KD-YOLO model pose a challenge for real-time applications and in environments with limited processing capabilities. Optimizing the model for computational efficiency, possibly through model pruning or advanced hardware accelerators, is essential for its broader applicability. Lastly, the model's current performance evaluation is based on a dataset with limited variability, which might affect its generalization to different types of datasets with varying qualities of metal parts. Moreover, the model's ability to detect extremely small or faint defects, distinguish defects closely resembling background material, and accurately identify overlapping defects are areas that need attention. Addressing these failure scenarios is critical for enhancing the model's reliability and accuracy in high-stakes industrial quality control applications, ensuring it can effectively handle a wider range of real-world defect detection scenarios.

Recognizing the identified limitations of our KD-YOLO model, we envisage several promising avenues for future research to further refine and enhance its applicability. Primarily, algorithmic enhancements are crucial for better generalization capabilities across diverse datasets. This includes adapting the model to effectively handle variations in lighting, background complexity, and a broader range of defect types in metal parts, which are common in real-world industrial settings. Moreover, computational optimization is another key area for development, especially to facilitate real-time applications in manufacturing environments where processing power may be limited. This would involve streamlining the model architecture and exploring more efficient methods of feature extraction and object detection, without compromising the detection accuracy, particularly for small-sized defects. Additionally, future studies could focus on integrating the KD-YOLO model with other emerging technologies, such as augmented reality for enhanced visual inspection, or Internet of Things (IoT) for creating a more interconnected and automated defect detection system. By pursuing these directions, we aim to not only overcome the current limitations but also expand the practical utility and robustness of the KD-YOLO model in diverse industrial applications.

Author contribution

All stages of this study were carried out by YSB.

Declaration of Ethical Code

In this study, we undertake that all the rules required to be followed within the scope of the Higher Education Institutions Scientific Research and Publication Ethics Directive have been complied with, and that none of the actions specified under the title of Actions Contrary to Scientific Research and Publication Ethics of the said directive have been carried out.

The author of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethics committee approval and/or legal-specific permission.

Conflicts of interest

The author declare that they have no conflict of interest

References

- Atwood, J., & Towsley, D. (2016). Diffusion-convolutional neural networks. *Advances in neural information processing systems*, 29.
- Cao, D., Dang, J., & Zhong, Y. (2021). Towards accurate scene text detection with bidirectional feature pyramid network. *Symmetry*, 13(3), 486.
- Cao, Z., Yang, H., Zhao, J., Pan, X., Zhang, L., & Liu, Z. (2019). A new region proposal network for far-infrared pedestrian detection. *IEEE Access*, 7, 135023-135030.
- Chi, W., Ma, L., Wu, J., Chen, M., Lu, W., & Gu, X. (2020). Deep learning-based medical image segmentation with limited labels. *Physics in Medicine & Biology*, 65(23), 235001.
- Chu, P., Li, Z., Lammers, K., Lu, R., & Liu, X. (2021). Deep learning-based apple detection using a suppression mask R-CNN. *Pattern Recognition Letters*, 147, 206-211.
- Girshick, R. (2015). Fast r-cnn. In *Proceedings of the IEEE international conference on computer vision* (pp. 1440-1448).
- He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2015). Spatial pyramid pooling in deep convolutional networks for visual recognition. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 37(9), 1904-1916.
- He, K., Girshick, R., & Dollár, P. (2019). Rethinking imagenet pre-training. In *Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision* (pp. 4918-4927).
- Liao, X., Lv, S., Li, D., Luo, Y., Zhu, Z., & Jiang, C. (2021). YOLOv4-MN3 for PCB surface defect detection. *Applied Sciences*, 11(24), 11701.

- Lin, T. Y., Dollár, P., Girshick, R., He, K., Hariharan, B., & Belongie, S. (2017). Feature pyramid networks for object detection. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 2117-2125).
- Liu, S., Qi, L., Qin, H., Shi, J., & Jia, J. (2018). Path aggregation network for instance segmentation. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 8759-8768).
- Liu, Y., Wang, Q., Zhao, K., & Liu, Y. (2021). Real-time defect detection of hot rolling steel bar based on convolution neural network. *Chin. J. Sci. Instrum*, 42, 211-219.
- MathWorks.com (2019) 'R-cnn, fast r-cnn, and faster r-cnn basics', ©1994-2019 The MathWorks, Inc.
- Monteiro, A. M., Vale, J. M., Cepêda, C. M., & de Almeida Leite, E. M. (2021). Internal control system quality and decision-making success: The role of the financial information quality. *Universal Journal of Accounting and Finance*, 8(10), 3310-3322.
- Panda, A., Dobránský, J., Jančík, M., Pandová, I., & Kačalová, M. (2018). Advantages and effectiveness of the powder metallurgy in manufacturing technologies. *Metalurgija*, 57(4), 353-356.
- Parico, A. I. B., & Ahamed, T. (2021). Real time pear fruit detection and counting using YOLOv4 models and deep SORT. *Sensors*, 21(14), 4803.
- Punn, N. S., & Agarwal, S. (2020). Inception u-net architecture for semantic segmentation to identify nuclei in microscopy cell images. *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications (TOMM)*, 16(1), 1-15.
- Silvius, A. J., & Schipper, R. P. (2014). Sustainability in project management: A literature review and impact analysis. *Social business*, 4(1), 63-96.
- Śmiateńska, K., & Podziewski, P. (2019). A human quality control system in furniture manufacturing—a pilot study. *Annals of Warsaw University of Life Sciences SGGW Forestry and Wood Technology*, 108, 93-96.
- Wang, C., & Zhong, C. (2021). Adaptive feature pyramid networks for object detection. *IEEE Access*, 9, 107024-107032.

Kentsel odak mekânlarındaki “görsel odakların” sokak sistemleriyle ilişkileri: Anadolu Yerleşmeleri örneği

Relationships between “visual foci” on urban nodes and street systems: The case of Anatolian settlements

Havva ÖZDOĞAN*¹ , Sonay ÇEVİK² 

¹Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 53100, Rize

²Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 61080, Trabzon

• Geliş tarihi / Received: 01.12.2023

• Kabul tarihi / Accepted: 14.03.2024

Öz

Kentsel odak mekânı kavramı toplumsal yaşam ve yerleşme kültürüne bağlı olarak farklılaşabilmektedir. Kentsel dokunun ana belirleyicilerinden olan sokaklar, sokakların morfolojik yapıları ve birbirleriyle ilişkileri, kesişme-buluşma biçimleri kentsel odak mekânlarının biçimsel yapılarını etkileyebilmektedir. Yerleşmeler planlı ve plansız olarak sınıflandırıldığında plansız yerleşmelerin tekrarlanmayan kendine özgü biçimlenmeleriyle planlı yerleşmelerden farklılaştıkları görülmektedir. Çalışma “yerleşme alanı – yerleşme alanlarındaki odak noktaları – yerleşme alanlarındaki odak noktalarının görsel odakları” arasındaki hiyerarşik yapı üzerine kurgulanmakta, geleneksel Anadolu yerleşmelerdeki sokak kesişim sistemleriyle oluşan sokak mekânları ve meydanlar kapsamında yürütülmektedir. Bu kapsamda kentsel toplanma mekânlarına ait tipolojik ve morfolojik yapının ortaya konması, toplanma mekânlarında mekân dizimi visibility (görülebilirlik) analiziyle görsel odak noktalarının ortaya konması ve sokak sistemleri ile aralarındaki ilişkiler, görsel odak noktalarının kentsel mekânda bulunma biçimlerine bağlı tipolojiler, sokak sisteminin değişimiyle görsel odak noktalarında ortaya çıkan değişikliklere ait morfolojik seriler irdelenmektedir. Çalışma kapsamında sokak eksenlerinin kesişme noktalarının/bölgeleri ile mekân dizimi yöntemiyle elde edilen görsel odak noktalarının birbirine benzer oldukları, sokak mekânlarındaki görsel odaklarının sokak mekânını çevreleyen düşey düzlemlerin tek kenarında, meydanlardaki görsel odak noktalarının meydanı çevreleyen düşey düzlemlerin iki kenarında yoğunlaştıkları görülmekte, bu durumun dinamik-sokak ve statik-meydan doğal yapısının bir sonucu olarak ortaya çıktığı değerlendirilmektedir.

Anahtar kelimeler: Geleneksel Anadolu yerleşmeleri, Görsel odak, Meydan, Meydan-sokak kesişim sistemi, Sokak

Abstract

The streets, which are among the main determinants of the urban fabric, the morphological structures and interrelations of streets, and their forms of intersection/convergence may affect the stylistic structures of urban nodes. If settlements are compared as planned and unplanned settlements, it is seen that with their nonrecurrent unique configuration, unplanned settlements differ from planned settlements. This study is organized based on the hierarchical structure including “settlements, urban nodes in settlements, and visual foci on urban nodes”, and it covers the street spaces and squares forming with street intersection systems in traditional Anatolian settlements. In this context, typological and morphological structures in urban spaces of gathering, visual foci demonstrated by the visibility analyses of the space syntax in gathering spaces, the relationships between visual foci and street systems, typologies relating to the styles of the presence of visual foci in the urban space, and the morphological patterns of changes that emerge in visual foci by the transformation of street systems are investigated. In the scope of this study, it is seen that the intersection points/areas of street segments and the visual foci obtained using the space syntactic analysis method are similar to each other, the visual foci in street spaces are gathered on one side of the vertical planes surrounding these spaces, the visual foci in squares are gathered on two sides of the vertical planes surrounding the squares, and this situation has developed as a consequence of the natural dynamic street and static square structure.

Keywords: Traditional Anatolian Settlements, Visual foci, Square, Square-street intersection systems, Street

*Havva ÖZDOĞAN; havva.ozdogan@erdogan.edu.tr

1. Giriş

1.1. Introduction

Kentin dokusal kompozisyonu yapılar ile yapılar arasındaki boşluklara bağlı olarak oluşmaktadır. Kent dokusundaki boşluklar yapılar dışındaki parsel alanları, yapı adası boşlukları, sokaklar, caddeler, parklar, meydanlar ve su alanları olarak öne çıkmaktadır (Ocağcı, 2012). Kentlerin planlı ya da plansız olmasına bağlı olarak sokakların, sokak kesişim sistemlerinin yerleşme dokusunun ve kompozisyonunu oluşturmakta belirleyici oldukları görülmektedir. Sokak mekanlarındaki uzunluk ve genişlik değişimleri, kırılma biçimleri ve açıları, sokak sınırını tanımlayan bina ya da düşey düzlem öğelerindeki detaylar, sokakların farklı yönlerde ve açılarda birbirlerini kesmeleri gibi mekânsal bileşenlere ait özellikler yanında sokaklarla bütünleşen yeşil, su, anıt gibi mekânsal öğeler kentsel mekanları biçimlendirmektedir. Plansız yerleşmelerin kendine özgü yapılanmalarına bağlı olarak sokak mekânı ve meydan gibi kentsel buluşma mekanlarının kendine özgü mimari karakterleri ve kimlikleri oluşmaktadır. Bu kapsamda kentsel buluşma mekanlarının görsel odağındaki mekânsal öğelerin sokaklar ve sokak kesişim sistemi ile ilişkilerinin görsel algıya bağlı biçimsel kimliğin oluşumu, sürdürülebilirliği ve devamlılığı açısından önemli olduğu düşünülmektedir.

Farklı yönlerden gelen sokakların kesiştikleri kentsel toplanma mekanlarındaki sokak eksenleri kullanıcıların mekandaki hareketlerini, mekânsal yönelmelerini ve algılamalarını etkilemektedir. Görsel odak noktalarında öne çıkan kentsel mekân bileşen (zemin düzlemi, düşey duvar düzemi) ve öğelerinin (ağaç, su, anıt vb.), algılanma yoğunluğuna bağlı olarak yerleşmelerin ve yerleşmelerdeki odak noktalarının biçimsel kimliğini etkileyebilen öğeler olarak tanımlanabilecekleri düşünülmektedir. Kentsel mekanlar sokak sistemlerinin kentsel mekandaki rota alternatifleri doğrultusunda algılanmakta, bu algılamada görsel algının odağındaki öğeler farklılaşabilmektedir. Kentsel mekânların görsel odak noktalarının sokak hareket sistemi ile bağlantısının bulunup bulunmadığı, hareket sistemi değiştiğinde görsel odak mekanlarının değişip değişmediği ya da nasıl değiştiği konularının önemli olduğu görülmektedir. Bu kapsamda hem genel olarak kentsel buluşma mekanlarındaki hem de detay olarak sokak mekanları ve meydanlardaki görsel odak noktalarına ait morfolojik yapılanmalara bağlı olarak benzerlik ve farklılaşmaların önemli olduğu düşünülmektedir.

Çalışma Anadolu'nun farklı coğrafi bölgelerinden geleneksel yerleşim özelliğini geniş alanlarda koruyabilen yerleşmelerindeki toplanma-buluşma mekanları kapsamında yürütülmektedir. Öncelikle odak mekanları tipolojik olarak sokak mekanları ve sokak kesişmelerine bağlı olarak oluşan düğüm noktaları-meydanlar olarak sınıflandırılmakta ve bu mekanlara ait morfolojik yapılar ortaya konmaktadır. Daha sonra space syntax (mekan dizimi) yöntemi ile visibility / görülebilirlik analizleri yapılmakta, sokak mekânı ve meydanlarda görsel odak noktaları ortaya konmaktadır. Elde edilen nitel ve nicel verilere bağlı olarak kentsel buluşma mekanlarındaki görsel odak noktalarının tipolojik ve morfolojik bulgularına ulaşılması hedeflenmekte, görsel odak ve sokak kesişim sistemi ilişkileri, kentsel mekanları tanımlayan sokak kesişim sistemi, sokak mekânı ve meydanlardaki görsel odak tipolojileri, sokak mekânı ve meydanları tanımlayan sokak kesişim sistemlerindeki sokakların sayı ve konum değişimlerine bağlı olarak görsel odaklarda morfolojik serilerin elde edilmesi amaçlanmakta, Anadolu'da geleneksel yerleşmeler kapsamına bağlı olarak değerlendirmeler ve tartışmalar yapılması hedeflenmektedir.

2. Kentsel buluşma mekanları ve görsel odak noktaları

2.1. Urban spaces of gathering and visual foci

2.1.1. Sokak sistemleri, sokak ve meydan mekânı morfolojileri

2.1.1.1. Street systems and spatial morphologies of streets and squares

Morfoloji (morphology) kelimesi “morphe” (biçim) ve “logie” (mantık) kelimelerinin birleşmesiyle formu anlamanın mantığı olarak kullanılmaktadır (Sadeghi & Li, 2019). Kentsel morfoloji yerleşim alanlarının fiziksel biçiminin, kentsel dokunun, bileşenlerinin ve bunların ilişki biçimlerinin incelenmesi olarak tanımlanmaktadır (Chiaradia, 2019). Fiziksel çevrenin sosyal ve fiziksel özelliklerinin somut etkilerine, yapılanmış dokunun kökenlerine ve değişimine, binalar, sokaklar, karakterler ve kentsel perspektif konularına, kentsel alanların fiziksel yapılarına, biçim ve kentsel alan kombinasyonu alanlarına odaklanmaktadır (Sadeghi & Li, 2019). Kentsel morfoloji ve mimari tipolojiyi birleştiren İtalyan okulunun önemli temsilcileri Saverio Muratori, Carlo Aymonino, Gianfranco Caniggia ve Aldo Rossi, bina, doku, arazi ve bina kullanımı konuların önceleyen İngiliz okulunun önemli temsilcileri Conzen ve Whitehand, bina, parsel ve ada üzerinde yoğunlaşan Fransız okulunun önemli temsilcilerinin Jean Castex, Jean-Charles Depaule ve Philippe Panerai olarak öne çıktıkları

görülmektedir (Chiaradia, 2019). Kent morfoloji çalışmalarında mekansal, zamansal ve faktörlerle ilişkili yaklaşımlar, tipoloji ve karakter araştırma yöntemleri ile kalitatif (geleneksel), sayısal (veri tabanlı) ve kombine araçlar kullanılmaktadır (Bertyák, 2021).

Yol ve sokak kavramlarının işlevlerinin benzer olmasına rağmen aralarında farklılıklar bulunduğu, yolun farklı yerler arasında yayalar ve araçların ulaşımını sağlayan bir iletişim hattı olarak kabul edildiği, sokağın ise bitişik evler arasında hareketin meydana geldiği doğrusal yüzeyler olarak kapalı, üç boyutlu bir alan olarak tanımlandığı görülmektedir (Moughtin, 2003). Sokak elemanları hareket kanalları (demiryolu, otoyol, sokak, yol, patika, servis yolu), kamusal mekân (açık alan, avlu, sokak, yol, patika) ve yapıli formun (bina kompleksi, servis yolu, avlu, sokak) kesişme noktasında konumlandırılmaktadır (Marshall, 2005). Sokaklar iletişim aracı olmanın ötesinde toplumsal yaşamın gerçekleştiği sosyal alanlar olarak görülmektedir. Jane Jacobs sokak ve kaldırımların şehrin en hayati organları olduğunu, bir şehrin sokaklarının ilginç görünmesinin kentinde ilginç görünmesine neden olacağını belirtmektedir (Jacobs, 1961). Yerleşmeler içindeki ulaşım sistemleri bulunduğu bölgenin sosyo-kültürel yapısına bağlı olarak yol biçiminde ulaşımı sağlamanın yanında başka görevler (pazar yeri, festival alanları...) üstlendikleri görülmektedir (Cirtci & Yücel, 2021). Sokak mekânında yapılanmış çevre ile sosyal çevre arasındaki ilişkiler, eylem bölgeleri (konut, bahçe, sokak, meydan) ve eylemleri; konut-ev bölgesi, bahçe bölgesi, kapı önü bölgesi, sokak bölgesi, meydan bölgesi, dini yapılar bölgesi-cami, alışveriş bölgesi, dinlenme-toplanma bölgesi olarak sıralanmaktadır (Çevik, 1991). Sokakların yaşam (konut, ticari, sosyal), hizmet (ulaşım, erişim), teknik alt yapı (su, kanalizasyon, elektrik...) ve kenti biçimlendirme (alan düzenlenmesi, sokak ağı...) gibi işlevleri bulunmaktadır (Çulık, vd., 2019). Sokakların biçimsel özellikleri işlevsel çeşitliliğin oluşumunu desteklemektedir. Sokaklar tipolojik olarak; doğru sokaklar- düz ve düze yakın, L tipi sokaklar, eğri sokaklar-kıvrımlı ve kırık sokaklar ve merdivenli sokaklar olarak tiplendirilmekte (Çevik, 1984), görsel olarak dinamik-statik, kapalı-açık, uzun-kısa, geniş-dar, düz-kavisli olma durumları, ölçek, orantı, ritim, diğer sokaklar ve meydanlarla bağlantı durumlarına göre analiz edilmektedirler (Carmona, 2003).

Sokak kesişmelerine bağlı olarak odak ya da düğüm noktaları ya da meydanlar oluşmaktadır. Kentlilerin kenti algılamasındaki stratejik noktalar olarak öne çıktıkları görülmektedir (Lynch, 2012). Meydan belli bir peyzajı olan, yer döşemesiyle kaplı, etrafı binalarla tanımlı kentsel alanlar olarak tanımlanmaktadır (Büyükcivelek, 2012). Başlıca buluşma yerleri olarak meydanların büyük tören alanları, yönetim binaları, tiyatro, sinema, restoran, kafe gibi binalar çevresinde eğlence mekanları, alışveriş alanları, pazar alanları, ofis alanları, konutların düzenlendiği yarı kamusal nitelikte alanlar, kentsel trafik kavşak alanları ile ilişkili oldukları görülmektedir (Moughtin, 2003). Toplanma-buluşma mekânı niteliğindeki kentsel meydan tipleri; semt parkları, mini parklar, kent meydanları, kampus dış mekanları, huzurevi-hastane ... gibi birimlerin dış mekanları olarak sınıflandırılmakta; kent meydanları etkili yüzeylerle tanımlanan, taşıtların bulunmadığı kentsel mekanlar olarak değerlendirilmekte, esas fonksiyonlarının oturmak, yemek yemek, etrafı seyretmek vb. olduğu belirtilmektedir (Marcus & Francis, 1990). Yaya ve taşıt ulaşımı işlevi, ticari ve kent işlevleri, oyun ve eğlence işlevlerinin öne çıktığı görülmektedir (Büyükcivelek, 2012). Meydanlar biçimsel yapılarına bağlı olarak kapalı meydan, dominant meydan, çekirdek meydan, grup meydan ve amorf meydanlar olarak sınıflandırılmaktadır (Zucker, 1959; Carmona, vd., 2003). Meydanlar sokaklar üzerinde konum ve biçimlenme yapılarına bağlı olarak; sokak boyunca gelişen meydanlar, sokak aksının tek tarafında gelişen meydanlar, sokak aksının her iki tarafında gelişen meydanlar ve sokak aksı üzerinde kaydırmayla oluşan meydanlar olarak ele alınmaktadır (Kara, 1995). Sokaklar farklı yönlerden gelip, tek bir noktada ya da yakın noktalarda kesişmelerine bağlı olarak Y, T, X ve ÇK (Çok Kollu) kesişmeler olarak sınıflandırılmaktadır (Özdoğan, 2023).

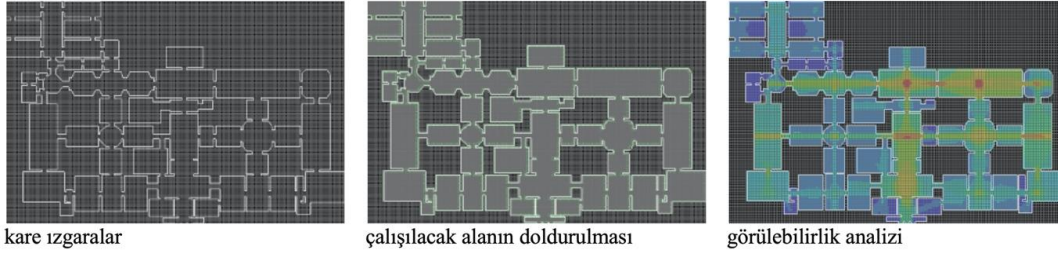
Sokaklar dinamik bir hareketin temsilcisi olarak kabul edildiğinde devam eden hareket akışını belirleyebildikleri görülmektedir. Sokak mekanlarının ve meydanların sokaklarla/yol akslarıyla olan bağlantıları genel strüktürle ilişki içerisinde değerlendirildiğinde; toplayan meydanlar (çoğunlukla kent merkezlerinde, çok sayıda yol aksını buluşturan kentsel mekanlar), yönlendiren meydanlar (devam eden yol aksını, devam ettiği yönün dışında başka bir yöne doğru açık bir şekilde yönlendiren meydanlar, çoğunlukla üçlü sokak kesişme alanları), karşılayan meydanlar (çoğunlukla yerleşme alanlarının, mahallelerin, sokakların girişlerinde; dışarıdan gelenlerce ilk ulaşılan noktalar, meydanlar olarak geniş bir açıklığın daralması biçimi ile kullanıcıyı kendine doğru çekmekte, davet etmektedir), sonlandırıcı meydanlar (devam eden aks hareketini sonlandırıcı toplanma-buluşma mekanları, olarak yerleşmeyi, çıkmaz sokakları sonlandırıcı meydan-meydancık ve tek girişli kentsel avlular... gibi) ve birbirine akan meydanlar (birbirlerine yol aksı, bina ögesi... gibi bağlayıcılarla bağlanan, hareketi birbirine yönlendiren, birbirine davet eden ilişkili meydanlar dizisi ya da

grupları) olarak beş başlıkta değerlendirilmektedir. Sokakların bu özellikleri onların yerleşme sistemi içindeki konumlarını ve fonksiyonlarını tanımlamada etkili olmaktadır.

2.2. Kentsel mekânda görülebilirlik, görsel odak ve görsel kimlik

2.2. Visibility, visual foci, and visual identity in the urban space

Algı dış dünyadaki nesnelere ait bilgilerin görünmesi ile anlamlı hale getirilmesi olarak tanımlanmaktadır (Dinçeli, 2020). Ya da kişinin sabit, ayakta durarak baktığında düşey ve yatayda gördüğü, farkında olduğu alan optik olarak algıladığı alan olarak tanımlanabilmekte, kentsel mekanlarda/mezdanlarda optik algılama tek bir noktadan değil, farklı noktalardan seri görünüşler halinde gerçekleşmekte, ince görüş açısı, ayırma görüş açısı, normal görüş açısı ve görme alanı olarak gözün görüş alanı özellikleri bulunmaktadır (Kuntay, 1994). Görünürlük kavramı mekâna ve çevreye göre belirli bir bakış noktasından görülebilen tüm noktaların kümesi olarak tanımlanmaktadır (Benedikt, 1979). Kentsel mekanların algılanmasında öne çıkan, görsel odağın merkezindeki kentsel mekân öğeleri ya da mekanları kentsel mekâna öne çıkan özellikleri olarak görsel ya da biçimsel/fiziksel kimlik kazanmalarında belirleyici olmaktadır. Kentsel mekânda görsel algıda öne çıkan bölgeler ya da noktaların analizinde mekân dizimi yöntemi kullanılmaktadır. Bill Hillier ve Julianne Hanson önderliğinde 1970'lerde geliştirilen bu yöntem yapı ve kent ölçeğindeki mekansal örgütlenme ve biçimlenme süreçlerini, insanların hareket ve görüş alanları analizleri üzerinde durmaktadır (Hillier, 1996; Şişman, 2015). Yapılı çevrenin tanımlanması ve mekansal konfigürasyonu analizinde mekân dizimi yöntemindeki görünürlük grafiği analizi kullanılmaktadır (Bendjedidi vd., 2018). Bunun için "depthmapX 3" programı ile çalışılmaktadır. İki boyutlu plan üzerinde çizim ölçeğine ya da insan ölçeğine uygun olarak oluşturulan kare ızgaralardan analiz edilecek bölgedekiler doldurulmakta, böylece kare merkezlerin karşılıklı görünürlüğü analiz edilebilmektedir. Karelerin merkez noktalarından başka kaç konumun görülebildiğine göre maviden (düşük görünür konum) yeşile, sarıya ve kırmızıya (birçok görünür konum) doğru değişen renklerle renklendirilerek mekandaki en görülebilir noktalar belirlenmektedir (Pinelo & Turner, 2010) (Şekil 1).



Şekil 1. Görülebilirlik analizi aşamaları (Pinelo & Turner 2010)

Figure 1. Visibility analysis stages (Pinelo & Turner 2010)

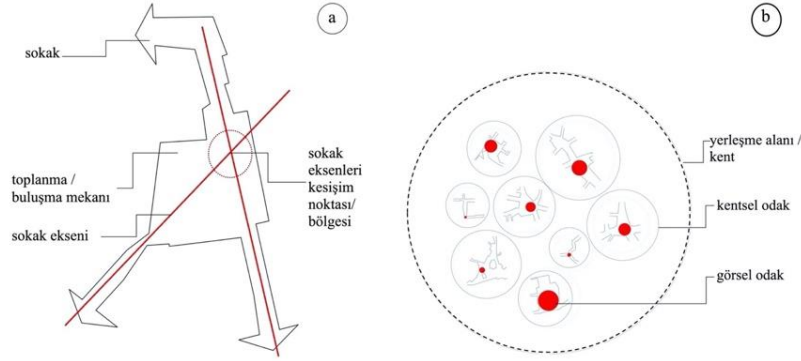
Kimlik bir yeri diğer yerlerden ayıran özellikler olarak öne çıkmaktadır. Kentsel kimlik doğal çevre özelliklerine (topoğrafya, iklim, bitki örtüsü gibi) göre, yapılanmış çevre özelliklerine (yerleşimin bina, sokak, meydan, yerleşim bölgelerine, donatı ve sembol olmuş özelliklerine) göre ve sosyal çevre özelliklerine (tarihsel, nüfus, kültür gibi sosyo-kültürel yapı, sosyo-ekonomik kimlik, psikolojik kimlik özelliklerine) göre ortaya çıkmaktadır (Ocakçı & Aydın Türk, 2012). Görsel algı ile görsel kimlik arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır. Sokak mekânı ve meydan mekânı ölçeğinde görsel algıda öne çıkan öğeler kentsel mekânı düşey düzlemde sınırlayan bina yüzeyleri, duvar yüzeyleri ya da zemin yüzeyindeki öğeler gibi kentsel mekân bileşenlerine ya da yeşil, su, anıt gibi kentsel mekân öğelerine bağlı olarak ortaya çıkabilmektedirler. Bu noktaları K. Lynch işaret öğesi olarak tanımlamaktadır. Biçimsel karakteristiği, bağlam içerisinde kolayca hatırlanan, biricik ve tek öğeler belirgin bir formu olan, artalanıyla zıtlık oluşturan, mekansal konumuyla öne çıkan noktasal referans noktaları olarak görülmektedirler (Lynch, 2012).

3. Araştırma yöntemi ve çalışmanın kapsamı

3. Research method and scope of the study

Çalışmada kentsel odak noktalarının "görsel odağının" sokak sistemi ile ilişkilerine bağlı tipolojik yapılarının ve sokak sistemlerindeki sokakların sayı ve konum değişimlerine bağlı görsel odaklarındaki değişimlerini ele alan morfolojik serilerin ortaya konmasını amaçlamaktadır. Yerleşme ölçeğinden toplanma mekânı ölçeğine doğru hiyerarşik bir yapının detaydan-genele, parçadan-bütüne doğru yerleşme alanının tamamına ait genel kanılara varmada faydalı olacağı düşünülmektedir. Bu kapsamda çalışmada yerleşme alanı-odak noktası-

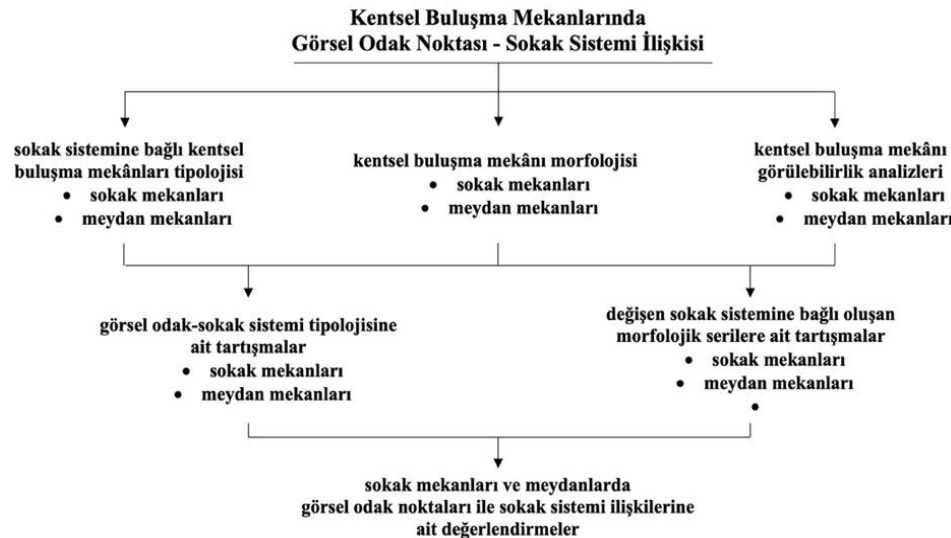
görsel odak noktası hiyerarşik yapısına bağlı bir bakış açısı ortaya konmaktadır (Şekil 2a). Sokak mekânı ve meydanlar sokak kesişmelerine bağlı olarak biçimlenmektedir. Bu kapsamda sokak kesişim sistemi sokak eksenlerinin birbirleriyle kesişmelerine bağlı olarak kesişim noktaları/bölgeleri olarak ele alınmaktadır (Şekil 2b).



Şekil 2. Çalışmanın kent-odak-görsel odak hiyerarşik yaklaşımına bakışı ve sokak sistemi

Figure 2. Approach of the study to the city-urban node-visual focus hierarchy and street systems

Özgün yapılanma ve biçimlenme özelliklerine bağlı olarak çalışma plansız-organik dokulu geleneksel Anadolu yerleşmeleri üzerinde yürütülmektedir. Bu kapsamda ele alınan yerleşim alanlarında sokak ve sokak kesişmelerine bağlı olarak oluşan yetmiş sekiz kentsel odak mekânı örneğinin oluşum biçimleri, odak mekanını tanımlayan sokak sayıları, sokak mekânı ve meydanları tanımlayan düzlemlerin biçimsel yapılarının ortaya konması amaçlanmaktadır. Çalışma birbiriyle ilişkili üç aşamada yürütülmektedir. İlk aşamada kentsel odak mekânı tipolojisi (sokak mekânı ve meydan) ile kesişen sokak sayıları, kentsel odak mekânı tipolojisi (sokak mekânı ve meydan) ile kentsel odak mekanlarının buldukları konumları (mahalle merkezi, konut merkezi, kent merkezi...) ve sokak kesişim sayıları ile konumları arasındaki ilişkiler nicel olarak ele alınmaktadır. Daha sonra sokak mekân ve meydan olarak sınıflandırılan odak mekânı örnekleri morfolojik yapıları, oluşum biçimleri ile sokak hareketine olan etkileri (hareketi toplayan, yönlendiren, sonlandıran...) kapsamında nitel ve nicel olarak analiz edilmektedir. Mekân dizimi /space syntax yöntemi ile sokak mekânı ve meydan niteliğindeki noktaların “görsel odak” noktaları belirlenmektedir. Çalışmanın ikinci aşamasında görsel odak noktaları ve sokak kesişim sistemleri arasındaki ilişkiler iki aşamada irdelenmektedir. Öncelikle sokak mekânı ve meydan örneklerinde mevcut durum analiz edilmektedir. Sonrasında mevcut duruma ait görsel odak tipolojisine bağlı olarak belirlenen on iki örnek üzerinde sokak kesişim sisteminin değişimine bağlı oluşan yeni durumlar üzerinde “görsel odak” noktalarının değişimleri morfolojik seriler olarak ele alınmakta ve tartışılmaktadır. Böylece görsel odak noktalarının sokak kesişim sistemi ile ilişkilerine ait bulguların ortaya konması, nicel ve nitel analiz bulgularına bağlı olarak elde edilen sonuçların sokak mekânı ve meydan başlıklarında ayrı ayrı değerlendirilmesi, sokak mekanları ve meydanların görsel odak noktalarının tipolojik ve morfolojik yapılarına ait bulguların ortaya konması, görsel odak ile sokak kesişim sistemlerinin karşılaştırmalı olarak morfolojik seriler yardımıyla değerlendirilmeleri amaçlanmakta ve bu yönde bulgulara ulaşılması hedeflenmektedir (Şekil 3).



Şekil 3. Çalışma sürecine ait aşamalar

Figure 3. Methodological steps

3.1. Alan çalışması

3.1. Field study

Fiziksel çevre terimi ile bir şehirdeki büyük, durağan, kalıcı fiziksel nesnelere mekânsal modeli tanımlanmaktadır (Lynch, 1985). Kentsel dokular geometrik ve geometrik olmayan olmak üzere iki başlıkta sınıflanmaktadır. Geometrik olmayan organik dokulu yerleşmeler bitkiler ve hayvanlar gibi işlevsel gereksinimlere bağlı olarak, topoğrafya ve arazi yapısı gibi fiziksel belirleyicilerin yanında mahremiyet, dini yaşam gibi hukuk ve toplumsal düzenden etkilenerek oluştukları ve geliştikleri belirtilmektedir (Kostof, 2007). Deforme olmuş ızgara sistemler olarak da tanımlanan organik doku yaya hareketine dayalı ve yerel topoğrafyadan güçlü bir şekilde etkilenen yolların yakın bölgelerin ayrılmaz parçaları olarak ortaya çıkmakta ve kullanıldıkça geliştikleri görülmektedir (Carmona vd., 2003). Bu yönüyle Anadolu kentleri doğal bir gelişme süreci ile, geometrik değil biyolojik bir karakterde, içinde yaşayan toplumun örgütlenmesini katıksız olarak yansıtacak şekilde biçimlenmekte (Kuban, 1968) serbest, simetri olmayan özellikleriyle doğal-fiziksel çevreyle uyumu sağladıkları görülmektedir (Çevik vd., 1992). Bu açıdan değerlendirildiğinde geleneksel Anadolu yerleşmelerinin planiz bir anlayışla kendiliğinden organik bir biçimde geliştikleri anlaşılmaktadır. Büyük Osmanlı kentlerinde şehri müdafaa eden Hisar, çarşı ve pazarların bulunduğu surlarla çevrili kale ve şehir büyüdükten sonra oluşan varoşlar olmak üzere üç fiziksel bölüm bulunmaktadır (İnalçık & Arı, 2005). Türk şehirlerinde ev fonksiyona uygun olarak spontane bir anlayışla planlanmakta, bu durum aynı karakterdeki ev dizilerinin, dar, düzgün olmayan ve pitoresk yol strüktürlerini oluşturmaktadır (Kuban, 1968). Geleneksel Anadolu yerleşmelerinde sokaklar konutların dış duvarlarının sınırlandırmaları ya da yapıların sokakla bahçe kullanımı oluşturacak şekilde birleşmesiyle biçimlenmektedir (Ergen, 2011). Anadolu'da planlanmış bir meydanın bulunmadığı, açıklıkların mescidin, çeşmenin etrafında ve pazarlarda bulunduğu, cami avluları ve çeşme meydanları dışında şehir sokaklarında ağaç bulunmadığı, yeşilin evlerin bahçelerinde toplandığı belirtilmektedir (Kuban, 1968). Yollar ani bir biçimde ve bir kurala bağlı olmadan yön değiştirmekte, yol uzunlukları arasında farklar görülmekte, yapı adalarının içlerine doğru uzanan çıkmaz sokaklar bulunmaktadır (Cerasi, 1999).

Plansız-organik dokulu yerleşmelerdeki özgün mimari ve kentsel biçimlenmelerin yerleşmenin özgün biçimsel kimliği açısından önemli olduğu, bu kimliği oluşturan özelliklerin kentsel odak noktalarındaki görsel odak noktalarında bulunan öğelerden ve özelliklerden etkilenebilecekleri, bu kapsamda görsel odak noktalarının ortaya konmasının yerel kentsel ve mimari kimliğin korunmasına katkılar sağlayacağı düşünülmektedir. Bu amaçlar doğrultusunda çalışma plansız olarak kendiliğinden gelişen geleneksel Anadolu yerleşmelerinde yürütülmekte, geleneksel yerleşim özelliklerini günümüze taşıyabilen, iklim, coğrafya, büyüklük ve dönem açısından farklılaşabilen yerleşim bölgeleri üzerinde yoğunlaşmaktadır. Belirlenen yerleşmeler; özgün mimari özelliklerinin yanında geleneksel yerleşim doku bütünlüğünü daha geniş alanlarda koruyabilmeleriyle öne çıkmaktadırlar. Çalışma kapsamında belirlenen yerleşim alanları; Akçaabat, Amasra, Amasya, Ankara, Antalya, Avanos, Beypazarı, Boyabat, Bursa, Cumalıkızık, Diyarbakır, Eskişehir, Giresun, İnebolu, İzmit, Kahramanmaraş, Kastamonu, Kula, Kütahya, Mudanya, Muğla, Safranbolu, Sinop, Şirince, Tokat, Trabzon, Ünye, Vezirköprü ve Zeytinbağı (Trilye) olarak sıralanmaktadır.

3.2. Çalışma örnekleme belirlenmesi

3.2. Sample selection

Toplanma-buluşma niteliği taşıyan odak noktaları literatür araştırması ve alan çalışması kapsamında belirlenmektedir. Yerleşmelerdeki toplanma-buluşma mekanları ya da odak noktalarının belirlenmesinde ele alınan kriterler aşağıda sıralanmaktadır:

- yol aksının genişlemesiyle ya da su-anıt-yeşil gibi kentsel mekân öğeleri ile desteklenen mekanlar
- çok sayıda yol aksının kesiştiği kentsel mekanlar
- daha az sayıda yol aksı kesişmelerinin özel bina (okul, dini bina...), su, yeşil anıt... gibi elemanlarla vurgulanan kentsel mekanlar
- pazar yerlerinin kurulduğu kentsel mekanlar
- çıkmaz sokaklar

Yukarıda isimleri verilen 29 yerleşim alanındaki toplam 78 kentsel toplanma-buluşma mekânı araştırma kapsamında ele alınmaktadır. Çalışmanın bu aşamasında sokak ve meydan mekânlarının isimleri ve buldukları yerlere ait bilgiler, sokak sistemi ile ilişkileri, bağlantılı oldukları sokaklar, çıkmazlar ve sokak sayıları ile görsel analizler yer almaktadır (Şekil 4).



Şekil 4. Örnekler kapsamında sokak kesişmelerine bağlı oluşan kentsel toplanma mekanları

Figure 4. Urban spaces of gathering forming in connection with street intersections in the context of examples

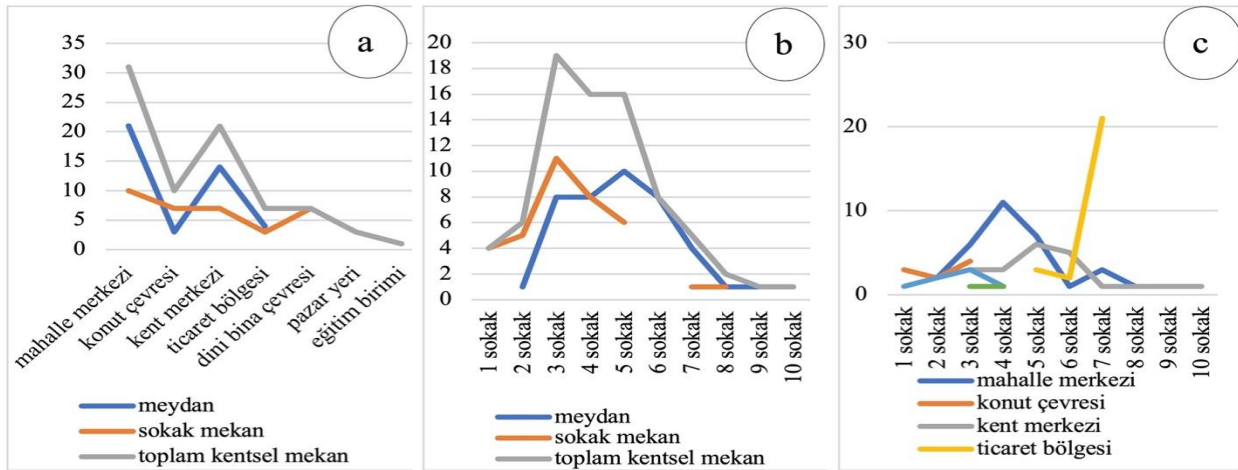
4. Çalışma bulguları

4. Results

4.1. Kentsel buluşma mekanları -sokak mekânı ve meydan mekânı – tipolojisiyle ilgili bulgular

4.1. Typologies of urban spaces of gathering -street spaces and square spaces

Kentsel toplanma-buluşma mekanları/odak noktaları sokak kesişim sistemi ile ilişkileri ve oluşum biçimlerine göre sokak mekânı ve meydan olarak sınıflandırılmaktadır. Farklı yönlerden sokak eksenleri ile kesişmesine rağmen dinamik sokak mekânı yapısını koruyabilen kentsel toplanma mekanları sokak mekanları olarak ele alınmakta, çıkmaz sokaklar da bu kapsamda değerlendirilmektedir. Sokak mekanının karşısında, farklı yönlerdeki sokak kesişim noktalarının bulunduğu, dinamik sokak hareketinin durağanlaşmasını sağlayan alanlar meydan olarak tanımlanmaktadır. Bu kapsamda incelenen örnekler öncelikle sokak mekan ve meydan tipolojilerine bağlı olarak sınıflandırılmakta ve yerleşme sistemi içindeki konumları ile oluşum biçimleri açısından irdelenmektedirler. İncelenen 78 kentsel mekân örneğinin %46'sı (36) sokak mekânı, %54'ü (42) meydan niteliğinde olduğu görülmektedir. İncelenen kentsel mekanların %39'u (31) mahalle merkezinde, %12'si (10) konut çevresinde, %27'si (21) kent merkezinde, %9'u (7) ticaret bölgesinde, %9'u (7) dini bina çevresinde, %3'ü (3) pazar yerlerinde ve %1'i (1) eğitim birimi çevresinde oluşmaktadır (Şekil 5a). Meydanların çoğunlukla mahalle ve kent merkezlerinde, sokak mekanlarının çoğunlukla mahalle, konut çevresi, kent merkezi ve dini bina çevrelerinde geliştiği görülmektedir. Kentsel mekân tipolojilerinin ilişkili oldukları sokak sayıları ile ilgili analizler yapılmaktadır. Bu kapsamda değerlendirildiğinde incelenen örneklerin %5'i (4) bir sokakla (çıkılmaz sokak), %8'i (6) iki sokakla, %24'ü (19) üç sokakla, %21'i (16) dört sokakla, %21'i (16) beş sokakla, %10'u (8) altı sokakla, %6'sı (5) yedi sokakla, %3'ü (2) sekiz sokakla, %1'i (1) dokuz sokakla ve %1'i (1) on sokakla ilişkili konumdadır (Şekil 5b). Meydanların çoğunlukla beş sokakla, sokak mekanlarının çoğunlukla üç sokakla ilişki konumda olduğu anlaşılmaktadır. İncelenen örneklerin konumlarına bağlı oluşum biçimleri ile bağlantılı oldukları sokak sayıları arasındaki dağılım Şekil 5c'de gösterilmektedir. Buna göre bir sokaklı odak mekanları konut çevrelerinde, iki sokaklı odak mekanları mahalle merkezi, konut çevresi ve dini bina çevrelerinde, üç, dört ve beş sokaklı odak mekanları mahalle merkezlerinde, altı sokaklı odak mekanları kent merkezlerinde, yedi sokaklı odak mekanları ticaret bölgelerinde, sekiz, dokuz ve on sokaklı odak mekanları kent merkezlerinde yer almaktadır (Şekil 5c). Başka bir açıdan mahalle merkezlerinde dört sokaklı, konut, dini bina, pazar yeri ve eğitim birimleri çevrelerinde üç sokaklı, kent merkezlerinde beş sokaklı, ticaret bölgelerinde yedi sokaklı sokak mekânı ve meydan oluşumları görülmektedir.



Şekil 5. Kentsel tipolojiye bağlı konum ve sokak sayısı dağılımları

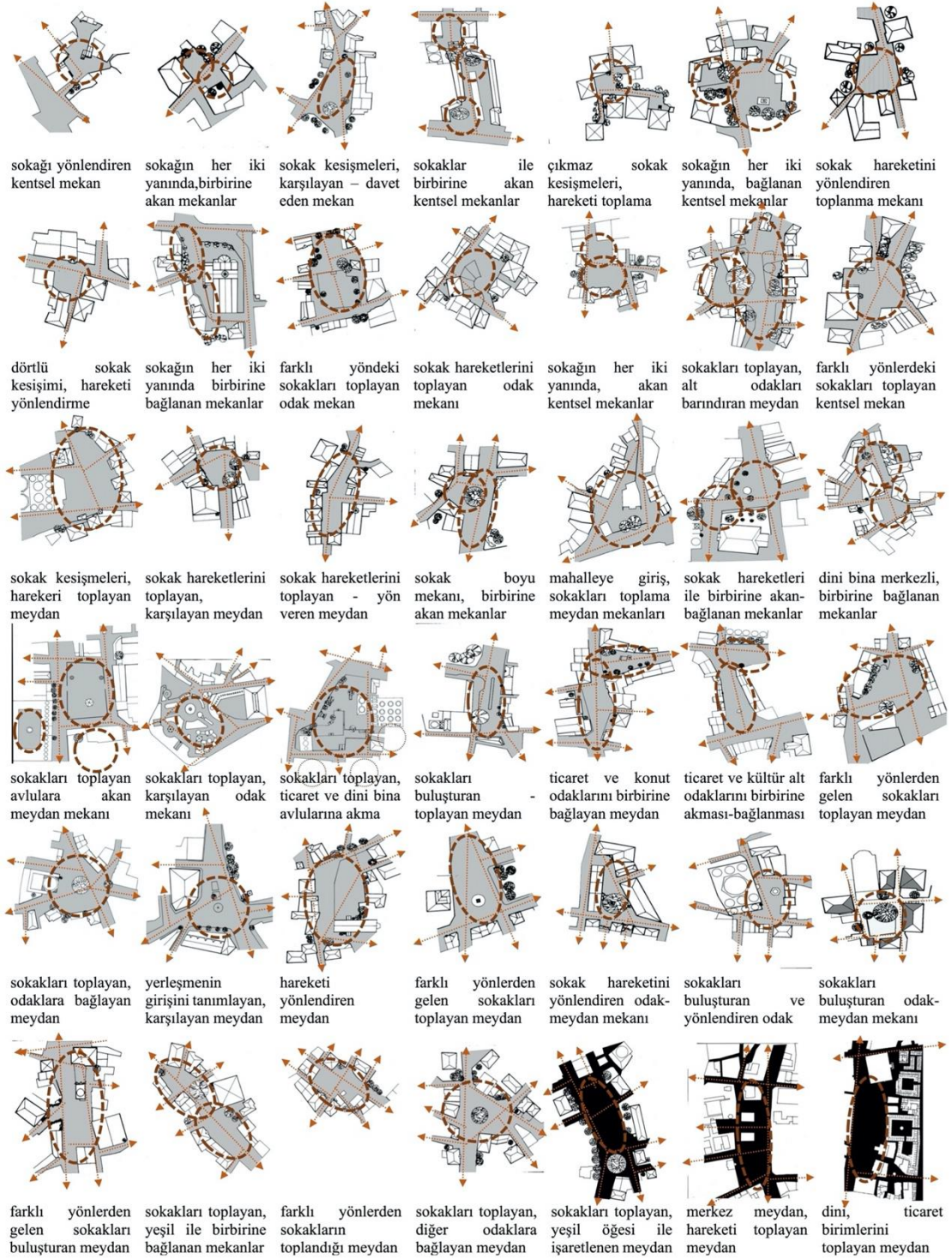
Figure 5. Distributions of locations and numbers of streets based on urban typology

4.2. Sokak mekanları ve meydanların morfolojiyle ilgili bulgular

4.2. Morphologies of street spaces and squares

Sokak mekanları ve meydanların morfolojik olarak irdelenmeleri amaçlanmakta, buluşma-toplanma/odak mekanını tanımlayan sokak sistemi, sokak eksen sayısı, sokak eksenlerinin kesişmesi, sokak kesişim sistemi ile odak mekânı arasındaki biçimlenmeye bağlı tipolojik yapı gibi başlıklara odaklanılmaktadır. Sokak mekânı ve meydanların sokak eksenleriyle olan biçimsel oluşum yapıları; sokak eksen boyunca, sokak ekseninin tek

Meydan kapsamındaki toplam kırk iki (42) örneğin sokak eksenine bağlı oluşum biçimleri ve mekânsal yapılarına ait değerlendirmeler Şekil 7’de yer almaktadır.

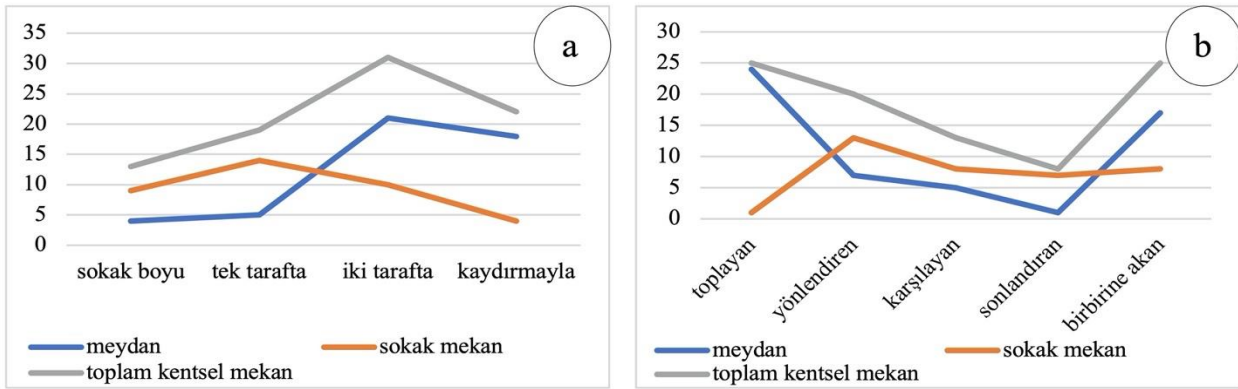


Şekil 7. Çalışma örneklerindeki meydanların oluşum biçimleri ve morfolojik özellikleri

Figure 7. Formation styles and morphological features of squares in the examples used in the study

Her iki analizde de genel vaziyet planı olarak sunulan şematik anlatımlarda; sokaklar, sokak kesişmeleri ve toplanma mekânı niteliğindeki eylem alanları gösterilmektedir. Eylem alanlarının sokak mekanları ve meydanlarda birbirinden farklılaştıkları görülmektedir. Sokak mekanlarında mekânın belli bir kısmı eylem alanı olarak öne çıkmaktayken, meydanlarda eylem alanlarının daha geniş bir alana yayılabildiği görülmektedir.

Ele alınan kentsel toplanma mekanlarının sokak eksenine bağlı olarak oluşumu ile yerleşme sistemindeki harekete olan etkileri kapsamındaki analizlerine ait grafikler Şekil 8’de gösterilmektedir. İncelenen bazı örneklerin oluşum biçimlerinin ya da yerleşim sistemi içinde sokak hareketine olan etkileri açısından aynı anda farklı başlıkları kapsayacak nitelikte oldukları görülmektedir. Özellikle Zeytinbağı ve Boyabat gibi sokak eksenini üzerinde konumlanmış kentsel odak mekanları dizilerine sahip yerleşmeler ya da Nasrullah Meydanı gibi merkez meydan konumundaki kentsel mekanlarla doğrudan bağlantılı odak mekanların bulunması çoklu değerlendirmelerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. İncelenen kentsel mekanların %15’i (13) sokak eksenini boyunca, %22’si (19) sokak ekseninin tek tarafında, %37’si (31) sokak ekseninin her iki yanında ve %26’sı (22) sokak eksenini üzerinde kaydırmayla oluştuğu görülmektedir (Şekil 8a). Sokak eksenini boyunca ve sokak ekseninin tek tarafında sokak mekanlarının konumlandıkları-biçimlendikleri, sokak ekseninin iki tarafında ve sokak eksenini üzerinde kaydırmayla meydanların biçimlendikleri anlaşılmaktadır. Anadolu’da incelenen örnekler bağlamında genel yerleşim sistemi içinde değerlendirildiğinde odak mekanların %27’si (25) hareketi toplayan, %22’si hareketi yönlendiren, %15’i (13) hareketi karşılayan, %9’u (8) hareketi sonlandıran, %27’si (25) hareketi birbirine aktaran bir yapıda oldukları anlaşılmaktadır (Şekil 8b). Meydanların çoğunlukla yerleşim sistemi içindeki hareketi topladıkları ve birbirine aktardıkları, sokak mekanlarının hareketi yönlendirdikleri, karşıladıkları ve sonlandırdıkları görülmektedir.



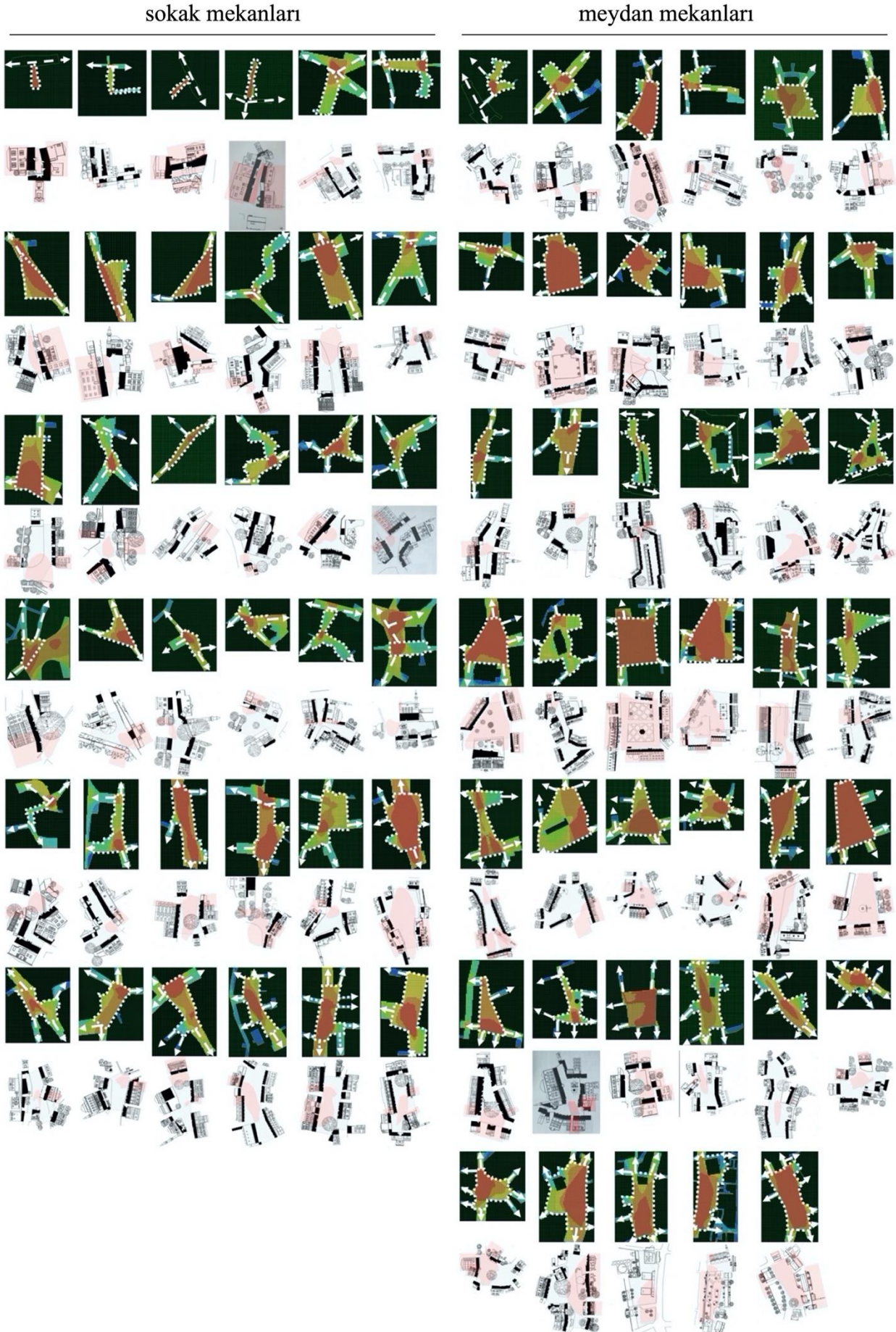
Şekil 8. Kentsel mekanların sokaklara bağlı oluşum özellikleri

Figure 8. Formation characteristics of urban spaces depending on streets

4.3. Sokak mekanları ve meydanların görsel odak noktaları ve tipolojileriyle ilgili bulgular

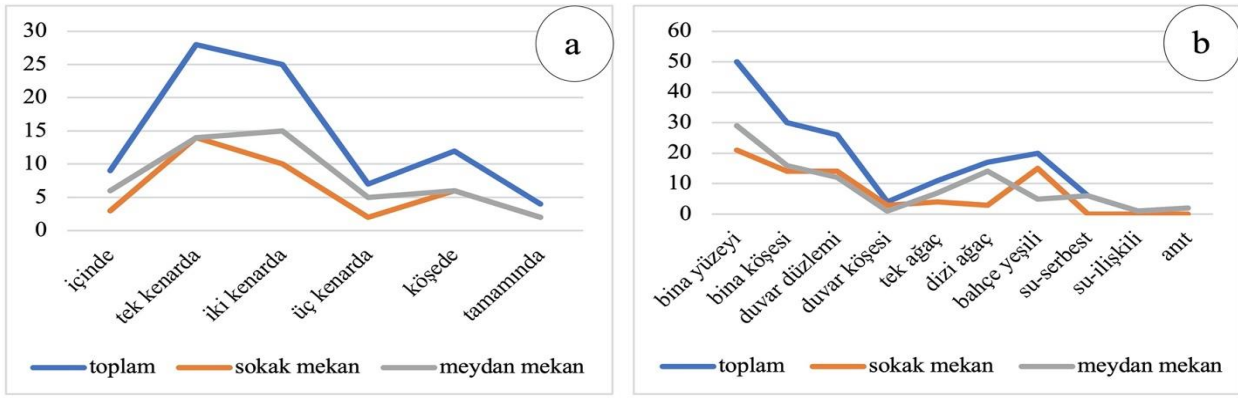
4.3. Visual foci and typologies of street spaces and squares

Bu kapsamda iki aşamalı analiz çalışması yapılmaktadır. Öncelikle odak mekanlarında mekan dizimi yöntemiyle visibility/görülebilirlik analizleri yapılmaktadır. İkinci aşamada odak mekanının zemin düzlemi ile düşey düzlemini tanımlayan öğelerin bir arada bulunduğu ve odak mekanın bütünlüğünü yansıtan görseller üzerine mekan dizimi analizinde ortaya çıkan görsel odak noktaları aktarılmaktadır. Böylece hem görsel odak noktalarının yeri hem de görsel odak noktalarını tanımlayan öğelerin belirlenebilmesi amaçlanmaktadır (Şekil 9). Bu kapsamda görsel odak noktaları mekân dizimi analizlerinde kırmızı ile ifade edilen en görülebilir alanlar olarak ortaya çıkmaktadır. Görsel algıda sokak mekanlarında ve meydanlardaki görsel odak noktaları ve kentsel mekan bileşenleri (düşey düzlemde kentsel mekânı tanımlayan bina, düşük kotlu duvar, yeşil...gibi öğeler) arasındaki ilişkiye bağlı analizler yapılmaktadır. Sokak mekânı ve meydan bileşenleri ve öğeleri kapsamında görsel odak noktalarının yatay-zemin düzleminde ve düşey-duvar düzleminde bulunabildikleri görülmektedir. Görsel odak noktalarının düşey düzlemde bulunma biçimleri; bina köşesi, bina yüzeyi, duvar düzlemi, duvar köşesi, bahçe yeşili, çeşme-ilişkili (bina ya da düşey duvar düzlemi ile), yatay -zemin düzleminde bulunma biçimleri; çeşme-serbest konumlu, tek ağaç, dizi ağaç ve anıt öğeleri olarak sıralanmaktadır. Görsel algı odak noktalarının odak mekanının; içinde, odak mekânının tek kenarında, odak mekânının iki kenarında, odak mekânının üç kenarında, odak mekanının köşesinde ve odak mekanının tamamında olacak şekilde bulunabilmektedir.



Şekil 9. Kentsel buluşma mekanlarında görsel odak noktaları ve görsel odak noktası öğeleri
 Figure 9. Visual foci and elements of visual focus in urban spaces of gathering

Sokak mekanlarının görsel algı odak noktalarının %38'i (14) sokak mekânı tanımlayan düşey düzlemlerin tek kenarında, %5'i (2) üç kenarda ve tamamında olduğu görülmektedir. Meydanların görsel algı odak noktalarının %31'i (15) meydanı tanımlayan düşey düzlemlerin iki kenarında, %4'ü (2) meydanın tamamında olduğu anlaşılmaktadır. İncelenen örneklerin toplamında odak mekanlarındaki görsel odak noktalarının %33'ü (28) odak mekanlarını tanımlayan düzlemlerin tek kenarında, %5'i (4) odak mekanlarını tanımlayan düzlemlerin tamamına yayıldığı görülmektedir. Sokak mekanlarında görsel odağın en çok sokak mekanının tek kenarında, meydanlarda en çok meydanın iki kenarında bulunduğu, bu yönüyle birbirlerinden farklılaştıkları görülmektedir (Şekil 10a). Biçimsel-mimari kimlik açısından belirleyici olabilen ve görsel algıda öne çıkan öğelerin belirlenmesine yönelik değerlendirmeler yapılmaktadır. Sokak mekanlarında görsel odağın düşey ve yatay zemindeki izlerinin %28,4'ü (21) bina yüzeylerinde, %4'ü (3) duvar köşesi ve dizi ağaç öğelerinde yoğunlaştığı, anıt ve su öğesi üzerine fazla odaklanmaların bulunmadığı görülmektedir. Meydanlarda görsel odağın düşey ve yatay zemindeki izlerinin %31,2'i (29) bina yüzeylerinde, %1,1'i (1) düşey duvar köşesinde ve bina ya da düşey duvar düzlemi ile ilişkili su öğelerinde toplandığı anlaşılmaktadır. İncelenen bütün odak noktalarındaki görsel odak öğelerinin izlerinin %30'u (50) bina yüzeylerinde, %0,6'sı (1) bina ya da düşey duvar düzlemi ve su öğelerinde bulunduğu görülmekte, sokak mekânı ve meydanlarda görsel algıda öne çıkan öğelerden su ve anıtlarda farklılaşmalar bulunduğu görülmektedir (Şekil 10b).



Şekil 10. Görsel odak noktalarının konumları ve bileşenlerinin dağılımı
Figure 10. Distributions of locations and components of visual foci

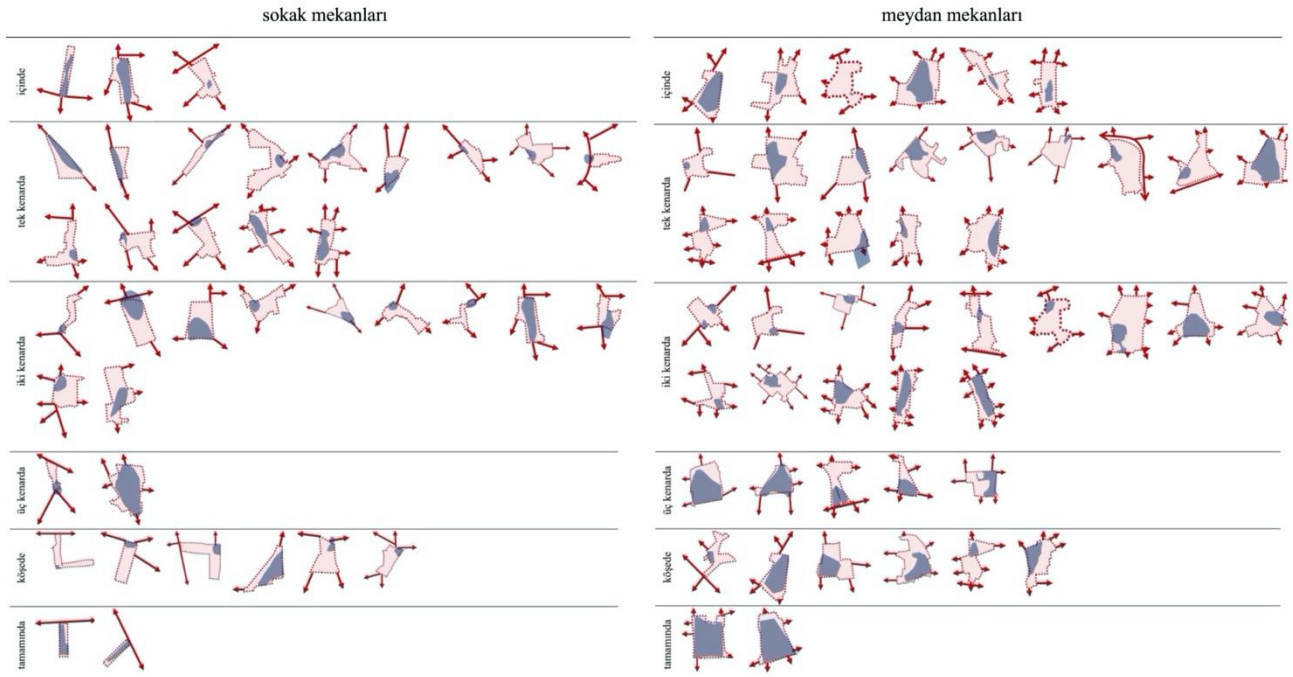
5. Tartışmalar

5. Discussions

5.1. Çalışılan örneklerin görsel odak noktalarının sokak kesişim sistemiyle ilişkilerine bağlı değerlendirmeleri

5.1. Relationships between the visual foci of the studied examples and the street segment intersection system

Sokak ve meydan mekânı olarak sınıflandırılan kentsel odak mekanlarındaki görsel odak noktalarının kentsel mekan algısı ve kentsel mekana ait görsel kimlik özellikleri açısından önemli oldukları değerlendirmekte, görsel odak noktalarının yerleşmedeki sokak kesişim sistemi ile ilişkilerine ait bulguların ortaya konması amaçlanmaktadır. Bu kapsamda kentsel buluşma mekanlarını tanımlayan sokak eksenli sayıları ile görsel odak mekanlarının konumları ve ilişkili oldukları eksenler ile ilgili değerlendirmeler yapılmaktadır. Sokak kesişim sistemi ile görsel odak noktaları arasındaki tipolojik yapıların ortaya konmasının amaçlandığı bu çalışmada sokak mekânı ve meydanlardaki görsel odak noktalarının; mekânın içinde, tek kenarında, iki kenarında, üç kenarında, köşesinde ve tamamında ortaya çıkan yapıları Şekil 11'de şematik olarak; sokak mekanlarındaki görsel odak noktaları ile sokak sistemleri arasındaki ilişkiler ve meydan mekanlarındaki görsel odak noktaları ile sokak sistemleri arasındaki ilişkiler gösterilmektedir.



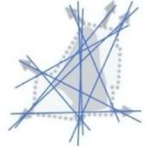
Şekil 11. Görsel odak noktalarının kentsel odak mekanlarındaki konumları
Figure 11. Positions of visual foci on urban node spaces

Analiz verilerine bağlı olarak sokak kesişim sistemi ile görsel odak sistemi arasındaki ilişkiler irdelenmektedir. Bu kapsamda öne çıkan genel özelliklerden bazıları Şekil 12’de sunulmaktadır. Görsel odak olarak öne çıkan bölgelerdeki mimari biçimlenme ve detaylanmaların, alt ölçekten üst ölçeğe doğru yani odak mekânından yerleşmenin geneline doğru mimari ve kentsel kimlik tanımlamada öne çıkan kilit noktalar olabilecekleri değerlendirilmektedir.

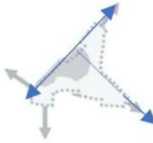
tek sokak ekseninin genişlemesiyle oluşan sokak mekanının algısal odağı eksen boyunca tek taraflı olarak oluşmaktadır.



sokak eksenlerinin birbirini kesmesiyle oluşan kesişim bölgelerinin görsel odak noktası olarak ortaya çıktıkları görülmektedir.



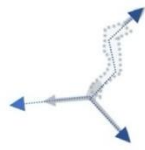
sokak mekanını tanımlayan eksen sayısı üç olduğunda algısal odak mekânı eksen çizgilerinin kesişim noktasında oluşmaktadır.



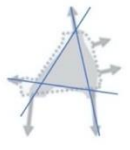
3 eksene bağlı oluşan meydan mekanlarında yoğunlukla görsel odak noktaları eksenlerin kesişim noktasında konumlanmaktadır.



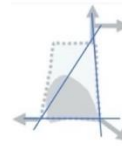
farklı yönlerdeki sokakların kesişmesiyle oluşan sokak mekanlarının görsel odak noktalarının da sokak eksenlerinin kesişmesiyle oluşan ortak bölge olduğu görülmektedir.



meydan mekanını tanımlayan biçimin köşe noktalarında sokak eksenlerinin bulunması görsel odak noktasının meydanın geneline yayılımını sağlamaktadır.



üç sokağın kesişmesiyle oluşan dikdörtgen biçimli sokak mekanının görsel odağının iki sokağa açılan dar kenarda konumlandığı görülmektedir.



dikdörtgene yakın meydan mekanına köşe noktalarından ulaşıyorsa görsel odak meydanın geneline yayılabilmektedir.



kırıklı bir biçimdeki sokağın genişlemesiyle oluşan sokak mekanının görsel odağının köşe noktasında konumlanabilmektedir.

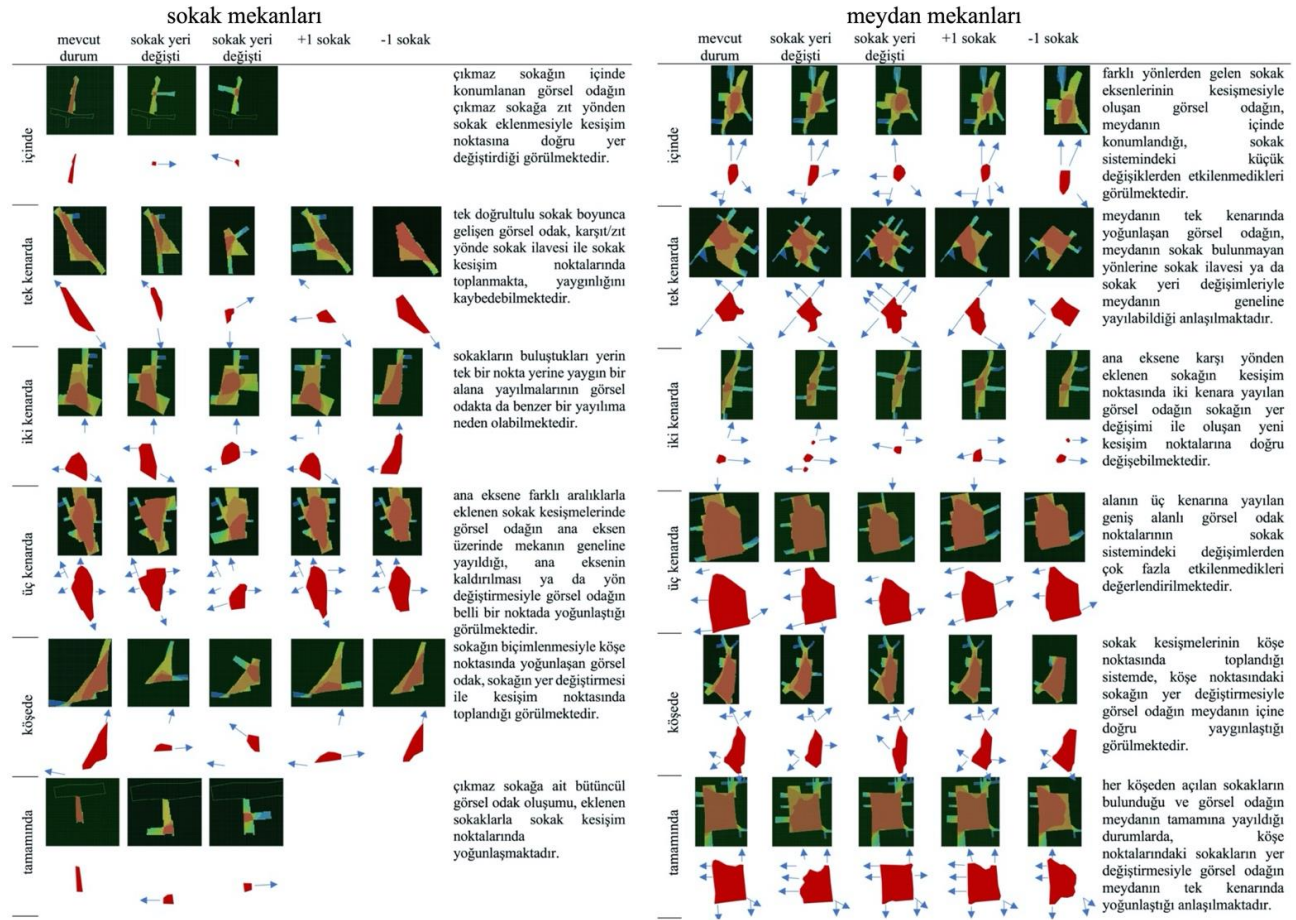


Şekil 12. Sokak ve meydan mekanında öne çıkan morfolojik özellikler
Figure 12. Prominent morphological features in street spaces and squares

5.2. Değişen sokak kesişim sistemlerinin görsel odaklar üzerine etkileri

5.2. Effects of changes in street intersection systems on visual foci

Anadolu'da geleneksel yerleşim bölgelerindeki sokak mekanı ve meydan biçimlenmelerinin temel geometrik formlardan uzak, amorf bir biçimsel yapıya sahip oldukları anlaşılmaktadır. Bu amorf biçimlenmelerin sokak sistemleri ile görsel odak noktaları arasındaki ilişkilerde sistematik bir morfolojik değişim serisini mümkün kılmadığı görülmektedir. Sokak kesişim sistemlerindeki değişimlerin görsel odak noktaları üzerindeki yansımalarının ortaya konmasında morfolojik serilerin önemli olduğu düşünülmektedir. Görsel odak noktalarındaki sistematik değişimleri yansıtan morfolojik serilerin elde edilmesi kapsamında kentsel odak mekanlarında görsel odak noktalarının bulunma biçimleri (içinde, tek kenarda, iki kenarda, üç kenarda, köşede, tamamında) esas alınarak her bir tipolojiyi yansıtan sokak mekanı ve meydanlardan ayrı ayrı olmak üzere toplam on iki örnek ele alınmaktadır. Sokak mekan kapsamında Trabzon-Koca Halil Sokak (görsel odak-içinde), Sinop-Karagül Sokak (görsel odak-tek kenarda), İnebolu-Hacıziya Efendi Sokak (görsel odak-iki kenarda), Muğla-Karamuğla Caddesi (görsel odak-üç kenarda), Trabzon-Yenicuma Camii Çevresi (görsel odak-köşede) ve Amasya-Konut Çıkması (görsel odak-tamamında) çalışılmaktadır. Meydan kapsamında Safranbolu-Taşminareli Camii Çevresi (görsel odak-içinde), Ankara-Ramazan Şemseddin Camii Çevresi (görsel odak-tek kenarda), Trabzon-Kudrettin Camii Çevresi (görsel odak-iki kenarda), Amasya-Bülbül Hatun Sokak (görsel odak-üç kenarda), Cumalıkızık-Giriş Meydanı (görsel odak-köşede) ve Diyarbakır-Ulu Camii Meydanı (görsel odak-tamamında) ele alınmaktadır (Şekil 13). Belirlenen örneklerde; sokakların yerlerinin değişimi (2 örnek), bir sokak ilave etmek (1 örnek) ve bir sokak çıkarmak (1 örnek) olmak üzere dört farklı seçenek üretilmekte ve her bir seçeneğin görsel odak noktaları mekan dizimi yöntemiyle belirlenmektedir Aynı çalışma kapsamında görsel odak noktalarının şematik anlatımları yapılarak sokak yerleri ve sayıları değişimleri ile görsel odak noktası değişimleri arasındaki ilişkilerinin ortaya konması amaçlanmaktadır.



Şekil 13. Görsel odakta morfolojik seriler

Figure 13. Morphological patterns in visual foci

Sokak kesişim sistemini tanımlayan sokakların sayısal ve konum değişimlerine bağlı olarak görsel odak noktalarının değişimlerinin irdelenmesi, sistematik bir değişimin olup olmadığının sorgulanmasının önemli olduğu düşünülmektedir. Bu kapsamda öne çıkan genel başlıklar aşağıda sunulmaktadır:

- Çıkılmaz sokaklardaki görsel odakların yeni sokak ilavelerine bağlı kesişmelerinden etkilendikleri ve bu kesişim noktalarına doğru yer değiştirdikleri görülmektedir.
- Sokak üzerinde tek taraflı biçimsel oluşumlara bağlı sokak eksenini boyunca oluşan görsel odakların sokağa zıt yönlü yeni sokak ilavelerinden etkilendikleri ve görsel odağın yaygın biçimli yayılımının kaybolabileceği anlaşılmaktadır.
- Doğrusal ana sokak (sokak genişliği ve yönlendirmedeki etkili doğrusallığına bağlı) hareketinin kapatılması/sonlandırılması ya da 90 derecelik yön değiştirmesiyle görsel odağın köşe noktalarına doğru yer değiştirebileceği görülmektedir.
- Farklı yönlerden gelen sokakların kesişim bölgelerindeki görsel odakların kentsel mekânın içinde konumlandıkları, az sayıdaki sokak ve sokak konum değişikliklerinden fazla etkilenmedikleri değerlendirilmektedir.
- Tüm köşe noktalarında sokaklarla tanımlanan kentsel buluşma mekanlarında görsel odağın alanın tamamına yayılabildiği görülmektedir.

6. Sonuçlar

6. Conclusions

Kentsel odak mekanları sokak mekanları ve meydanlar olarak sınıflandırılmaktadır. Sokak mekanları ve meydanların tanımlandıkları sokak eksenini sayısı açısından farklılaştıkları görülmektedir. Sokak mekanlarının çoğunlukla üç sokak ekseninin kesişim noktalarında, meydanların çoğunlukla beş sokak ekseninin kesişim noktalarında yer aldıkları görülmektedir. Kesişen sokak eksenini sayılarının yerleşmelerdeki konumlarının farklılaştığı anlaşılmaktadır. Kentsel toplanma mekanları oluşum özellikleri (yol ekseninin genişlemesi, özel bina çevresindeki alanlar, pazar yerleri...vb. konut) ile ilişkili oldukları sokak kesişim sistemleri açısından farklılaşabildikleri görülmektedir. Mahalle merkezlerinde en çok dört sokaklı, konut, pazar yeri, özel bina çevrelerinin en çok üç sokaklı, kent merkezlerinde en çok beş sokaklı, ticaret bölgelerinin en çok yedi sokaklı kesişimlere bağlı olarak oluştuğu görülmektedir.

Kentsel toplanma mekanlarının çoğunlukla sokak ekseninin her iki yanında biçimlendikleri, sokak mekanlarının sokak eksenini ve sokak ekseninin tek tarafında, meydan mekanlarının sokak ekseninin her iki yanında ve sokak eksenini üzerinde kaydırmayla biçimlendikleri anlaşılmaktadır. Meydanların hareketi topladıkları ve birbirine aktardıkları, sokak mekanlarının hareketi yönlendirdikleri, karşıladıkları ve sonlandırdıkları görülmektedir.

Sokak mekanları ile meydanların görsel odak noktalarının birbirinden farklılaştığı görülmektedir. Sokak mekanlarında görsel odaklar düşey düzlemin tek kenarında ve binaların yüzeylerinde, meydan mekanlarındaki görsel odak noktalarının düşey düzlemin iki yanında ve binaların yüzeylerinde ortaya çıktıkları görülmekte, anıt öğeleri ve su öğelerinin görsel odakta meydan mekanlarında sokak mekanlarından daha fazla öne çıktıkları anlaşılmaktadır. Sokak mekanlarında tek sokak üzerindeki genişlemeye bağlı olarak görsel odağın sokak eksenini boyunca gerçekleştiği, üçlü sokak kesişmelerinde sokak eksenlerinin kesişim noktalarının görsel odak olarak öne çıktıkları, sokak ekseninin geçmediği statik-durağan nitelikteki köşe noktalarının görsel odak olarak çok fazla öne çıkmadıkları görülmektedir.

Görsel algıda sokak eksenlerinin kesişim noktalarının öne çıktıkları gözlemlenmektedir. Hareketin kesişim noktaları aynı zamanda görsel odak noktası olarak da öne çıktıkları, dolayısıyla kentsel odak noktalarındaki görsel odak noktaları ile hareket sistemi arasında doğrudan bağlantı bulunduğu anlaşılmaktadır. Görsel odak noktalarının kentsel odak mekânın içinden ziyade kentsel odak mekânı tanımlayan düşey düzlemler üzerinde ve özellikle de bina yüzeyleri üzerinde yoğunlaşmasının; kentsel – biçimsel kimlik oluşumunda düşey düzlem elemanlarının ve de özellikle binaların öne çıkmalarına neden olduğu düşünülmektedir. Çalışmadaki bu sonucun yerel-özgün kimliğin korunması ve sürdürülebilirliğinde özgün mimari ürünlerin korunmasının önemini vurguladığı düşünülmektedir.

Teşekkür

Acknowledgement

Bu makale Havva Özdoğan'ın Türkiye'de Meydanlar (2002) başlıklı doktora tez çalışmasından türetilmiştir. Doktora tezi Kentsel Dış Mekanlarda Koruma, Yenileme, Canlandırma Amaçlı Politikaların Geliştirilmesi (2003) başlıklı Prof. Dr. Sonay ÇEVİK yöneticiliğinde hazırlanan proje kapsamında Karadeniz Teknik Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından maddi olarak desteklenmiştir. Makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları değerli katkılarından dolayı editör ve hakemlere teşekkür ederiz.

Yazar katkısı

Author contribution

Dr. Öğr. Üyesi Havva ÖZDOĞAN: Alan çalışması, verilerin oluşturulması, makale yazılması.
Prof. Dr. Sonay ÇEVİK: Danışmanlık, düzenleme, kontrol, makale yazılması.

Etik beyanı

Declaration of ethical code

Bu makalenin yazarı, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

Çıkar çatışması beyanı

Conflicts of interest

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar

References

- Bendjedidi, S., Bada, Y. & Meziani, R. (2018). Open spaces: spatial configuration, visibility analysis and use, case study of mass housing in Biskra, Algeria. *International Review for Spatial Planning and Sustainable Development A: Planning Strategies and Design Concepts*, Vol.6 No.4, 93-109. ISSN: 2187-3666 (online). DOI: http://dx.doi.org/10.14246/irspsda.6.4_93
- Benedikt, M. L. (1979). To take hold of space: isovists and isovist fields. *Environment and Planning B Planning and Design*, 6, 47-65. <http://doi.org/10.1068/b060047>
- Bertyák, Á. (2021). Urban morphology: the classical and modern research methodologies. *Periodica Polytechnica Architecture*, 52(2), 135-145. <https://doi.org/10.3311/PPar.17988>
- Büyükcivelek, A. B. (2012). Meydan-kent meydanı. M. Ersoy (Ed.), *Kentsel Planlama Ansiklopedik Sözlük*, (342-345). Ninova Yayınları.
- Carmona, M., Heath, T., Oc, T. & Tiesdell, T. (2003) *Public places-urban spaces the dimensions of urban design*. Architectural Press.
- Cerasi, M. M. (1999). *Osmanlı kenti Osmanlı İmparatorluğu'nda 18. ve 19. yüzyıllarda kent uygarlığı ve mimarisi*, A. Ataöv (Çeviri), YKY Yayınları.
- Chiaradia, A. J. F. (2019). Urban morphology / urban form. A. Orum (Ed.), *Wiley Blackwell Encyclopedia of Urban & Regional Studies*. <https://doi.org/10.1002/9781118568446.eurs0382>
- Ciritci, İ. & Yücel, G. (2021). Merdivenli sokaklarda sosyal mekan oluşumuna etki eden unsurlar ve İstanbul'dan üç örnek için değerlendirme. *İdealkent*, 32, 12, 528-555. <https://doi.org/10.31198/idealkent.780294>
- Čulík, K., Kalašová, A. & Otahálová, Z. (2019). Street space from the view of human interaction. *International Conference On Innovations In Science and Education*, (399-404),Prague. <https://doi.org/10.12955/cbup.v7.1391>
- Çevik, S. (1984). *Sokaklarda Mekan Oluşumuna Trabzon Ölçeğinde Tipolojik Bir Yaklaşım Örneği* [Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].

- Çevik, S. (1991). *Mekan-kimlik-kimliklendirme Trabzon sokakları örneği* [Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Çevik, S., Ertürk, Z., Ertürk, S. & Usta, A., (1992). An introduction of the modernisation of traditional open spaces, in management maintenance and modernisation of building. *CIB Conference, Rotterdam*.
- Diñçeli, D. (2020). Görsel düşünme ve algı. *idil*, 67, 545–552. <https://doi.org/10.7816/idil-09-67-11>
- Ergen, Y. B. (2011). Anadolu’da kültür birlikteliğinin konut ve kentsel yerleşim dokusuna etkisi. *Kent ve Toplum*, Mayıs-Haziran: 85-102.
- Hillier, B. (1996). *Space is the machine*. Cambridge University Press.
- İnalçık, H. & Arı, B. (2005). Türk-İslam-Osmanlı şehirciliği ve Halil İnalçık’ın çalışmaları. *Türkiye Araştırmaları Literatür Dergisi*, Cilt 3, Say 6, 27-56.
- Jacobs, J (1961). *The death and life of great American cities*. New York, USA: Random House.
- Kara, H., (1995). Kentsel buluşma mekanları: köşeler ve odak noktaları [Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Kostof, S. (2007). *The city shaped urban patterns and meanings through history*. Bulfinch Press.
- Kuban, D. (1968). Anadolu - Türk şehri: tarihî gelişmesi, sosyal ve fizikî özellikleri üzerinde bazı gelişmeler. *Vakıflar Dergisi*, 7, 53-73. <https://hdl.handle.net/11352/1494>
- Kuntay, O. (1994). *Yaya mekanı*. Ayıntap Yayıncılık.
- Lynch, K. (1985). *Good city form*. MIT Press.
- Lynch, K. (2012). *Kent imgesi*, İ.Başaran (Çeviri). Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları.
- Marcus, C.C. & Francis, C., (1990). *People places design guidelines for urban open space*. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Marshall, S. (2005). *Streets patterns*. Spon Press.
- Moughtin, C. (2003). *Urban design street and square*. Architectural Press.
- Ocakçı, M. & Aydın Türk, Y. (2012). Kentsel kimlik. M. Ersoy (Ed.), *Kentsel Planlama Ansiklopedik Sözlük*, (226-228). Ninova Yayınları.
- Ocakçı, M. (2012). Kent dokusu. M. Ersoy (Ed.), *Kentsel Planlama Ansiklopedik Sözlük*, (189). Ninova Yayınları.
- Özdoğan, H. (2023). Organik dokulu yerleşmelerde tipo-morfolojik dizilim kodlarının incelenmesi: Manisa-Kula örneği, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 38 (3), 1533-1546 . <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.1076163>
- Pinelo, J. & Turner, A. (2010). Introduction to UCL Depthmap 10 Version 10.08.00r. https://archtech.gr/varoudis/depthmapX/LearningMaterial/introduction_depthmap-v10-website.pdf
- Sadeghi, G., & Li, B. F. (2019). Urban morphology: comparative study of different schools of thought. *Current Urban Studies*, 7, 562-572. <https://doi.org/10.4236/cus.2019.74029>
- Şişman, M. (2015). Mekan dizimi yönteminin bir mimari tasarım aracı olarak kullanılması üzerine bir deneme [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Zucker, P. (1959). *Town and square from agora to the village green*. Columbia University Pres.

Çal (Denizli) bölgesi killerin mineralojik özellikleri ve seramik hammaddesi olarak kullanılabilirliklerinin araştırılması

Investigation of mineralogical properties of Çal (Denizli) region clays and their usability as ceramics raw material

Barış SEMİZ* 

Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 20070, Denizli

• Geliş tarihi / Received: 02.01.2024

• Kabul tarihi / Accepted: 14.03.2024

Öz

Bu çalışmada, Çal (Denizli) bölgesinde iki farklı lokasyondan alınan kil bakımından zengin hammaddelerin mineralojik özelliklerinin belirlenmesi ve endüstriyel işlemlerle geleneksel seramik ürünlerin üretiminde kullanım potansiyellerinin ortaya koyulması, ayrıca arkeolojik seramik (çanak-çömlek vb.) hammaddesi olarak kullanılma potansiyelinin ortaya konması amaçlanmıştır. Bu kapsamda fiziksel, kimyasal (X-ışını floresansı, XRF), mineralojik (X-ışını kırınımı, XRD), termal analiz (Diferansiyel Termal Analizör-Termogravimetri, DTA-TG), kıvam limitleri ve tane boyu dağılımı analiz yöntemleri kullanılmıştır. Ayrıca, teknolojik testler için silindirik numuneler hazırlanıp 700°C'den 1100°C'ye pişirilmiş ve tüm sıcaklıklarda birim hacim ağırlığı, su emme, tek eksenli basınç dayanımı, boy kısalması ve hacimce büzülme değerleri ölçülmüştür. İncelenen killerin (ÇL4 ve ÇL5) kimyasal ve mineralojik bileşimlerinin incelenmesi sonucunda bileşimlerinde çok büyük farklılıkların olmadıkları tespit edilmiştir. Genel olarak kuvars, kalsit ve klorit mineralleri ile kil minerali olarak illit ve kaolinit içerdikleri, ÇL4 örneğinde ise farklı olarak klorit-smektit türü tabakalı killer tespit edilmiştir. Kimyasal olarak Çal killerin ana oksitleri, SiO₂, Al₂O₃ ve Fe₂O₃'ten oluşmakta olup ÇL4 örneğinde yüksek CaO ve kızdırma kaybı içeriğiyle karakterize edilmiştir. Fiziksel özellikleri açısından incelenen örnekler genellikle siltli kil olarak tanımlanmıştır. Plastisite indekslerinin (PI) %15-16 gibi yüksek bir değerde belirlenmesi, çalışılan killerin orta-yüksek plastik hammadde potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. ÇL4 örneğinin ÇL5 örneğine göre düşük birim hacim ağırlık ve daha yüksek su emme değerleri içerdikleri tespit edilmiştir. Tek eksenli basınç dayanımları ÇL5 örneklerinde kademeli olarak artış gösterdiği, ÇL4 örneğinde ise 800°C'den itibaren düşüş gösterdiği belirlenmiştir. Teknik testler, Çal killerin tuğla ve kiremit gibi yapısal seramik ürünlerin imalatında ve ayrıca plastik killerin ilave edilmesi ile çanak-çömlek üretiminde uygun olduğunu göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Jeokimya, Kırmızı kil, Mineraloji, Tuğla-kiremit, Teknolojik testler.

Abstract

This study aimed to determine the mineralogical properties of clay-rich raw materials from two different locations in the Çal (Denizli) region and to reveal their potential use in the production of traditional ceramic products through industrial processes. Additionally, it was also aimed to determine the possible use as raw materials for archaeological ceramics (pottery, etc.). In this context, physical, chemical (X-ray fluorescence, XRF), mineralogical (X-ray diffraction, XRD), thermal analysis (Differential Thermal Analyzer-Thermogravimetry, DTA-TG), Atterberg limits and grain size analysis methods were performed. In addition, cylindrical samples were prepared for technological tests and fired from 700°C to 1100°C after that, unit volume weight, water absorption, uniaxial compressive strength, firing shrinkage and volumetric shrinkage values were measured at all temperatures. As a result of the examination of the chemical and mineralogical compositions of the clays (ÇL4 and ÇL5), it was determined that there were no major differences. In general, they were found to contain quartz, calcite and chlorite minerals and illite and kaolinite as clay minerals, but in the ÇL4 sample, they were found to have different chlorite-smectite type layered clays. Chemically, the main oxides of Çal clays consist of SiO₂, Al₂O₃ and Fe₂O₃ and are characterized by high CaO and Loss on ignition (LOI) content in the ÇL4 sample. The samples examined in terms of their physical properties are generally defined as silty clay. Plasticity indexes (PI) at high values about 15-16% show that the clays have medium-high plastic raw materials potential. It was determined that the ÇL4 sample contained lower unit volume weight and higher water absorption values than the ÇL5 sample. It was also determined that the uniaxial compressive strengths increased gradually in the ÇL5 samples and decreased starting from 800°C in the ÇL4 sample. Technical tests show that Çal clays are suitable for the manufacture of structural ceramic products such as bricks and tiles, as well as for the production of pottery with the addition of plastic clays.

Keywords: Geochemistry, Red clays, Mineralogy, Brick-tile, Technological tests.

*Barış SEMİZ; bsemiz@pau.edu.tr

1. Giriş

1. Introduction

Kil mineralleri, 2 µm'den daha küçük tane boyutunda ve genellikle fillosilikat ailesinin üyesi olan sulu alüminosilikatlardır ve dünya genelinde bol miktarda bulunmaktadır. Bu doğal kaynak, gelişmiş ülkelerde endüstriyel kullanım (kâğıt kaplama, plastik ürünler, dolgu malzemesi, kauçuk ürünler, boya dolgu malzemesi, böcek ilaçları, gübreler ve toprak düzenleyici gibi) için oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Aynı zamanda killer, seramik üretiminde de ana bileşen olarak kullanılarak kaba (tuğla, kiremit, çanak-çömlek, vb.) ve ince (porselen, karo ve yer döşemesi vb.) seramik ürünlerin imalatında önemli bir yere sahiptir. Ayrıca, killer, tarih öncesi medeniyetlerden günümüze kadar ev gereçleri yapımında da yaygın olarak kullanılan doğal bir malzeme olmuştur. Bugün hala seramik ürünlerin üretiminde ve endüstriyel uygulamalarda geniş bir kullanım alanına sahiptirler (Özpinar vd., 2006; Murray, 2007; Manoharan vd., 2012; Semiz, 2017; 2018).

Türkiye'de, 1950'lerden sonra şehirleşmenin hızlanmasıyla birlikte inşaat sektörü büyük bir ivme kazanmıştır. Bu süreçte kaba seramik ürünlerden olan tuğla ve kiremit üretimi de ülkemizde hızla artmaya başlamıştır. Özellikle 1980'li yıllarda bu sektör daha da gelişerek önemli noktalara ulaşmıştır (Şahin, 2001). Denizli bölgesinde de 1960'lı yılların sonunda tuğla-kiremit fabrikaları kurulmaya başlamıştır (Türktaş, 2012). Son yıllarda hafif yapı malzemeleri konusunda Türkiye'de önemli gelişmeler olmuş, yeni tesisler kurulmuş ve üretim artmıştır. Bu durumda tuğla-kiremit üretimini azaltmıştır. Denizli'de de 2000'li yılların başlarında tüm tuğla kiremit fabrikaları kapanmıştır. Denizli bölgesindeki tuğla-kiremit fabrikalarında belli dönemlerde hammadde kaynağı olarak Hançalar (Çal) bölgesindeki karasal killerin kullanıldığı bilinmektedir.

Bu çalışmanın amacı, Çal bölgesinde bulunan killerin fiziksel, mineralojik, kimyasal ve termal özelliklerini belirlemek ve bu killerin seramik endüstrisi için ham madde olarak uygunluğunu araştırmaktır. Ayrıca, incelenen killerin antik seramik üretiminde (çanak/çömlek) kullanılıp kullanılmadığına dair sorulara cevap bulmayı hedeflemektedir.

2. Materyal ve metod

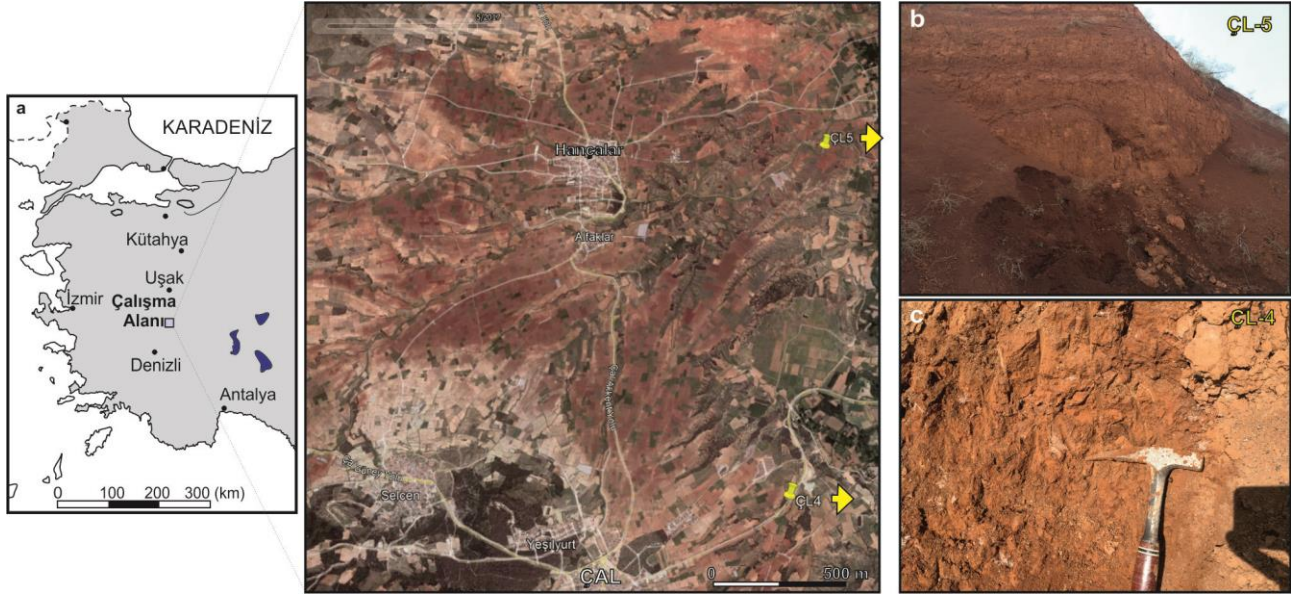
2. Material and methods

Bu çalışmada, Çal (Denizli-Batı Anadolu) ilçe merkezinin kuzeydoğusunda yer alan iki ayrı kil örneği üzerinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Şekil 1a). Araştırma kapsamında seçilen örnekler, yerel halkla gerçekleştirilen görüşmelere dayanarak eski yıllarda geleneksel seramik (tuğla/kiremit) üretildiği söylenen ve arkeolojik yerleşim bölgelerine yakınlık gösteren alanlardan seçilmiştir. İlk örnek (ÇL4), Çal ilçe merkezi doğusundaki Süller yolu kenarından (Şekil 1c), ikinci örnek (ÇL5) ise Hançalar mahallesinin doğusundan alınmıştır (Şekil 1b). Tablo 2'de incelenen örneklerin UTM koordinatları verilmiştir.

Pamukkale Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği bölümü örnek hazırlama laboratuvarında analizlere hazırlık aşamaları gerçekleştirilmiştir. Örneklerin granüloметриk dağılımları, ASTM standartlarına uygun olarak yaklaşık 1 kg'lık numuneler kullanılarak belirlenmiştir. İri tanelerden (çakıl ve kum) ince taneyi (kil ve silt) ayırmak için örnekler, 62.5 µm'lik elekten geçirilmiş ve ardından ıslak analize tabi tutulmuştur. Numunelerin tane boyu dağılımı, çakıl ve kum içerikleri elek analiziyle belirlenirken, silt ve kil içerikleri hidrometre analizleri ile belirlenmiştir. Islak analiz sonucunda elde edilen kil ve silt boyutundaki örnekler, 24 saat 65 °C'de etüvde kurutulmuştur. Kurutulmuş örnekler halkalı değirmen kullanılarak toz haline getirilmiştir. Toz haline getirilen örnekler üzerinde kimyasal analizler için (X-ışını flüoresansı, XRF), mineralojik analizler için (X-ışını kırınımı, XRD), termal analizler için (Diferansiyel termal analiz, DTA-TG) ve dilatometre analizleriyle birlikte teknolojik pişirme testleri yapılmıştır.

X-ışınları kırınımı, tüm kayaç ve kil fraksiyonu analizleri Pamukkale Üniversitesi İleri Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi (İLTAM)'da GNR APD 2000 PRO marka model difraktometre cihazında gerçekleştirilmiştir. Bu analizler, CuKα ışını kullanılarak 40 kV ve 30 mA koşullarında yapılmıştır (Kağıt aralığı=2 teta=5-40°; step aralıkları = 0.05, integration time =2 saniye). Kil fraksiyonu analiz detayları Semiz (2018)'de verilmiştir. Örneklerinin kimyasal analizleri PAU-İLTAM XRF laboratuvarında Spectro XEPOS marka Polarize Enerji Dağılımlı X-ışını Floresans Spektrometresi (PEDXRF) kullanılarak yapılmıştır. Bu analiz için Birleşik Devletler Jeolojik Araştırma Kurumu (USGS) standartları olan GEOL, GBW-7109 ve GBW-7309 referansları kullanılmıştır. Ayrıca, örneklerin toplam organik madde ve inorganik karbon miktarını tespit etmek için 550 °C'de 4 saat ve 950 °C'de 2 saat süreyle ısıtılarak kızdırma kayıpları (LOI) belirlenmiştir

(Semiz, 2018). Diferansiyel termal (DTA) ve termogravimetri (TG) analizleri Pamukkale Üniversitesi Kimya bölümü laboratuvarında bilgisayar kontrollü Shimadzu DTG-60H marka DTA cihazında yapılmıştır. Bu analizler, hava atmosferinde, 25 ila 1000 °C sıcaklıkta, 6-8 ve 10 °C/dk ısıtma hızında (β) ve referans olarak sinterlenmiş Al_2O_3 kullanılarak yapılmıştır. Dilatometre analizleri, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Merkezi Laboratuvarında Setaram marka dilatometre cihazında hava ortamında 25-1000°C arasında 10°C/dk hız ile yapılmıştır.



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası ve kil örneklerinin arazi görünüşleri
Figure 1. Location map of the study area and field views of clay samples

Plastisite değerleri ASTM, D 4318-10'a göre Atterberg limit testleri ile elde edilmiştir. Likit limit (LL) ve plastik limit (PL) testleri Casagrande yöntemi ile gerçekleştirilmiştir (Casagrande, 1947). Plastisite indeksi (PI) killi malzemenin LL ve PL aritmetik farkına dayanarak hesaplanmıştır.

Numunelerin teknolojik özelliklerini belirlemek için toz haline getirilen kil örneklerinden, pişme özelliklerinin belirlenmesi amacıyla silindirik kil numuneleri hazırlanmıştır. Silindirik numuneler oluşturmak üzere partikül bağlanmasını arttırmak için uygun su içeriğiyle karıştırılmıştır. Tekdüze ve optimum düzeyde sıkıştırılmış numuneler elde etmek amacıyla uygun su içeriğine yönelik bir metodoloji kullanılmıştır. İlk olarak killerin optimum su içeriği değerindeki maksimum kuru birim ağırlıkları standart proktor testi ile belirlenmiştir. Standart proktor testine göre, ÇL4 kilinin maksimum kuru birim hacim ağırlığı 1.58 gr/cm^3 , optimum su içeriği %24.0; ÇL5 kilinin maksimum kuru birim hacim ağırlığı 1.59 gr/cm^3 , optimum su içeriği ise %19.5 olarak belirlenmiştir. Maksimum sıkıştırma için su içeriği yüzdesi belirlendikten sonra kil örnekleri belirlenen optimum su içeriğiyle karıştırılarak proktor kalıbında sıkıştırılmıştır. Daha sonra 38 mm çapında ve 90 mm uzunluğunda üç numune her sıcaklık döngüsü için çıkarılmıştır. Daha sonra numuneler oda sıcaklığında 24 saat kurutulmuş ve daha sonra emilen suyun uzaklaştırılması için 105°C'de 24 saat fırında kurutulmuştur. Son olarak numuneler laboratuvar fırını kullanılarak 700 ila 1100°C arasında pişirilmiştir. Pişmiş numuneler, ISO10545-3 yönteminin önerdiği standartlara göre karakterizasyon için kullanılmıştır.

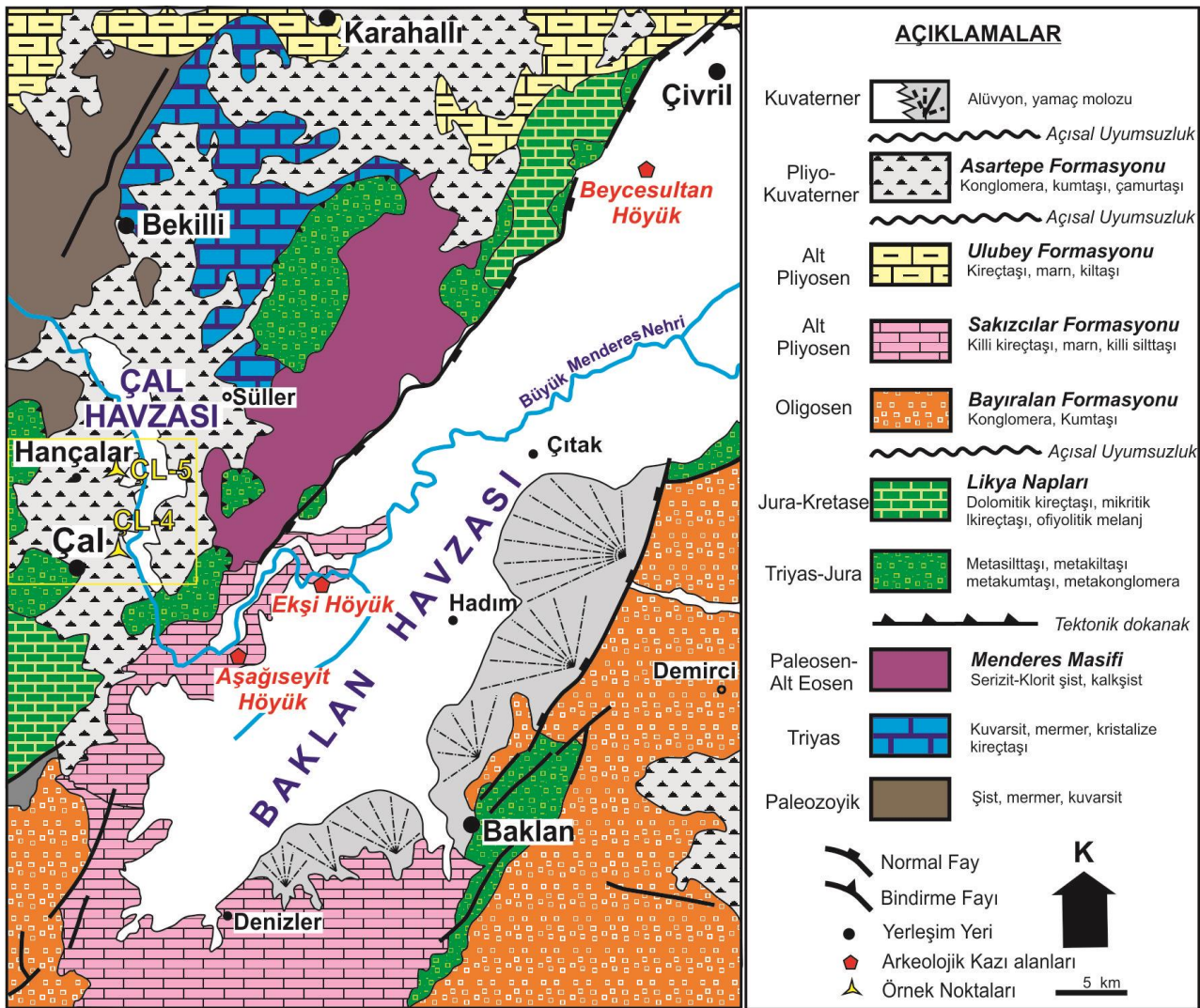
3. Jeolojik özellikler

3. Geological features

Yukarı Menderes havzasındaki karasal çökeltme Geç Tortoniyen'de, sınır fay yamacından uzağa uzanan alüvyon yelpazeleriyle yarı grabenli bir havzanın oluşmasıyla başlamıştır. Bu orijinal havza başlangıçta Baklan ve Çal havzalarını kapsamaktadır. Alüvyonlu kırmızı yataklar ve moloz akıntısı birikintilerinin bolluğu iklimsel kuraklığı yansıtmaktadır. Erken Pliyosen'de, orijinal havzayı daha dar bir yarı graben (Çal Havzası) ve bir graben (Baklan Havzası) olarak ayıran bir riftleşme meydana gelmiştir. İlgili paleocoğrafik değişiklik, daha yüksek iklimsel nem ile örtüşürken, havzanın yeniden tektonik yapılanması su drenajını daraltmış ve göller için konaklama alanı sağlamıştır. Havzalarda kıyı çamurlarından oluşan bataklık ortamlar oluşmuştur. Erken Pleyistosen'de başka bir riftleşme meydana gelmiş ve bu aynı zamanda bölgesel tektonik genişlemenin

yönünde de bir değişikliğe işaret etmiştir. Sonuç olarak, birçok yeni fay oluşmuş ve Çal Havzası, tabanı önemli ölçüde güneydoğuya doğru eğimli olan bir graben haline gelmiştir (Alçıçek vd., 2012) (Şekil 2).

Çal havzası ve çevresinde, Menderes masifi ile ilişkilendirilen Paleozoyik-Erken Tersiyer dönemine ait düşük dereceli metamorfizma özellikleri taşıyan kayalar bulunmaktadır. Bu kayalar arasında çeşitli mineral bileşenlerine sahip şistler (granatlı mikaşist, granat şist ve biyotit şist), kuvarsitler ve farklı kalınlıklardaki mermer mercer ve bantları yer almaktadır (Konak vd., 1986). Menderes masifi üzerinde, allokon konumlu olarak yer alan Likya napları, metakırıntılılardan başlayarak yukarı doğru kireçtaşlarına geçiş gösterir. Bu birimlerin üzerinde ise Baklan havzasının güney güneydoğusunda geniş alanlarda yüzeylenen Oligosen dönemine ait uyumsuzlukla gelen çakıltaşları bulunur (Konak vd., 1986). Bu temel birimlerin üzerine açısız uyumsuzlukla Geç Miyosen- Alt Pliyosen yaşlı gölsel çökeller ve akarsu ürünleri yer almaktadır. Çal havzasının kuzeyinde, Pliyosen birimler gölsel kireçtaşı ile temsil edilir (Semiz vd., 2018). Çal havzasının havza dolguları Pliyo-Kuvaterner yaşlı Asartepe formasyonu ile temsil edilmektedir. Bu birim, Çal havzasında Menderes Masifi ve Likya Napları çökelleri üzerine açısız uyumsuz olarak gelmektedir (Alçıçek vd., 2012). Asartepe Formasyonu genellikle kızılımsı, kahverengimsi ve bordomsu renklerin egemen olduğu iyi tutturulmamış konglomera, kumtaşı ve siltaşı birimlerinden oluşmaktadır. Birim içerisinde yer yer kilitaşı mercerlerinde gözlenmektedir (Konak vd., 1986). Ortamsal olarak birimin alüvyal yelpaze, fluvial çökeller ve bataklık çökellerinden oluştuğu bilinmektedir (Konak vd., 1986; Alçıçek vd., 2012). Tüm birimler üzerine alüvyon örtü birimleri açısız uyumsuz olarak gelmektedir (Şekil 2).



Şekil 2. Çalışma alanının jeoloji haritası (Konak vd., 1986; Semiz vd., 2018)

Figure 2. Geological map of the study area (Konak vd., 1986; Semiz et al. 2018)

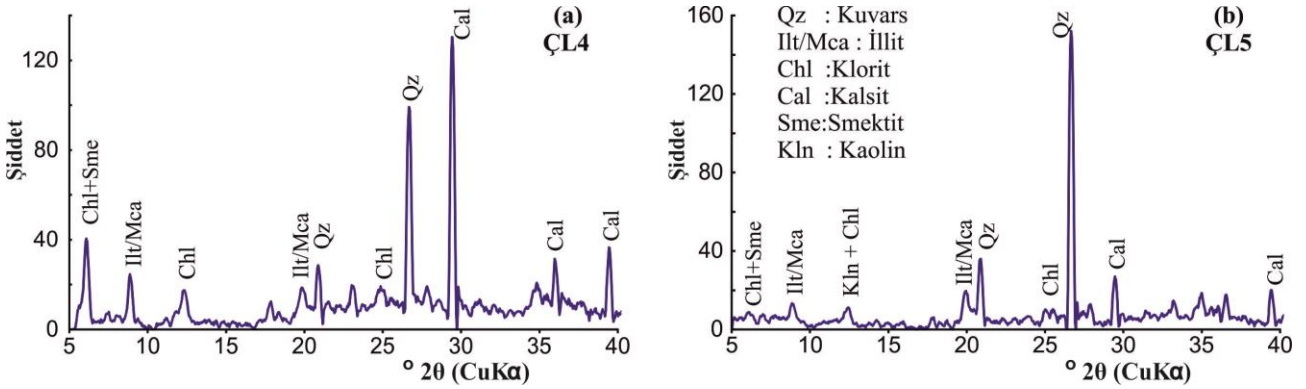
4. Bulgular ve Tartışma

4. Findings and Discussion

4.1. XRD Analizleri

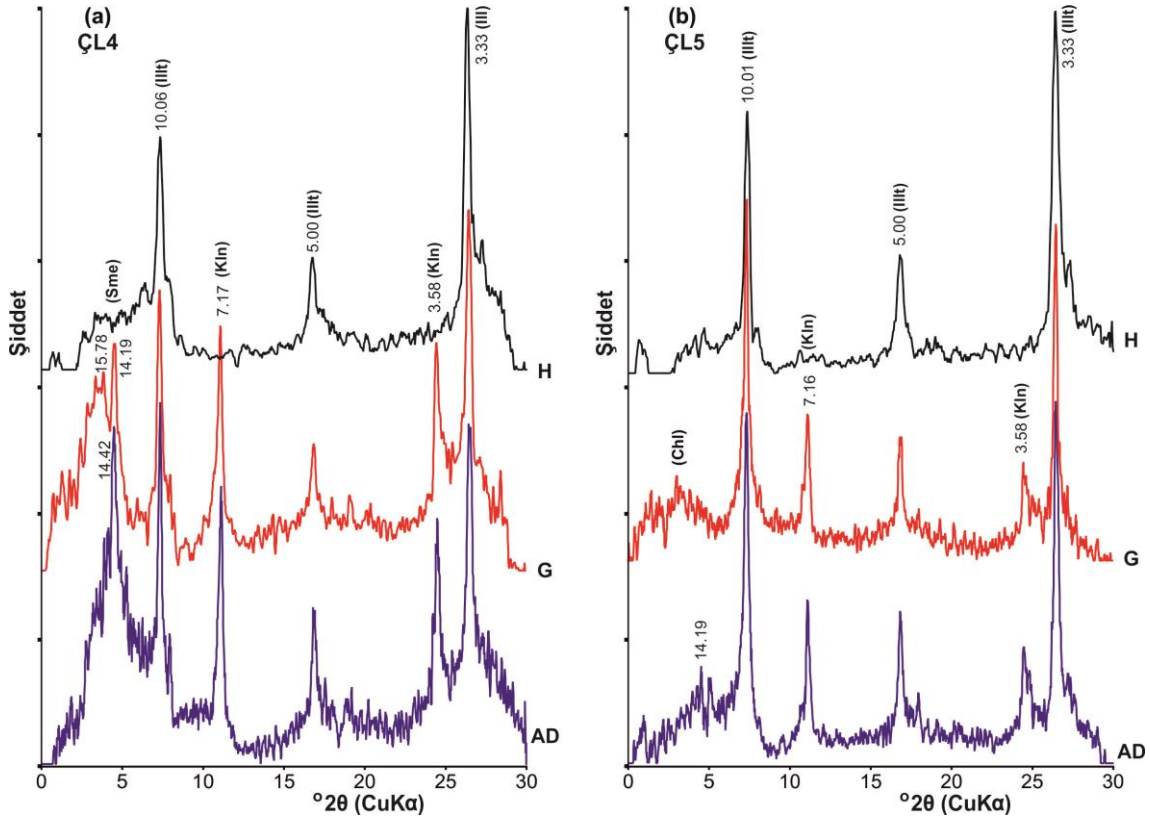
4.1.1. XRD Analyses

Kil örneklerinin mineralojik içeriği, X-ışını kırınımı ile başarılı bir şekilde belirlenebilmektedir. Bu açıdan killerde bulunan kristal bileşenleri tanımlamak için XRD analizleri kullanılmıştır. Tüm kaya analizleri sonucunda, ÇL4 ve ÇL5 numaralı örneklerin benzer bir mineralojik bileşime sahip ve kil mineralleri yanı sıra kuvars, kalsit ve klorit mineralleri içerdikleri tespit edilmiştir (Şekil 3). Değerlendirmeler sonucunda, ÇL4 örneğinin özellikle kalsit içeriğinin yüksek olduğu (Şekil 3a), ÇL5 numaralı örneğin ise daha yüksek oranda kuvars içerdiği (Şekil 3b) belirlenmiştir. Tüm örneklerin kil içeriğinin neredeyse eşit olduğu, ancak kil türleri arasında farklılıklar bulunduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3. Çal bölgesi killerin XRD tüm kaya fraksiyonu (Kısaltmalar için bkz. Whitney & Evans, 2010)

Figure 3. XRD fraction of whole rock of Çal region clays. (For abbreviations, see Whitney & Evans, 2010)



Şekil 4. Kil boyutu x-ışınları difraktogramları (H: 550 °C'de fırınlanmış; G: Etilen glikol ile doyurulmuş, AD: Havada kurutulmuş).

Figure 4. XRD patterns of the clay fractions (H: 550 °C heated; G: glycolated; AD: air-dried)

Çal bölgesi killilerinin <2 µm fraksiyonunun XRD desenleri Şekil 4'de verilmektedir. Örneklerin tüm kayaç ve kil boyu bileşenlerinin (< 2 µm) yarı nicel yüzdeleri dış standart yöntemi esas alınarak hesaplanmıştır (Yalçın ve Bozkaya, 2002). ÇL4 örneğinde tespit edilen kil mineralleri %42 illit, %34 klorit-simektit ve %10 kaolen olarak ortaya konmuştur. ÇL5 örneğinde ise illit ve kaolen oranının ÇL4 örneğine göre daha fazla olduğu görülmektedir. Bu örnekte %78 illit ve %22 kaolen içeriği belirlenmiştir.

4.2. Kimyasal analizleri

4.2. Chemical analyses

Çal bölgesi killilerinin kimyasal analiz sonuçları Tablo 1'de gösterilmektedir. ÇL5, yüksek oranda SiO₂ ve Al₂O₃ içermektedir (Tablo 1). Baskın oksitler (SiO₂ ve Al₂O₃) çoğunlukla kil mineralleri ve kuvars ile ilişkilidir. ÇL4 örneğinde de belirgin oranda yüksek SiO₂ (%39.7) içeriği gözlenmektedir. Demir oksit (Fe₂O₃) ana renklendirici bileşen olup pişirmeye karşı hassastır ve çoğu zaman pişirilen kilde renk ve doku açısından beklenmedik sonuçlar doğurmaktadır (Bun Kim vd., 2011; Lahcen vd., 2014; Semiz, 2017). Killerin Fe₂O₃ içerikleri genel itibariyle yüksek olup birbirlerine yakın değerlerdedir. Örneklerin yüksek demir içerikleri, hematit ve illit minerallerinin yoğunluğunun daha yüksek olmasıyla doğrulanmıştır. ÇL4 örneğinin CaO içeriklerini çok yüksek olması karbonatlı kil olarak düşünülmektedir. Bu durumda örnek içerisindeki kalsit mineralinin varlığı ile ilişkilendirilmektedir. Fakat ÇL5 örneğinde nispeten düşük CaO içeriğinin varlığı (% 5'ten az), karbonatsız killerin varlığına işaret etmektedir. Kızdırma kayıpları genel itibariyle çok yüksek olup ÇL4 örneğinde %20.1, ÇL5 örneğinde ise %10.5 civarındadır. Örneklerin yüksek kızdırma kayıpları, kil mineralleri ve hidroksitler ile ilişkilidir ve bu ilişki, termal analizler ile de doğrulanmaktadır (Semiz, 2018).

Stronsiyum (Sr), jeokimyasal olarak kalsiyum (Ca) elementine benzer ve deniz kabuğu, kireçtaşı gibi kireç içeren materyallerde bulunur. Eğer Sr miktarı killi malzemenin 400 ppm'den fazla ise, bu genellikle bu malzemenin tamamen denizel (deniz kökenli) olduğuna işaret eder. Ancak, kireçtaşı içeren karasal kaynaklarda Sr miktarı genellikle 150 ppm'den azdır. Ayrıca, karasal hammadde kullanıldığında, zirkonyum (Zr) miktarının 160 ppm'den fazla olması beklenmektedir (Akyol vd., 2013). Bu jeokimyasal belirteçler, malzemenin kökenini ve bileşimini anlamak için önemli ipuçları sağlar. İncelenen killerde Sr içeriklerinin 70.3-121.6 ppm, Zr içeriklerinin ise 227.7-239.8 ppm olması örneklerin karasal oldukları şeklinde yorumlanmıştır.

Tablo 1. Çal bölgesi killilerinin kimyasal analiz sonuçları.

Table 1. Chemical analysis results of Çal region clays.

Element	Birim	ÇL4	ÇL5	Element	Birim	ÇL4	ÇL5
SiO ₂	%	39,70	51,36	Cr	ppm	168,1	112,3
TiO ₂	%	0,68	0,89	Ba	ppm	228,3	291,0
Al ₂ O ₃	%	23,12	26,85	Rb	ppm	71,1	75,0
Fe ₂ O ₃	%	3,99	4,22	Sr	ppm	121,6	70,3
MnO	%	0,06	0,07	Y	ppm	16,7	15,1
MgO	%	1,19	0,74	Zr	ppm	227,7	239,8
CaO	%	9,03	2,78	Nb	ppm	26,9	24,5
K ₂ O	%	1,92	2,44	Ni	ppm	183,7	92,6
KK	%	20,1	10,5	V	ppm	122,0	123,5
Toplam		99,79	99,86	Pb	ppm	20,5	18,0
				Cu	ppm	36,9	28,0
				Zn	ppm	67,5	43,8

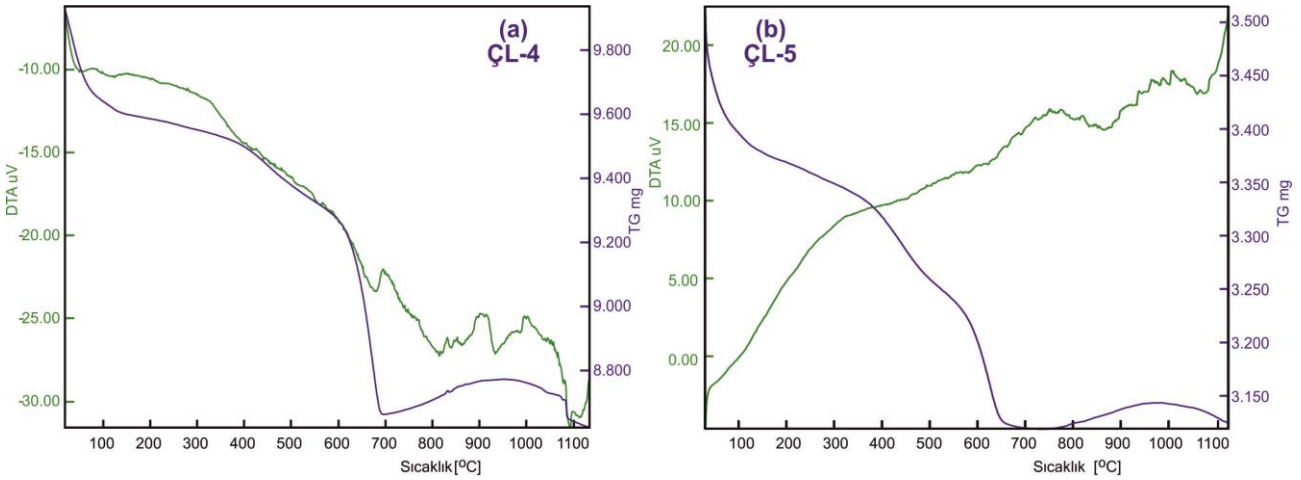
KK: Kızdırma Kaybı

4.3. Termal analizler

4.3. Thermal analyses

Termal analiz yöntemleri, killerin ve türevlerinin incelenmesi için son yıllarda sıklıkla uygulanmaktadır. Şekil 5'de iki doğal kil örneğinin DTA ve TG eğrileri (0-1100°C) gösterilmiştir. DTA analizleri mineralojik tayinlerden ziyade hammadde üzerindeki ısı değişimlerini vurgulamak açısından ele alınmıştır. Bu kapsamda, ÇL4 örneğinin DTA eğrisinde iki endotermik birde ekzotermik pik görülmektedir (Şekil 5a). 51 ve 121°C

sıcaklıklarda görülen endotermik pik kil minerallerinin adsorbe edilmiş ve ara katman suyunun kaybı ile ilişkilendirilmiştir. ÇL4 kil örneklerine karşılık gelen birinci endotermik zirve kütle kaybı %4'dür. 573°C'de küçük bir endotermik pik görülmekte olup bu durum kil yapısında hidroksil gruplarının kaybolmasıyla (kaolinitin dehidroksilasyonu) ilişkilendirilmiştir. Bu sıcaklıktaki kütle kaybı ise %2.5'dir. 684°C'de ise büyük bir endotermik pik gözlenmektedir. Bu sıcaklıktaki kütle kaybı 0.65 mg'dır. Bu sıcaklıktaki değişim ise örnek içerisindeki karbonat (kalsit ve dolomit) ayrışmasından kaynaklanmaktadır. Bu sıcaklıktaki kütle kaybı %7.5'dir. 910 ve 1000°C civarlarında ekzotermik pikler gözlenmekte olup %1'lik bir kütle artışı gözlenmektedir. Bu durum da muhtemelen killerdeki yeni mineral oluşumları ile ilişkilidir. Bu küçük pikler metakaolinitten γ -Al₂O₃ spinel fazının oluşumuna bağlanabilir (Brindley & Nakahira, 1959; Çelik, 2010). Toplam örnekteki kütle kaybı %14 olarak belirlenmiştir. ÇL5 örneğinde de hemen hemen ÇL4 örneğine benzer bir termogram gözlenmektedir (Şekil 5b). ÇL5 örneğinde ilk büyük endotermik pikin 670°C civarında olduğu ve bu sıcaklıktaki kütle kaybının %12'lik olduğu gözlenmektedir. 1000°C civarında ise ekzotermik pikler tespit edilmiş olup %1 civarında kütle artışı gözlenmektedir. Mineral ayrışmasının potansiyel termal reaksiyonlarından biri olan dekarbonizasyon, büyük hacimli gaz üreten endotermik reaksiyon olarak bilinmektedir (Meseguer vd., 2010; Cultrone vd., 2004).



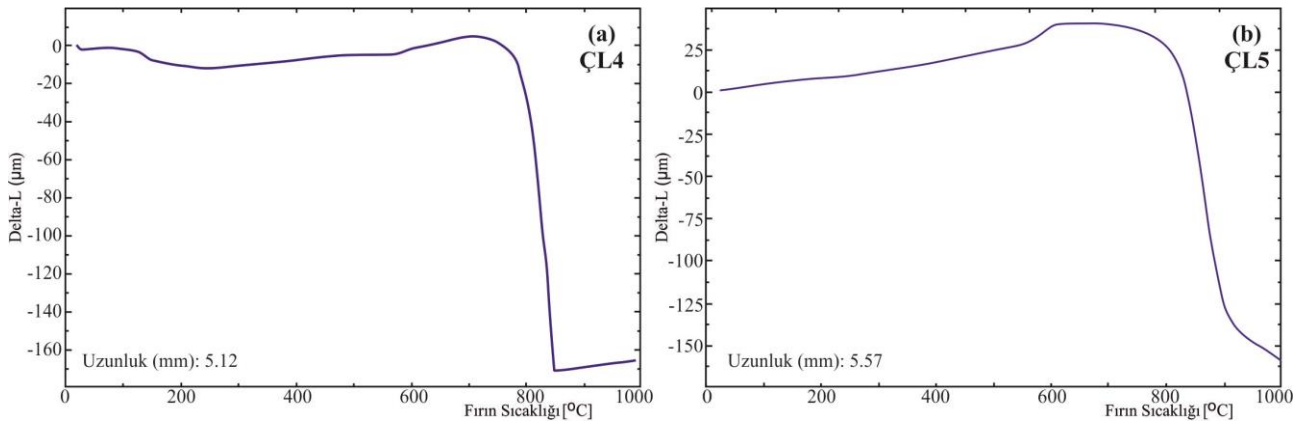
Şekil 5. Çal bölgesi killerin (ÇL4-ÇL5) DTA-TG eğrileri.
Figure 5. DTA-TG curves of Çal region clays (ÇL4-ÇL5).

4.4. Dilatometre analizi

4.4. Dilatometer analysis

Seramik pişirim sıcaklığını belirleyebilmek için yapılan dilatometrik analiz sonucu, Şekil 6'da gösterilmektedir. Bu grafikler ısıtılan kilin doğrusal büzülmesini göstermektedir. 100°C'nin altındaki sıcaklıklardaki bağıl genleşmeler, adsorbe edilen suyun buharlaşmasından kaynaklanmaktadır. 100°C'de başlayıp 200°C'de biten bağıl büzülme, kil tozunun dehidrasyonundan kaynaklanmaktadır. 200°C'ye kadar olan genleşmeler ÇL4 örneğinde daha belirgin gözlenmektedir.

Yaklaşık 573°C'de ortaya çıkan ikinci genişleme, kuvarın allotropik dönüşümüne ($\alpha \rightarrow \beta$) neden olmaktadır. Bu dönüşüm ÇL5 örneğinde çok daha belirgindir. Üçüncü genişleme 850-900°C civarında gözlenmektedir. Bu durumda karbonatın kaybolması ile ilişkilidir. ÇL4 örneğinde ÇL5 örneğine göre daha dik eğri olması içerdiği bol karbonat minerallerinin varlığı ile doğru orantılıdır. Ayrıca bu değerler örneklerin pişme sıcaklığının 850°C civarında olması gerektiğini göstermektedir. Örneklerin toplam kuruma büzülmesi 170 – 160 μ m olarak tespit edilmiştir. Deney sonunda hammaddenin sinterlenmesinin 1000°C'den sonra cihaz ölçüm sınırlarına ulaştığı için sonuç elde edilememiştir.



Şekil 6. Çal bölgesi killerin (ÇL4-ÇL5) dilatometre analiz sonuçları

Figure 6. Dilatometer analysis results of Çal region clays

4.5. Tane boyu dağılımı ve kıvam limitleri

4.5. Grain size distribution and consistency limits

Killi malzemelerin plastisite özelliklerini etkileyen en önemli faktörlerin başında tane boyu dağılımı gelmektedir. İncelenen kil örneklerinin kıvam limitlerinin sonuçları ve tane boyu dağılım değerleri Tablo 2'de gösterilmektedir. Tane boyu analizinden örneklerin (ÇL4 ve ÇL5) yaklaşık eşit oranlarda kum (%6.2-2.5), silt (%41.5-43.4) ve kil (%52.3-54.3) boyutu fraksiyonlarına sahip olduğu tespit edilmiştir (Tablo 2). Tane boyu dağılım sonuçlarına göre örnekler siltli kil olarak sınıflanmıştır.

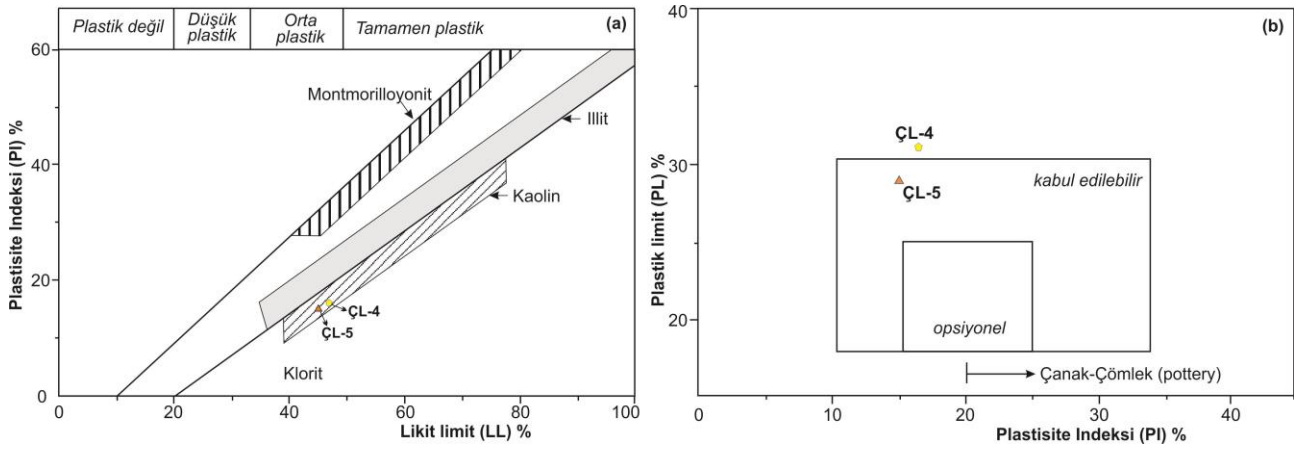
Tablo 2. Killerin UTM koordinatları, tane boyu dağılımları ve kıvam limitleri.

Table 2. UTM coordinates, grain size distributions and consistency limits of clays.

Örnek No	Koordinat	Tane Boyu Dağılımı (%)				Kıvam Limitleri (%)		
		KİL	SİLT	KUM	ÇAKIL	LL	PL	PI
ÇL4	711916 4218698	52,3	41,5	6,2	0,0	47,0	31,0	16,0
ÇL5	712176 4222420	54,3	43,4	2,5	0,0	45,0	29,9	15,0

Atterberg limitlerinin sonuçları da Tablo 2'de listelenmiş ve Holtz ve Kovacs diyagramında (Holtz & Kovacs, 1981) ve Şekil 7a ve b'de Casagrande diyagramında verilmiştir. Killi malzemelerin seramik üretimine uygun olup olmadığı Atterberg limitlerinin kesin olarak belirlenmesiyle değerlendirilmektedir. Çal bölgesi killerinin plastik değerlerinin birbirlerine yakın değerlerde oldukları görülmektedir. ÇL4 kilinin plastisite indeksi (PI) %16, ÇL5 kilinin plastisite indeksi (PI) ise %15 olarak elde edilmiştir. Bu değer literatüre göre “yüksek plastik kil” olarak değerlendirilmektedir (PI > %15) (Semiz & Çelik, 2020). Örneklerin Holtz and Kovacs (1981) diyagramında orta-yüksek plastisite sınırında oldukları görülmektedir (Şekil 7a).

Seramik üretiminde kullanılan bileşimlerde likit limit değerinin literatürde tanımlanan aralıkta (%30-60) olması istenir (Semiz & Çelik, 2020). Çal killerinin değerleri %45-47 civarında olduğundan bu sınır değerler içerisinde kalmaktadır. Plastik limit değeri düşük olan killi malzemenin önemli bir teknolojik uygulaması vardır. Çünkü şekillendirme işlemlerinde plastik duruma ulaşmak için kil kütlelerinde gerekli olan minimum su içeriğini belirtir (Monteiro & Vieira, 2004). Çal killeri Casagrande diyagramında incelendiğinde ÇL4 kilinin kabul edilebilir alanın hemen üzerinde, ÇL5 kilinin ise kabul edilebilir alan içerisinde kaldığı görülmektedir. Bu killerin aynı zamanda çanak çömlek üretimine uygun bölgenin biraz gerisinde kaldıkları görülmektedir (Şekil 7b).



Şekil 7. Killerin a. Holtz and Kovacs ve b. Casagrande diyagramındaki yerleri.

Figure 7. Position of clays a. on the Holtz and Kovacs diagram, and b. on Casagrande chart

4.6. Teknolojik Testler

4.6. Technological Tests

İncelenen kil örneklerinin pişirme ve teknolojik özelliklerini açıklamak amacıyla hazırlanan ve 700 ila 1100°C sıcaklıklarda pişirilmiş silindirik örnekler kullanılmıştır. Pişmiş killerin pişirme sıcaklıklarına ilişkin birim hacim ağırlığı, hacimce su emme, ağırlıkça su emme ve tek eksenli basınç dayanımı değerleri ile farklı sıcaklıklardaki renk değişimleri sonuçları Tablo 3'te verilmiştir.

Farklı sıcaklıklarda pişirilen örneklerin sıcaklıklara bağlı olarak renklerinde belirgin değişikliklerin olmadığı görülmektedir. ÇL4 örneği pişirilmeden önce koyu kahverengimsi (7.5YR 5/6) bir renge sahip iken sıcaklığa bağlı olarak sarımsı kırmızımsı renkte gözlenmektedir. Bu örnekte sadece 1000°C sıcaklıkta kırmızımsı sarımsı renkte olduğu belirlenmiştir. ÇL5 örneği ise pişirilmeden önce kırmızımsı kahverengi (5YR 4/4) renge sahip iken pişirildikten sonra renkleri tüm sıcaklıklarda sarımsı kırmızı olarak ölçülmüştür (Tablo 3).

Tablo 3. 700 - 1100°C sıcaklık aralıklarında pişirilmiş Çal bölgesi killerin teknolojik test sonuçları ve renk değişimleri (L^* – Açıklık (lightness) koordinatı ($L^*=0$ siyahı gösterir ve $L^*=100$ beyazdır) +a* kırmızıyı, -a* ise yeşili belirtir. +b* sarıyı, -b* ise maviyi belirtir)

Table 3. Technological test results and color changes of Çal region clays fired between 700 - 1100 °C temperature ranges (L^* – Lightness coordinate ($L^*=0$ indicates black and $L^*=100$ indicates white) +a* indicates red, -a* indicates green. +b* indicates yellow, -b* indicates blue)

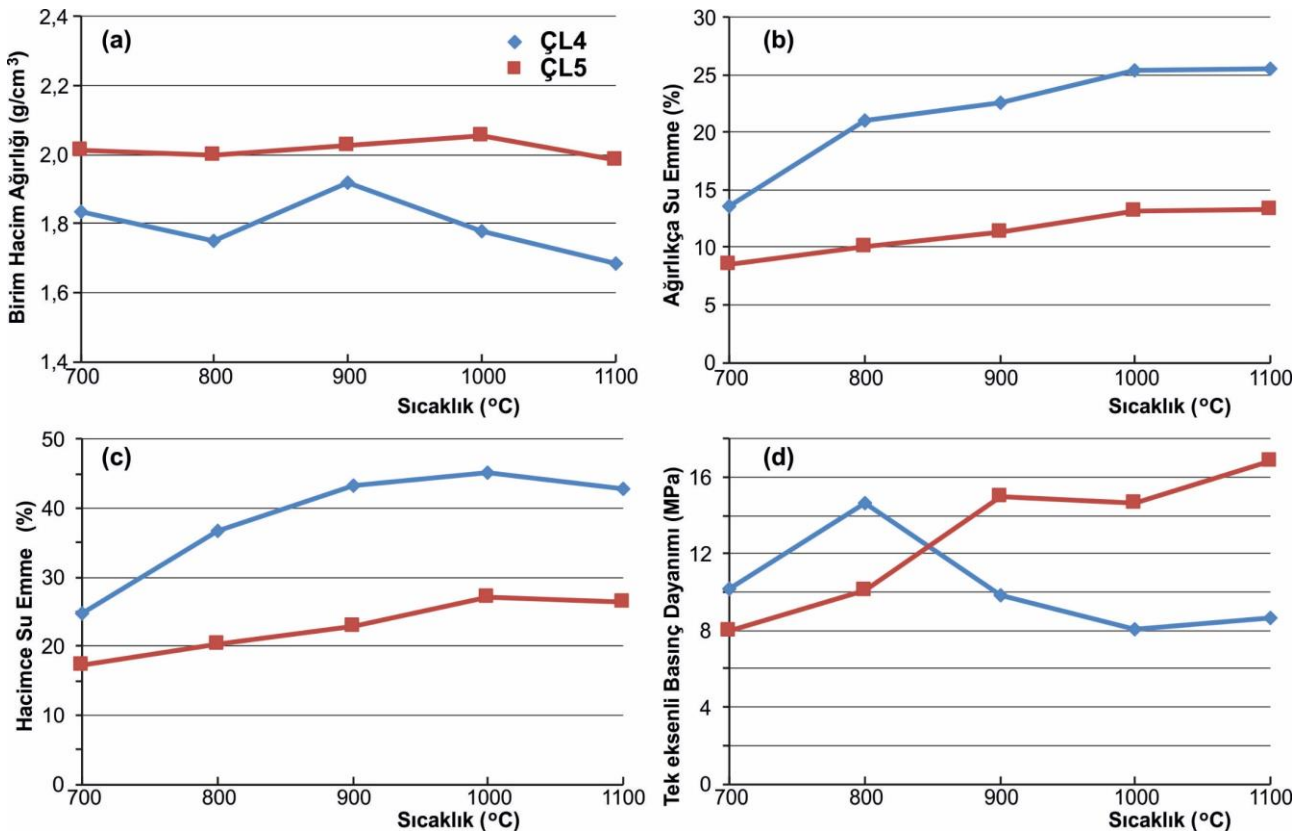
Örnek No	Sıcaklık	Birim Hacim Ağırlığı (gr/cm ³)	Hacimce Su emme (%)	Ağırlıkça su emme (%)	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (Mpa)	Boy Kısalması (%)	Hacimce Büzülme (%)	L	a	b	Munsell	Renk
ÇL4	700 °C	1,83	24,81	13,54	10,19	0,62	11,36	55,30	17,88	24,68	5YR 5/6	Sarımsı Kırmızı
	800 °C	1,75	36,70	21,03	14,69	2,62	9,76	53,39	19,74	26,78	5YR 5/6	Sarımsı Kırmızı
	900 °C	1,92	43,30	22,57	9,85	4,13	18,29	47,83	21,06	26,30	5YR 5/8	Sarımsı Kırmızı
	1000 °C	1,78	45,23	25,44	8,03	1,46	3,61	57,28	16,18	20,05	5YR 6/6	Kırmızımsı Sarı
	1100 °C	1,68	42,85	25,48	8,66	3,11	8,40	50,26	20,12	24,44	5YR 5/6	Sarımsı Kırmızı
ÇL5	700 °C	2,01	17,30	8,59	8,00	1,61	12,19	49,40	18,83	23,88	5YR 5/6	Sarımsı Kırmızı
	800 °C	2,00	20,19	10,11	10,12	2,46	12,64	45,19	20,65	26,64	5YR 5/6	Sarımsı Kırmızı
	900 °C	2,03	22,97	11,34	14,95	4,32	16,97	45,47	19,86	23,82	5YR 5/6	Sarımsı Kırmızı
	1000 °C	2,05	27,00	13,14	14,62	3,08	4,76	44,50	17,97	21,99	5YR 4/6	Sarımsı Kırmızı
	1100 °C	1,98	26,29	13,27	16,83	3,74	8,03	43,04	19,17	22,92	5YR 4/6	Sarımsı Kırmızı

ÇL4 örneğinin birim hacim ağırlığı sıcaklıklara bağlı olarak değişiklikler gösterdiği gözlenmektedir. 700°C'de 1.83 gr/cm³ iken 800 °C'de bu değerlerin 1.75 gr/cm³ olduğu görülmektedir. Daha sonra 900°C'de sıcaklığın belirgin artış gösterdiği bu sıcaklıktan sonra kademeli olarak 1.68 gr/cm³ değerine düştüğü görülmektedir. ÇL5 örneğinde ise birim hacim ağırlıklarının sıcaklıklara bağlı olarak pek değişim göstermediği

ortalama 2.01 gr/cm^3 olduğu gözlenmektedir. 800°C 'den sonra sıcaklığa bağlı olarak 1100°C 'ye kadar kısmi bir artış olduğu belirlenmiştir (Şekil 8a). Bu sıcaklıklardaki artışın muhtemelen camsı fazın oluşmasıyla ilgili olduğu düşünülmektedir.

Su emme değerleri hem hacimce hem de ağırlıkça hesaplanmıştır. İki örnek arasında su emme değerlerinde farklılıkların olduğu görülmektedir. ÇL4 örneğinin hacimce ve ağırlıkça su emme oranları sıcaklığa bağlı olarak kademeli olarak artış göstermektedir. 1100°C 'de su emme değerlerinde azda olsa bir düşüş görülmektedir. (Şekil 8b ve c). ÇL5 örneğinde de sıcaklığa bağlı olarak lineer artış gözlenmekte olup 1100°C civarında doğrusal şekilde gözlenmektedir. Genel olarak seramik uygulamalarında su emme değerleri en önemli parametredir. ISO13006-10545/98'e göre seramik karolar ağırlıkça su emme oranlarına göre 3 gruba ayrılır: düşük su emme ($< \%3$), orta su emme ($\%3$ ila $\%10$ arası) ve yüksek su emme ($> \%10$). Çal bölgesi killerde tüm pişirme sıcaklıklarında yüksek oranda su emme ($> \%10$) göstermiştir. Bu oran ÇL4 örneğinde ($> \%13$) ise belirgin şekilde daha da yüksektir. Düşük ila orta düzeyde su emmeye sahip olduklarında dayanıklılık artar. ÇL5 örneğinde bu oranın orta su emme değerine yakın olması ÇL4 örneğine göre daha dayanıklı seramik ürünlerin olabileceği şeklinde düşünülmektedir.

Çal örneklerinin tek eksenli basınç dayanımları arasında da belirgin farklılıkların olduğu görülmektedir (Şekil 8d). ÇL4 örneğinde 700°C 'den 800°C 'ye belirgin bir artış gözlenmektedir. 800°C 'den sonra ise kademeli düşüş göze çarpmaktadır. 900°C 'de basınç dayanımının 9.85 MPa civarında olması 700°C 'deki değerden bile düşük olduğunu göstermektedir. Bu durumda ÇL4 örneğinin yüksek pişirme sıcaklıklarına ulaşması seramik üretiminde sorunlara yol açacağı şeklinde yorumlanmaktadır. ÇL5 örneğinde tek eksenli basınç değerleri artan pişirme sıcaklığıyla birlikte artış göstermektedir (Şekil 8d). 700°C 'deki dayanım ile 900°C 'deki dayanım yaklaşık olarak iki kat artmaktadır. Artan sıcaklıkla mukavemet artışı, camsı fazın gelişmesi ve gözenekliliğin azalmasıyla açıklanabilir.

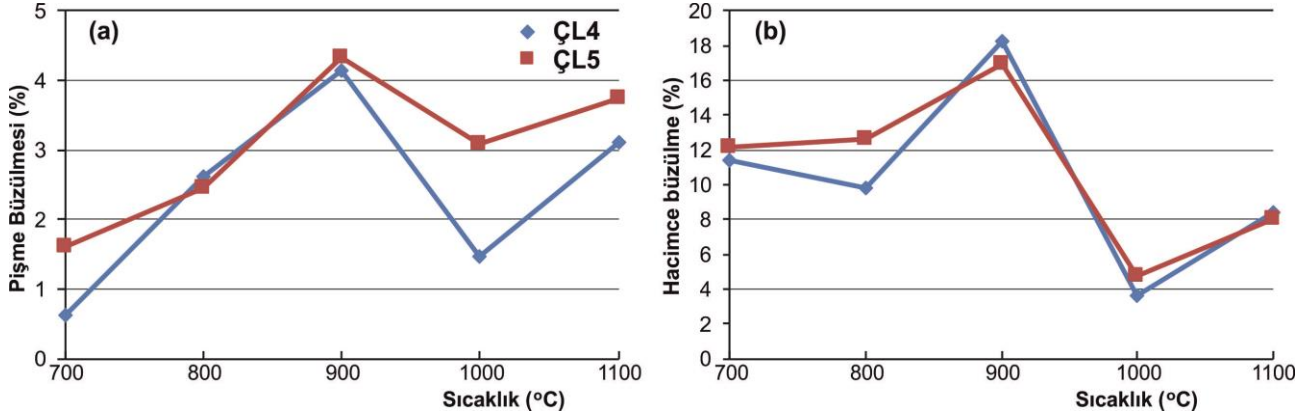


Şekil 8. Sıcaklığa bağlı teknolojik testlerin değişim grafikleri a. Birim hacim ağırlığı b. Hacimce su emme c. Ağırlıkça su emme d. Tek eksenli basınç dayanımı

Figure 8. Change graphs of technological tests depending on temperature a. Unit volume weight b. Water absorption by volume c. Water absorption by weight d. Uniaxial compressive strength

Çal killerinin potansiyel seramik malzemeleri olarak kullanılabilirliğini değerlendirmek için boy kısalması ve hacimce büzülme değerleri Şekil 9'da verilmiştir. Her iki örnekteki boy kısalma ve hacimce büzülme

değerlerinin birbirlerine yakın değerlerde oldukları belirgin şekilde gözlenmektedir. ÇL4 ve ÇL5 örneklerinde 700 °C'den 900°C'ye kadar kademeli olarak boy kısalma oranında artış 1000°C'de bu oranın tekrar azaldığı ve 1100°C'de tekrar artış olduğu görülmektedir. Hacimce büzülme değerlerinin 1000°C'de çok düşük oranda kalmaktadır. Pişme büzülmesi, pişirme verimliliğinin bir göstergesidir ve alüminyum-silikatlar, kaolin ve pişmiş kil için uluslararası kabul gören değer %7-10'dur (Manukaji, 2013). En büyük değişim eğilimi 900°C'nin üzerinde bulunmuş ve bunun muhtemelen daha belirgin bir sıvı faz oluşumundan kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 9. Sıcaklığa bağlı Çal killerin boy kısalması ve hacim büzülmesi diyagramları

Figure 9. Linear firing shrinkage and volume shrinkage diagrams of Çal clays depending on temperature

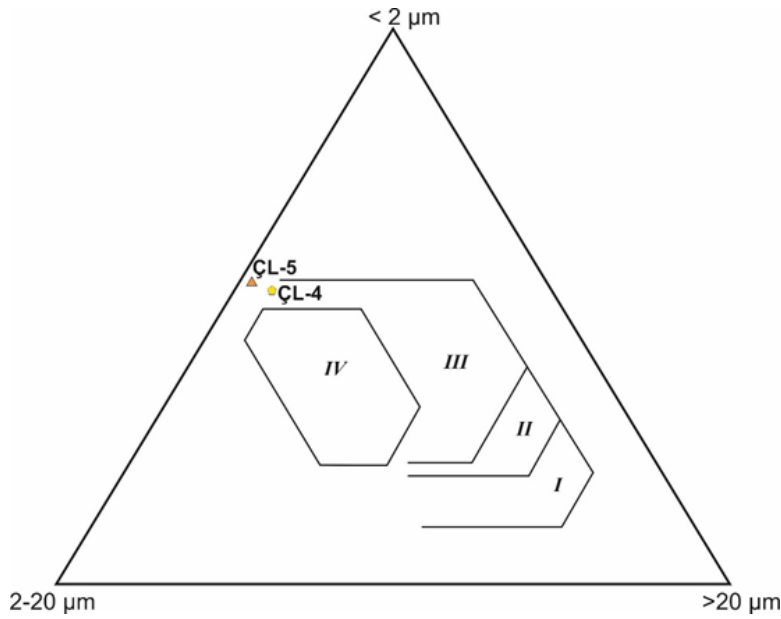
4.7. Endüstriyel kullanıma uygunluk araştırması

4.7. Suitability for industrial use research

Seramik sektöründe kullanılan killer, demir oksit (Fe_2O_3) içeriğine bağlı olarak ve pişme sonrası renklerine göre açık ve koyu renkli pişen killer olarak sınıflandırılmaktadır (Dondi vd., 2014). Bu sınıflandırma, seramik killerinin pişme sonrası renginin belirlenmesinde ve kullanım amacına uygun kil türlerinin seçilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. ÇL4 ve ÇL5 örnekleri, %3.9-4.2 oranında Fe_2O_3 içermektedir. İncelenen kil örnekleri, yüksek demir içeriği sebebiyle ince seramik üretimi için uygun değildir (Manoharan vd., 2012). Ancak, bu killi malzemeler kaba seramik ürünler (tuğla, kiremit, çanak/çömlek üretimi) için potansiyel bir hammadde kaynağı olabilirler. Ayrıca, kil örnekleri pişme sonrası renkleri açısından Yukarı Menderes Havzasındaki eski dönem antik kentlerdeki (Beycesultan, Ekşihöyük ve Aşağıseyit Höyük) arkeolojik seramik örneklerine benzerlik göstermektedir (Semiz vd., 2018).

Farklı seramik uygulamaları için killi materyallerin tane boyutlarına göre değerlendirildiği Winkler'in diyagramı üzerinde, örnekler uygunluklarına göre sınıflandırılmıştır (Şekil 10). ÇL4 ve ÇL5 örnekleri, çatı kiremiti / duvar tuğlası ile delikli ürünler arasındaki bölgede yer alır ve bu nedenle tuğla/kiremit üretimi için uygun oldukları değerlendirilir. Örneklerin genel olarak değerlendirmesi yapıldığında ÇL4 ve ÇL5 örnekleri yapısal seramik üretiminde kullanılabilir kalitededir. ÇL4 örneklerinin yüksek karbonat içerikleri ve tek eksenli basınç dayanımlarındaki değişkenlik 800°C sonrasındaki sıcaklıklarda değişkenlik gösterdiği için direk kullanımlarında sıkıntı yaşanabileceği düşünülmektedir. Kullanımları durumunda yaklaşık 850°C sıcaklık üzerine çıkılmaması gerektiği düşünülmektedir. ÇL5 örneği ise direk kullanımında tuğla-kiremit sanayinde kullanılmasında herhangi bir sıkıntı olmadığı düşünülmektedir. ÇL5 kili aynı zamanda ova kili olarak tanımlanan killerle belli oranda karıştırılması durumunda çanak çömlek üretimi içinde uygun olabileceği düşünülmektedir. Doğrudan çanak çömlek yapımı için bu killerin plastisite değerlerinin çok uygun olmadığı düşünülmektedir.

Çal bölgesindeki arkeolojik alanlarda gözlemlenen çanak çömlek parçalarının renk değişimleri incelenen killerin özellikleri ile yakınlık gösterdiği görülmüştür. Bu seramik örnekleri ile mevcut killerin karşılaştırılması hammadde olup olamayacakları konusunda bilgiler sağlayabilir. Mevcut halleri ile direk seramik üretiminde kullanılmadıkları fakat ova killeri ile karıştırılarak kullanılmış olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 10. Çal bölgesi killerin Winkler's üçgen diyagramı (I. Yaygın tuğlalar; II. Dikey oluklu tuğla; III. Çatı kiremiti / duvar tuğlası; IV. Delikli ürünler)

Figure 10. Winkler's triangle diagram of Çal region clays (I. common bricks, II. vertically perforated bricks, III. roofing tiles and masonry bricks, and IV. hollow products).

5. Sonuçlar

5. Conclusions

Çal (Denizli) bölgesindeki killerin kimyasal, mineralojik, termal analizleri, tane boyu dağılımı ve teknolojik test incelemeleri yapılarak, bu killi malzemelerin yapısal kil ürünleri için uygunluğu değerlendirilmiştir. Mineralojik çalışmalar, ÇL4 örneği kil minerali olarak illit, klorit-simektit türü tabakalı killeri ve az oranda kaolinit varlığını ve ÇL5 killerin ise benzer mineralojilerde olduğunu ve kil minerali olarak daha fazla illit ve kaolinit türü killeri içerdikleri tespit edilmiştir. Farklı kimyasal bileşimlere sahip iki Çal kili üzerinde yapılan çalışma, ÇL4'ün, ÇL5'den farklı olarak SiO_2 açısından düşük ve CaCO_3 açısından zengin olduğunu göstermiştir.

Seramik davranışları ÇL4 ve ÇL5 killerin birim hacim ağırlığı, ağırlıkça ve hacimce su emme, tek eksenli basınç dayanımı, boy kısalması ve hacimce büzülme değerleri ile yorumlanmıştır. ÇL4 kilindeki çeşitli parametrelerin değişimi 800 ila 900°C arasındaki sıcaklıkta gerçekleşir; ÇL5 örneği için ise önemli değişiklikler bu sıcaklığın üzerindeki sıcaklıklarda meydana gelir. ÇL4 ve ÇL5 örneklerinin tane boyutu ve kimyasal bileşimine göre yapısal seramik (yaygın tuğla-kiremit) üretimine uygun oldukları belirlenmiştir. Ayrıca, her iki kil örneğine belli oranda karıştırılacak plastik kil karışımları ile çanak çömlek üretiminde kullanılabileceği düşünülmektedir.

Teşekkür

Acknowledgement

Yazar, laboratuvar deneylerinin yapımı sırasındaki verdikleri destekten dolayı Mustafa Necdet Asan, Taha Fırat Akçasu, Aykut Çalan, Zeynep Çiğdem Şenel'e, araziden örnek alımı sırasındaki desteklerinden dolayı Doç.Dr. Erim Konakçı (İzmir Demokrasi Üniversitesi) ve Doç.Dr. Ali Ozan (PAU)'a, makalenin ilk halini okuyarak yapıcı katkılarda bulunan Doç.Dr. Sefer Beran Çelik (PAU)'e, makaleye yapıcı eleştiri ve görüşleriyle katkı sağlayan "Dergi Editörleri ve Hakemlere" sonsuz teşekkürlerini sunar.

Yazar katkısı

Author contribution

Tüm makale ilgili yazar tarafından yazılmıştır.

Etik beyanı*Declaration of ethical code*

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

Çıkar çatışması beyanı*Conflicts of interest*

Yazar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar*References*

- Alçıçek, MC., Mayda, S. & Alçıçek, H. (2012). Faunal and palaeoenvironmental changes in the Çal Basin, SW Anatolia: Implications for regional stratigraphic correlation of late Cenozoic basins. *Comptes Rendus Geoscience*, 344, 89–98. <https://doi.org/10.1016/j.crte.2012.01.003>
- Akyol, A.A., Kadioğlu, Y.K. & Şenol, A.K. (2013). Bybassos Helenistik ticari amphoraları arkeometrik çalışmaları, *Cedrus I*, 163-177. <https://doi.org/10.13113/CEDRUS/20131684>
- Brindley, G.W. & Nakahira, M. (1959). The kaolinite–mullite reaction series: II. Metakolin. *J. Am. Ceram. Soc.* 42 (7), 314–318.
- Bun Kim, N., Hasmaliza, M., Shamsul, K.S., Kiyoshi, O. & Zainal, A.A. (2011). Some ceramic properties of clays from central Cambodia. *Applied Clay Science*, 53, 33–41. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2011.04.017>
- Casagrande, A. (1947). Classification and identification of soils. ASCE Transactions Paper No. 2351, 901–991.
- Cultrone, G., Sebastian, E., Elerk, K., De la Torre, MJ., Cazalla, O. & Rodriguez-Navarro, C. (2004). Influence of mineralogy and firing temperature on the porosity of bricks. *Journal of the European Ceramic Society*, 24, 547–56. [https://doi.org/10.1016/S0955-2219\(03\)00249-8](https://doi.org/10.1016/S0955-2219(03)00249-8)
- Çelik, H. (2010). Technological characterization and industrial application of two Turkish clays for the ceramic industry. *Applied Clay Science*, 50, 245–254. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2010.08.005>
- Dondi, M., Raimondo, M. & Zanelli, C. (2014). Clays and bodies for ceramic tiles: Reappraisal and technological classification. *Applied Clay Science*, 96, 91–109. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2014.01.013>
- Holtz, RD. & Kovacs, WD. (1981). An introduction to Geotechnical Engineering, Prentice- Hall, Inc., New Jersey, USA.
- Konak, N., Akdeniz, N. & Çakır, H. (1986). Çal-Çivril Karahallı Dolayının Jeolojisi (Geology of the Çal-Çivril-Karahallı region). MTA Report No: 8945.
- Lahcen D., Hicham, E.E., Latifa, S., Abderrahmane, A., Jamal, B., Mohamed, W., Meriam, E. & Nathalie, F., (2014). Characteristics and ceramic properties of clayey materials from Amezmitz region (Western High Atlas, Morocco). *Applied Clay Science*, 102, 139-147. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2014.09.029>
- Manukaji John, U. (2013). Chemical and mechanical characterization of clay samples from Kaduna State Nigeria. *International Journal of Engineering Inventions*, 2-7, 20-26.
- Manoharan, C, Sutharsan, P, Dhanapandian, S, & Venkatachalapathy, R. (2012). Characteristics of some clay materials from Tamilnadu, India, and their possible ceramic uses. *Cerâmica*, 58, 412-418.
- Meseguer, S, Pardo, F, Jordán, MM, Sanfeliu, T, & González, I. (2010). Ceramic behavior of five Chilean clays which can be used in the manufacture of ceramic tile bodies. *Applied Clay Science*, 47, 372–377. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2009.11.056>
- Monterio, S.N. & Vieira, C.M.F. (2004). Influence of firing temperature on the ceramic properties of clays from Campos dos Goytacazes, Brazil. *Applied Clay Science*, 27, 229–234. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2004.03.002>

- Murray, HH. (2007). Applied clay mineralogy, Developments in Clay Science 2, Elsevier B.V. 180p.
- Özpınar, Y., Hancer, M., & Semiz, B. (2006). Belevi (Çal) kil yatakları, 1-3 Eylül 2006. Denizli. Çal Sempozyumu Bildiriler kitabı,188-199.
- Semiz, B. (2017). Characteristics of clay-rich raw materials for ceramic applications in Denizli region (Western Anatolia), *Applied Clay Science*, 137, 83-93. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2016.12.014>
- Semiz, B. (2018). Pamukkale (Denizli) bölgesi killerin karakteristik özellikleri ve seramik sektöründe kullanılabilirlikleri, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24/6, 1237-1244. <https://doi.org/10.5505/pajes.2017.77853>
- Semiz, B., Abay, E., Dedeoğlu, F., Konakçı, E. & Ozan, A. (2018). An archaeometric investigation of Early and Middle Bronze age pottery from the upper Meander basin in southwestern Anatolia, *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, 18/3, 121-151. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1461625>
- Semiz, B. & Çelik, SB. (2020). Mineralogical and geochemical characteristics of Belevi clay deposits at Denizli, SW Turkey: industrial raw material potential. *Arabian Journal of Geosciences*, 13, 313. <https://doi.org/10.1007/s12517-020-05292-z>
- Şahin, S. (2001). Türkiye’de Tuğla-Kiremit Sanayiinin Genel Görünümü ve Çorum İli Örneği, *G.Ü. Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 21/2, 19-41.
- Türktaş, M.M. (2012). Denizli efsaneleri, Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Türk Dili Ve Edebiyatı Anabilim Dalı, 351.
- Whitney, D.L. & Evans, B.W. (2010). Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 95, 185-187.
- Yalçın, H. & Bozkaya, Ö. 2002. Hekimhan (Malatya) çevresindeki Üst Kretase yaşlı volkaniklerin alterasyon mineralojisi ve jeokimyası: deniz suyu-kayaç etkileşimine bir örnek. *Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi Seri A-Yerbilimleri*, 19, 81-98.

Fiber takviyesi ile killi zeminlerin kıvam limitlerinde meydana gelen değişimler

Changes in the consistency limits of clay soils with fiber reinforcement

Yasemin ASLAN TOPÇUOĞLU*¹ , Zülfü GÜROCAK¹ 

¹Firat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 23119, Elazığ

• Geliş tarihi / Received: 26.01.2024

• Kabul tarihi / Accepted: 14.03.2024

Öz

Killerin mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla kullanılan birçok yöntem bulunmaktadır. Bu geleneksel yöntemlere son yıllarda kullanımı giderek yaygınlaşan fiber ile güçlendirme yöntemi de eklenmiştir. Geleneksel yöntemlere göre birçok avantaja sahip olan bu yöntemde daha çok bazalt, cam, polipropilen gibi fiber türleri kullanılmakta ve dolguda kullanılan zeminlerin mühendislik özellikleri iyileştirilebilmektedir. Zemin güçlendirmede fiber kullanımının son zamanlarda mühendislik uygulamalarında yoğun bir şekilde kullanılmaya başlanması ile birlikte, bu konuda yapılan bilimsel çalışmalarda da önemli bir artış söz konusudur. Fiber takviyesi kullanılarak bugüne kadar yapılan çalışmalarda çoğunlukla zeminin dayanımında, şişme özelliklerinde meydana gelen değişimler incelenmiştir. Ancak zeminin kıvam limitleri üzerinde fiberin etkisinin incelendiği çalışma oldukça azdır. Kıvam limitlerindeki değişim zemin stabilitesi üzerinde etkili olduğundan fiber takviyesiyle meydana gelen değişimlerin belirlenmesi oldukça önemlidir. Fiber kullanımı sonucunda fiber-zemin etkileşimlerinin, zeminin jeoteknik özelliklerinde meydana gelen değişimlerin ve bu değişimlerdeki mekanizmanın anlaşılabilmesi için daha fazla bilimsel çalışmaya ve veri tabanına ihtiyaç vardır. Bu çalışmada, kaolin kiline farklı oranlarda bazalt fiber takviyesiyle likit ve plastik limit değerlerinde meydana gelen değişimler incelenmiştir. Bu amaçla kaolin kiline % 0.25, 0.50, 1.00, 1.50, 2.00, 2.50 ve 3.00 oranlarında 24 mm uzunluğa sahip bazalt fiber eklenerek hazırlanan kil örneklerinin likit limit, plastik limit ve plastisite indisi değerlerinde meydana gelen değişimler incelenmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, bazalt fiber takviyesi ile kaolin kilinin likit limit değerlerinde azalma, plastik limit değerlerinde ise artış meydana gelmiştir. Takviyeli kaolin kilinde likit limitte en fazla azalmanın, plastik limitte ise en fazla artışın meydana geldiği bazalt fiber oranı ise % 2.00 olarak belirlenmiştir. Likit ve plastik limit değerlerinde meydana gelen bu değişimler sonucunda kaolin kilinin plastisite indisinde de azalma meydana gelmiş ve bu azalmaya bağlı olarak kaolin kili daha stabil hale gelmiştir.

Anahtar kelimeler: Bazalt fiber, Kaolin kili, Kıvam limitleri, Zemin güçlendirme

Abstract

There are many methods used to improve the engineering properties of clays. Fiber reinforcement method, which has become increasingly common in recent years, has also been added to these traditional methods. In this method, which has many advantages over traditional methods, fiber types such as basalt, glass and polypropylene are used and the engineering properties of the soils used in the filling can be improved. With the use of fiber in soil reinforcement being used intensively in engineering applications recently, there is also a significant increase in scientific studies on this subject. In the studies carried out so far using fiber reinforcement, changes in the strength and swelling properties of the soil have mostly been examined. However, there are very few studies examining the effect of fiber on the consistency limits of the soil. Since the change in consistency limits affects soil stability, it is very important to determine the changes that occur with fiber reinforcement. More scientific studies and databases are needed to understand the fiber-soil interactions, changes in the geotechnical properties of the soil and the mechanism of these changes as a result of fiber use. This study examined changes in liquid and plastic limit values by adding different amounts of basalt fiber to kaolin clay. For this purpose, the changes in the liquid limit, plastic limit and plasticity index values of the clay samples prepared by adding 24 mm long basalt fiber to kaolin clay at the rates of 0.25, 0.50, 1.00, 1.50, 2.00, 2.50 and % 3.00 were examined. According to the results of the study, with basalt fiber reinforcement, there was a decrease in the liquid limit values of kaolin clay and an increase in the plastic limit values. The basalt fiber ratio with the highest decrease in the liquid limit and the highest increase in the plastic limit in reinforced kaolin clay was determined as 2.00 %. As a result of these changes in liquid and plastic limit values, the plasticity index of kaolin clay decreased and due to this decrease, kaolin clay became more stable.

Keywords: Basalt fiber, Kaolin, Consistency limit, Soil reinforcement

*Yasemin ASLAN TOPÇUOĞLU; yaslan@firat.edu.tr

1. Giriş

1. Introduction

Problemlili zemin olarak tanımlanan zeminler yüksek su emme kapasitesine, düşük dayanıma, yüksek sıkışabilirliğe veya sıvılaşabilme özelliğine sahiptir. Jeoteknik özellikleri mühendislik projesine uygun olmayan bu tür zeminler farklı yöntemler kullanılarak iyileştirilmekte ve zeminin jeoteknik özellikleri istenilen düzeye getirilebilmektedir. Bu konuda günümüze değin kullanılagelmiş en geleneksel yöntem kimyasal stabilizasyondur. Bu yöntemde puzolanik özelliğe sahip farklı malzemeler kullanılmakta, killi zemine eklenen bu katkı malzemeleri ile killi zemin arasında puzolanik reaksiyon oluşmakta ve zemin özelliklerinde iyileşme sağlanmaktadır. Zeminin yerinde güçlendirilmesinde kullanılan en yaygın ve geleneksel yöntem ise enjeksiyon/jetgrouting yöntemi olup yüksek basınçla zemine enjekte edilen çimento şerbeti ile zemin güçlendirilmektedir. Bu geleneksel iyileştirme/güçlendirme çalışmaları ile birlikte son yıllarda dolgu zeminlerin güçlendirilmesi amacıyla farklı türdeki fiberlerin kullanımı ve bu konuda yapılan çalışmalar dikkat çekmektedir. Bu fiberlerden, polipropilen fiber (Diambra et al. 2010; Tang et al. 2007; Zaimoglu, 2010; Pradhan et al. 2012; Eskişar et al. 2016; Roustaei et al. 2015; Amini & Noorzad, 2018); naylon fiber (Estabragh et al. 2011); polyester fiber (Kinjal et al. 2012; Behbahani et al. 2016); cam ve bazalt fiber (Orakoglu & Liu, 2017); karbon fiber (Cui et al. 2018; Bao et al. 2021); kauçuk fiber (Edinçliler & Çağatay, 2013); polimer ve cam fiber (Valipour et al. 2021); bazalt fiber (Wang et al. 2021; Gürocak and Aslan Topçuoğlu, 2023) çeşitli çalışmalarda takviye malzemesi olarak kullanılmıştır. Doğal ve yapay olmak üzere iki ana gruba ayrılan fiberlerden günümüzde kullanımı giderek yaygınlaşan fiber türü, yapay bir fiber olan ve bazalt kayasından üretilen bazalt fiber (BF)'dir. Kolay erişilebilir, ucuz, oldukça fazla miktarda olması, yüksek çekme dayanımına ve kimyasal dirence sahip olması bazalt fiberin en önemli özelliklerindedir. Ayrıca bazalt fiber mikroorganizma ve mantarlara karşıda oldukça dirençlidir. Zemin güçlendirmede kullanımı giderek yaygınlaşan BF'nin killi zeminlerin jeoteknik özelliklerine olan etkileri konusunda birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar, daha çok BF'nin killi zeminin dayanımına ve sıkışabilirliğine olan etkileri ile optimum BF oranı ve uzunluğu konusundadır (Gao et al. 2015; Pandit et al. 2018; Kale et al. 2020; Sungur et al. 2021; Gürocak ve Aslan Topçuoğlu, 2023; Aslan Topçuoğlu ve Gürocak, 2023; Aslan Topçuoğlu ve Gürocak 2024).

Zeminin kıvam limitleri üzerine etkilerinin incelendiği çalışma sayısı oldukça azdır. Bu çalışmalarda farklı jeoteknik özelliğe sahip killi zeminlerde farklı uzunluklara sahip BF kullanılmış ve elde edilen sonuçlar paylaşılmıştır. Aravalli et al. (2017) tarafından 12 mm uzunluğunda ve farklı oranlarda BF takviyesinin killi zeminin likit limit (LL), plastik limit (PL), plastisite indeksi (PI), optimum su içeriği (w_{opt}), maksimum kuru birim ağırlık (γ_d), serbest basınç dayanımı (UCS) ve Kaliforniya taşıma oranı (CBR) gibi özelliklerine olan etkileri incelenmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, BF uzunluğunun sabit olması ve oranın artmasıyla birlikte zeminin LL, PL ve PI değerleri azalmakta ve zemin daha az plastik özellik kazanmaktadır. Araştırmacılar, likit limit deneyi sırasındaki darbeler sonucunda bazalt fiberdeki statik kuvvetin sürtünme kuvvetine dönüştüğünü, bu şekilde zeminin kaymasına ve akmasına karşı direnç oluştuğunu, böylece zeminin kıvam limitlerinde azalmalar meydana geldiğini belirtmişlerdir.

Chaudhary, (2021) farklı oranlarda (% 3, 6, 9, 12, 15) BF ile güçlendirdiği killi zeminin, LL değerinin % 9 BF oranına kadar azaldığını ve bu orandan sonra arttığını, PL değerinin ise % 12 BF oranına kadar arttığını bu orandan sonra ise azaldığını belirlemiştir. Çalışmacı fiberin zeminden su veya nemi emme eğilimine/özelliğine sahip olması nedeniyle LL'nin azaldığını, PL'nin ise arttığını, böylece zeminin daha stabil hale geldiği belirtilmiştir.

Khudhair et al. (2022) tarafından yapılan çalışmada düşük plastisiteli killi zemin BF ve çimento ile güçlendirilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Araştırmannın sonuçlarına göre BF oranı arttıkça LL azalmakta, PL artmakta ve zeminin PI değeri azalarak, zemin daha az plastik bir özellik kazanmaktadır. Ancak LL, PL ve PI'deki bu değişimlerin çimentoya göre sınırlı olduğunun belirtildiği çalışmada, BF'nin zemin taneleri ile bağlantı köprüleri oluşturduğunu, BF bileşenlerinin zemine eklenen çimento ile etkileşimi sonucunda ise BF ile zemin taneleri arasındaki bağı arttırarak LL, PL ve PI'daki değişimleri daha fazla arttırdığını belirtmişlerdir.

Mukhtar and Kumar (2022), yüksek plastisiteli kil bir zemine eklenen 12 mm sabit uzunluktaki BF oranının artışıyla birlikte LL, PL ve PI değerlerinin azaldığını belirtmişlerdir. Araştırmacılar LL, PL ve PI'da meydana gelen bu azalmaların, LL deneyi sırasındaki darbeler nedeniyle BF'deki statik kuvvetinin sürtünme kuvvetine dönüşmesi ve oluşan sürtünme nedeniyle zeminin kayma ve akmaya karşı daha dirençli hale gelmesi sonucunda oluştuğunu ileri sürmüşlerdir.

Aishwarya and PriyaRachel (2023) BF takviyeli kumlu killi zeminin, LL ve PL’inde meydana gelen değişimleri inceledikleri çalışmada, BF oranının artmasına bağlı olarak güçlendirilmiş killi zeminin LL ve PL’sinin arttığını ve sonuçta PI’sının ise azaldığını belirlemişlerdir. Ancak, güçlendirilmiş killi zeminin LL, PL ve PI değerlerinde meydana gelen bu değişimlerin nasıl meydana geldiği konusunda herhangi bir fikir belirtmemişlerdir.

Günümüze değin yapılan çalışmalar göstermektedir ki bazalt fiber takviyeli zeminlerde kıvam limitlerinde meydana gelen değişimlerin daha fazla incelenmesi ve irdelenmesi gerekmektedir. Bu amaçla kaolin kili farklı oranlarda BF ile güçlendirilmemiş ve güçlendirilmiş örneklerin LL, PL ve PI değerlerindeki değişimler incelenmiştir. Böylece BF ile güçlendirilmiş killi zeminlerin plastisitesi üzerindeki etkileri konusunda literatüre katkı sağlaması ve veri tabanının geliştirilmesi hedeflenmiştir.

2. Deneysel materyal ve yöntemler

2. Experimental material and methods

2.1. Kaolin kili ve bazalt fiberin özellikleri

2.1. Properties of kaolin clay and basalt fiber

Deneysel çalışmalarda kil olarak kaolin kili, fiber türü olarak da BF seçilmiştir. Kaolin; volkanik/magmatik kayaların yerinde ayrışması ile meydana gelen alüminyum hidrosilikat bileşimli ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$) bir kil grubudur. Plastik bir kil türü olan kaolin, beyaz renkli, yumuşak ve çok küçük tane boyutuna ($2 \mu m$) sahip olup yoğunluğu ise 2.62 gr/cm^3 ’tür (MTA, 2024). Bu çalışmada kullanılan kaolin kili Balıkesir - Sındırgı (Türkiye) kil ocağında üretilmekte (Şekil 1) olup ana oksit değerleri, kaolinin temin edildiği firmadan alınmış ve Tablo 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Deneysel çalışmalarda kullanılan kil
Figure 1. Clay used in experimental studies

Tablo 1. Çalışmada kullanılan kilinin ana oksit değerleri
Table 1. Main oxide values of the clay used in the study

Ana Oksitler (%)	Kaolin Kili
SiO ₂	69.00
Al ₂ O ₃	12-17
Fe ₂ O ₃	0.50
CaO	0.10
Na ₂ O	0.20
K ₂ O	≤13.17
TiO ₂	Eser
SO ₃	≤7.05
Cr ₂ O ₃	0.01
Kızdırma Kaybı	-

Deneysel çalışmalarda güçlendirme malzemesi olarak kullanılan BF (Şekil 2), koyu renkli, çok küçük kristalli volkanik bir kayacın bazalttan üretilmektedir. Kimyasal olarak incelendiğinde bazaltı oluşturan ana bileşen SiO_2 , ikinci ana bileşen ise Al_2O_3 'tür. Bu iki ana bileşeni Fe_2O_3 , FeO , CaO ve MgO takip etmektedir (Jamshaid & Mishra, 2015). Bu çalışmada kullanılan BF 24 mm uzunluğunda olup BF satışı yapan firmadan alınmıştır. BF'nin mekanik ve fiziksel özellikleri ise fiberin alındığı firmadan temin edilmiş olup Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Deneysel çalışmalarda takviye olarak kullanılan ayrılmamış BF
Figure 2. Unseparated BF used as reinforcement in experimental studies

Tablo 2. Çalışmada kullanılan BF'nin mekanik ve fiziksel özellikleri
Table 2. Mechanical and physical properties of BF used in the study

Özellik	Değer
Fiber boyu (mm)	24
Monofilament Çapı (μm)	$15 \pm 1,5$
Nem Oranı, Max (%)	2
Elastisite Modülü (GPa)	90
Çekme Dayanımı (MPa)	3000
Isıl İletkenlik (W/mK)	0.031-0.038
Kopma Uzaması (%)	3.5
Yoğunluk (g/cm^3)	2.63

2.2. Deneysel çalışmalar

2.2. Experimental studies

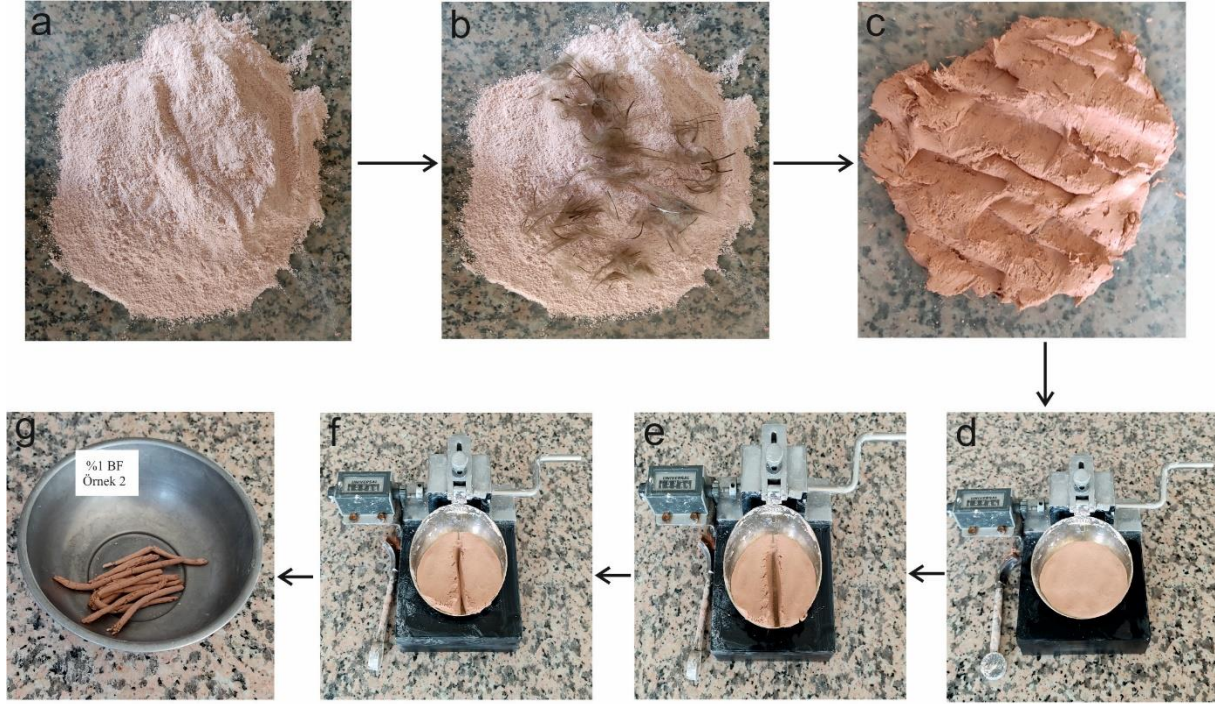
Deneysel çalışmaların ilk aşamasında BF takviyeli örnekler hazırlanmıştır. 105°C 'de etüvde 24 saat süresince kurutulan kaolin kiline, kompresör yardımı ile ayrık hale getirilen (Şekil 3) BF kuru ağırlıkça % 0.25, 0.50, 1.00, 1.50, 2.00, 2.50 ve 3.00 oranlarında eklenmiş ve BF'nin kil içerisinde homojen şekilde dağılımını sağlamak için el ve mikser yardımıyla karıştırılmıştır. Daha sonra BF eklenmemiş ve eklenmiş örneklerde LL ve PL deneyleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. Kompresörle ayrılmış BF
Figure 3. BF separated by compressor

İnce daneli zeminlerin kıvamının değiştiği sınır değerleri Atterberg limitleri olup PL ve LL en önemli iki limit değeridir. PL ve LL yapılan deneyler ile belirlendikten sonra PI değerleri hesaplanmaktadır. Takviyesiz kaolinin LL ve PL değerlerinin belirlenmesi amacıyla LL ve PL deneyleri ASTM D4318-17e1 (2017) standardına uygun olarak yapılmıştır. Bu deneylere göre kaolin kilinin ortalama LL, PL ve PI değerlerinin sırasıyla % 45.00, % 24.00 ve % 21.00 olduğu belirlenmiştir. Kaolin kili, Birleştirilmiş Zemin Sınıflama Sistemi (USCS)'ne göre sınıflandırılmış ve düşük plastisiteli (CL) kil olarak belirlenmiştir.

BF eklenmemiş kaolin kilinin LL, PL ve PI değerleri belirlendikten sonra, kuru ağırlıkça % 0.25, 0.50, 1.00, 1.50, 2.00, 2.50 ve 3.00 oranlarında BF eklenerek toplam 35 adet karışım hazırlanmış ve bu örneklerde LL ve PL deneyleri yapılmıştır. Deneysel çalışmalara ait çalışma aşamalarını gösteren akış şeması Şekil 4'de görüldüğü gibidir. Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen LL ve PL değerleri kullanılarak örneklerin tamamına ait PI değerleri hesaplanmış ve tüm deneysel veriler Tablo 3'te sunulmuştur.



a: Takviyesiz kil, b: BF takviyeli kil, c: Kil ve BF'nin su ile karıştırılması, d: Likit limit deneyi için örneğin yerleştirilmesi, e: Oluk bıçağı ile oluğun açılması, f: Deney sonrasında oluğun kapanması, g: Plastik limit deneyinin yapılması

Şekil 4. LL ve PL deneylerine ait aşamalar

Figure 4. Stages of LL and PL experiments

Tablo 3. Takviyesiz ve takviyeli örneklerin LL, PL ve PI değerleri
Table 3. LL, PL and PI values of unreinforced and reinforced samples

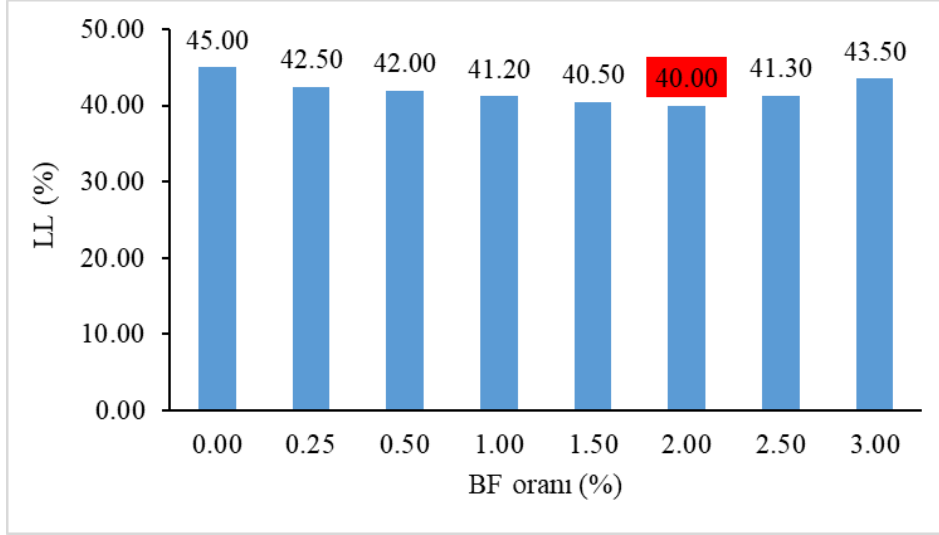
Örnekler	LL (%)			PL (%)			PI (%)
	Min.	Max.	Avrg.	Min.	Max.	Avrg.	Avrg.
K	44.10	46.50	45.00	23.10	26.15	24.00	21.00
K + % 0.25 BF	41.20	43.50	42.50	25.84	28.55	26.85	15.65
K + % 0.50 BF	41.50	44.00	42.00	26.22	29.55	27.00	15.00
K + % 1.00 BF	40.60	43.10	41.20	26.54	30.90	27.88	13.32
K + % 1.50 BF	39.00	43.40	40.50	26.96	30.87	28.36	12.14
K + % 2.00 BF	38.20	42.50	40.00	27.95	31.64	28.97	11.03
K + % 2.50 BF	40.10	43.00	41.30	26.95	30.15	27.88	13.42
K + % 3.00 BF	42.60	44.50	43.50	26.14	29.55	27.55	15.95

Tablo 3'te verilen deney sonuçlarına göre takviyesiz kil örneğinin ortalama LL, PL ve PI değerleri sırasıyla % 45.00, % 24.00 ve % 21.00'dir. BF takviyeli örneklerde ise ortalama LL değerleri % 40.00 - 43.50 aralığında değişim göstermektedir. En düşük LL değeri K + % 2.00 BF örneğinde % 40.00, maksimum LL değeri ise K + % 3.00 BF örneğinde % 43.50 olarak belirlenmiştir.

3. Bulgular

3. Results

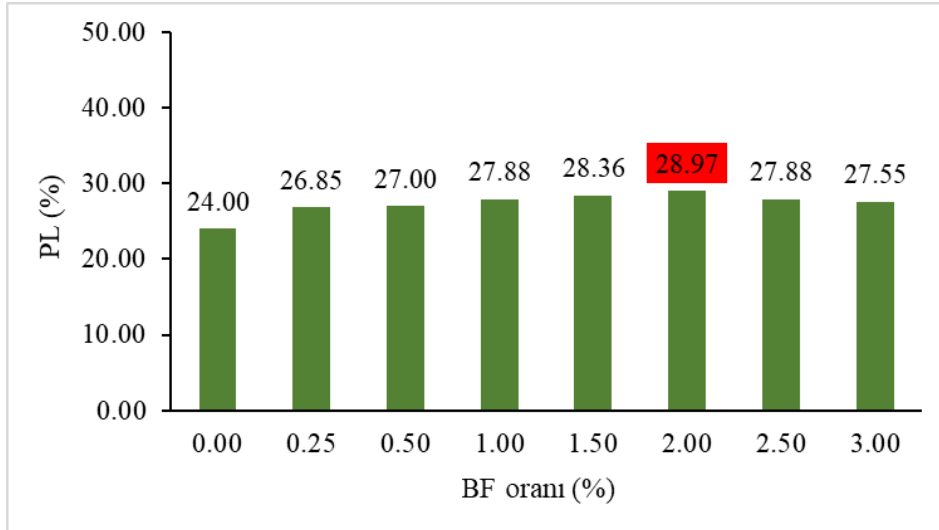
Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlara göre; takviyeli örneklerin LL değerleri % 2.00 BF oranında en düşük değere düşmüş ve BF takviye oranının % 2.00'den daha fazla olduğu örneklerde ise artış göstermiştir. Ancak, BF takviyesiyle artış gösteren LL değerleri takviyesiz kilin LL değerine ulaşamamıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Örneklerin BF oranı - LL ilişkisi

Figure 5. BF ratio - LL relationship of samples

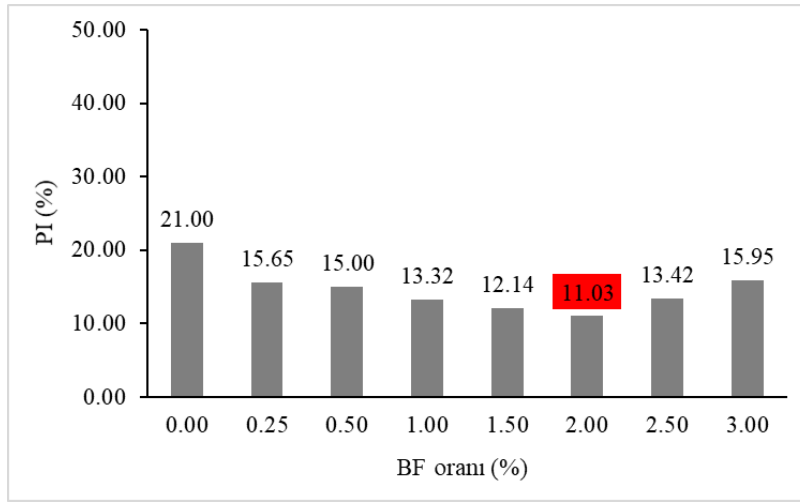
Takviyesiz kil örneğinin PL değeri ortalama % 24.00'dır. Takviyeli kil örneklerinde ise ortalama PL değerleri % 26.85 ile % 28.97 arasında değişim göstermektedir. BF oranının artmasıyla birlikte PL değerleri % 2.00 BF takviyeli örneğe kadar artmış, bu değerden sonra azalmaya başlamıştır. Minimum PL değeri ise % 0.25 BF takviyeli karışımında belirlenmiştir ve bu değer takviyesiz kilin PL değerinden büyüktür (Şekil 6).



Şekil 6. Örneklerin BF oranı - PL ilişkisi

Figure 6. BF ratio - PL relationship of samples

Yapılan LL ve PL deneylerinden sonra hesaplanan PI değerlerine göre takviyesiz kaolinin ortalama PI değeri % 21.00'dir. Takviyeli örneklerin ortalama PI değerleri ise % 11.03 - % 15.95 aralığında değişmektedir. PI değerinin en fazla azalma gösterdiği örnek K + % 2.00 BF'dir ve BF oranının % 2.00'den fazla olması durumunda PI değerleri artış göstermektedir. PI değerlerinde meydana gelen bu artışlara rağmen takviyeli kil örneklerinin PI değeri takviyesiz kilin PI değerinden oldukça düşüktür (Şekil 7).



Şekil 7. Örneklerin BF oranı - PI ilişkisi

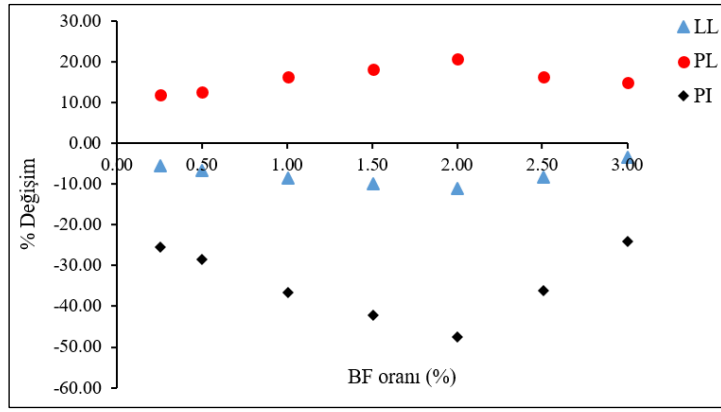
Figure 7. BF ratio - PI relationship of samples

Deney sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde, artan BF oranıyla birlikte takviyesiz kile göre LL değerlerinin azaldığı, PL değerlerinin arttığı ve buna bağlı olarak da PI değerlerinin ise azaldığı belirlenmiştir. LL değerlerinde meydana gelen azalma % 2.00 BF oranından sonra yerini artmaya bırakmıştır. Ancak % 2.00'den daha fazla oranda BF kullanılmasıyla dahi takviyesiz kil örneğinin LL değerine ulaşan bir artış meydana gelmemiştir. Aravalli et al., (2017) ve Mukhtar and Kumar (2022) likit limit deneyi sırasındaki darbeler sonucunda bazalt fiberdeki statik kuvvetin sürtünme kuvvetine dönüştüğünü, bu şekilde zeminin kaymasına ve akmasına karşı direnç oluştuğunu, böylece zeminin LL değerlerinde azalmalara neden olduğunu belirtmişlerdir. Artan fiber oranıyla birlikte LL değerinde meydana gelen artışlar ise, bazı araştırmacılar (Baruah 2015; Sujatha et al., 2021; Al-Kaream et al., 2022) tarafından fiberin su emme özelliğinden dolayı meydana geldiği şeklinde açıklanmıştır. Literatürdeki bilgiler dikkate alınarak bu çalışma sonucunda ortaya çıkan LL değerinin belli bir BF oranına kadar azalması, fiberdeki statik kuvvetin sürtünme kuvvetine dönüşmesi ile zeminde akmaya karşı direnç oluşması ile ilişkilidir. Ancak % 2.00 BF oranından daha fazla oranda BF takviyesiyle LL değerinde meydana gelen artış, fiberin su emme özelliği ile ilişkilidir. Benzer değişim takviyeli örneklerin PI değerleri için de geçerlidir. BF takviyeli örneklerin PL değerleri ise % 2.00 BF oranına kadar artarken, BF oranındaki artış ile birlikte azalmaya başlamıştır. LL, PL ve PI değerlerinde meydana gelen değişim oranları ve grafiği Tablo 4 ve Şekil 8'de verilmiştir.

Tablo 4. Takviyeli örneklerin, takviyesiz kile göre kıvam limitlerinin % değişimleri

Table 4. % changes in consistency limits of reinforced samples compared to unreinforced clay

Örnekler	LL (%)	PL (%)	PI (%)
K	-	-	-
K + % 0.25 BF	-5.56	11.88	-25.48
K + % 0.50 BF	-6.67	12.50	-28.57
K + % 1.00 BF	-8.44	16.17	-36.57
K + % 1.50 BF	-10.00	18.17	-42.19
K + % 2.00 BF	-11.11	20.71	-47.48
K + % 2.50 BF	-8.22	16.17	-36.10
K + % 3.00 BF	-3.33	14.79	-24.05



Şekil 8. Takviyeli örneklerin LL, PL ve PI değerleri değişim grafiği
Figure 8. LL, PL and PI values change graph of reinforced samples

Takviyesiz kile, BF eklenmesiyle birlikte tüm karışımlarda LL değerlerinde meydana gelen bu azalma oranları %3.33 - % 11.11 arasındadır. LL değerindeki maksimum azalma % 11.11 ile K + % 2.00 BF örneğinde, minimum azalma ise % 3.33 ile K + % 3.00 BF örneğinde meydana gelmiştir. LL değerlerindeki azalma % 2.00 BF oranından sonra yerini artışa bırakmıştır. Örneklerin PL değerlerinde meydana gelen değişim oranları ise % 11.88 - % 20.71 aralığındadır. En büyük artış % 2.00 BF takviyeli örnekte, en küçük artış ise % 0.25 BF takviyeli örnekte gözlenmiştir. PL değerlerindeki artış % 2.00 BF oranına kadar devam etmiş, bu orandan sonra ise azalmalar oluşmuştur. LL ve PL değerlerindeki değişimlerden yola çıkarak PI değerlerinin de BF takviyeli tüm örneklerde azaldığını söylemek mümkündür. Takviyeli örneklerin, takviyesiz kile göre PI değerlerindeki azalma % 24.05 ile % 47.48 arasında değişim göstermektedir (Tablo 4, Şekil 8). Bu çalışmaya ait sonuçlar literatürde bu konuda yapılan çalışmalar ile karşılaştırıldığında, deneysel verilerin literatür ile uyumlu olduğu görülmektedir. Yapılan çalışmalarda zeminin PI meydana gelen azalma sonucunda zeminin dayanımının arttığı ve dayanım parametrelerinin iyileştiği (Aravalli et al., 2017; Mukhtar and Kumar, 2022) ve zeminin daha stabil hale geldiği (Chaudhary, 2021) ortaya konmuştur. Bu çalışmalar ışığında BF takviyesiyle kaolin kilinin PI meydana gelen azalmanın, zeminin dayanımını artırması açısından önemli olduğu düşünülmektedir.

4. Sonuçlar

4. Conclusions

BF takviyesinin kaolin kilinin LL, PL ve PI değerlerinde meydana getirdiği değişimler incelenmiştir. Düşük plastisiteli bir kil olan kaolin kiline BF eklenmesiyle birlikte, % 2.00 BF oranına kadar tüm karışımlarda LL değerleri azalmış, PL değeri ise artış göstermiştir. LL ve PL değerlerindeki değişimlere bağlı olarak PI değerleri de BF takviyeli tüm örneklerde azalmıştır. LL ve PI değerlerindeki azalmalar ile zeminin daha stabil hale geldiği ve akmaya karşı daha dirençli olduğunu söylemek mümkündür. Bu çalışmada kullanılan BF çevre dostu, doğal ve doğada bol miktarda bulunduğu için geleneksel zemin iyileştirme yöntemlerine oldukça iyi bir alternatif olma özelliği taşımaktadır ve kullanımının yaygınlaşması bu açıdan oldukça önemlidir.

Yazar katkısı

Author contribution

Yazarların çalışmadaki katkı oranları eşittir.

Etik beyanı

Declaration of ethical code

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

Çıkar çatışması beyanı

Conflicts of interest

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar*References*

- Al-Kaream, K. W.A., Fattah, M. Y. ve Hameedi, M. K. (2022). Compressibility and strength development of soft soil by polypropylene fiber. *International Journal of GEOMATE*, 22(93), 91-97.
- Aslan Topçuoğlu, Y., & Gürocak, Z. (2023). Sodyum bentonit kilini güçlendirmede maksimum dayanım için optimum bazalt fiber oranının belirlenmesi. *Dicle University Journal of Engineering/Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 14(3). <https://doi.org/10.24012/dumf.1346476>
- Aslan Topçuoğlu, Y., & Gürocak, Z. (2024). The effect of basalt fiber reinforcement at different ratios on the unconfined compressive strength of kaolin. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13(1), 1-1. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.1352665>
- ASTM D4318-17e1, (2017). *Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils*. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Amini, P. F., & Noorzad, R. (2018). Energy-based evaluation of liquefaction of fiber-reinforced sand using cyclic triaxial testing. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 104, 45-53. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2017.09.026>
- Aravalli, A. B., Hulagabali, A. M., Solanki, C. H., & Dodagoudar, G. R. (2017). Enhancement of index and engineering properties of expansive soil using chopped basalt fibers. Indian Geotechnical Conference 2017 GeoNEs, 14-16 December 2017, IIT Guwahati, India, 1-4.
- Aishwarya, R., & Rachel, P. P. (2023). Comparative study on Atterberg limits of soil and basalt fiber composite as an eco-friendly construction material. *Materials Today: Proceedings*, 77, 563-567. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.01.212>
- Bao, X., Huang, Y., Jin, Z., Xiao, X., Tang, W., Cui, H., & Chen, X. (2021). Experimental investigation on mechanical properties of clay soil reinforced with carbon fiber. *Construction and Building Materials*, 280, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122517>
- Baruah, H. (2015). Effect of glass fiber on red soil. *International Journal of Advanced Technology in Engineering and Science*, 3(1), 217-223. https://ijates.com/images/short_pdf/1447955068_211D.pdf
- Behbahani, B. A., Sedaghatnezhad, H., & Changizi, F. (2016). Engineering properties of soils reinforced by recycled polyester fiber. *Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*, 13(2), 01-07. 10.9790/1684-1302030107
- Chaudhary, R. (2021). *Enhancing the properties of soil by stabilization technique using basalt fiber*, Civil Engineering Department, Delhi Technological University.
- Cui, H., Jin, Z., Bao, X., Tang, W., & Dong, B. (2018). Effect of carbon fiber and nanosilica on shear properties of silty soil and the mechanisms. *Construction and Building Materials*, 189, 286-295. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.08.181>
- Diambra, A., Ibraim, E., Wood, D. M., & Russell, A. R. (2010). Fibre reinforced sands: experiments and modeling. *Geotextiles & Geomembranes*, 28(3), 238-250. <https://doi.org/10.1016/j.geotextmem.2009.09.010>
- Edincliler, A., & Cagatay, A. (2013). Weak subgrade improvement with rubber fibre inclusions. *Geosynthetics International*, 20(1), 39-46. <https://doi.org/10.1680/gein.12.00038>
- Eskişar, T., Karakan, E., & Altun, S. (2016). Effects of fibre reinforcement on liquefaction behaviour of poorly graded sands. *Procedia Engineering*, 161, 538-542. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.688>
- Estabragh, A. R., Bordbar, A. T., & Javadi, A. A. (2011). Mechanical behavior of a clay soil reinforced with nylon fibers. *Geotechnical and Geological Engineering*, 29(5), 899-908. DOI 10.1007/s10706-011-9427-8
- Gao, L., Hu, G., Xu, N., Fu, J., Xiang, C., & Yang, C. (2015). Experimental study on unconfined compressive strength of basalt fiber reinforced clay soil. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2015, 1-8. <https://doi.org/10.1155/2015/561293>

- Gürocak Z. ve Aslan Topçuoğlu Y. (2023). Bazalt fiber kullanımının düşük plastisiteli kilin serbest basınç dayanımı üzerindeki etkisi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 13(3), 688-701. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.1283148>
- Jamshaid, H., & Mishra, R. (2015). A green material from rock: basalt fiber-a review. *The Journal of The Textile Institute*, 107(7), 923-937. <https://doi.org/10.1080/00405000.2015.1071940>
- Kale, R. Y., Dahake, N. D., Sahu, S. M., Gawande, G. A., Wailker, P. J., Patekar, V. R., & Pawar, C. R. (2020). Soil Stabilization by using Basalt Fibers. *International Journal of Scientific Research & Engineering Trends*, 6(3), 1931-1935.
- Khudhair, A. H., Mahmood, R. A., & Jaber, M. A. (2022). Improving some geotechnical properties of cohesive soils by adding basalt fibers and portland cement in Basra Governorate-Southern Iraq. *Design Engineering*, 1, 1509-1522
- Kinjal, S., Desai, A. K., & Solanki, C. H. (2012). Experimental study on the Atterberg limits of expansive soil reinforced with polyester triangular fibers. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 2(4), 636-639.
- MTA-Maden Tetkik Arama. (2024, Ocak, 5). <https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/maden-serisi/img/kaolen.pdf>
- Mukhtar, M., & Kumar, A. (2022). To Study the behavior of compacted soil using basalt fibers. *International Journal of Innovative Research in Engineering & Management*, 9(2), 360-366.
- Orakoglu, M. E., & Liu, J. (2017). Effect of freeze-thaw cycles on triaxial strength properties of fiber-reinforced clayey soil. *KSCCE Journal of Civil Engineering*, 21(6), 2128-2140. DOI 10.1007/s12205-017-0960-8
- Pandit, V. M., Rohit, C., Tushar, K., Ayushi, C., Bhushan, G., & Deepali, C. (2018). Study of basalt fiber on compaction characteristics of black cotton soil. *6th International Conference on Recent Trends in Engineering & Technology (ICRTET)*, 850-853.
- Pradhan, P. K., Kar, R. K., & Naik, A. (2012). Effect of random inclusion of polypropylene fibers on strength characteristics of cohesive soil. *Geotechnical and Geological Engineering*, 30, 15-25. DOI 10.1007/s10706-011-9445-6
- Roustaiei, M., Eslami, A. & Ghazavi, M. (2015). Effects of freeze-thaw cycles on a fiber reinforced fine grained soil in relation to geotechnical parameters. *Cold Regions Science and Technology*, 120, 127-137. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2015.09.011>
- Sujatha, E. R., Atchaya, P., Darshan, S. & Subhashini, S. (2021). Mechanical properties of glass fibre reinforced soil and its application as subgrade reinforcement. *Road Materials and Pavement Design*, 22(10), 2384-2395. <https://doi.org/10.1080/14680629.2020.1746387>
- Sungur, A., Yazıcı, M.F., & Keskin, S. N. (2021). Bazalt lifi ile güçlendirilmiş killi zeminin mühendislik özellikleri üzerine deneysel araştırma. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Özel Sayı*, 28, 895-899. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1011881>
- Tang, C., Shi, B., Gao, W., Chen, F., & Cai, Y. (2007). Strength and mechanical behavior of short polypropylene fiber reinforced and cement stabilized clayey soil. *Geotextiles and Geomembranes*, 25(3), 194-202. <https://doi.org/10.1016/j.geotextmem.2006.11.002>
- Valipour, M., Shourijeh, P.T., & Mohammadina, A. (2021). Application of recycled tire polymer fibers and glass fibers for clay reinforcement. *Transportation Geotechnics*, 27, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2020.100474>
- Wang, S., Xue, Q., Ma, W., Zhao, K., & Wu, Z. (2021). Experimental study on mechanical properties of fiber-reinforced and geopolymer-stabilized clay soil. *Construction and Building Materials* 272(2021), 121914. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121914>
- Zaimoglu, A. S. (2010). Freezing-thawing behavior of fine-grained soils reinforced with polypropylene fibers. *Cold Regions Science and Technology*, 60(1), 63-65. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2009.07.001>

Environmental effects of geothermal energy utilizations: A case study of the Seferihisar geothermal system, İzmir, Türkiye

Jeotermal enerji kullanımının çevresel etkileri: Seferihisar jeotermal sistemi örneği, İzmir, Türkiye

Mine ALACALI* 

Seferihisar Municipality, 35460, İzmir, Türkiye

• Received: 23.11.2023

• Accepted: 14.03.2024

Abstract

Geothermal resources are often regarded as environmentally friendly and sustainable resources. They are utilized for different purposes, including energy generation, thermal tourism and greenhouse cultivation. The utilization type depends on the temperature, chemical characteristics and the flow rates of available geothermal resources. In long-term applications, there is a need for research and monitoring process to assess environmental consequences. Also, supervised use of the resource is crucial for both the geothermal system and its environment, as there is a possibility of unpleasant impacts on the environment, as chemical pollution, subsidence, and thermal effects in cases of improper use of geothermal resources. In Seferihisar, current consumption types of geothermal energy are consisting of a geothermal power plant with an installed capacity of 12 Mwe and a few primitive spas. In the Tuzla geothermal field, the geothermal waters ascending to the surface cause the deposition of travertine, where sea water interference to the geothermal system is clearly observed and supported by XRD analysis of the sample collected from the Tuzla travertine. Seismic activities as earthquakes, affect the surface manifestations of the SGS. The temperature measurement values obtained from Tuzla and Doğanbey are higher than the values recorded prior to the installation of the geothermal power plant. The operation of the geothermal power plant has caused the nearby hot springs to dry up and has ceased travertine deposition in the Cumalı geothermal field. The annual mean values of NO₂ and SO₂ for the region are lower than the National threshold value and European Union Countries' threshold value.

Keywords: Environment, Geothermal, Surface manifestations, Travertine

Öz

Jeotermal kaynaklar, genellikle çevre dostu ve sürdürülebilir kaynaklar olarak kabul edilmektedir. Enerji üretimi, termal turizm ve sera ısıtması dahil olmak üzere farklı kullanım türleri bulunmaktadır. Kullanım türü mevcut jeotermal kaynağın sıcaklığı, kimyasal özellikleri ve debisine bağlıdır. Uzun vadeli uygulamalarda, çevresel etkilerini ve sonuçlarını değerlendirmek için araştırma ve izleme süreçlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, jeotermal kaynakların yanlış kullanılması halinde kimyasal kirlilik, çöküntüler ve termal etkiler gibi olumsuz çevresel etkilerin ortaya çıkma olasılığı da bulunduğundan, kaynağın denetimli kullanımı hem jeotermal sistem hem de kaynağın bulunduğu bölge açısından önem taşımaktadır. Seferihisar jeotermal sistemindeki jeotermal enerjinin mevcut kullanım alanları 12 MWe kurulu güce sahip jeotermal enerji santrali ve birkaç ilkel kaplıcadan ibarettir. Denizsuyu girişiminin net olarak gözlemlendiği Tuzla jeotermal sahasında yüzeye çıkan jeotermal sular traverten oluşumuna neden olmakta ve Tuzla travertenlerinden alınan numunenin XRD analizi ile desteklenmektedir. Deprem gibi sismik aktiviteler SJS'nin yüzeysel belirtilerini etkilemektedir. Tuzla ve Doğanbey'de elde edilen sıcaklık ölçüm değerleri, jeotermal enerji santralinin kurulmasından önceki değerlerden daha yüksektir. Jeotermal elektrik santralinin faaliyete geçmesi, yakınındaki sıcak su çıkışlarının kurummasına ve Cumalı jeotermal sahasındaki traverten oluşumunun durmasına neden olmuştur. Bölgedeki NO₂ ve SO₂'nin yıllık ortalama değerleri Ulusal limit değerinden ve Avrupa Birliği Ülkeleri limit değerinden düşüktür.

Anahtar kelimeler: Çevre, Jeotermal, Yüzey belirtileri, Traverten

*Mine ALACALI; minealaca@yahoo.com

1. Introduction

Geothermal resources are great sources for extracting heat energy and are abundant in the areas those take place on or near tectonically active zones. Turkey has a significant geothermal energy potential, with an installed capacity of 1691 MWe as of year-end 2023. It ranks fourth among the top ten geothermal countries in the world, generating electricity (Figure 1) (ThinkGeoEnergy, 2023). Although these sources are meant to be a gift of the seismic activities, they also have some unpleasant impacts on the environment such as chemical pollution, subsidence and thermal effects in circumstances of improper use of geothermal resources. Regarding these global effects, numerous researchers focus on this issue in their studies (Kristmannsdóttir & A'rmannsson, 2003; Baba, 2004; Baba & A'rmannsson, 2006). To maintain the global balance, various international protocols and agreements, such as the Kyoto, Paris and the European Green Deal, have been established. The Kyoto Protocol was adopted in 1997 and entered into force in 2005, targeting to reduce emissions and greenhouse gases. The Paris Agreement was adopted in 2015 and entered into force in 2016, focused on limiting the global temperature rise to less than 2 °C which is a result of anthropogenic greenhouse gas emissions. The Green Deal Agreement, entered into force in 2019, courage utilization of clean energy supply with compare to fossil fuels. On the other hand, “Affordable and Clean Energy” is among the targets outlined in the Sustainable Development Goals Report-2023” prepared by the United Nations (United Nations, 2023). Despite these globally implementations, individuals residing in countries rich in geothermal energy potential respond negatively to these efforts with environmental concerns. Although geothermal energy has extra benefits for creatures such as extremophiles, still has to be assessed with care. In this sense, a thorough examination of geothermal fields and the geothermal systems in which they are situated, with regard to geothermal energy utilization and environmental effects, is crucial for achieving their optimal use and ensuring the sustainability of the system (Gerday & Berlemont, 2011; Rampelotto, 2013; Wahlund et al., 1991).

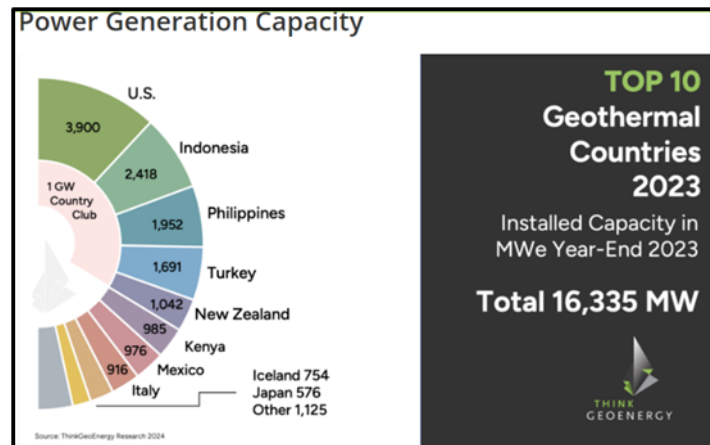


Figure 1. Top 10 geothermal countries in the world rank (www.thinkgeoenergy.com)

The commencement of geothermal energy research in Seferihisar region dates back to 1967 when the General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA) took the initiative. The region is located 70 km southwest of İzmir city, 54 km to the İzmir Adnan Menderes Airport (Figure 2). Numerous studies have been focused on the hydrogeochemical features of cold and hot waters in Seferihisar and its environments, potential of the Seferihisar geothermal system (SGS) in addition to geology, tectonic, hydrogeology features of the region (Eşder & Şimşek, 1975; Erdoğan, 1990; Baba & Sözbilir, 2012; Bakak et al., 2015; Özer & Polat, 2017; Alacali, 2023). There are many archaeological and natural sites in Seferihisar which makes the county more attractive. The 49 km-long coastline makes the region very attractive for both tourists and investors in the geothermal sector. From this point of view, a very delicate balance exists between the public and the people who are involved with geothermal energy all around the world and in Türkiye as well, thus prior to implementations of new geothermal projects in the SGS, it is important to examine the dynamic nature of geothermal and its effects on the environment.

With the aim of the sustainable utilization of geothermal energy, the goal of this paper is to examine geothermal energy applications and their environmental impacts, in terms of thermal effects, surface disturbances, protection of the natural feature and air pollution, specifically in the context of Seferihisar.

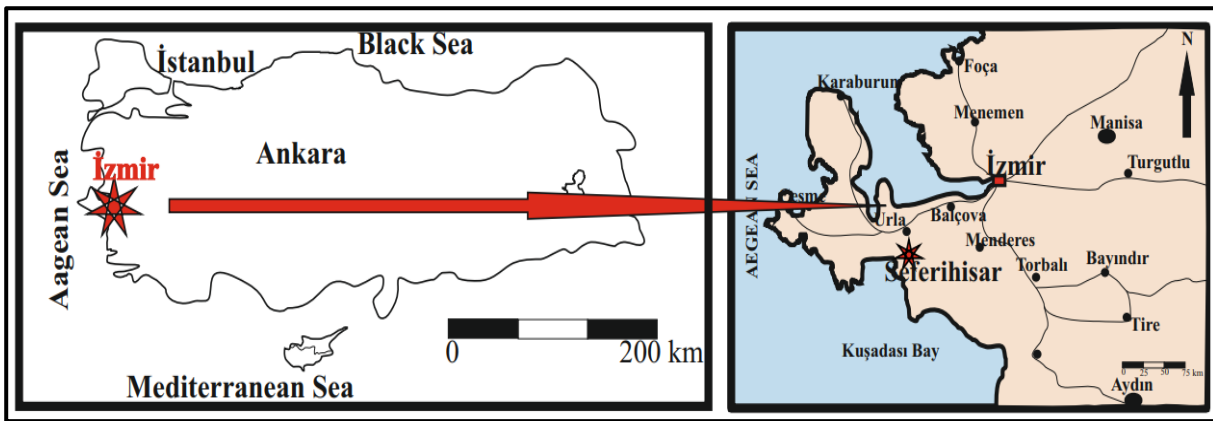


Figure 2. Location map of Seferihisar

2. Material and method

2.1. Field trips and sample collection

A series of field visits has been carried out to monitor the changes that occurred at the Tuzla geothermal field between 2019 and 2023. Changes in the most active points of the geothermal system have been observed and recorded. Photographs were taken during technical visits to the field on various dates and the temperatures of the geothermal water outlets were measured. At different times of the years 2021 and 2022, 9 sets of 66 temperature values in the Tuzla and Doğanbey geothermal fields have been measured with digital field thermometer and recorded. The temperatures of 6 hot water points, Tuzla spa, Tuzla travertines, Tuzla fault mirror, Doğanbey İmam Stream, Doğanbey spa-woman and Doğanbey spa-man are visited regularly, the temperatures of the rest of the hot water points are measured and recorded for monitoring the field. Additionally, travertine sampling has been conducted from travertines deposited in the downstream direction of geothermal water flow at the Tuzla geothermal field and were subjected to X-Ray Diffraction Analysis at the İzmir Institute of Technology.

2.2. Analysis

X-Ray Diffraction method is a well-known technique for analyzing both the composition and crystalline structure of a sample. In this approach, X-ray beams are directed through a sample, peculiarly chosen for its wavelength's resemblance to the spacing between atoms in the sample. Consequently, the angle of diffraction is influenced by the atomic spacing within the molecule, in contrast to employing significantly larger wavelengths that would remain unaffected by the spacing between atoms. This is according to the Bragg's Law given below as Equation (1) (Moore & Reynolds, 1989):

$$n \lambda = 2d \sin \Theta \quad (1)$$

Where d is the lattice spacing, Θ the angle between the wavevector of the incident plane wave, λ wave length, n order of the reflection.

3. Geothermal background of the SGS

The researches of the MTA in the region have started in 1967 and as a consequence, drilling studies began. Physical properties of the drills completed by MTA are given in Table 1 (Akkuş et al., 2005). The information of the geothermal wells drilled after 2005 are obtained from the wellhead plaquettes during the field trips. In the meantime, legal infrastructure studies regarding the geothermal resources located throughout the country and their management completed in 2007. Till then, MTA was the only institution authorized to carry out all the studies. As the drills completed, it was concluded that the region has high potential of geothermal energy.

Table 1. Physical properties of the first geothermal wells in SGS (Akkuş et al., 2005)

Well code	Drilling date	Depth (m)	Temperature (°C)	Flow rate (l/s)
SH-1	1971	442	107	---
SH-2	1975	1232	---	1
CM-1	1983	1417.45	140	Leaking
G-17A	1987	315	119	---
G-3A	1987	151.5	141	41.67
G-2A	1987	199.4	126	Leaking
CM-3	1987	341	153	55.56
G-12A	1987	299	74	---
TZ-1	1987	2009.5	99.88	---
DI-1	1995	350	78	12
CM-6	2008	284	146	51.27
CM-5	2008	666	120	10
CM-4	1995-2009	482	122	53.89
G-18A	2008	301	90.47	61.11
DI-IA	2011	590	78	78

The government tendered the fields with geothermal energy potential to private companies. Some of these fields are located in Seferihisar and presently, there are 11 different fields licensed either for searching or for operating the geothermal field. 28 geothermal wells in the region being used for production, re-injection and various purposes, temperatures changing from 41 °C to 207 °C.

4. Geology and geothermal features of the SGS

Tectonic features affect the SGS. Active faults host the geothermal springs, spas and numerous wells are drilled along these faults. The major faults are NE-SW trending Doğanbey, Tuzla, Cumalı faults (Eşder & Şimşek, 1975; Sözbilir et al., 2008; Uzel & Sözbilir, 2008) (Figure 3). Stratigraphically, Paleozoic Menderes Massif Metamorphics, is on the basement. This unit is overlaid by İzmir flysch. İzmir flysch consists of conglomerate, mafic volcanics, cherts and layers of stone-shale alternation. Continental sediments of Yeniköy formation of Neogene and rhyolitic volcanics overlie İzmir flysch. Quaternary alluvium units are listed to cover all these units (Eşder & Şimşek, 1975; Erdoğan, 1990; Tarcan & Gemici, 2003). Travertine deposits of Holocene around geothermal springs and clay alteration around the Doğanbey Burnu spring are observed. İzmir flysch functions as a reservoir for fluids, bearing secondary fractures and cracking systems within sandstone-shale alternations. Within the sedimentary layers, clayey zones play a pivotal role as the cap rock for the geothermal system. The heat source is attributed to the high geothermal gradient resulting from the crustal thinning. This is indicated by the Curie-depth point map of Türkiye (Eşder & Şimşek, 1975; Tarcan & Gemici, 2003; Aydın et al., 2005). The geothermal fluid in the SGS is of the NaCl type and has a tendency to cause scaling and corrosion due to its oversaturation in the means of the minerals as calcite, dolomite and aragonite (Tarcan & Gemici, 2003; Bulut, 2013; Alacalı, 2023). This statement is backed up by the field observations such as travertine deposits, mentioned in the following section. Doğanbey, Tuzla, Cumalı and Karakoç geothermal fields are the key geothermal locations in the region. The field distinctly exhibits hydrothermal alterations, especially in the vicinity of Tuzla, Karakoç, Cumalı and Doğanbey hot springs and spas. The type of hydrothermal alteration that occurs in aforementioned areas is direct precipitation. Also, seismic activities still affect geomorphology in the SGS. Following the earthquake, Samos, some of the existing hot water outlets in the region disappeared, new ones were formed, and even geysers were observed, often accompanied by surface fractures. Around Doğanbey hot springs, new boiling points surfaced along a small fracture system as well.

4.1. Doğanbey geothermal field

Doğanbey spa and the hot springs in the river of Hamam Stream are located on the Doğanbey Horst, in the southwest part of the region. The temperatures of the geothermal resources in the region vary between 48 °C and 77 °C. There are two old spas in the field serving in primitive conditions. Also, there are hot water points at 61 °C temperature in the sea around Doğanbey Bölme Cape, in the most southern part of the region.

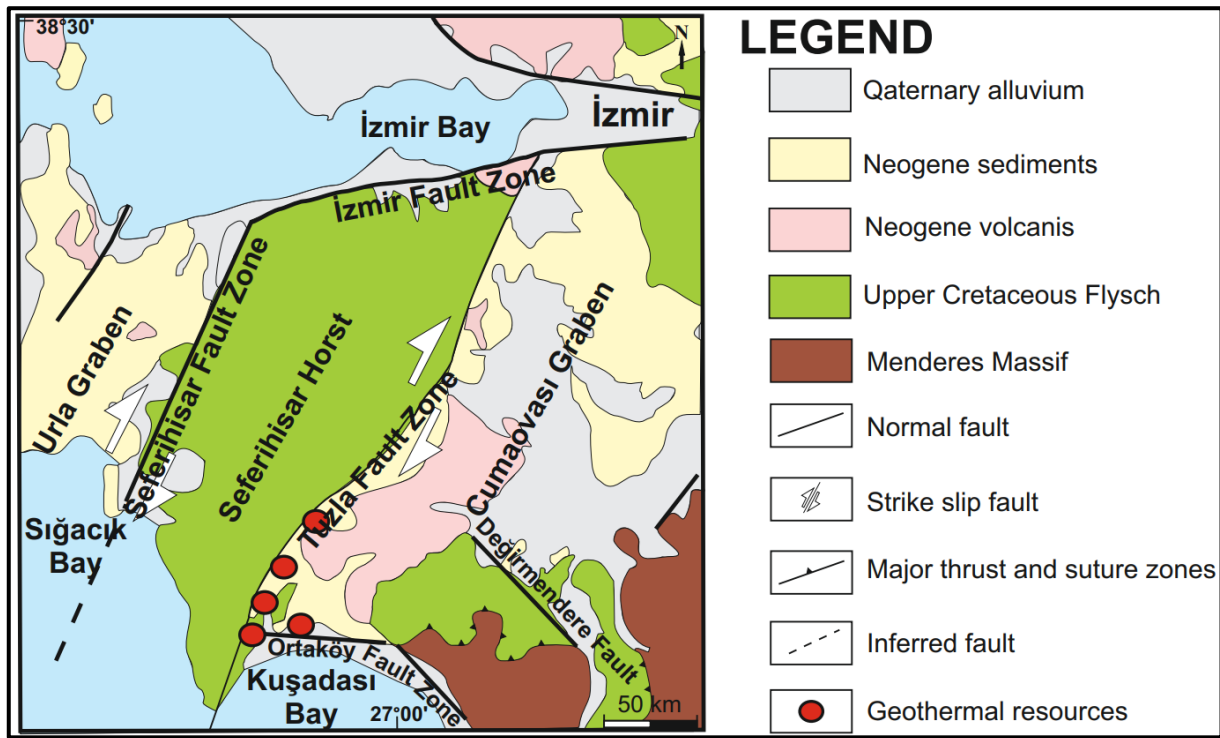


Figure 3. Geological map of the region including geothermal resources (modified after Eşder & Şimşek, 1975; Sözbilir et al., 2008; Uzel & Sözbilir, 2008)

4.2. Tuzla geothermal field

Hot water springs in Tuzla region are located along the intersection of two fault systems: Graben faults and strike-slip faults extending in NE-SW direction and diagonal faults extending in E-W direction (Eşder & Şimşek, 1975; Genç et al., 2001). There is an old spa with geothermal water at a temperature of 52 °C, which is being used in primitive conditions in the region. Holocene travertine is observed around the hot water springs (Figure 4).



Figure 4. Travertine deposition in Tuzla

4.3. Cumalı geothermal field

Geothermal resources in Cumalı region are located along the NE-SW trending Ilica fault, on the descending block of Cumalı fault (Eşder & Şimşek, 1975). The spa in the region is dried up after the power plant. The installed capacity of the power plant is 12 Mwe and operating in order to generate electricity (Figure 5).



Figure 5. Geothermal well, geothermal power plant, travertine deposition and Cumalı Spa in the SGS

4.4 Karakoç geothermal field

In this region, hot springs are located at the intersection of two faults, trending in NE-SW directions and diagonal faults, in accordance with the general tectonic structure (Eşder & Şimşek, 1975). The recorded temperature of the geothermal water, being used in primitive conditions in the spa, is 64.5 °C.

Also, in Orhanlı-Ürkmez region, there are a few geothermal wells with temperatures varying from 48 °C to 141.18 °C.

5. Results and discussion

5.1 Analyze of the impact of geothermal energy at the region

Although geothermal resources provide environment-friendly energy, in some cases they can cause some effects on the environment. Monitoring the geothermal reservoir in long-term production processes, effect of natural hazards such as seismic activities on the geothermal systems and its' physical and hydrogeochemical features is crucial for the sustainability of the geothermal systems (Hunt, 2001; Kristmannsdóttir & A'rmannsson, 2003; Albertsson et al., 2010). In this section, geothermal applications and their impacts, in terms of thermal effects, surface disturbances, protection of the natural feature and air pollution on the SGS are discussed.

5.1.2 Geothermal applications

The temperature of the geothermal waters circulating in the SGS is high with respect to the neighboring geothermal fields such as Urla (33 °C), Balçova (141 °C), Çeşme (57 °C) and Menderes (33 °C) (Akkuş et al., 2005). The temperature range in the SGS is 44 °C - 207 °C.

A geothermal power plant (GPP) is currently in operation in the SGS with an installed capacity of 12 MWe. The temperatures of the wells vary from 118 °C to 207 °C. Although there are odor and noise complaints of the people living in the vicinity of the power plant, which started to provide electricity to the grid as of 01.01.2021, during the field work, it was observed that these complaints were caused by the tests performed by the power plant from time to time. Drilling work of the other private company which has operating license for electricity generation by using geothermal energy still continues. As direct use of geothermal energy, only two natural spas are being used in primitive conditions: Tuzla spa and Doğanbey spa. The spa located in Cumalı is dried up while the Karakoç spa is currently not being used. The only green house is located in the northeast part of the SGS and is owned by a private company. Trial production is carried out in a closed area of 1900 m², contributing to the employment in the local area but is currently inactive. The temperature range of these resources varies in between 43 °C – 99 °C.

5.1.3. Thermal effects: Temperature change of the geothermal points

Recorded temperatures of the geothermal springs and ponds are given in Table 2.

Table 2. Temperatures recorded in the Tuzla and Doğanbey geothermal fields

No	Point	Region	Date	Temperature (°C)	Set
1	Tuzla travertines-old hot spring	Tuzla	17.05.2021	66	
2	Tuzla spa	Tuzla	17.05.2021	46	
3	Tuzla spa nearby- new hot spring	Tuzla	17.05.2021	75	
4	Tuzla travertines-1	Tuzla	17.05.2021	32	1
5	Tuzla travertines-old hot spring	Tuzla	17.05.2021	69	
6	Tuzla old geyser	Tuzla	17.05.2021	87	
7	In front of the Tuzla fault mirror	Tuzla	17.05.2021	89	
8	Tuzla spa	Tuzla	20.05.2021	49	
9	Tuzla travertines	Tuzla	20.05.2021	66	
10	Tuzla fault mirror	Tuzla	20.05.2021	86	
11	In front of the Tuzla fault mirror	Tuzla	20.05.2021	87	2
12	Doğanbey spa-woman	Doğanbey	20.05.2021	50	
13	Doğanbey spa-man	Doğanbey	20.05.2021	51	
14	Doğanbey-inside İmam Stream	Doğanbey	20.05.2021	74	
15	Tuzla fault mirror	Tuzla	09.06.2021	69	
16	In front of the Tuzla fault mirror	Tuzla	09.06.2021	99	
17	Doğanbey spa-woman	Doğanbey	09.06.2021	48	
18	Doğanbey spa-man	Doğanbey	09.06.2021	47	3
19	Doğanbey İmam Stream-1	Doğanbey	09.06.2021	50	
20	Doğanbey İmam Stream-2	Doğanbey	09.06.2021	63	
21	Doğanbey- inside İmam Stream	Doğanbey	09.06.2021	77	
22	Doğanbey spa-woman	Doğanbey	25.10.2021	46	
23	Doğanbey spa-man	Doğanbey	20.10.2021	47	
24	Tuzla fault mirror-old geyser-1	Tuzla	25.10.2021	66	
25	Tuzla fault mirror-old geyser-2	Tuzla	25.10.2021	72	
26	Tuzla spa-near travertines	Tuzla	25.10.2021	49	4
27	In front of the Tuzla fault mirror	Tuzla	25.10.2021	98	
28	Tuzla travertines	Tuzla	25.10.2021	89	
29	Tuzla spa	Tuzla	30.11.2021	46	
30	Tuzla travertines-west end	Tuzla	30.11.2021	66	
31	Travertines pond 1	Tuzla	30.11.2021	66	
32	Travertines pond 2	Tuzla	30.11.2021	61	
33	Travertines pond 3	Tuzla	30.11.2021	61	
34	In front of the Tuzla fault-soil	Tuzla	30.11.2021	37	
35	Tuzla fault geyser 1	Tuzla	30.11.2021	65	5
36	Tuzla fault geyser 2	Tuzla	30.11.2021	69	
37	Displaced geyser- no outflow	Tuzla	30.11.2021	12	
38	In front of the Tuzla fault mirror	Tuzla	30.11.2021	97	
39	Doğanbey- inside İmam Stream	Doğanbey	30.11.2021	73	
40	In front of the Tuzla fault mirror	Tuzla	17.01.2022	96	
41	Tuzla travertines	Tuzla	17.01.2022	74	6
42	Tuzla travertines-west end	Tuzla	17.01.2022	64	
43	Tuzla spa	Tuzla	20.04.2022	48	
44	Tuzla travertines-west end	Tuzla	20.04.2022	67	
45	Tuzla new hot pond	Tuzla	20.04.2022	83	
46	Travertines pond	Tuzla	20.04.2022	49	
47	In front of the fault mirror pond 1	Tuzla	20.04.2022	39	7
48	Doğanbey spa-woman	Doğanbey	21.04.2022	47	
49	Doğanbey spa-man	Doğanbey	21.04.2022	46	
50	Doğanbey- inside İmam Stream	Doğanbey	21.04.2022	76	
51	Tuzla spa	Tuzla	25.07.2022	52	
52	Tuzla travertines-west end	Tuzla	25.07.2022	66	
53	Travertines pond 1	Tuzla	25.07.2022	42	8
54	Travertines pond 2	Tuzla	25.07.2022	64	

No	Point	Region	Date	Temperature (°C)	Set
55	Travertines rush bed	Tuzla	25.07.2022	84	
56	Travertines-north point 1	Tuzla	25.07.2022	32	
57	Travertines-north point 2	Tuzla	25.07.2022	52	
58	Doğanbey- inside İmam Stream	Doğanbey	25.07.2022	76	8
59	Doğanbey spa-woman	Doğanbey	25.07.2022	50	
60	Doğanbey spa-man	Doğanbey	25.07.2022	51	
61	SH-2 well head-leaking	Doğanbey	28.07.2022	29	
62	Tuzla spa	Tuzla	17.08.2022	51	
63	Tuzla travertines-west end	Tuzla	17.08.2022	56	
64	Travertines hot pond 1	Tuzla	17.08.2022	63	9
65	Travertines hot pond 2	Tuzla	17.08.2022	61	
66	Travertines hot pond 3	Tuzla	17.08.2022	72	

The old hot springs and geysers refer to the points existing before the earthquake occurred in 2020, new hot springs and geysers refer to the points appeared after the earthquake. The locations where measurement points are concentrated are indicated in Figure 6. The temperatures of 6 hot water points, Tuzla spa, Tuzla travertines, Tuzla fault mirror, Doğanbey İmam Stream, Doğanbey spa-woman and Doğanbey spa-man are visited regularly to assess the environmental impacts of the geothermal applications in the system. The rest of the temperature values are measured and recorded for monitoring the field. The temperature range of hot water ponds and outlets located at the Tuzla travertines is in between 32°C and 84°C. The measured temperature values of the small spa located in the Tuzla geothermal region range from a minimum of 46°C to a maximum of 52°C. The temperature measurements of two spas located in the Doğanbey geothermal field have provided values ranging between 46°C and 51°C. The temperature of the Doğanbey İmam Stream is measured as 77°C which was recorded as 68°C by Tarcan & Gemici in 2000 and 67°C in 2004 (Tarcan et al., 2004). The temperature of the hot spring feeding small spa located in the Cumalı geothermal field was recorded as 66°C by Tarcan & Gemici in 2000 and 61°C in 2003 (Tarcan et al., 2004). After the installation of the geothermal power plant, the hot springs dried up. The temperature of the hot water point located at the Tuzla fault mirror was recorded as 68°C (Tarcan et al., 2004) which is now ranging between 87 to 99°C.

The temperature measurements of the aforementioned 6 points show higher values with regard to the previous studies (Tarcan & Gemici, 2000; Tarcan et al., 2004). There is an increase in the temperature of the hot water points.

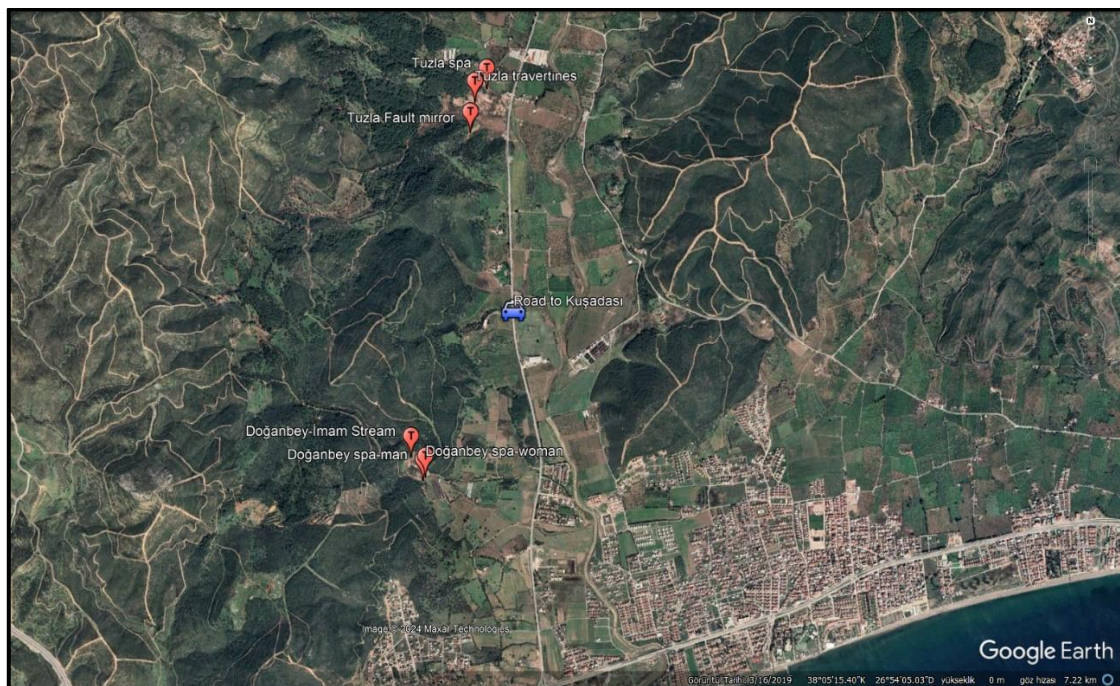


Figure 6. Google image of temperature measurement points (Google, 2014)

5.1.4. Surface disturbances: Cumalı geothermal region

Cumalı spa was being used for balneological purposes in the past. The geothermal springs located in the region was at 72°C with a flow rate of 5 l/s (Akkuş et al., 2005). In 01.01.2020, a geothermal power plant was installed nearby the geothermal springs. After the installation of the geothermal power plant, the hot springs located in the Cumalı region dried up, as a consequence, the Cumalı spa located in the region is presently not in use. Travertine formations in the Cumalı geothermal region have also ceased due to the drying up of hot water outlets.

5.1.5. Protection of natural features: Tuzla travertine

Travertine depositions provide enlightening information in various subjects within the field of earth sciences and serve as helpful tools for active tectonic and paleoclimate research, as well as a source of natural wealth (Hancock et al., 1999; Ayaz, 2002; Minissale et al., 2002; Erol, 2016). Hancock et al. (1999), added the term “travtonics” to the literature, meaning the studies of travertine tectonics from all aspects. Meteoric water undergoes heating processes, which can occur either around magma or during deep circulation along faults. As this circulation occurs, the water interacts with carbonate rocks, resulting in the release of CO₂ (Figure 7). The hot waters subsequently cool as they mix with cooler groundwater, achieving chemical equilibrium with the aquifer rocks at temperatures ~ 70°C (Bargar, 1978). Once the water reaches the surface, CO₂ is released, causing the water to become supersaturated with CaCO₃. This supersaturation, in turn, triggers the precipitation of carbonate minerals, often leading to the formation of travertine near or above the surface (Ellis, 1959; Wohletz & Heiken, 1992; Mazor, 2004; Duan & Li, 2008). In this case, for the SGS, travertine deposition is also affected by the increased NaCl concentration, halite, in the geothermal water resulting from the sea water interference to the SGS (2).

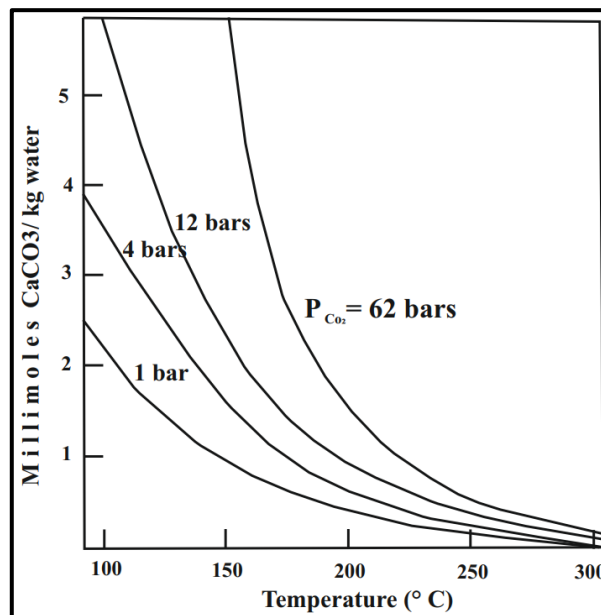


Figure 7. The effects of P and T on solubility of calcite (Ellis, 1959)

Although the reservoir below travertine deposits might not have significantly high temperatures, in some cases, it could be a marker for a hotter reservoir located nearby, in cases of Soda Dam, New Mexico (Goff & Shevenell, 1987). In the case of the Tuzla geothermal field, although the recorded temperature of the spa is 51 °C, there is a geothermal power plant within the field. The distance between the Tuzla travertines and the installed geothermal power plant is approximately 2.7 km to the north.

In Tuzla geothermal field, precipitation of the travertines is in accordance with the slope of the topography and spreads in an area of 1000 m² (Figure 8). Işintek and Savaş, (2022) classified Tuzla travertine as “sinter-type” travertine due to the typical hot water effect. Travertines deposits in a virgin area and contain Na and Cl as a

result of the sea water interference. The existence of Na and Cl is consistent with the earlier hydrogeochemical studies carried out in the region (Eşder & Şimşek, 1975; Bulut, 2013; Vengosh et al., 2002). The presence of the 4-methylpyridine-N-oxide is quite interesting and raise questions as this compound rarely exist naturally and generally used in laboratory conditions (Hariharasuthan et al., 2023). The compound named “Strontium barium titanium oxyhydride” may be resulted from the water-rock interactions. Celestine (SrSO_4) is the principal mineral source of strontium and mostly occurs in fissures and cavities of dolomites and dolomitic limestones. It also exists in evaporite deposits and in hydrothermal veins (Deer et al, 1966). The hydrothermal veins in the Tuzla travertines may have provided a suitable environment for the formation of this mineral through water-rock interactions (Figure 9).

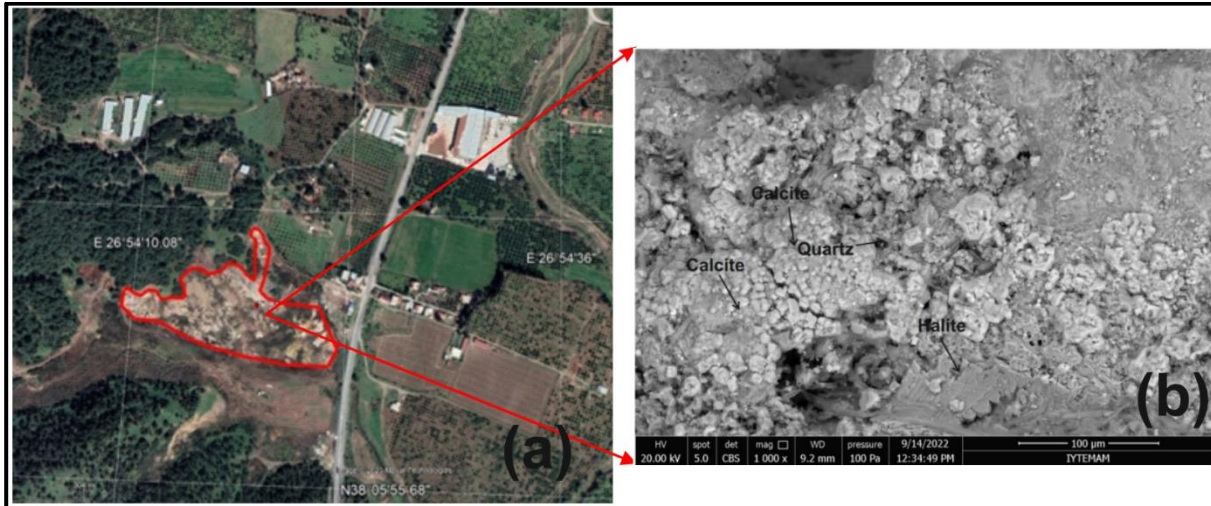


Figure 8. (a) Google image of the Tuzla travertine (Google Earth, 2014) (b) Electron image of the sample collected from the Tuzla travertine with calcite, quartz and halite minerals.

The current condition of travertines is given below (Figure 10). Due to the damage and pollution the travertines are exposed to, they should be protected to preserve their sustainability. Travertines contribute geological and natural richness to the areas they deposit and play a significant role in geotourism (Özkul et al., 2002; Valente et al., 2022). They are also used in industrial areas such as building material, souvenirs and cement manufacturing but has to be well-tested before deciding consumption type (Ayaz, 2002).

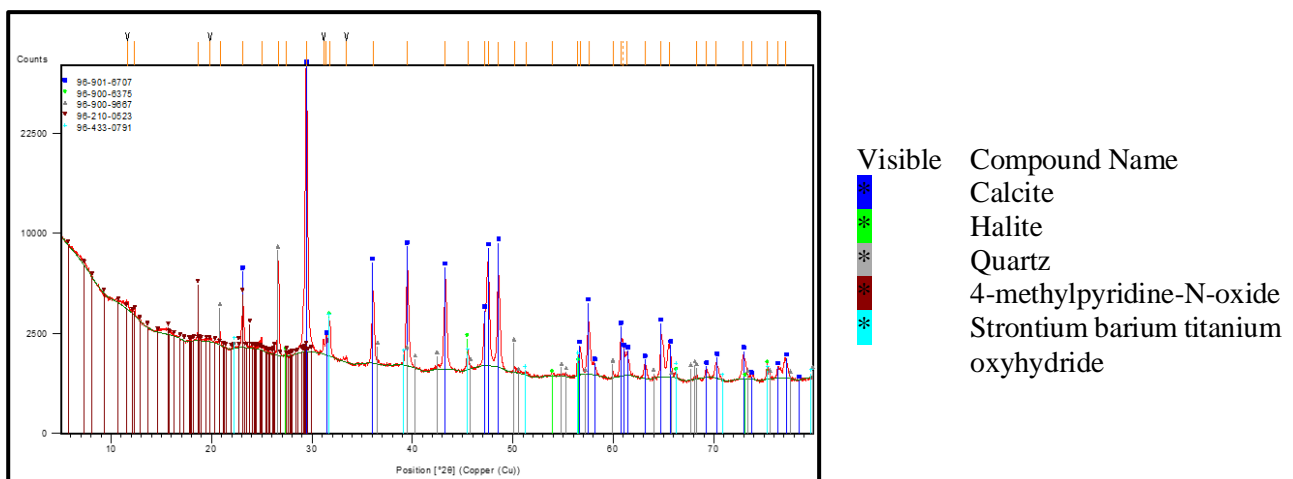


Figure 9. XRD analysis of the sample collected from the Tuzla travertines.

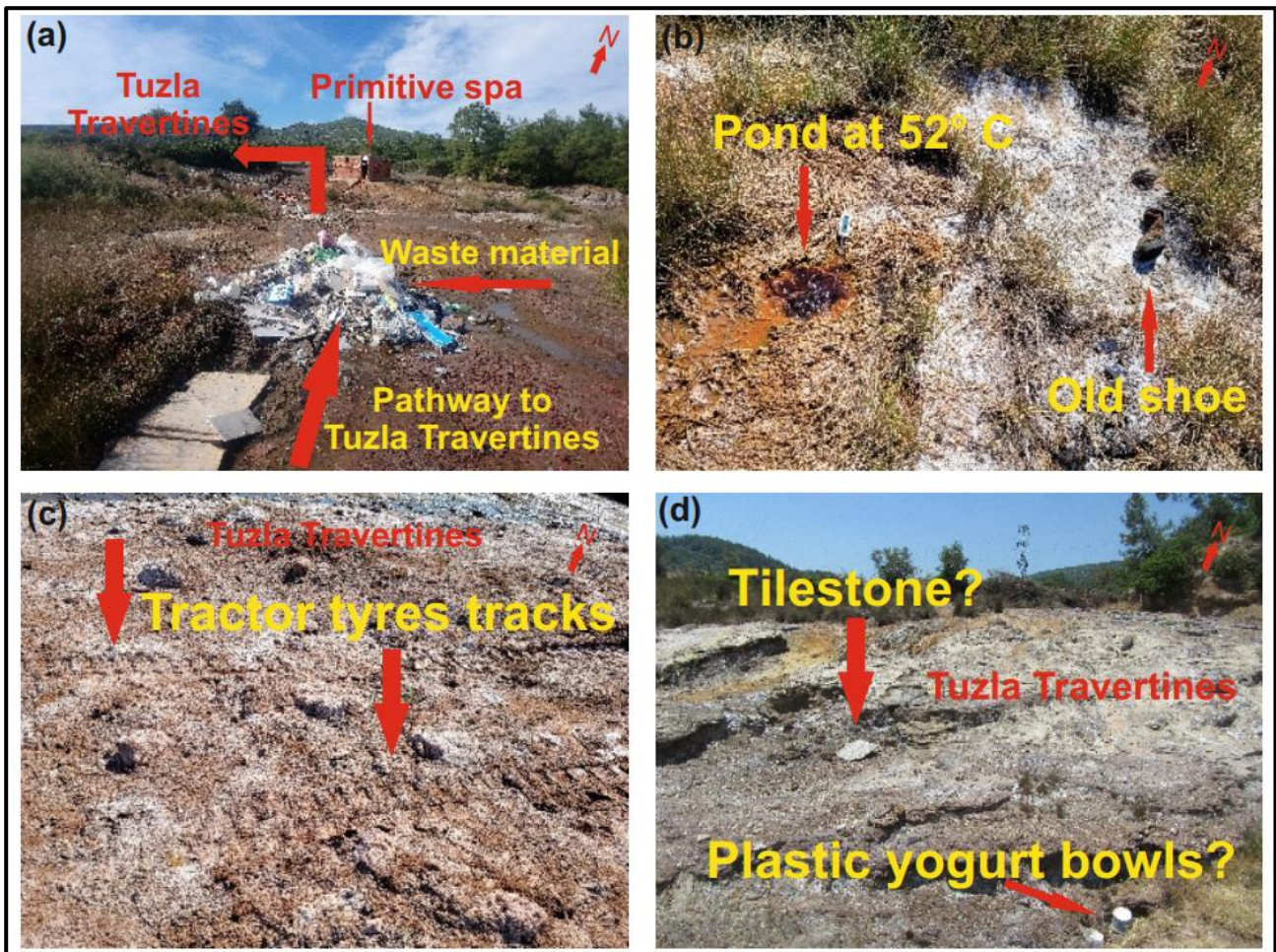


Figure 10. (a) Waste material on the pathway to the Tuzla Travertines (b) Hot water pond neighbored by an old shoe (c) Tractor tyre tracks on the Tuzla travertines (d) Plastic yogurt bowls and tile stone on the travertines.

5.1.6. Air pollution

Geothermal power plants are assumed as one of the environmental-friendly and sustainable type of energy production compared to fossil fuels. However, geothermal power plants may have environmental impacts as greenhouse gas emissions, including carbon dioxide (CO₂), hydrogen sulfide (SO₂) and these impacts can be site-specific due to the nature of the geothermal resources in use (Huang & Tian, 2006; Ferrara et al., 2019; Bošnjaković et al., 2019; Maione et al., 2022). The SGS is a highly significant geothermal region, with much of its geothermal potential drawing interest from the private sector, including one company involved in electricity generation. Since private companies are very sensitive about sharing their data, EMEP data was used in this case to make an approach and analyze the impact of geothermal power plants on air pollution. For Seferihisar district, in Figure 11 and Figure 12, NO₂ (Table 3) and SO₂ (Table 4) measured values, recorded every first day of each month, are given based on the 60-month National Air Quality Monitoring Network-Seferihisar-EMEP data belonging to Seferihisar district to address the most cited discussions of air pollution caused by the emission of non-condensable gases (NCG) during the electricity generation by using geothermal energy (Türkiye Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change-National Air Quality Monitoring Network). EMEP is the abbreviation for “European Monitoring and Evaluation Programme” within the Cooperative Programme for Monitoring and Evaluation of Long Range Transmission of Air Pollutants in Europe (European Agency, 2023). Since geothermal power plants do not use conventional fossil fuels, the visible plumes observed above a geothermal power plant is water vapour emission, steam (Kagel et al., 2007). As shown in the Table 4, the measured amounts of NO₂ and SO₂ in the air during the year reach their highest values in July and December, despite the geothermal power plant operating throughout the year. The measured NO₂ and SO₂ values since 01.01.2021, when the geothermal power plant became operational, are close to the lowest values of the whole year. It can be predicted that the periods during which these values are high coincide with the periods when the population and, consequently, the traffic density of the city increased, such as in the summer months (July and August) and the coldest month of the year (December). Additionally, the increase

in the population can be attributed to the global COVID-19 pandemic that began in 2019. Since Seferihisar is a district on the coast, this population increase is extremely common during the summer season. According to the measurements recorded at the Seferihisar Station of Türkiye Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change-National Air Quality Monitoring Network, located 5 km to the north of the city center and 14 km north-northwest to the geothermal power plant, annual mean values of NO₂ and SO₂ are lower than the National threshold value and European Union Countries' threshold value (Table 5).

Table 3. NO₂ values based on EMEP for Seferihisar*

Date	1.01.2019	1.02.2019	1.03.2019	1.04.2019	1.05.2019	1.06.2019	1.07.2019	1.08.2019	1.09.2019	1.10.2019	1.11.2019	1.12.2019	A. Mean
NO ₂	8	5	9	12	4	14	8	22	13	6	12	5	9
Date	1.01.2020	5.02.2020	1.03.2020	1.04.2020	1.05.2020	1.06.2020	1.07.2020	1.08.2020	1.09.2020	1.10.2020	1.11.2020	1.12.2020	
NO ₂	14	3	9	11	4	3	23	15	11	4	8	16	10.1
Date	1.01.2021	1.02.2021	1.03.2021	1.04.2021	1.05.2021	1.06.2021	1.07.2021	1.08.2021	1.09.2021	1.10.2021	1.11.2021	1.12.2021	
NO ₂	4	4	6	5	4	7	12	11	7	4	3	11	6.5
Date	1.01.2022	1.02.2022	1.03.2022	1.04.2022	1.05.2022	1.06.2022	1.07.2022	1.08.2022	1.09.2022	1.10.2022	1.11.2022	1.12.2022	
NO ₂	25	9	13	9	13	27	17	17	24	6	9	6	14.6
Date	1.01.2023	1.02.2023	1.03.2023	1.04.2023	1.05.2023	1.06.2023	1.07.2023	1.08.2023	1.09.2023	1.10.2023	1.11.2023	1.12.2023	
NO ₂	7	6	6	7	10	13	16	16	13	11	2	9	9.7

(*: Data obtained from Türkiye Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change-National Air Quality Monitoring Network)

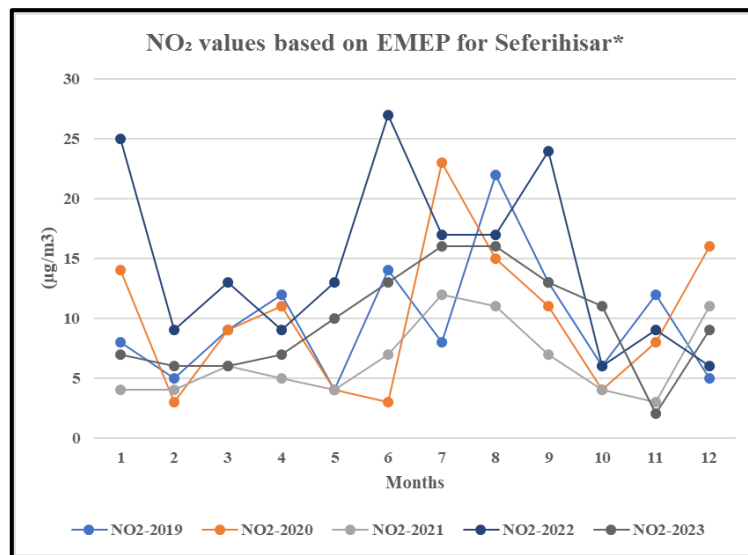


Figure 11. NO₂ values based on EMEP for Seferihisar

(*: Data obtained from Türkiye Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change-National Air Quality Monitoring Network)

Table 4. SO₂ values based on EMEP for Seferihisar*

Date	1.01.2019	1.02.2019	1.03.2019	1.04.2019	1.05.2019	1.06.2019	1.07.2019	1.08.2019	1.09.2019	1.10.2019	1.11.2019	1.12.2019	A. Mean
SO ₂	3	3	5	8	6	8	10	16	11	6	3	4	6.9
Date	1.01.2020	5.02.2020	1.03.2020	1.04.2020	1.05.2020	1.06.2020	1.07.2020	1.08.2020	1.09.2020	1.10.2020	1.11.2020	1.12.2020	
SO ₂	7	6	7	6	5	4	4	4	4	8	10	12	6.4
Date	1.01.2021	1.02.2021	1.03.2021	1.04.2021	1.05.2021	1.06.2021	1.07.2021	1.08.2021	1.09.2021	1.10.2021	1.11.2021	1.12.2021	
SO ₂	2	2	5	3	3	3	3	4	4	4	4	10	3.9
Date	1.01.2022	1.02.2022	1.03.2022	1.04.2022	1.05.2022	1.06.2022	1.07.2022	1.08.2022	1.09.2022	1.10.2022	1.11.2022	1.12.2022	
SO ₂	9	7	6	9	4	11	11	9	7	15	12	11	9.3
Date	1.01.2023	1.02.2023	1.03.2023	1.04.2023	1.05.2023	1.06.2023	1.07.2023	1.08.2023	1.09.2023	1.10.2023	1.11.2023	1.12.2023	
SO ₂	3	2	4	3	2	2	13	8	4	6	3	4	4.5

(*: Data obtained from Türkiye Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change-National Air Quality Monitoring Network)

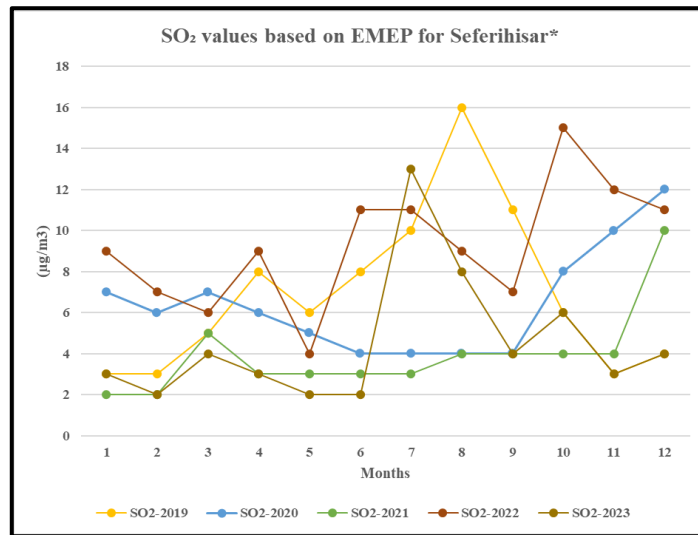


Figure 12. SO₂ values based on EMEP for Seferihisar

(*: Data obtained from Türkiye Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change-National Air Quality Monitoring Network)

Table 5. Annual mean values of NO₂ ad SO₂ for Seferihisar*

Component (Pollutant)	Year	Annual mean value (µg/m ³)	National threshold value (µg/m ³)	EU Countries' threshold value (µg/m ³)
NO ₂	2019	9.8	250	200
	2020	10.1	250	200
	2021	6.5	250	200
	2022	14.6	250	200
	2023	9.7		
SO ₂	2019	6.9	350	350
	2020	6.4	350	350
	2021	3.9	350	350
	2022	9.3	350	350
	2023	4.5		

(*: Data obtained from Türkiye Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change-National Air Quality Monitoring Network)

6. Conclusion

In this research, the environmental effects of geothermal energy applications and their environmental impacts, in terms of thermal effects, surface disturbances, protection of the natural feature and air pollution, are discussed in outline. SGS is located in a region which is controlled by active faults. There are a few geothermal energy applications in the SGS, chiefly electricity generation and primitive spa usage. It is clearly observed throughout the surface manifestations that after the Samos earthquake, this system is an active geothermal system where seismic activities trigger the weak zones of the faults and fractures, resulting the occurrence of new hot water points or shifting the presents. The NaCl type geothermal waters are affected by the sea water interference, backed up by the XRD analysis of the sample collected from the Tuzla travertine. These pieces of evidences are consistent with previous hydrogeological studies. The temperature measurement values obtained from Tuzla and Doğanbey are higher than the values records prior to the installation of the geothermal power plant. Considering the re-injection process in the region and the fact that the region is seismically active, it would be a hasty approach to consider this increase as a direct effect of the power plant. Tracer tests to be performed in the region will provide insights into this matter. The formation of the Tuzla travertines is not presently affected by the GPP but this does not apply to the Cumalı geothermal field. Contrary to Tuzla, the hot springs have been affected due to the installation of the geothermal power plant and dried up. The spa in the field is also not in use and the deposition of travertine has ceased. Furthermore, the region where Tuzla travertine deposits exist must be protected to sustain its natural formations and should be preserved as a natural protected area. The measured NO₂ and SO₂ values since 1.01.2021, are close to the lowest values of the whole year. The periods during which these values are high as in the summer months (July and August) and the coldest month of the year (December), despite the geothermal power plant operating throughout the year. Air

quality monitoring stations to be installed closer to the geothermal facilities in the future, will provide more detailed information in aspects of air pollution. A close monitoring will record the natural fluctuations induced by the harvesting of geothermal energy. With integrated use, the region can become economically stronger in terms of thermal facilities and greenhouse cultivation. Increase of awareness and improvement of the legal regulations is highly required in order to assess this geothermal potential, in general. In the case of new projects regarding geothermal utilizations, it is evident that the environmental impacts of geothermal resources can be minimized through technological innovations, monitoring and legal inspections.

Acknowledgement

The authors express their sincere thanks to the referees for their careful reading and valuable comments.

Author contribution

The manuscript was written by the corresponding author.

Declaration of ethical code

The authors declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee approval and/or legal-specific permission.

Conflicts of interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

References

- Akkuş, İ., Akıllı, H., Ceyhan, S., Dilemre, A. & Tekin, Z. (2005). *Türkiye jeotermal kaynaklar envanteri, Inventory Serie: 201*, MTA, Ankara, 2005.
- Alacalı, M. (2023). Geothermal reaction of the Seferihisar geothermal system after the Samos earthquake and geothermal energy potential of the Seferihisar geothermal system, İzmir, Türkiye. *Environ Earth Sci*, 82, 354, <https://doi.org/10.1007/s12665-023-11044-5>.
- Albertsson, A., Blondal, A., Barkarson, B. H., Jonsdottir, S. Dr. & Thors, S. G. (2010). Environmental impact assessment of geothermal projects in Iceland. *Proceedings World Geothermal Congress, Bali, Indonesia, 25-29 April*.
- Ayaz, M. (2002). The necessary examinations of travertines and choosing the using place. *Bulletin of Engineering of Cumhuriyet University, Serie A-Earth Sciences*, 19, 1, 11-20.
- Aydın, İ., Karat, H. İ. & Koçak, A. (2005). Curie-depth map of Türkiye. *Geophys. J. Int.* 162, 633-640.
- Baba, A. & Ármannsson, H. (2006). Environmental impact of the utilization of a geothermal area in Türkiye. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning and Policy*, 1:3, 267-278.
- Baba, A. (2004). Environmental impact of the utilization of a geothermal area. *Journal of İstanbul Kültür University*, pp. 33-38.
- Baba, A. & Sözbilir, H. (2012). Source of arsenic based on geological and hydrogeochemical properties of geothermal systems in Western Türkiye. *Chemical Geology*, 334, 364-377, <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2012.06.006>.
- Bakak, Ö. Özel E. & Ergün, M. (2015). Geothermal potential of the Sığacık Gulf (Seferihisar) and preliminary investigations with seismic and magnetic surveys. *Elsevier Energy Procedia* 76:230-239, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.909>.
- Bargar, K. E. (1978). Geology and thermal history of Mammoth Hot Springs. Yellowstone National Park, Wyoming. U.S. *Geol. Surv. Bull.* 1444, <https://doi.org/10.3133/b1444>, 1978.
- Bošnjaković, M., Stojkov, M. & Jurjević, M. (2019). Environmental impacts of geothermal power plants. *Technical Gazette* 26, 1515-1522. <https://doi.org/10.17559/TV-20180829122640>.

- Bulut, M. (2013). A new medium to high enthalpy geothermal field in Aegean region (Akyar) Menderes-Seferihisar-İzmir, Western Anatolia, Turkey. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 147, 153-167.
- C. Gerday, C. & Berlemont, R. (2011). Extremophiles. *Comprehensive biotechnology*, (Second Edition), 1, pp. 229-242.
- Doğdu, M. S. & Bayarı, C. S. (2005). Environmental impact of geothermal fluids on surface water, groundwater and streambed sediments in the Akarcay Basin, Türkiye. *Environmental Geology*, 47, 325–340, 2005. <https://doi.org/10.1007/s00254-004-1154-5>.
- Duan, Z. & Sun, R. (2003). An improved model calculating CO₂ solubility in pure water and aqueous NaCl solutions from 273 to 533 K and from 0 to 2000 bar. *Chemical Geology*, 193, 257-271.
- Ellis, A. J. (1959). The solubility of calcite in carbon dioxide solutions. *American Journal of Science*, Vol. 257, May, pp.354-3651.
- Erdoğan, B. (1990). İzmir-Ankara Zonu'nun, İzmir ile Seferihisar arasındaki bölgede stratigrafik özellikleri ve tektonik evrimi. *Turkish Association of Petroleum Geologists (TPJD)* 2,1–20 (in Turkish).
- Erol, S. Ç. (2016). Geological, Tectonic Geochemical and Geochronological Properties of Travertine Occurrences Along the Strike-Slip Fault Systems:A Case From Southwestern Part of Sivrice (Elazığ). *Geological Bulletin of Turkey*, 59, 3, 341-355.
- Eşder, T. & Şimşek, Ş. (1975). Geology of İzmir (Seferihisar) geothermal area, Western Anatolia of Türkiye: determination of reservoirs by means of gradient drilling. *Proceedings of 2nd UN. Symposium*, pp. 349-361.
- European Environment Agency. (2023). EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook.
- Ferrara, N., Basosi, R. & Parisi, M. L. (2019). Data analysis of atmospheric emission from geothermal power plants in Italy. *Data in Brief*, 25, 104339. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.22>.
- Genç, C. Ş., Altunkaynak, Ş. Karacık, Z., Yazman, M & Yılmaz, Y. (2001). The Çubukludağ graben, south of İzmir: its tectonic significance in the Neogene geological evolution of the western Anatolia. *Geodinamica Acta*, 14:1-3, 45-55.
- Goff, F. E. & Shevenell, L. (1987). Travertine deposits of Soda Dam, New Mexico, and their implications for the age and evolution of the Valles caldera hydrothermal system. *Geol. Soc. Am. Bull.* 99, 292–302.
- Google Earth. (2014). Way Out TV, Inc., Santa Monica, CA.
- Guo, Q., Wang, Y & Liu, W. (2009). Hydrogeochemistry and environmental impact of geothermal waters from Yangyi of Tibet, China. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 180, 1, 9-20.
- Hariharasuthan, R., Radha, K. S., Vaheith, Z. A., SenthilKannan, K. (2023). Electric, nano-dielectric, mass and fluorescence spectral characterizations of 2-amino 4-methyl pyridium fumaret novel crystals for use in optoelectronics and electronic displays. *J. Mater Sci: Mater Electron*, 34:743. <https://doi.org/10.1007/s10854-023-10158-7>.
- Huang, S. & Tian, T. (2006). Study of environmental impact in geothermal development and utilization. Proceedings of the 7th Asian Geothermal Symposium, July 25-26, 2006.
- Hunt, T. (2001). *Five lectures on environmental effects of geothermal utilization*. Institute of Geological and Nuclear Sciences, Taupo, New Zealand. ISBN-9979-68-070-9.
- Işintek, İ. & Savaş, F. (2022). Structures and Petrographic Properties of Travertine Occurrences in Doğanbey and Karakoç Thermal Baths and Tuzla Geothermal Area (Seferihisar, İzmir, Western Turkey). *74th Geological Congress of Turkey with international participation*, April 11-15, Ankara, Turkey.
- Kagel, A., Bates, D. & Gawell, K. (2007). *A Guide to Geothermal Energy and the Environment*. Geothermal Energy Association. Washington, DC.
- Kristmannsdo'ttir, H. & A'rmannsson, A: (2003). Environmental aspects of geothermal energy utilization. *Elsevier, Geothermics*, 32, 451–461. doi:10.1016/S0375-6505(03)00052-X.

- Maione, A., Massrotti, N., Santagat, R. & Vanoli, L. (2022). Environmental assessment of a heating, cooling and electric energy grid from a geothermal source in Southern Italy. *Journal of Cleaner Production* 375, 134198. <https://doi.org/10.1016/j.clepro.2022.134198>.
- Mazor, E. (2004). *Chemical and isotopic groundwater hydrology*. Third Edition. Marcel Dekker, Inc., 270 Mason Avenue, New York, NY 10016, U.S.A.
- Minissale, A., Kerrick, D. M., Magro, G., Murrell, M. T., Paladini, M. T., Rihs, S., Sturchio, N. C., Tassi, F. & Vaselli, O. (2002). Geochemistry of Quaternary travertines in the region north of Rome (Italy): structural, hydrologic and paleoclimatic implications. *Earth and Planetary Science Letters*, 203, 2, 709-728.
- Moore, D. M. & Reynolds, R. C. (1989). *X-ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals*. Oxford University Press, New York. 322p.
- Özer, C. & Polat, O. (2017). Investigation of 1-D (One-Dimensional) seismic velocity structure of İzmir and surroundings, *DEU Journal of Science and Engineering*, 19, 55, 2017. (Article in Turkish with an English abstract), doi: 10.21205/deufind.2017195512.
- Özkul, M., Gül, A., Semiz, B. & Özen, H. (2022). An overview of the geological values of Denizli province. *74th Geological Congress of Turkey with international participation*, April 11-15, Ankara, Turkey.
- Rampelotto, H. P. (2013). *Extremophiles and Extreme Environments*. *Life*, 3, 482-485, doi:10.3390/life3030-482.
- Sözbilir, H. Uzel, B., Sümer, Ö., İnci, U., Ersoy, E. Y., Koçer, T., Demirtaş, R. & Özkaymak, Ç. (2008). Evidence for a kinematically linked E-W trending İzmir Fault and N-E trending Seferihisar Fault. Kinematic and paleoseismological studies carried out on active faults forming the İzmir Bay, Western Anatolia. *Geological Bulletin of Türkiye*, 56,2, 91-114(Article in Turkish with an abstract in English).
- Tarcan, G. & Gemici, Ü. (2003). Water geochemistry of the Seferihisar geothermal area, Izmir, Türkiye. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 126, 225-242.
- Tarcan, G., Gemici, Ü. & Aksoy, N. (2004). "Hydrogeological investigation of hot and mineral springs in İzmir Province and comparison with some important springs". The Scientific and Technical Research Council of Türkiye, Project No: YDABAG-102Y039, 253p.
- ThinkGeoEnergy, <https://www.thinkgeoenergy.com/th-inkgeoenergys-top-10-geothermal-countries-2022-power-generation-capacity-mw/>, Accessed at 19.08.2023.
- Türkiye Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change-National Air Quality Monitoring Network, website.
- United Nations. The sustainable development goals report-2023, Special Edition, available from "https://unstats.un.org/sdgs/report/2023/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2023.pdf", Accessed at 19.08.2023.
- Uzel, B. & Sözbilir, H. (2008). A first record of strike-slip basin in western Anatolia and its tectonic implication: The Cumaovası basin as an example. *Turkish J Earth Sci*, 17, 559-91.
- Valente, E., Casaburi, A., Finizio, M., Papaleo, L., Sorrentino, A. & Santangelo, N. (2022). Defining the geotourism potential of the CILENTO, Vallo di Diano and Alburni UNESCO Global Geopark (Southern Italy). *Geosciences*, 11:466, <https://doi.org/10.3390/geosciences11110466>.
- Vengosh, A., Helvacı, C. & Karamanderesi, İ. H. (2002). Geochemical constraints for the origin of thermal waters from western Turkey. *Applied Geochemistry* 17, 163-183.
- Wahlund, T. M., Woese, C. R., Castenholz, W. R. & Madigan, T. M. (1991). A thermophilic green sulfur bacterium from New Zealand hot springs, *Chlorobium tepidum* sp. nov., *SpringerLink Archives of Microbiology*.156, 81-90, <https://doi.org/10.1007/BF00290978>.
- Wohletz, K. & Heiken, G. (1992). *Volcanology and Geothermal Energy*. Berkeley University of California Press, <http://ark.cdlib.org/ark:/13030/ft6v19p151/>.

Gümüşhane ilinde deprem ivme ve manyetik alan istasyonlarının kurulumu ve işletilmesi

Installation and operation of earthquake acceleration and magnetic field stations in Gümüşhane

Nafiz MADEN*¹ , Serkan ÖZTÜRK¹ , Levent PEHLİVAN¹ , Mahmut SARI² 
Yasemin BEKER¹ 

¹Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 29100, Gümüşhane

²Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, 29100, Gümüşhane

• Geliş tarihi / Received: 04.12.2023

• Kabul tarihi / Accepted: 25.03.2024

Öz

Bu çalışmada, Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) üzerinde meydana gelen bir depremden Gümüşhane ilinin etkilenme derecesini belirlemek üzere deprem ivme kayıt cihazlarının yerleştirilmesi ve Güneşte meydana gelen fırtınalar nedeniyle yer Manyetik alanındaki değişimleri gözlemlemek amacıyla 3 bileşen Flux-Gate manyetometrenin kurulumu amaçlanmıştır. Deprem ivme kayıt cihazlarının (3 adet); Gümüşhane ili için önem taşıyan Karaca Mağarası ve Kürtün hidroelektrik santrali ile KAFZ'na yakınlığından dolayı Şiran MYO'na kurulması uygun görülmüştür. Flux-gate Manyetometresi ise Gümüşhane Merkez ilçede kurulmuştur. KAFZ üzerinde meydana gelen bir depremden Kelkit, Şiran ve Köse ilçeleri daha çok etkilenirken Torul ve Kürtün ilçeleri daha az etkilenmektedir. Gümüşhane'nin 17 km kuzeybatısında yer alan Karaca Mağarası bölgemizin önemli turizm merkezlerinden birisidir. Kürtün ilçesinde, Harşit nehri üzerinde kurulu olan Kürtün Hidroelektrik santrali enerji amaçlı olarak hizmet vermesi yanında baraj gölü üzerinde balık üretimine ve su sporları yapılmasına imkân sunmaktadır. Güneşte aniden gelişen çok şiddetli patlamalar dünyaya ulaştıklarında elektrik ve iletişim hatlarını kesilebilmekte, radyo haberleşmesinde bozulmalara ve radyasyona sebep olmaktadır. Gümüşhane kurşun, çinko, bakır, altın ve gümüş gibi değerli metaller açısından oldukça yüksek bir potansiyele sahiptir. Bu tür maden yataklarının belirlenmesinde Jeofizik yöntemlerden bir tanesi olan Manyetik yöntem oldukça başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Bu yöntemde arazide ölçü alınırken yer manyetik alanının sürekli kaydedilmesine hizmet edecektir.

Anahtar kelimeler: Deprem, Flux-Gate manyetometre, Gümüşhane, İvme ölçer, Jeofizik

Abstract

In this study, it is aimed to establish three accelerometers and Flux-Gate magnetometer to estimate the affection level of Gümüşhane province from an earthquake occurred in the North Anatolian Fault Zone (NAFZ) zone and to observe the changes in earth magnetic field due to sun storms. It is considered that the accelerometers (3 units) must be installed in Karaca Cave which is an important place of Gümüşhane for its tourism; in hydroelectric station of Kürtün dam which is an important engineering structure in terms of energy production, agriculture, and water sports, and in Şiran which is a close to the NAFZ. Flux-gate magnetometer is built in Gümüşhane. The Torul and Kürtün towns are less affected whereas the Kelkit, Şiran and Köse towns are more affected from an earthquake which is occurred in the NAF zone. Karaca Cave, 17 km northwest of Gümüşhane, is one of the most important tourism in this region. The Kürtün Hydroelectric Power Plant, built on the Harşit River in Kürtün district, not only serves for energy purposes, but also provides the opportunity for fish production and water sports on the dam lake. Storms which are due to the sudden and severe explosions in the sun may cut the electricity and communications line, may cause the shortcomings in radio communications, and may cause radiation on humans. Gümüşhane has a great potential in terms of lead, zinc, copper, gold, and silver. Magnetic method, one of the Geophysical methods, has been successfully used to search such kind of mineral deposits. In this method, it will serve to continuously record the ground magnetic field while taking measurements in the field.

Keywords: Accelerometer, Earthquake, Flux-Gate magnetometer, Geophysics, Gümüşhane

*Nafiz MADEN; nmaden@gumushane.edu.tr

1. Giriş

1. Introduction

Deprem esnasında oluşan etkin yer ivmesi kuvvetli yer hareketi ölçümleri ile gerçekleştirilmektedir. Bilimsel ve mühendislik uygulamalarında ivme kayıtları en önemli parametrelerden birisidir. Depreme dayanıklı büyük mühendislik yapılarının tasarımında kullanılan bu ivme değerleri, uzaklıkla azalım ilişkisi tespitinde de kullanılmaktadır. Deprem bölgesindeki hasarın durumunu en hızlı ve etkin bir şekilde belirlemenin yolu da ivme kayıtlarını kullanmaktan geçmektedir. Depremin oluşturduğu tehlikenin belirlenmesinde, deprem ivmesi en önemli dinamik parametreyi oluşturmaktadır. Zemin yüzeyindeki yatay yer ivmesi, bir mühendislik yapısının depreme dayanıklı olarak tasarlanmasında kullanılan taban kesme kuvvetinin iki önemli ögesinden birisidir. Deprem esnasında yapıyı etkileyen yüklerinin belirlenmesi için kullanılan değişkenlerden biri olan “Etkin Yer İvmesi” değerinin güvenli bir şekilde tespiti, temel kayada oluşabilecek en büyük yatay yer ivmesinin sağlıklı bir şekilde hesaplanmasına bağlıdır (Çeken, 2007).

Yer hareketini tanımlamak için yaygın olarak hareketin zaman içindeki değişimi incelenmektedir. Bu değişim parametresi ivme, hız, yer değiştirmeden herhangi biri olabileceği gibi bu üç parametrenin hepsi birden olabilmektedir. Yer hareketinin büyüklüğünü ölçmek amacıyla Pik yatay ivmesi (PHA) kullanılmaktadır. Hareketin herhangi bir bileşen için PHA değeri ivme kaydının bileşeninden gözlenen en büyük yatay ivme değerinden yararlanılarak belirlenir. Zemin hareketlerini açıklayabilmek için, yaygın olarak iç kuvvetlerle olan doğal ilişkilerinden dolayı yatay ivmeler kullanılmaktadır. Gerçekten, belirli türlerdeki mühendislik yapılarını etkileyen dinamik kuvvetlerin en büyüğü PHA ile doğrudan ilişkilidir. Aynı zamanda, deprem şiddeti ile PHA kolayca ilişkilendirilebilir. Bu ilişki gerçeği tam yansıtmamasına rağmen, sadece şiddet bilgisinin bulunduğu durumlarda PHA'nın tahmini için oldukça kullanışlı olabilir. Mühendislik amaçlı çalışmalar için, pik düşey ivme (PVA) PHA'nın 2/3' ü olarak alınır. Bununla birlikte, yakın zamanlarda PVA/PHA oranı daha çok kullanılmaktadır (Kramer, 2003). Ayrıca dünyada ve ülkemizde kurulan deprem kayıt istasyonlarında kaydedilen yer hareketi ile elde edilen pek çok zemin parametresi farklı mühendislik uygulamalarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Bansal vd. 2021; Walter vd. 2021; Gupta ve Satyam, 2022; Çelik, 2023; Liu vd. 2024). Benzer şekilde Priyanto vd. (2023) tarafından deprem risk tehlikesini belirlemek amacıyla farklı istasyonlarda kaydedilen Sumbawa deprem verileri kullanılmıştır.

Dünyayı sarmalayan manyetik alan çizgileri Güneş yönünde güneş rüzgârının etkisiyle bastırılmış, ters yönde ise gezegenler arası ortama doğru uzanmıştır. Dünyanın manyetik alanı güneş rüzgârının manyetik alanının, yoğunluğunun ve hızının artışlarına da duyarlı olarak dinamik bir yapıya sahiptir. Güneşten gelen güneş rüzgârıyla enerji kazanan manyetosferin içerisinde dinamizmi harekete geçiren süreçler başlamaktadır. Bu sürecin Dünya'da gözlenen sonucu manyetik fırtınalardır. Ayrıca güneş aktivitesinin değişimine bağımlı olarak kutup ışması (Aurora) ve proton olayları da gözlenen sonuçlardır. Ayrıca manyetik fırtınalar, zaman ve konum belirlenmesinde kullanılan GPS (Global Positioning System) sinyallerini, uyduların hareketinin yavaşlamasına atmosfere girerek yanmalarına, insan yaşamı için tehlikeli düzeyde radyasyona sebep olmalarına, iklim değişikliklerine, elektrik dağıtım hatlarında arızalara, petrol veya doğal gaz boru hatlarında metal korozyonuna, biyolojik sistemlerde bozulmalara sebep olmaktadır. Güneş fırtınalarının, koronal (taçküre, güneş plazma bulutu) kütle atımlarının ve manyetik fırtınaların insanı ve insan faaliyetlerini önemli oranda etkilediğinin farkına varılmıştır. Teknolojik sistemlere olan bağımlılığımız bu etkileşimin sonuçlarını giderek önemli kılmaktadır. Bu nedenle sağlık, güvenlik ve ticari nedenlerle uzay çevresi ile ilgili hizmet veren merkezlerin hizmet sürekliliği ve kalitelerinin geliştirilmesi dünyada vazgeçilemeyecek bilimsel etkinliklerden biri haline gelmiştir (KOERİ, 2023). Yerden yapılan manyetik çalışmalarda genellikle toplam şiddeti (T) ölçen proton manyetometreleri ile yer manyetik alanının yatay (H) ve düşey (Z) bileşenlerini ölçen flux-gate manyetometreleri kullanılmaktadır.

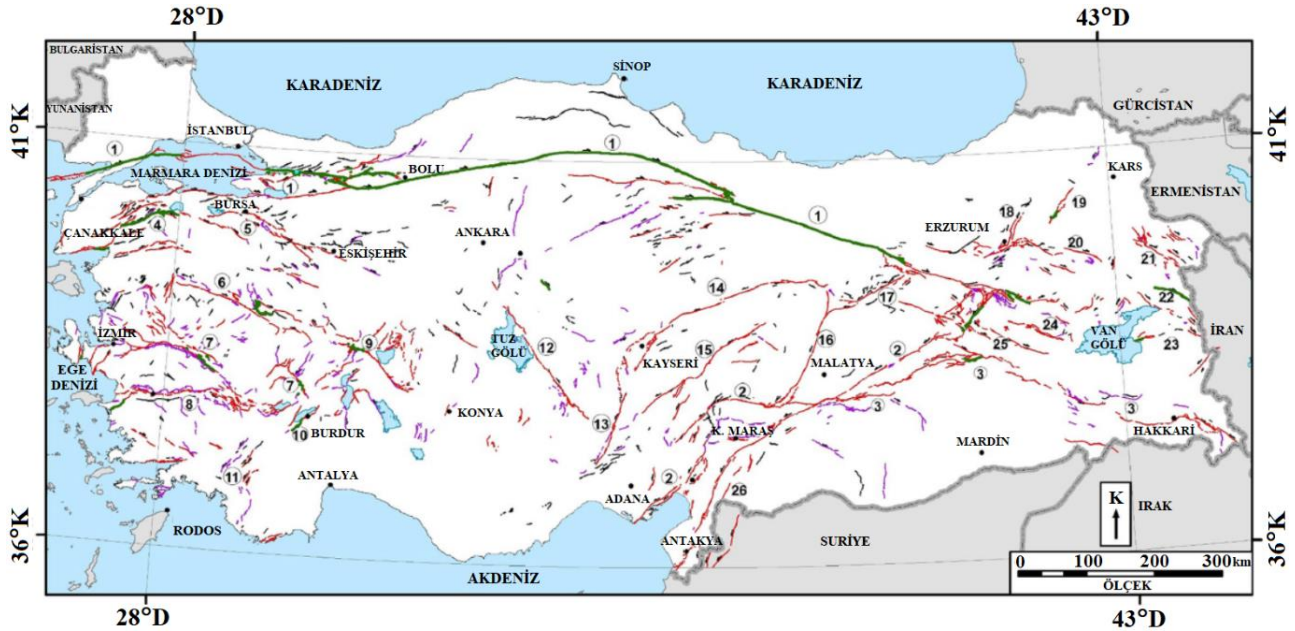
Bu çalışma kapsamında, Gümüşhane ilinde deprem ivmelerini ölçmek amacıyla 3 adet ivme kayıt ve manyetik fırtınaları gözlemlenmek üzere 1 adet Flux-gate manyetometre istasyonları kurulması ve işletilmesi amaçlanmıştır. Kurulan ivme kayıt istasyonları yardımıyla Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) üzerinde oluşacak depremlerin turizm açısından önemi büyük olan Karaca Mağarasına, Torul ve Kürtün barajı Hidroelektrik santrallerine olan etkisi sürekli gözlemlenecektir. Böylece istasyon ve yakın çevresindeki zeminin deprem sırasında nasıl etkilendiği ve hangi ivme değeriyle sarsıldığı tespit edilmeye çalışılmıştır. Kurulan manyetik istasyon ile Güneşteki fırtınalar sebebiyle Yer Manyetik alanı üzerindeki ani değişimlerinin izlenmesi ve olası etkilerinin tespitine çalışılmıştır.

1.1. Türkiye'nin ve Gümüşhane'nin tektonik yapısı

1.1. Tectonic structure of Türkiye and Gümüşhane

Türkiye, tektonik olarak Alpin Kuşağı içinde oldukça aktif sismik bölgede yer almaktadır. Batı Anadolu Graben Sistemi (BAGS), Ege Yayı, Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ), Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), Bitlis-Zağros Bindirme Zonu (BZBZ) bu kuşağın en önemli aktif tektonik yapılarıdır. Ayrıca, Ölü Deniz Fay Zonu (ÖDFZ), Kıbrıs Yayı ve Orta Anadolu Fay Sistemi (OAFS) diğer önemli tektonik birimlerdir (Şekil 1). Kuzey Anadolu Fay Zonu, Doğu'da Karlıova ile Batı'da Mudurnu vadisi arasında doğu-batı doğrultusunda bir yay gibi uzanır. Dünyanın en aktif ve en önemli kırık hatları arasında yer alan Kuzey Anadolu Fay Zonunun üzerinde oluşan depremler sığ odak derinliğine sahip olup bu fay boyunca meydana gelen sağ yönlü doğrultu atım hareketleri ile ilişkilidir. Uzunluğu yaklaşık 1500 km'dir, genişliği ise 100 m ile 10 km arasında değişmektedir. Doğu Anadolu Fay Zonu, Antakya'dan Karlıova'ya kadar uzanan yaklaşık KD-GB uzanımlı bir faydır. Bu sol yönlü doğrultu atımlı fay zonu, yaklaşık olarak KD yönünde 550 km uzunluğu sahip, birbirlerine paralel olan eğik fay serilerinden oluşmaktadır. Kahramanmaraş ile Yüksekova arasında yer alan Bitlis-Zağros Bindirme Zonu, 1500 km uzunluğunda, 60 km genişlikte ve güneye eğimli ters faylardan oluşmaktadır (Gülkan vd., 1993; Bozkurt, 2001).

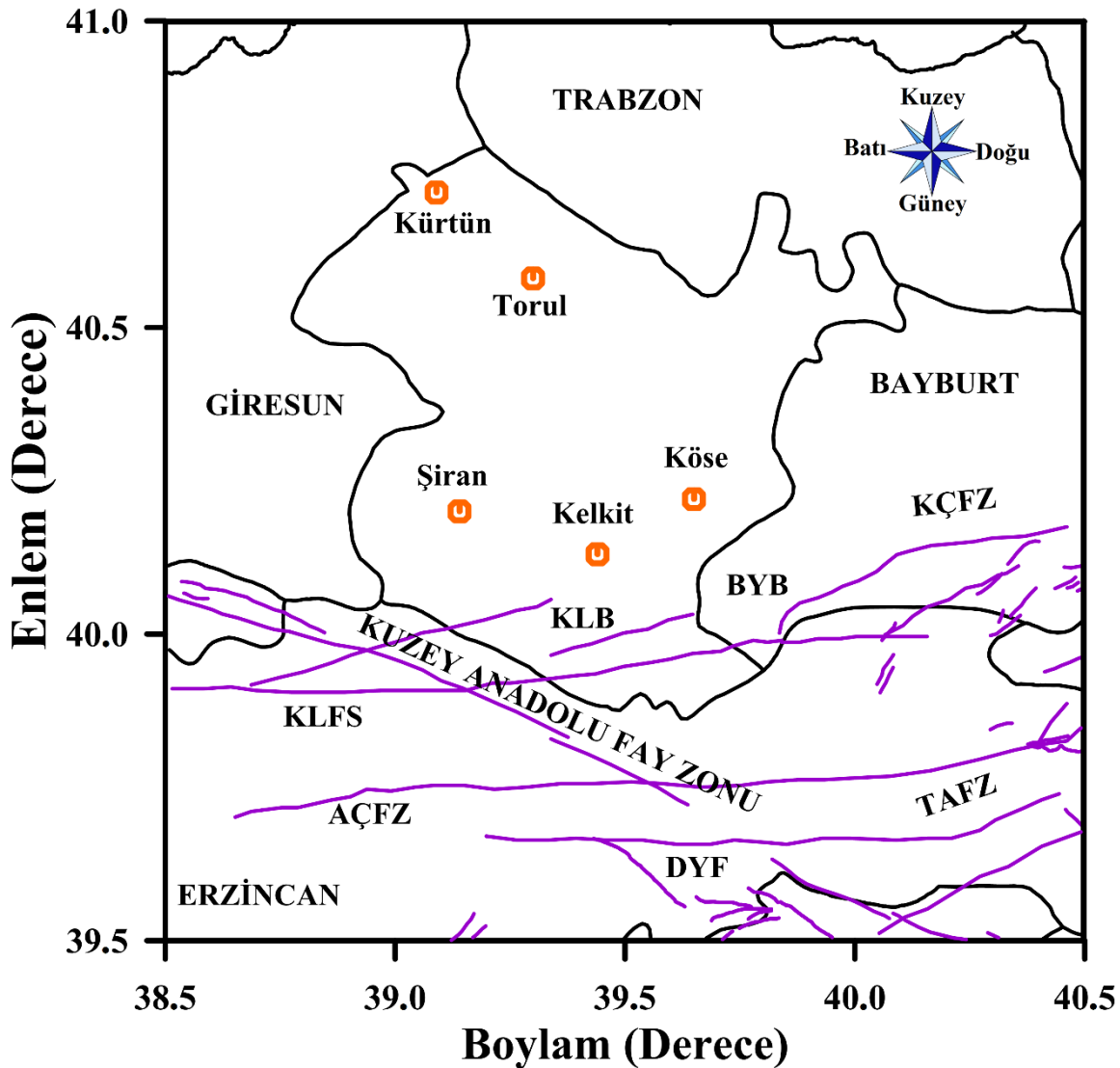
Orta Anadolu Fay Sistemi, 730 kilometrelik uzunluğuyla Erzincan'ın kuzeydoğusundan Akdeniz'in doğusuna uzanan geniş bir makaslama kuşağı olup, doğrultu atımlı fay zonunun karakteristik özelliklerini göstermektedir. Ölü Deniz Fay Zonu ise yaklaşık 1000 km uzunlukta ve K-G doğrultuda yayılan sol yönlü plaka içi doğrultu atımlı fay zonudur. ÖDFZ'nun Arap plakasının doğusunda ve Afrika plakasının ise batısında bulunduğu kabul edilir (Şengör & Yılmaz, 1981). Batı Anadolu Graben Sistemi, dünyadaki en hızlı genişleyen ve sismik aktivitenin en fazla olduğu bölgelerden birini temsil etmektedir. Genel olarak K-G yönlü kıtasal açılma oranı 30-40 mm/yıl'dır (Le Pichon vd., 1995; Oral vd., 1995). Batı Anadolu'da graben sistemi ile ilişkili olarak depremsellik oldukça fazladır. Bölgede zamana bağlı olarak küçük magnitüdü deprem grupları gözlenmiştir (Üçer vd., 1985; Eyidoğan, 1988). D-B yönlü grabenler (Bakırçay, Kütahya, Edremit, Gediz, Simav, Büyük Menderes, Küçük Menderes ve Gökova) ile normal faylarla sınırlanmış havzalar Neotektonik sistemin en belirgin özellikleridir (McKenzie, 1978; Le Pichon & Angelier, 1979).



Şekil 1. Türkiye'nin tektonik yapısı (Emre vd. 2013'ten değiştirilerek alınmıştır). Yeşil renk yüzey kırıklarını, kırmızı renk Holosen yaşlı aktif fayları, mor renk Kuvaterner fayları, siyah renk Kuvaterner öncesi ve çizgisellikleri göstermektedir. FZ: Fay Zonu, GS: Graben Sistemi. 1: KAFZ, 2: DAFZ, 3: GABZ (Güneydoğu Anadolu Bindirme Zonu), 4: Kuzey Anadolu fayının güney şeridi, 5: Bursa fayı, 6: Simav FZ, 7: Gediz GS, 8: Büyük Menderes GS, 9: Afyon-Akşehir GS, 10: Burdur GS, 11: Dinar FZ, 12: Tuz Gölü FZ, 13: Ecemiş FZ, 14: Deliler FZ, 15: Sarız FZ, 16: Malatya FZ, 17: Ovacık FZ, 18: Erzurum FZ, 19: Horasa-Şenkaya FZ, 20: Tutak fayı, 21: Balıklıgölü FZ, 22: Çaldıran FZ, 23: Van FZ, 24: Muş FZ, 25: Kırkkavak fayı, 26: ÖDFZ.

► **Figure 1.** Tectonic structure of Turkey (modified from [Emre et al. 2013](#)). Green color indicates surface fractures, red color indicates Holocene active faults, purple color indicates Quaternary faults, and black color indicates pre-Quaternary and lineaments. FZ: Fault Zone, GS: Graben System. 1: NAFZ, 2: EAFZ, 3: GABZ (Southeast Anatolian Thrust Zone), 4: Southern strip of the North Anatolian fault, 5: Bursa fault, 6: Simav FZ, 7: Gediz GS, 8: Büyük Menderes GS, 9: Afyon -Akşehir GS, 10: Burdur GS, 11: Dinar FZ, 12: Tuz Gölü FZ, 13: Ecemiş FZ, 14: Deliler FZ, 15: Sarız FZ, 16: Malatya FZ, 17: Ovacık FZ, 18: Erzurum FZ, 19: Horasa-Şenkaya FZ, 20: Tutak fault, 21: Balıklıgölü FZ, 22: Çaldıran FZ, 23: Van FZ, 24: Muş FZ, 25: Kırkkavak fault, 26: ÖDFZ.

Gümüşhane ve civarının tektonik yapısı Şekil 2’de verilmiştir. Bölgenin tektonik yapısı, Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ile ilişkili Kelkit Fay segmenti (KLFS), Kelkit baseni (KLB), Bayburt baseni (BYB), Kelkit-Çoruh Fay zonu (KÇFZ), Akdağ-Çayırlı Fay zonu (AÇFZ), Tercan-Aşkale Fay zonu (TAFZ) ve Dağyolu fayı gibi birçok fay segmenti ve fay zonundan oluşmaktadır. KÇFZ yaklaşık olarak 600 km uzunluktadır ve sol yönlü doğrultu atımlı bir fay zonudur. Bu fay zonu güney batıdan kuzey doğuya doğru Kelkit, Çoruh, Posof ve Borjomi-Kasbeg fay segmentleri olmak üzere dört segmentten oluşur. KLFS yaklaşık 100 km’lik bir uzunlukla KAFZ’den ayrılır. Kelkit civarında bu fay segmenti iki kola ayrılır ve bir basen ile sonuçlanır ([Bozkurt, 2001](#)). TAFZ yaklaşık 150 km uzunlukta ve 2-4 km genişlikte olup sol yönlü doğrultu atımlı bir fay zonudur. Bu fay zonu KAFZ’ye yakın bir şekilde Erzurum’un batısından geçer ve yaklaşık 2-20 km uzunluğa sahip birbirine paralel çok sayıda fay segmentini içerir ([Bozkurt, 2001](#)).



Şekil 2. Gümüşhane ve civarındaki tektonik yapılar ([Öztürk ve Kaya, 2019](#)’dan değiştirilerek alınmıştır). Fay isimleri metin içerisinde verilmiştir.

Figure 2. Tectonic structures in and around Gümüşhane (modified from [Öztürk and Kaya, 2019](#)). The name of faults were given in the text.

2. Materyal ve yöntem

2. Material and method

Bu çalışmanın amacı, Gümüşhane ilinde 3 adet deprem ivme kayıt istasyonu ile 1 adet manyetik istasyonun kurulup çalışır hale getirilmesidir. Deprem ivme kayıt istasyonlarının KAFZ'na çok yakın olan Şiran MYO'na, Kürtün HES'ne ve Karaca Mağarasına kurulumu sağlanacaktır. Bu istasyonlardan toplanacak deprem ivme kayıtları sürekli takip edilerek bölgenin depremselliğinin gerçek zamanlı olarak izlenmesi planlanmıştır. Böylece KAFZ'nun deprem etkinliği ile depremlerin Kürtün HES'ne, Karaca Mağarasına olan etkileri anlık olarak tespit edilecektir. Ayrıca, Gümüşhane Merkezde bir adet Manyetik istasyon kurularak yer manyetik alanı sürekli olarak gözlemlenecektir.

2.1. İvme istasyonlarının kurulması ve İşletilmesi

2.1. Establishment and operation of acceleration stations

İvme kayıt istasyonları için Gümüşhane ilinde üç adet yer tespit edilmiştir. Yer seçiminde öncelikli olarak sismik etkinliği yüksek olan KAFZ izlenmesi esas alınmıştır. Dolayısıyla KAFZ'na en yakın nokta olarak Şiran MYO seçilmiştir. Diğer istasyon yeri ise bölgemizde turizm açısından önemli bir yer olan Karaca Mağarasıdır. 3. istasyonun yeri, inşası 2003 yılında tamamlanmış olan Kürtün HES olarak seçilmiştir. İstasyonların seçiminde dikkat edilen hususlar arasında çevrenin sismik hasar görebilirliği, kayıt cihazlarını barındıracak yapının kurulması, gerekli izinlerin alınması, kalıcılığı ve güvenliği gibi konular yer almıştır.

Şiran MYO istasyonu yönetim binasının zemin katında yer alan bir oda içine kurulmuştur. Bu odada ivme kayıt cihazı ile bir adet GPS, elektrik kesintilerine karşı önlem amacıyla bir adet UPS, bir adet akü ve bir adet akü şarj cihazı yerleştirilmiştir. Odanın elektrik hattı mevcut olup internet hattı tarafımızdan yaptırılmıştır. İlgili cihazların kurulumu yapılarak istasyon çalıştırılmış ve sürekli kayıt olarak verileri merkez laboratuvarına internet hattı ile konum ve cihazın sıcaklık bilgisi de dahil olmak üzere gerçek zamanlı olarak göndermesi sağlanmıştır. Şiran MYO istasyonunun kurulumu ile ilgili resimler Şekil 3'de verilmektedir.



Şekil 3. Şiran MYO ivme kayıt istasyonunun kurulumu.

Figure 3. Installation of Şiran Vocational School acceleration recording station.

İkinci ivme kayıt istasyonu Kürtün HES'de Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından baraj gövdesi üzerinde yapılmış olan ölçüm odasına kurulmuştur. İlgili binaya cihaz yerleştirilmesi için DSİ, 22. Bölge Müdürlüğünden yazılı izin alınmıştır. Bu binada da yine benzer şekilde bir adet GPS, elektrik kesintilerine karşı önlem amacıyla bir adet UPS, 1 adet akü ve 1 adet akü şarj cihazı bulunmaktadır. Aşırı rüzgâr nedeniyle kırık bir durumda olan ölçüm odasının kapı ve camları tarafımızdan sac levha ile kapatılmış ve bina güvenli bir hale getirilmiştir. Cihazlarını kurulumu yapılarak 3G internet bağlantısıyla veriler konum bilgisi ve cihazın sıcaklık bilgisi ile gerçek zamanlı olarak merkezimize iletilmesi sağlanmıştır. Kürtün HES ivme kayıt istasyonunun kurulumu ile ilgili resimler Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Kürtün HES ivme kayıt istasyonunun kurulumu.

Figure 4. Installation of Kürtün HES acceleration recording station.

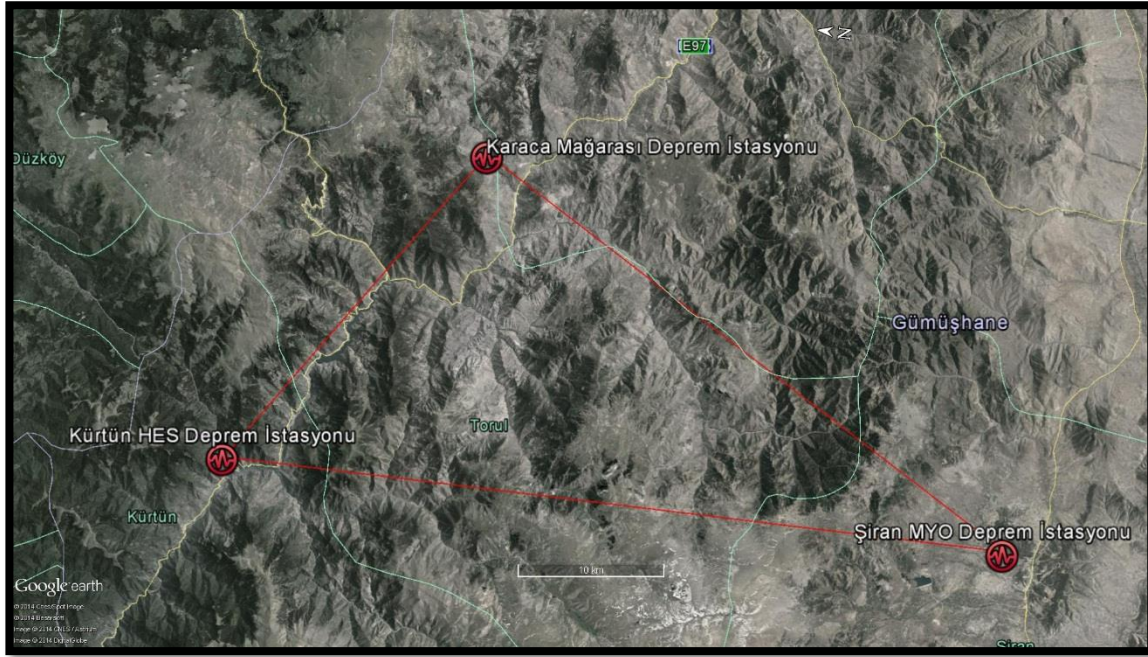
Son ivme kayıt istasyonu Karaca mağarası hizmet binası yanında kurduğumuz konteyner içerisine yerleştirilmiştir (Şekil 5). Karaca mağarasına cihaz yerleştirebilmek amacıyla Gümüşhane Valiliği, İl Özel İdaresinden yazılı izin alınmıştır. Konteyner içerisine Karaca Mağarası yönetim binasından elektrik hattı çekilmiştir. Bu istasyonumuzda da bir adet GPS, elektrik kesintilerine karşı önlem amacıyla bir adet UPS, bir adet akü ve bir adet akü şarj cihazı bulunmaktadır. Veriler 3G internet bağlantısı yardımıyla gerçek zamanlı konum bilgisi ve cihazın sıcaklık bilgisi ile iletilmektedir.



Şekil 5. Karaca Mağarası ivme kayıt istasyonunun kurulumu.

Figure 5. Installation of the Karaca Cave acceleration recording station.

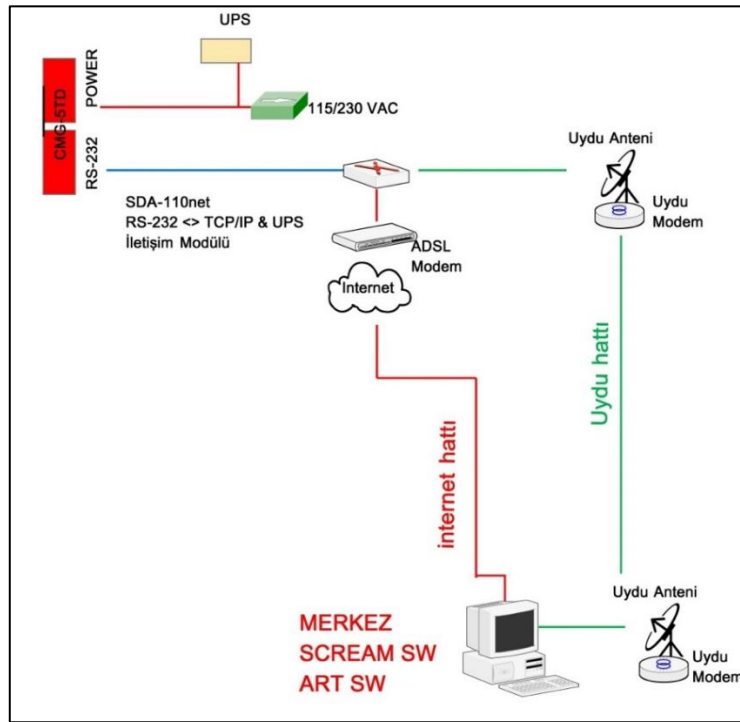
Tüm ivme kayıt istasyonlarının konumları Şekil 6'da görülmektedir. İstasyonlarda kullanılan ivme kayıt cihazları CMG-5TD model cihazlar olup 24 bit çözünürlüğe, yüksek duyarlılığa ve kapasiteye sahip, modern iletişim (GPRS, ADSL vb.) araçlarıyla veri transferi sağlayabilen cihazlardır. Veriler, merkez ofise sürekli veya trigger modda (Dial-up, Internet, ADSL, GPRS/EDGE) iletişim araçları sayesinde ulaşmaktadır.



Şekil 6. Deprem ivme kayıt istasyonlarının yerlerini gösterir harita.

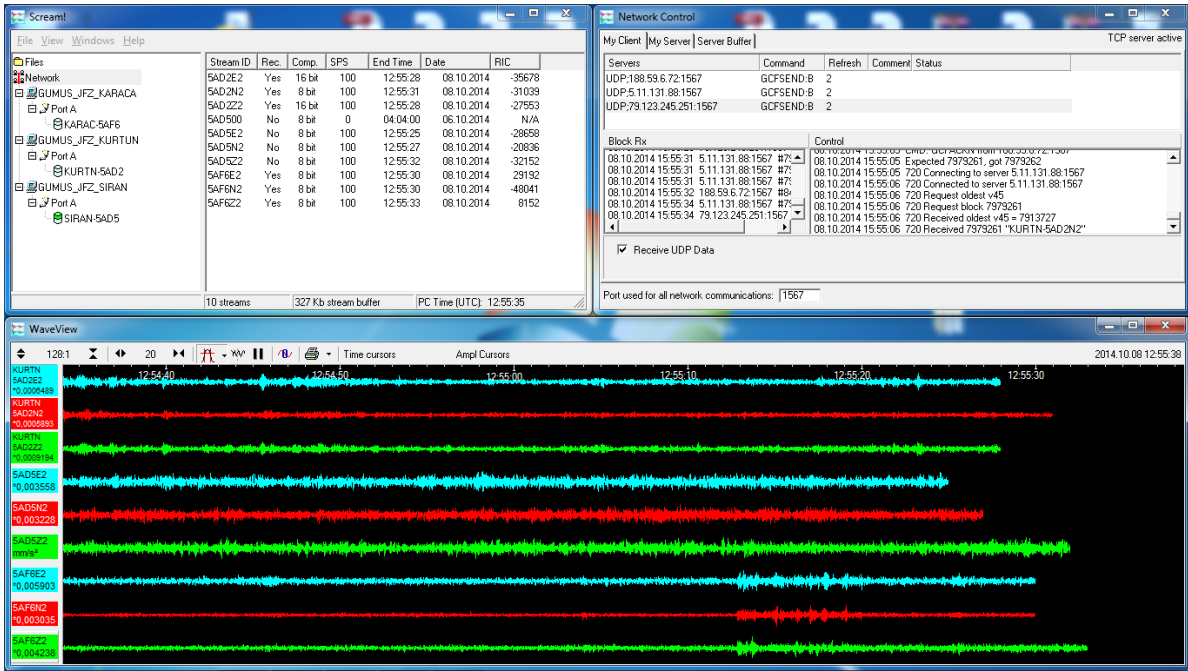
Figure 6. Map showing the locations of earthquake acceleration recording stations.

İstasyonlardan gerçek zamanlı veri göndermek üzere tasarlanmış internet ya da uydu bağlantılı deprem ivme kayıt istasyonu şeması Şekil 7'de gösterilmektedir. İstasyonlar ile merkez arasındaki veri iletişimini sağlayan Scream 4.5 yazılımının ekran görüntüsü Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 7. Deprem ivme kayıt istasyonu gerçek zamanlı veri iletim şeması

Figure 7. Earthquake acceleration recording station real-time data transmission scheme



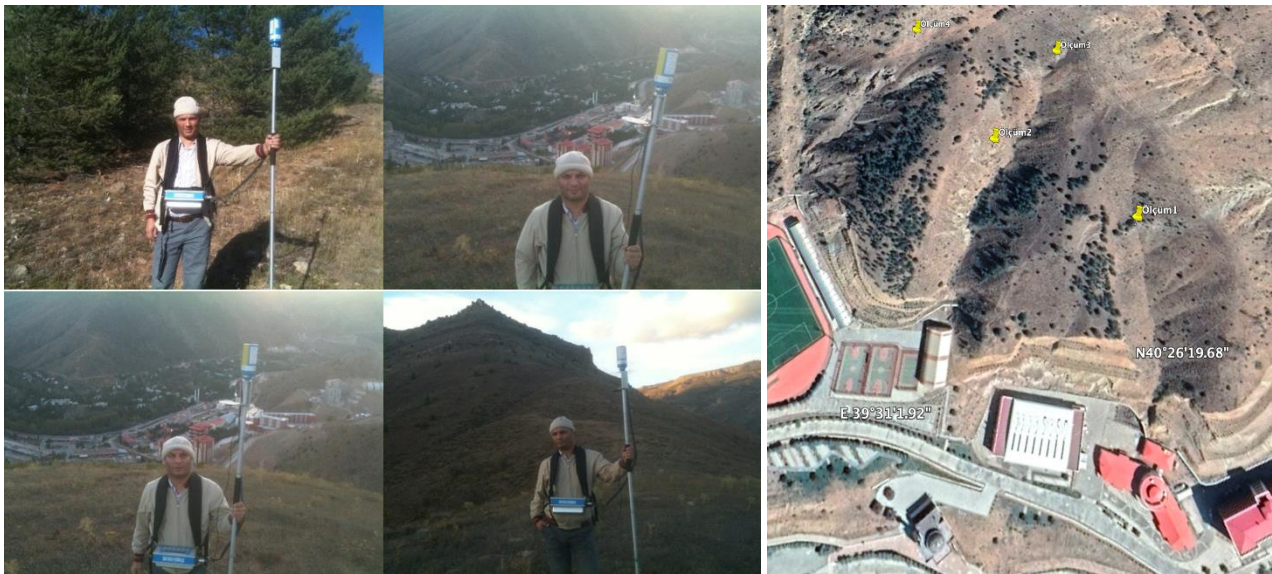
Şekil 8. Tüm deprem ivme kayıt istasyonlarından veri toplam için kullanılan yazılımın görünümü.
Figure 8. View of the software used to collect data from all earthquake acceleration recording stations.

Scream yazılımı sayesinde ilgili istasyonlardaki cihazlara müdahale edilmekte ve programlanabilmektedir. İlgili yazılım ile istasyonlardan gelen veriler veri tabanına “tarih_zaman_istasyonadı” şeklinde dosya isimleri ile kaydedilmektedir. Veri tabanına kaydedilen verilere daha sonra kullanılmak üzere “yıl_ay_gün” şeklinde hiyerarşiye sahip klasörler yoluyla ulaşılabilir. Dosyalara kaydedilen veriler cm/sn^2 (gal) cinsindedir.

2.2. Manyetik İstasyonun Kurulumu

2.2. Magnetic Station Installation

Manyetik istasyonun kurulumu için öncelikle sensörün yerleştirilebileceği sakin bir yerin tespit edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle merkez kampüsünde Proton Manyetometresi ile ölçüm alınmıştır (Şekil 9). İstasyon yer seçiminde büyük ferromanyetik cisimlerden ya da aktif yollardan 100 m, yüksek gerilim hatlarından 200-500 m uzakta olması gerekmektedir.



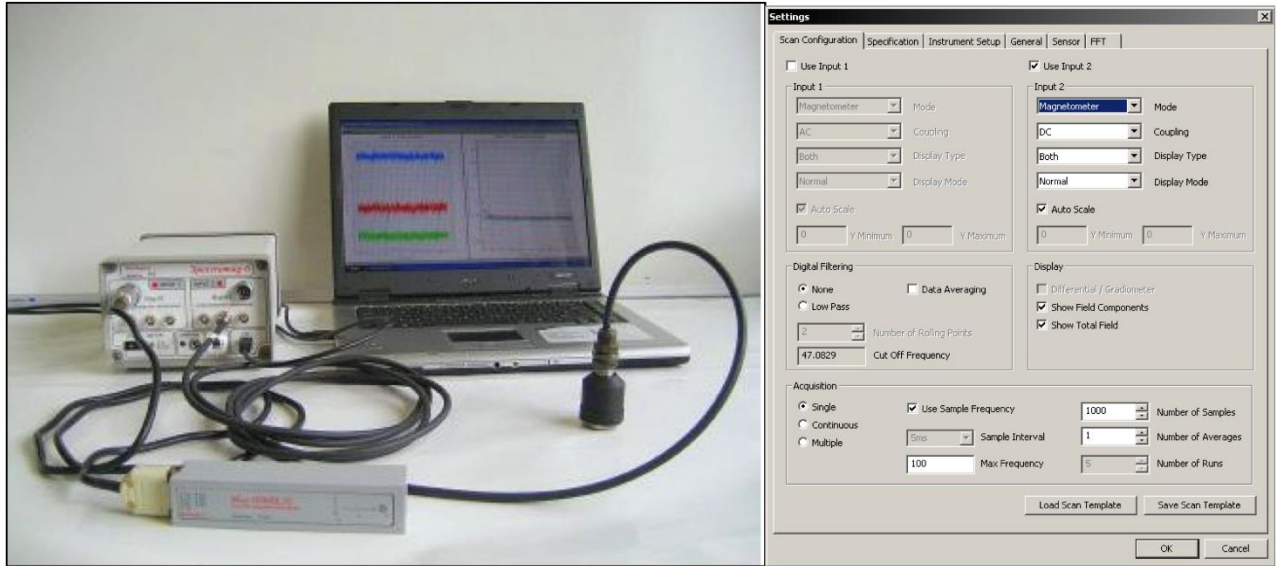
Şekil 9. Manyetik istasyon yeri seçimi için Proton Manyetometresi ile ölçüm alınması ve ölçüm yerleri.
Figure 9. Taking measurements with a Proton Magnetometer for magnetic station location selection and measurement locations.

Uygun bir yer seçimi yapıldıktan sonra GPS yardımı ile zaman senkronizasyonu yapılmalıdır. Baz istasyonu olarak 3 bileşen flux-gate manyetometre sistemi kullanılmıştır. Sistemi bir adet 3 bileşen manyetik algılayıcı ve bir adet veri toplama modülünden oluşmaktadır. Algılayıcı çok düşük gürültü hassasiyetine sahip olup $\pm 70\mu T$ 'dan $\pm 1000\mu T$ 'ya ölçüm imkânına sahiptir. $-40^{\circ}C$ - $+70^{\circ}C$ ortamlarda cihaz çalışabilmektedir. Algılayıcı birim ve veri toplama modülü veri toplamak amacıyla kurulumu yapılmış olarak Şekil 10'da görülmektedir.

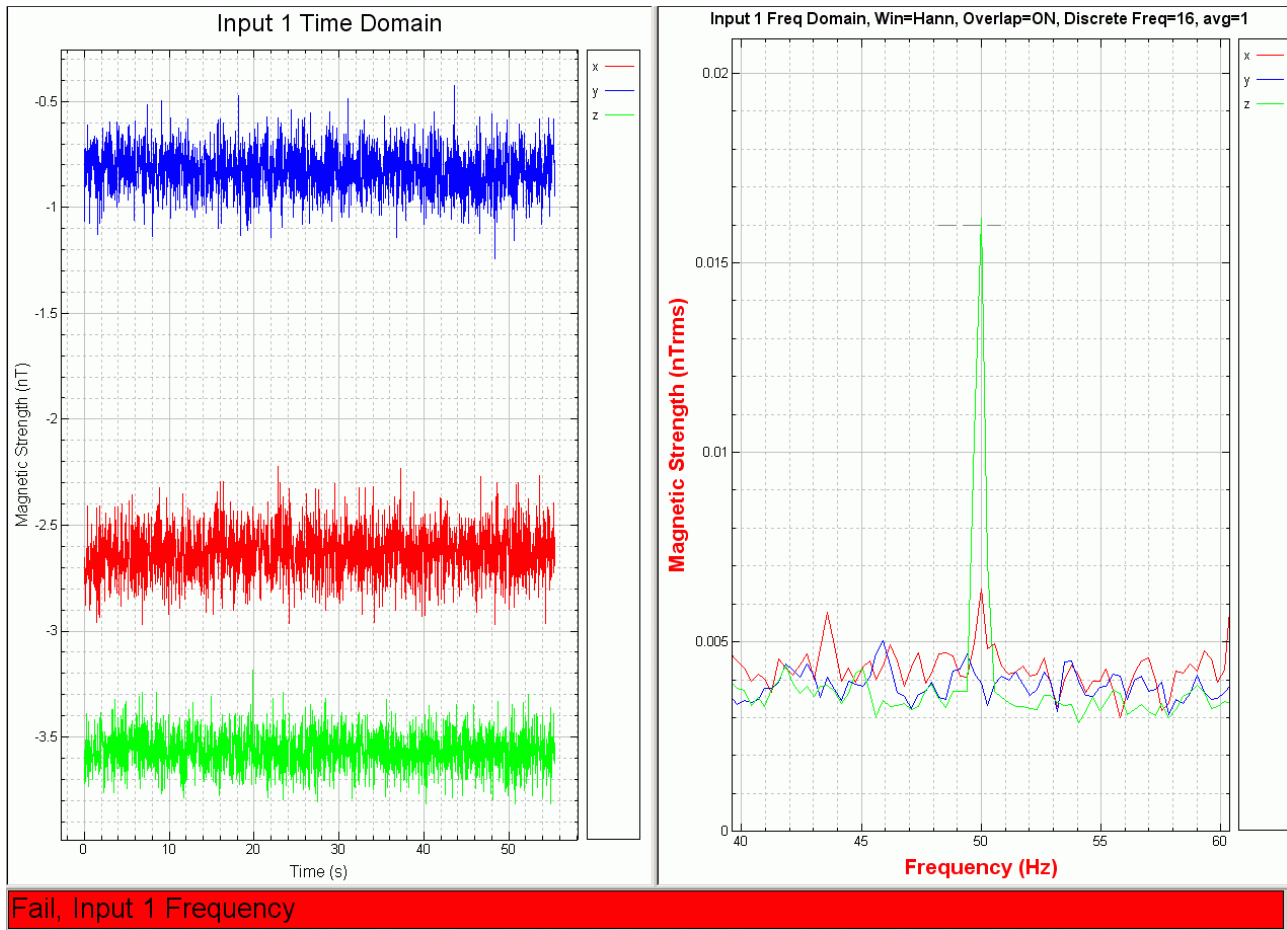


Şekil 10. Flux-Gate manyetometre veri toplama modülü, algılayıcı birim ve sistemin kurulu hali.
Figure 10. Flux-Gate magnetometer data acquisition module, sensor unit and the installed state of the system.

Veri toplama modülü bilgisayara bağlanarak ilgili yazılım (Spectramag-6) ile veriler bilgisayar ortamına anlık olarak aktarılmaktadır. Veriler tek, sürekli ve çoklu veri toplama modlarında kaydedilebilmektedir. Veri toplama modülü 700.000 veriyi kaydedebilmektedir. Manyetometre sistemi kurulduktan ve bilgisayara bağlandıktan sonra Spectramag-6 yazılımı kullanılarak verilerin sistemden bilgisayar ortamına aktarılması sağlanabilir, veri alma şekli ve birçok konfigürasyon programlanabilir (Şekil 11). Spectramag-6 yazılımı ile alınan veriler zaman ve frekans spektrumu olmak üzere iki farklı pencerede görülebilmektedir (Şekil 12).



Şekil 11. Flux-Gate manyetometre sistemi kurulumu ve veri toplama yazılımı Spectramag-6'ın yüklenmesi.
Figure 11. Flux-Gate magnetometer system setup and installation of data acquisition software Spectramag-6.



Şekil 12. Toplanan manyetik verilerin anlık olarak zaman ve frekans ortamındaki görünümleri.
Figure 12. Real-time magnetic data acquisition in time and frequency environment.

3. Bulgular

3. Results

İstasyonlar kurulduktan ve işletilmeye başlandıktan sonra deprem ivme ve manyetik veriler merkeze internet bağlantısı yardımıyla anlık olarak ulaşılmaya başlamıştır. Çalışma süresi içinde bölgemizde oluşmuş ya da bölgeyi etkilemiş olan 25 adet deprem, ivme kayıt istasyonları tarafından kaydedilmiş ve Tablo 1’de verilmiştir. Tablo 1 incelendiğinde büyüklüğü $M < 3.5$ olan depremler 50 km yarıçaplı bir çember içerisinde meydana geldiğinde kaydedilirken büyüklüğü $M > 3.5$ olan depremler 50 km’den daha uzak yerlerde olsalar dahi kaydedilmektedirler.

Kaydedilen depremler kullanılarak depremlerin yaklaşık olarak episantır uzaklığı ve süre büyüklükleri (MD) hesap edilebilmektedir. Episantır hesaplanırken 3 farklı istasyonda kaydedilen depremin P ve S dalgası varış zamanları arasındaki zaman farkı kullanılmaktadır. Büyüklük hesabı yapılırken $MD = -2.46 + 2.82 \log(T)$ bağıntısı kullanılmıştır. 26.06.2015 tarihinde yerel saat ile 09.02.42’de Erzincan ili Refahiye ilçesinde $ML = 2.9$ (yerel magnitüd) ve yerel saat 09.11.35’te yine Erzincan ili Kemah ilçesinde $ML = 2.6$ büyüklüklerinde meydana gelen iki farklı deprem Şiran MYO, Kürtün HES ve Karaca Mağarasında bulunan 3 farklı istasyon tarafından kaydedilmişlerdir (Şekil 13).

Deprem ivme kayıtları incelendiğinde istasyon yerlerinin gürültüsüz oluşu göze çarpmaktadır. Ayrıca istasyonlarda kaydedilen ivme kayıt değerlerinden cihazların konulduğu zemin özellikleri hakkında fikir sahibi olunabilmektedir. Örneğin Erzincan ili Refahiye ilçesinde büyüklüğü $ML = 2.9$ olan depremin en yakın istasyondaki maksimum ivme değeri düşeyde 0.84 cm/sn^2 iken Karaca Mağarasındaki istasyondaki ivme değeri daha yüksek olup düşeyde 6.84 cm/sn^2 olarak ölçülmüştür. Yerel zemin koşullarının deprem ivme değerlerini ne derece büyüttüğü bu örnekte açıkça görülmektedir. Karaca Mağarasının yer aldığı kireçtaşlarının deprem dalgalarını daha fazla büyüttüğü net bir şekilde gözlenmektedir.

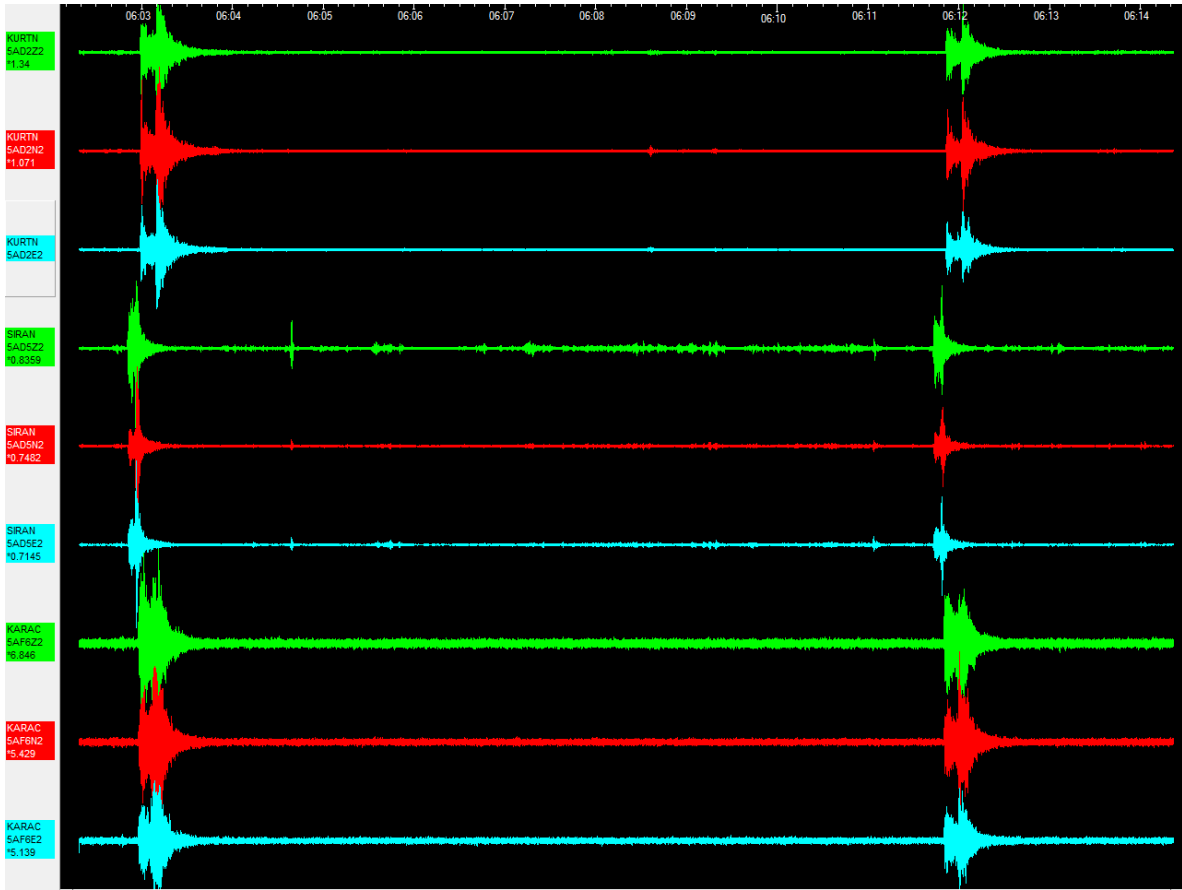
Deprem ivme kayıtları yapıya gelecek yük ile doğru orantılı olduğundan bir bölgedeki yıkımın tespitinde kullanılması mümkündür. Böylece bölgemizde oluşacak yıkıcı bir deprem sonucunda deprem ivme kayıtları kullanılarak depremin en fazla hissedildiği ve yıkıma uğrattığı bölgeler tespit edilerek lojistik destek sağlanması mümkün olacaktır. Çalışma süresince alınan deprem ivme kayıtlarından ilimizde yüksek magnitudü bir deprem meydana gelmediği görülmüştür. Bölgemizi etkileyen depremlerden en büyüğünün magnitudü $M=4.5$ iken en yüksek ivme değeri ise 6.84 cm/sn^2 olarak ölçülmüştür.

Tablo 1. Deprem ivme kayıt istasyonları tarafından kaydedilen depremlerin listesi.

Table 1. List of earthquakes recorded by earthquake acceleration recording stations.

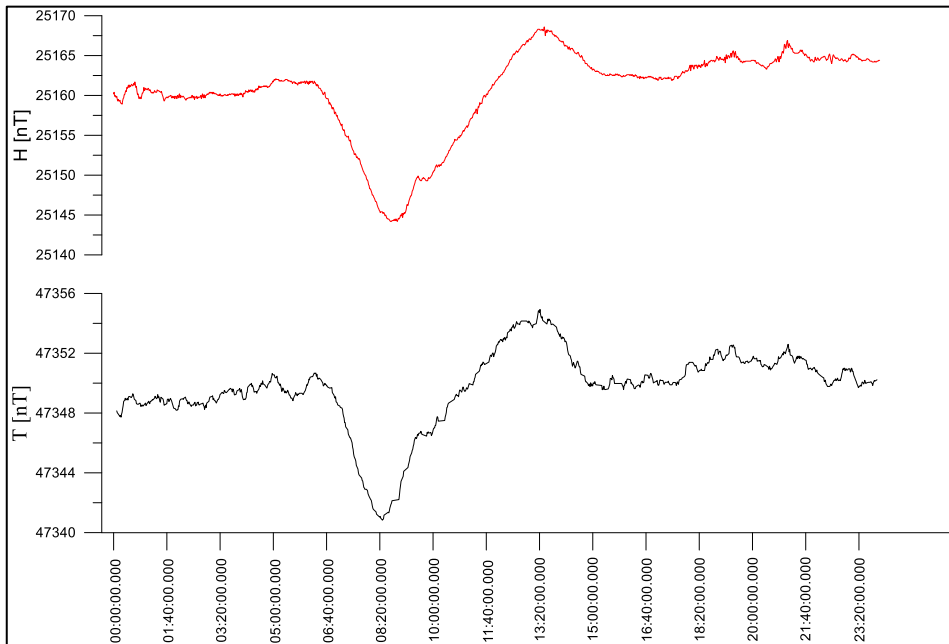
Tarih	Oluş Zamanı	Enlem	Boylam	Derinlik	Büyüklik	Yeri
2013.01.23	12:17:07.20	40.7735	39.5358	7.8	2.0	KOPRUYANI-MACKA (TRABZON)
2013.01.26	10:01:54.20	40.6163	39.8422	14.7	2.0	CORAK- (GUMUSHANE)
2013.01.31	12:11:37.39	40.6268	39.8762	9.9	1.9	AKOCAK- (GUMUSHANE)
2013.02.06	10:16:38.07	40.6442	39.9310	14.5	2.5	KAYAICI-ARAKLI (TRABZON)
2013.03.20	14:26:22.31	40.7643	39.5245	15.6	2.1	KOPRUYANI-MACKA (TRABZON)
2013.05.15	07:09:57.98	39.0192	41.1815	6.0	4.4	BILEK- (MUS)
2013.07.17	01:40:31.95	40.5225	41.9113	5.0	4.1	KALEBOGAZI-OLTU (ERZURUM)
2013.09.16	10:31:39.75	39.0167	41.4477	4.9	4.5	TUTEN- (MUS)
2013.09.17	20:40:49.41	39.0462	41.4552	12.9	5.1	SUDURAGI- (MUS)
2013.09.18	18:22:41.27	39.6877	41.6900	5.0	4.5	CATAK-TEKMAN (ERZURUM)
2014.02.27	12:19:23.84	40.6528	39.8840	10.0	2.2	KAYAICI-ARAKLI (TRABZON)
2014.04.28	13:55:10.67	40.7133	39.9322	22.0	2.0	KUKURTLU-ARAKLI (TRABZON)
2014.05.01	07:36:08.75	39.4730	37.3525	5.0	4.3	SENYURT-ULAS (SIVAS)
2014.05.03	01:33:40.29	39.7185	38.8595	5.3	3.6	HAKBILIR-KEMAH (ERZINCAN)
2014.06.03	11:54:56.07	40.4813	40.0593	4.7	2.3	SORKUNLU-AYDINTEPE (BAYBURT)
2014.07.01	03:59:30.63	39.9618	39.8933	6.6	3.5	AVCICAYIRI-OTLUKBELI (ERZINCAN)
2014.07.01	14:58:24.64	40.0090	39.5497	7.6	2.3	ASAGIOZLUCE-KELKIT (GUMUSHANE)
2014.09.20	02:52:57.27	39.1615	38.7350	4.4	4.3	SAHINLER-KEMALIYE (ERZINCAN)
2014.10.21	12:01:46.38	39.9942	39.6635	4.5	3.9	DOGANKAVAK-KELKIT (GUMUSHANE)
2014.11.03	19:29:27.59	40.0163	39.6358	13.6	3.5	DOGANKAVAK-KELKIT
2015.01.10	09:14:01.31	40.0297	39.3287	15.5	2.2	CAMBASI-KELKIT (GUMUSHANE)
2015.02.09	22:52:49.45	39.4237	40.1490	4.7	4.1	AGASENLIGI-PULUMUR (TUNCELI)
2015.03.26	19:01:43.82	39.9645	39.6682	5.0	3.6	OGUZ-KELKIT (GUMUSHANE)
2015.04.18	06:54:10.90	39.9912	39.7062	5.3	3.6	ELMALI-DEMIROZU (BAYBURT)
2015.06.11	08:08:47.10	40.4437	40.0523	16.7	2.0	SULUDERE-AYDINTEPE (BAYBURT)

Gümüşhane manyetik istasyonundan elde edilen Yer manyetik alanının Yatay ve Toplam şiddetine ait değerler Şekil 14'te verilmektedir. Şekil 14 incelendiğinde Gümüşhane için toplam bileşenin 47340 nT ile 47354 nT ve yer manyetik alanının yatay bileşenin ise 25143 nT ile 25168 nT arasında değiştiği görülmüştür. Yatay bileşenin ortalama değeri 25160 nT , toplam bileşenin ortalama değeri 47349 nT olarak hesap edilmiştir. Hem yatay bileşen hem de toplam bileşenin en düşük değerleri saat 08.20 civarında elde edilmiştir. Bundan sonra değerler artış trendine girmiştir. En yüksek değerler ise saat 13.20'de gözlemlenmiştir. Elde edilen değerlere göre manyetik fırtına izlenmemiştir. Değerler olağan seyrinde ölçülmüştür. Toplam bileşekte günlük olarak 14 nT değerinde bir anomali elde edilmiştir. Yatay bileşende ise anomalinin genliği 25 nT olarak tespit edilmiştir. Yatay bileşen ve Toplam bileşekte değerleri üzerinde yüksek frekanslı değişimler izlenmektedir.



Şekil 13. 26.06.2015 tarihinde saat 09.02.42’de Erzincan ili Refahiye ilçesinde $ML=2.9$ ve saat 09.11.35’de yine Erzincan ili Kemah ilçesinde $ML=2.6$ büyüklüklerinde meydana gelen depremlerin 3 farklı istasyonda kaydedilen ivme kayıtları.

Figure 13. Acceleration records recorded at 3 different stations of the earthquakes that occurred on 26.06.2015 at 09.02.42 in Refahiye district of Erzincan province with a magnitude of $ML=2.9$ and at 09.11.35 in Kemah district of Erzincan province with a magnitude of $ML=2.6$.



Şekil 14. 01.01.2013 tarihinde kaydedilen Yer manyetik alanının Yatay bileşen (H) ve Toplam bileşke (T) değerleri.

Figure 14. Horizontal component (H) and Total resultant (T) values of the Earth magnetic field recorded on 01.01.2013.

4. Tartışma ve sonuçlar

4. Discussion and conclusions

Bu çalışmada karşılaşılan en büyük sorun bölgemizde sık sık yaşanan elektrik kesintileri olmuştur. İstasyonların uzak oluşu elektrik kesintileri nedeniyle kapanan cihazların yeniden açılmasını zorlaştırmıştır. Her ne kadar elektrik kesintilerinden kaçınmak amacıyla istasyonlarda akü ve UPS bulunmasına rağmen uzun süreli kesinti durumunda yine de çözümsüz kalmıştır. Ayrıca elektrik kesintileri sebebiyle modemlerin hafızası gitmekte elektrik gelse dahi veri gönderimi sağlanamamaktadır.

Bölgemizde yer alan mühendislik yapılarının oluşacak büyük bir depremden etkilenme derecesi sürekli kontrol edilmelidir. Ayrıca mevsimsel su artışları sebebiyle ya da rüzgârlar sonucu oluşan dalgaların baraj gövdesine olası etkileri de ancak deprem ivme kayıtları ile mümkündür.

Karaca Mağarası'nda kurulu bulunan deprem kayıt istasyonu ülkemizde ilk olmuştur. İlk defa olarak turizm açısından önemli bir mağara jeofizik cihazla sürekli gözlenir olmuştur. Bu yöremizde yol ve tünel yapımı sırasında yapılan patlatmalar düşünülünce önemi daha da artmaktadır.

Bölgemiz İran'dan gelerek Trabzon limanına yük taşıyan tırların geçiş güzergâhı üzerinde bulunmaktadır. İlimizde son zamanlarda yoğun bir karayolu inşası sürmektedir. Halen yapımı süren ve yapılmakta olan tünel ve karayollarının deprem ve yapay patlatmalardan ne derece etkilendiği ya da etkilenebileceği kesintisiz bir ulaşım için elzem durumdadır. Bu nedenle karayolu ve tünellerin ivme kayıt cihazları ile sürekli izlenmesi bölgemizin ve ülkemizin ekonomisi açısından önemli olacaktır.

Halen Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı tarafından yapılan yaklaşık 14 km uzunluğundaki yeni Zigana tünelinin sürekli gözlenmesi ve karayolu ağımızın deprem anında jeoteknik güvenliği açısından önem arz etmektedir.

Şiran MYO'da bulunan ivme kayıt istasyonunun KAFZ'nun deprem etkinliğinin gözlenmesi açısından önemi büyüktür. Dünyanın sismik aktivitesi en yüksek fay hatlarından birinin ivme kayıt ağı ile gözlenmesi hem güvenli yapılaşma hem de deprem tahmin çalışmalarında veri sağlaması açısından hizmet verecektir.

Manyetik istasyonumuz bölgemizde güneş patlamaları nedeniyle yer manyetik alanda meydana gelen düzensizliklerin izlenmesi açısından yararlı olmuştur. Ayrıca bölgemizin maden açısından önemi yadsınamaz bir gerçektir. Bu nedenle metalik maden aramalarında kullanılacak manyetik yöntem için manyetik istasyonun baz istasyonu olarak kullanılması mümkün olacaktır.

Manyetik fırtınalı dönemlerde yaşlı vatandaşlarımız çeşitli sağlık sorunlarıyla karşılaşmaktadırlar. Ülkemizde manyetik değişimlerle sağlık arasındaki ilişkiyi ortaya koyan çalışmalar çok az düzeydedir. Bu nedenle ilimizde ileriye dönük olarak yer manyetik alanı ile sağlık arasındaki ilişkiyi ortaya koyan çalışmalar yapılmalıdır.

Bu çalışma ile ilimizde üç adet deprem ivme kayıt istasyonu ve bir adet manyetik istasyon kurulumu gerçekleştirilmiştir. Başlangıçta öngörülen hedeflere çok büyük oranda ulaşılmıştır. Ancak maddi olanakların yetersizliği nedeniyle Manyetik istasyonumuz uluslararası manyetik istasyon ağına (INTERMAGNET) bağlanamamıştır.

Bölgemizde halen yapılmakta ve planlanmakta olan karayolu ve demiryolu ağımız ile bunlar üzerindeki tünellerin bir deprem anında deprem ivme kayıt cihazları yoluyla erken uyarı sistemleri geliştirilerek jeoteknik güvenliğinin sağlanması mümkün olabilir. Bunun yanı sıra deprem ve taş ocaklarında yapılan yapay patlatmalarına karşı ilimizde yer alan büyük mühendislik yapıları ile turizm alanlarının güvenliğinin sürekli izlenmesi ülkemizin ekonomisi ve halkımızın sağlığı açısından önemli olacaktır.

Teşekkür

Acknowledgement

Bu çalışma, Gümüşhane Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'nce desteklenmiştir. Proje No: 13.F5117.02.2. Çalışmanın gerçekleşmesinde gösterdikleri anlayış ve özveri için Gümüşhane Üniversitesi, BAP komisyonu üyeleri ve personellerine teşekkür ederiz. Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde üstün gayret

ve yardımları bulunan Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Teknisyeni Hakkı YOKUŞ'a şükran borçluyuz. İstasyonların kurulumu sırasında bizlere lojistik destek sunan Şiran MYO Müdürlüğüne Gümüşhane valiliğine, İl Özel İdaresi Genel Sekreteri Ekrem AKDOĞAN'a, Elektrik Mühendisi Burak ARSLAN'a, DSİ 22 Bölge Müdürü Adil Erdoğan YAŞAROĞLU'na, DSİ, 223 Şube Müdürü Ümit YAYLA'ya, Karaca Mağarasında görevli Personel Saffet NAS'a, Özkürtün beldesinden Şakir YAVUZ'a müteşekkirimiz. Bu çalışmanın yayımlanması aşamasında gösterdikleri üstün gayret ve çabaları nedeniyle Dergi Editörü Doç. Dr. Mehmet Ali GÜCER'e, Alan Editörü Prof. Dr. Enver AKARYALI'ya ve hakemlere teşekkür ederiz.

Yazar katkısı

Author contribution

Nafiz MADEN, Serkan ÖZTÜRK ve Levent PEHLİVAN, araştırma konusunun seçiminde, araştırma kurgusunun oluşturulmasında, literatür taraması, istasyonların çalışır hale getirilmesi, lojistik ve makalenin yazım aşamalarında, Mahmut SARI ve Yasemin BEKER makalenin son yazım aşamalarında katkı sunmuşlardır.

Etik beyanı

Declaration of ethical code

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

Çıkar çatışması beyanı

Conflicts of interest

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar

References

- Bansal, B. K., Pandey, A. P., Singh, A. P., Suresh, G., Singh, R. K., & Gautam, J. L. (2021). National seismological network in India for real-time earthquake monitoring. *Seismological Society of America*, 92(4), 2255-2269.
- Bozkurt, E. (2001). Neotectonics of Turkey—a synthesis. *Geodinamica Acta*, 14, 3-30. <https://doi.org/10.1080/09853111.2001.11432432>
- Çeken, U. (2007). Marmara Bölgesinin Kuvvetli Yer Hareketi Azalım İlişkisi Modeli [Yüksek Lisans Tezi Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Çelik, M. O. (2023). 23.11. 2022 Tarihli MW= 5.9 Düzce depreminin kuvvetli yer hareketi verileri ile analizi ve bölgenin tektonik yapısı [Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi].
- Emre, Ö., Duman, T.Y, Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, S. & Şaroğlu, F. (2013). Active fault map of Turkey with an explanatory text 1:1,250,000 scale. *General Directorate of Mineral Research and Exploration*, Special Publication Series 30.
- Eyidoğan, H. (1988). Rates of crustal deformation in western Turkey as deduced from major earthquakes. *Tectonophysics*, 148, 83-92. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(88\)90162-X](https://doi.org/10.1016/0040-1951(88)90162-X)
- Gupta, K., & Satyam, N. (2022). Estimation of Arias intensity and peak ground acceleration (PGA) using probabilistic seismic hazard assessment of Uttarakhand state (India). *Arabian Journal of Geosciences*, 15(5), 437.
- Gülkan, P., Koçyiğit, A., Yücemem, M., S., Doyuran, V. & Başöz, N. (1993). Earthquake zoning map of Turkey based on the most recent data (En son verilere göre hazırlanan Türkiye deprem bölgeleri haritası): METU Earthquake Engineering Research Center, Report No. 93-01, 156.
- KOERİ, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Astronomi Laboratuvarı (2023, Kasım 18) <https://astronomi.bogazici.edu.tr/gunes-dunya-ya-etkileri>

- Kramer, S.L. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*, Prentice_Hall Int. Series.
- Le Pichon, X. & Angelier, J. (1979). The hellenic arc and trench system: a key to the neotectonic evolution of the eastern Mediterranean area. *Tectonophysics*, 60, 1-42. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(79\)90131-8](https://doi.org/10.1016/0040-1951(79)90131-8)
- Le Pichon, X., Chamot-Rooke, N., Lallemand, S., Noomen, R., & Veis, G. (1995). Geodetic determination of the kinematics of central Greece with respect to Europe: Implications for eastern Mediterranean tectonics. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 100(B7), 12675-12690. <https://doi.org/10.1029/95JB00317>
- Liu, Y., Zhao, Q., & Wang, Y. (2024). Peak ground acceleration prediction for on-site earthquake early warning with deep learning. *Scientific Reports*, 14(1), 5485.
- Mckenzie, D.P. (1978). McKenzie, D. (1978). Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt: the Aegean Sea and surrounding regions. *Geophysical Journal International*, 55(1), 217-254.
- Oral, M. B., Reilinger, R. E., Toksöz, M. N., Kong, R. W., Barka, A. A., Kınık, I. & Lenk, O. (1995). Global positioning system offers evidence of plate motions in eastern Mediterranean. *EOS, Transactions American Geophysical Union*, 76(2), 9-11. <https://doi.org/10.1029/EO076i002p00009-01>
- Priyanto, D., Triwijoyo, B. K., Jollyta, D., Hairani, H., & Dasriani, N. G. A. (2023). Data Mining Earthquake Prediction with Multivariate Adaptive Regression Splines and Peak Ground Acceleration. *MATRIK: Jurnal Manajemen, Teknik Informatika dan Rekayasa Komputer*, 22(3), 583-592.
- Öztürk, S. & Kaya, A. (2019). A study on the characteristics of Gümüşhane seismicity: Analyses of region-time parameters. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 37(2), 551-561.
- Şengör, A.M.C. & Yılmaz, Y. (1981). Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75, 181–241. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(81\)90275-4](https://doi.org/10.1016/0040-1951(81)90275-4)
- Üçer, S. B., Crampin, S., Evans, R., Miller, A., & Kafadar, N. (1985). The MARNET radiolinked seismometer network spanning the Marmara Sea and the seismicity of Western Turkey. *Geophysical Journal International*, 83(1), 17-30. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1985.tb05153.x>
- Walter, J. I., Ogwari, P., Thiel, A., Ferrer, F., & Woelfel, I. (2021). easyQuake: Putting machine learning to work for your regional seismic network or local earthquake study. *Seismological Research Letters*, 92(1), 555-563.

Numerical analysis of a mini wind tunnel and experimental investigation of the mini wind tunnel utilizing a portable, three-axis load/balance measurement system

Mini rüzgar tünelinin sayısal analizi ve taşınabilir, üç eksenli bir yük/denge ölçüm sistemi kullanılarak mini rüzgar tünelinin deneysel incelenmesi

Emre KARA*¹ , Kübra ÖZTÜRK¹ 

¹Gaziantep University, Faculty of Aeronautics and Aerospace, Aerospace Engineering Department, 27310, Gaziantep

• Received: 11.01.2024

• Accepted: 02.05.2024

Abstract

Investigation of a portable three-axis load/balance measurement system in a mini wind tunnel is the main subject of study. Firstly, a mini wind tunnel is designed, numerically analyzed and constructed. Then, measurements of lift and drag forces on a selected airfoil are carried out using data from the measurement system located in the test area. Tri-axis load/balance measurement system developed has a total of three load cells, one for drag and two for lift. Sensor data acquisition codes are written using Arduino and force measurement experiments are performed at various angles of attack on the NACA2412 airfoil at Reynolds number of 60000, for the maximum flow rate of 5200 m³/h through fan controller in the constructed mini wind tunnel. After completing the mesh independence test, numerical studies are conducted in ANSYS Fluent for the same range of angles of attack using three different turbulence models. Realizable k-ε turbulence model gives more realistic high stall angles of attack than other turbulence models and similar to experimental results. In addition to the current experimental study, four other literature studies in similar Reynolds number ranges are used as reference cases. A visual study of the flow around the airfoil is given as velocity contours in addition to the numerical comparisons. From the numerical and experimental results, it is concluded that the NACA2412 airfoil profile wings are more efficient for moderate to high Reynolds numbers and the constructed load/balance measurement system and mini wind tunnel are highly successful in terms of lift and drag measurements.

Keywords: Computational fluid dynamics, Engineering design, Experimental investigation, Load/balance measurement system, Wind tunnel

Öz

Mini bir rüzgâr tüneline taşınabilir üç eksenli yük/denge ölçüm sisteminin incelenmesi çalışmanın ana konusudur. İlk olarak, bir mini rüzgâr tüneli tasarlanmış, sayısal olarak analiz edilmiş ve inşa edilmiştir. Ardından, test alanında bulunan ölçüm sisteminden elde edilen veriler kullanılarak seçilen bir kanat üzerindeki kaldırma ve sürüklenme kuvvetlerinin ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen üç eksenli yük/denge ölçüm sistemi, biri sürüklenme ve ikisi kaldırma kuvveti için olmak üzere toplam üç yük hücrelerine sahiptir. Sensör veri toplama kodları Arduino kullanılarak yazılmış ve inşa edilen mini rüzgâr tüneline NACA2412 kanat profili üzerinde çeşitli hücum açılarında, 60000 Reynolds sayısında, maksimum 5200 m³/h debi için fan kontrolcüsü aracılığıyla kuvvet ölçüm deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ağ bağımsızlık testi tamamlandıktan sonra, üç farklı türbülans modeli kullanılarak aynı hücum açısı aralığı için ANSYS Fluent'te sayısal çalışmalar yapılmıştır. Gerçekleştirilebilir k-ε türbülans modeli, deneysel sonuçlara benzer şekilde, diğer türbülans modellerine göre daha gerçekçi yüksek tutunma kaybı (perdövites) hücum açıları vermektedir. Mevcut deneysel çalışmaya ek olarak, benzer Reynolds sayısı aralıklarındaki diğer dört literatür çalışması referans vakalar olarak kullanılmıştır. Sayısal karşılaştırmalara ek olarak, kanat profili etrafındaki akışın görsel bir çalışması da hız konturları olarak verilmiştir. Sayısal ve deneysel sonuçlardan, NACA2412 kanat profilinin orta ve yüksek Reynolds sayıları için daha verimli olduğu ve kurulan yük/denge ölçüm sistemi ve mini rüzgâr tünelinin kaldırma ve sürüklenme kuvveti ölçümleri açısından oldukça başarılı olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Hesaplamalı akışkanlar dinamiği, Mühendislik tasarımı, Deneysel inceleme, Yük/denge ölçüm sistemi, Rüzgâr tüneli

*Emre KARA; emrekara@gantep.edu.tr

1. Introduction

Wind tunnels, where pressure distribution, velocity characteristics and aerodynamic forces are measured, play a very important role in many areas, especially in the design process of an aircraft (Barlow et al., 1999). In general, wind tunnels can be considered as structures consisting of two subsystems: a subsystem that provides the air flow and a measurement system where the flow characteristics are measured.

In the field of aeronautics, wind tunnels are infrastructures used to test the interaction of objects with airflow. Aerodynamic investigations in design are carried out by numerical modelling, experimental work (wind tunnel tests) and flight tests/function tests. Wind tunnel testing is essential because the numerical modelling analysis of the airflow needs to be validated experimentally, while real-world testing can be complex, expensive and dangerous.

There are two basic types of wind tunnel, depending on how the airflow circulates: open circuit and closed circuit (Barlow et al. 1999). In an open circuit wind tunnel, air follows a straight path from the entrance region through the contraction to the test section, followed by a diffuser, a fan and the exhaust. These types of tunnels can have an open jet or Eiffel type test section with no solid boundaries or a closed jet or National Physical Laboratory (NPL) type test section with solid boundaries. A closed circuit wind tunnel, also known as a Prandtl or Gottingen type, has the air continuously recirculating with little or no exchange with the exterior. According to Barlow et al. (1999), both open- and closed-circuit and open- and closed-jet designs have advantages and disadvantages. In general, the available funds and the purpose can determine the type of tunnel chosen.

Measuring the total loads on a model in the wind tunnel is important for aerodynamic analysis as it predicts the performance of the model. Four different methods (Barlow et al. 1999) are commonly used to calculate the loads (specifically lift and drag forces) applied to a model in a wind tunnel:

- Direct measurement of load/balance,
- Indirect measurement of the pressure distribution on the surface of the model using holes connected to pressure gauges.
- Indirect measurement of stress distribution across the model using orifices or pressure/shear sensitive coatings.
- Calculation of forces from the equation of motion.

Currently, there are commercially available load/balance measurement system designs for wind tunnels (Ate AEROTECH, 2024) and portable aerodynamic measurement system designs for water tunnels (Koca, 2019). Wind tunnel load (force) balance designs begin with the very first wind tunnel designed in 1871 (Randers-Pehrson, 1935). Mr. Wenham's design uses a vertical steel spindle as the load balance. The design uses a vertical spring steelyard to measure lift and the steelyard connected to the vertical spindle by a lever to measure drag. The measurement procedure is not straightforward, i.e. the lift and drag readings are taken by two people simultaneously. The measurement systems are more compact and digitized in today's wind tunnels; however the procedure does not change. The following paragraphs summarise the load/balance measurement systems constructed for use in educational wind tunnels in the last 15 years:

In the 2009 study by Portman et al. (2009), the model is mounted in the wind tunnel using 6 degrees of freedom (DOF) isotropic force lines suspended in the wind tunnel. It has been found to be easier to calibrate than the external force balance system. However, it cannot be used in the design of a portable measurement system due to its fixed installation in the tunnel.

In the study by Samardžić et al. (2014), the tested model is mounted on a triangular platform with three connecting beams. The triangular platform is connected to three vertical and three horizontal load cells by beams at three corners. Therefore, with this test setup, measurements are made in six axes. This test setup can be used as a reference for future measurement systems, but six-axis load/balance measurement systems are outside the scope of the current study.

In a recent Master's thesis, Fernandes (2018) created a six-axis motion system and a measurement system using the "Stewart" platform. The Stewart platform (Stewart, 1965) is basically formed by connecting two 6-sided tables with rods. The upper table is smaller than the lower table. Ball joints are used to allow axial movement.

As this setup measures in six axes, it is not compatible with a three-axis measuring system, but can be used as a reference for future measuring systems.

In a recent bachelor thesis, Tintoré (2018) designed a three-axis wind tunnel force balance that is very similar to our approach. The study attempts to design a load/balance system for a small low speed wind tunnel capable of measuring lift, drag and pitching moment of small models. The advantages of the current study are the portability and compactness of the proposed measurement system compared to Tintoré's study. In addition, the current study will produce a mini wind tunnel compatible with the proposed measurement system.

Tomin et al. (2020) conducted a study to test the three-axis force balance and its potential for educational purposes, building on the work of Tintoré (2018). The authors aimed to provide a step-by-step guide for researchers to construct a load balance system. They generated aerodynamic data for a NACA 6412 foam wing with a 150 mm chord, using purely experimental methods.

Kumar et al. (2021) developed and calibrated a low-cost six-component wind tunnel balance, similar to Fernandes' (2018) design. They built a 22 kg Stewart platform to serve as the wind tunnel balance and calibrated it using four experimental designs: central composite design, Box-Behnken design, Box-Behnken design with two active filters for decoupling, and modern design of experiments. The authors concluded that the use of reduced order models can shorten calibration time. The paper focuses mainly on reduced order models for calibration rather than the design itself. One issue with the design is its weight, which makes it unsuitable for portability.

Similar to the above studies, there are many models of force/balance measurement systems for wind tunnels. In this study, the measurement system to be used will be more compact and portable, as the three-axis force measurement will be performed on an external balance that is compatible with the mini wind tunnel produced.

The aim of this study is to construct a low-cost mini wind tunnel and a compatible, low-cost load balance measurement system. Previous studies have focused on either building a wind tunnel or a load balance measurement system. However, in this study, both a wind tunnel and a load balance measurement system are developed from scratch. Additionally, a numerical virtual wind tunnel is also created.

In the following materials and methods section, firstly, the mini wind tunnel design is discussed both numerically and constructively. Secondly, the proposed requirements for the load/balance measurement system are summarized and the fabrication methods are given as a summary for both the load/balance measurement system and the mini wind tunnel design.

2. Materials and methods

2.1. Mini wind tunnel design procedures

In this study, a low-cost (nearly 300 \$ including mini wind tunnel construction), portable and compact three-axis load/balance measurement system is constructed that can be adapted and used in wind tunnels of different sizes and characteristics for future academic use. The mini wind tunnel designed for this study is a suction-type, open-circuit, closed-jet wind tunnel, which is designed to meet the basic requirements of a load/balance measurement system and is also easier to manufacture than a closed-circuit wind tunnel. The tunnel consists of four main sections: The entrance section with a settling chamber, the test section, the diffuser and the fan (Figure 1). At the entrance, the settling chamber has a honeycomb structure that allows for streamlined flow. The chamber connects to the test section in a contracted path called the collector. The test section is the region where the experiments are carried out, so the design of the load/balance measurement system is located at the test section. The air is discharged through the diffuser by means of a suction fan located at the outlet section.

In this project, the load/balance measurement is designed to be portable for wind tunnels, adaptable for tunnels of different sizes and flexible to build alongside similar systems. In addition, the cost of commercial measurement systems is high compared to an engineered design. Direct load/balance measurement is selected in this study. This measurement method allows the direct measurement of forces by separating the components of forces with a system of equilibrium with respect to a specific reference system. As Tintore (2018) has stated, there are two types of balances used in load testing: external balances, which carry the loads outside the tunnel

before they are measured, and internal balances, which fit into the models. The NACA 2412 airfoil wing has a chord length of 100 mm and a maximum thickness of 12 mm. The load cells used for load balancing have dimensions of 81 x 13.5 x 13.5 mm. Due to the dimensions of the load cells, it is not feasible to use an internal balance system in the low-cost design. In another case, Barlow et al. (1999) state that external balances have a higher resolution and a greater ability to maintain their calibration over very long periods of time compared to internal balances. Therefore, it is more convenient to use external balance system in this study.

The first step in the current design study is to numerically design and build a simple mini wind tunnel. Secondly, the main subject of the study, the load/balance measurement system, is constructed and placed in the test section of the mini wind tunnel.

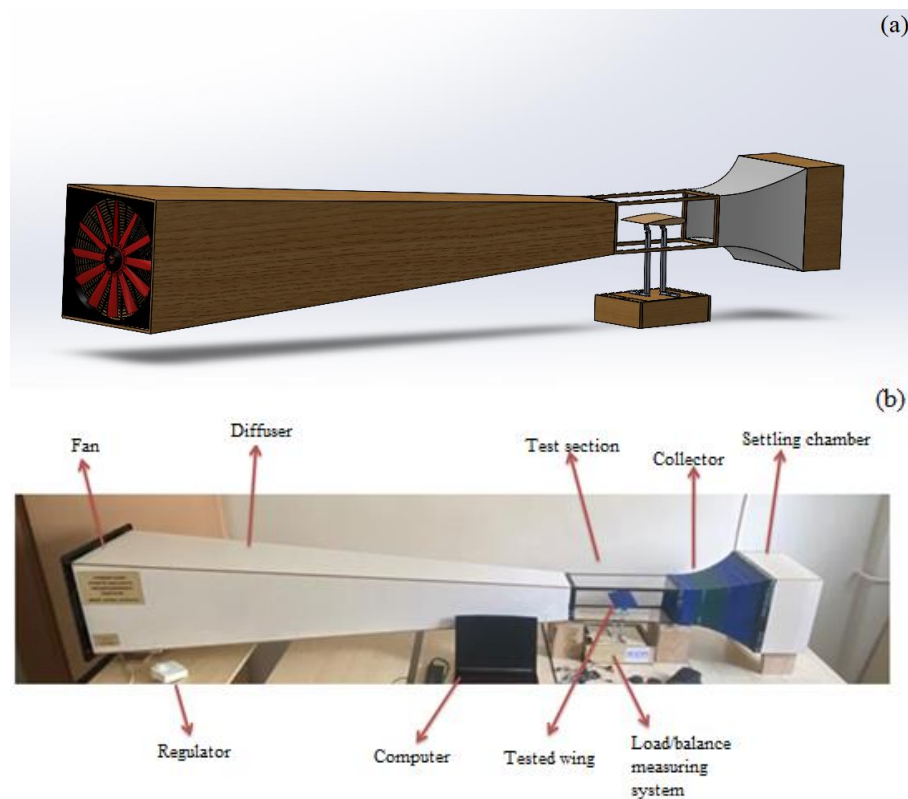


Figure 1. (a) Mini wind tunnel design, (b) the parts of the manufactured wind tunnel with tested wing and the load/balance measurement system

The steps in mini wind tunnel design can be summarized as follows:

- Using the general rules given in Barlow et al. (1999), the solid parts of the wind tunnel are designed in a SolidWorks CAD program. The dimensions of the wind tunnel are given in Figure 2.
- Prior to fabrication of the parts, the corresponding fluid (air) domain inside the wind tunnel is designed in ANSYS DesignModeler, meshed in ANSYS Meshing and the flow simulated in ANSYS Fluent computational fluid dynamics (CFD) solver for an inlet velocity of 3.4 m/s. 24 case studies (3 turbulence models \times 8 angles of attack) are carried out to find the most appropriate turbulence model, namely Spalart-Allmaras, Realizable k - ϵ and Shear-Stress-Transport (SST) k - ω at angles of attack (α) of -4° , 0° , 4° , 8° , 12° , 16° , 18° and 20° . Details of the numerical design prior to these CFD procedures are given in Section 2.1.1.
- After the design of the load/balance measurement system (details are given in Section 2.1.2.), the design of the wind tunnel (Figure 1.b) is ensured to be the ultimate before the manufacturing steps.
- After numerical verification of low turbulence intensity (average 3%), streamlined flow in the range $\alpha = -4^\circ$ to 20° inside the test section of the wind tunnel, the manufacturing processes are started.
- First, the honeycomb and the collector are fabricated in a 3D printer.
- The entrance area enclosing the honeycomb and the diffuser are made of wood material due to its lower cost and higher stiffness compared to sheet metal.

- The test section is made of transparent plexiglas material for flow visualization studies in future work.
- The fan with a regulator is mounted at the end of the diffuser.

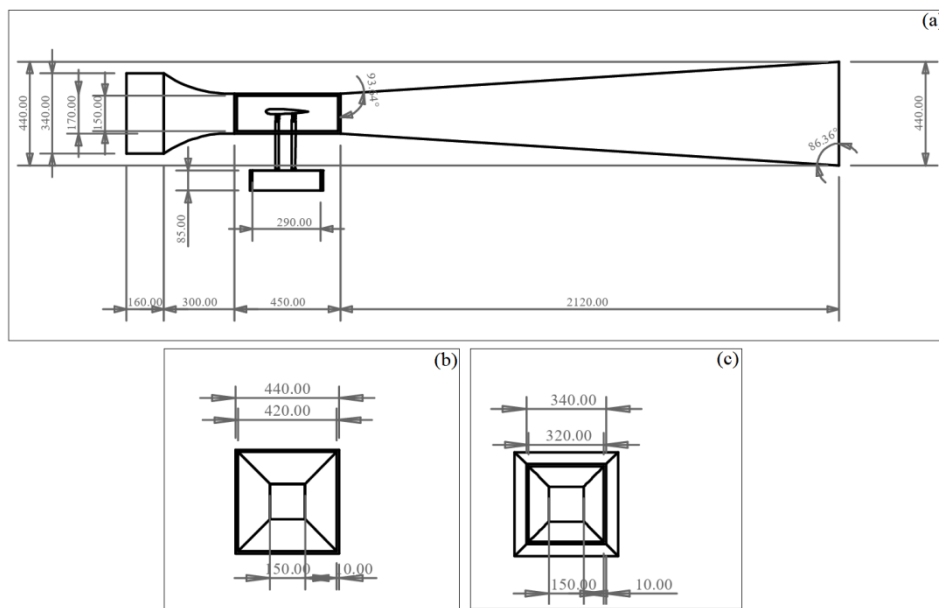


Figure 2. The dimensions of the wind tunnel from different views: (a) side view, (b) left view, (c) right view.

2.1.1. Mini wind tunnel numerical design

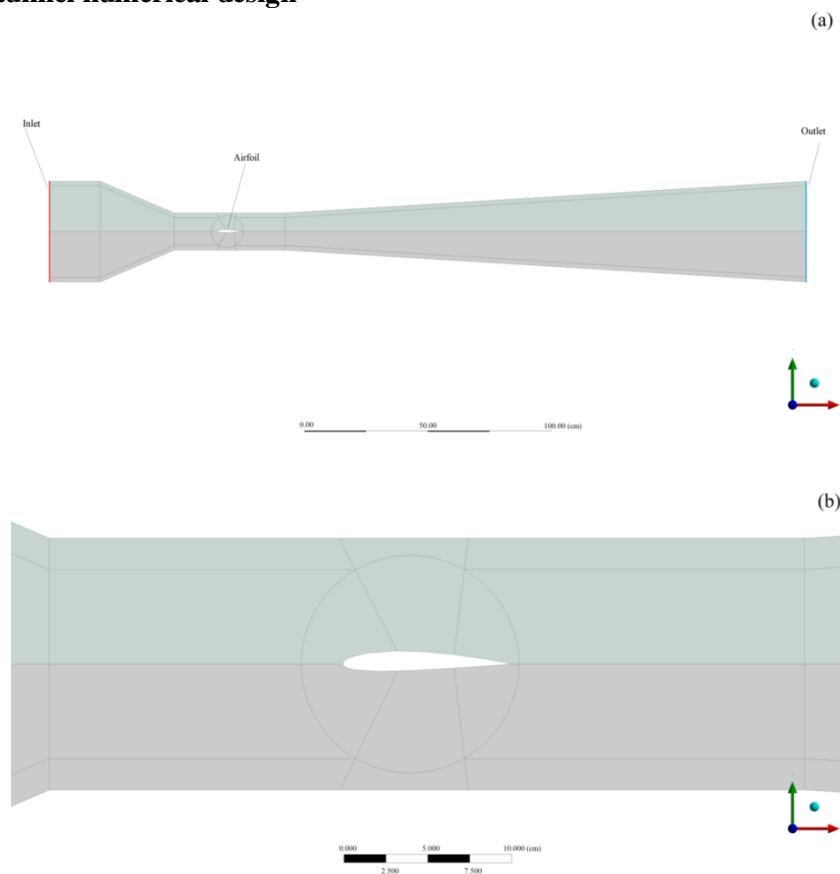


Figure 3. (a) The computational domain in the wind tunnel, (b) close up view of the airfoil in the test section of the wind tunnel

All CFD simulations are performed on a laptop workstation with Intel 8-core (16 threads) i7-11800H CPU, NVIDIA Quadro T600 (4 GB GDDR6) GPU, 64 GB DDR4 RAM. The wind tunnel geometry for the 2D CFD simulations is generated from the XY plane of 3D model shown in Figure 1.a. The computational domain is

subdivided into regions as shown in Figure 3.a to generate a high quality structured mesh. A circular region around the airfoil is divided into six small regions as shown in Figure 3.b to generate an O-type mesh around the airfoil.

Once the regions have been defined, a mesh is generated in the ANSYS Meshing module. Figure 4.a shows the general view of the initially generated moderate mesh. Figures 4.b and 4.c show close-up views of the mesh generated around the airfoil. In the test section region, the computational domain is meshed with structured elements, but an additional triangulation is added outside the O-type mesh. Before conducting CFD analyses, the O-type region surrounding the airfoil is rotated and meshed for each angle of attack, separately. The range is selected in the same way as in the experimental study. The edge mesh size around the airfoil is set to be inflation so that $y^+ < 1$. Mesh independence test for the optimum mesh selection is given in Section 3.1.

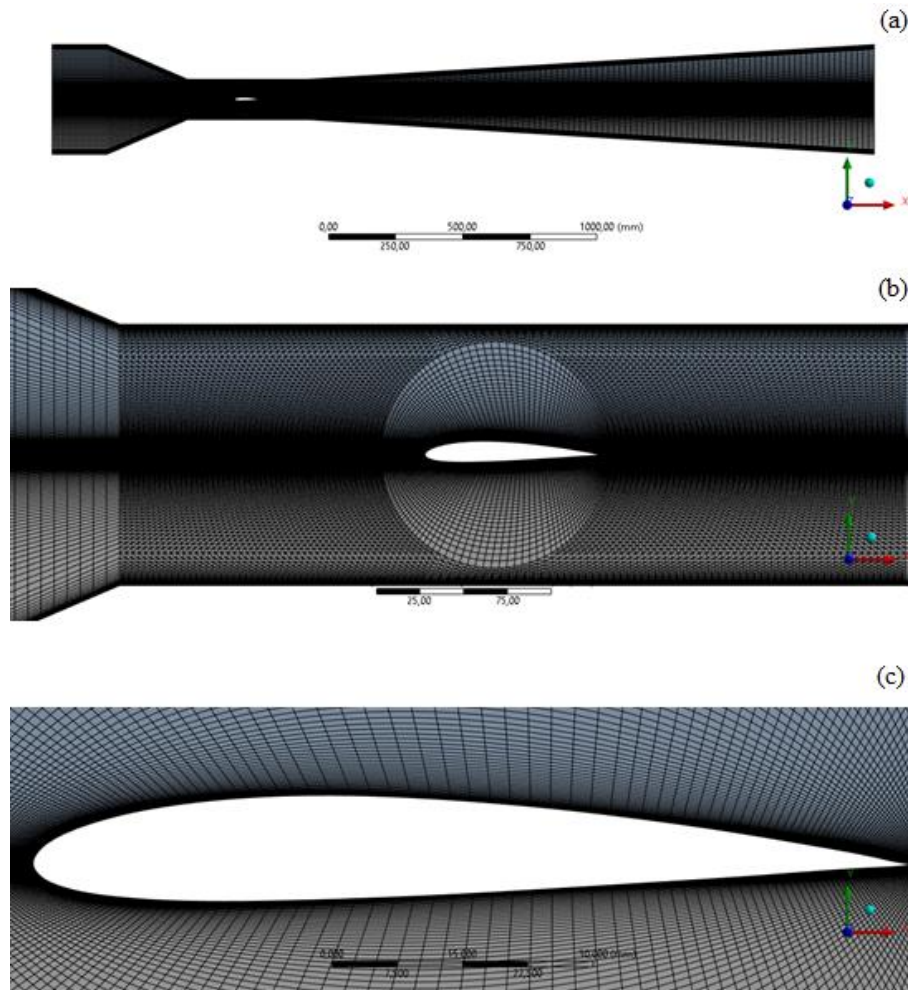


Figure 4. (a) General view of the mesh generated inside the wind tunnel, (b) close up view of the mesh generated inside the test section, (c) close up view of the mesh generated around the NACA 2412 airfoil

2.1.2. Load/balance measurement system design

The design of the load/balance measurement system is inspired by the design of Tintoré (2018), but is more compact and portable. The dimensions of the proposed load/balance measurement system are given in Figure 5. As shown in Figure 6, the measurement system consists of two rollers under the stand, two load cells (load cell-1 and load cell-2) on the stand, connected to the corresponding wing model by vertical rods. The rollers allow the stand to move freely in the longitudinal direction, so that load cell-3 can be used as the drag force measurement module, while the other load cells are used to measure the lift force. The lift force measurement is based on the principle of two load cells working synchronously. The outputs of the load cells, one at the leading edge and the other at the trailing edge of the wing, are processed in Arduino with the effect of the compression force difference and the lift force is calculated. In the same way, drag is measured by capturing the free flow directed motion of the load sensing system balanced on the rollers located under the load cells.

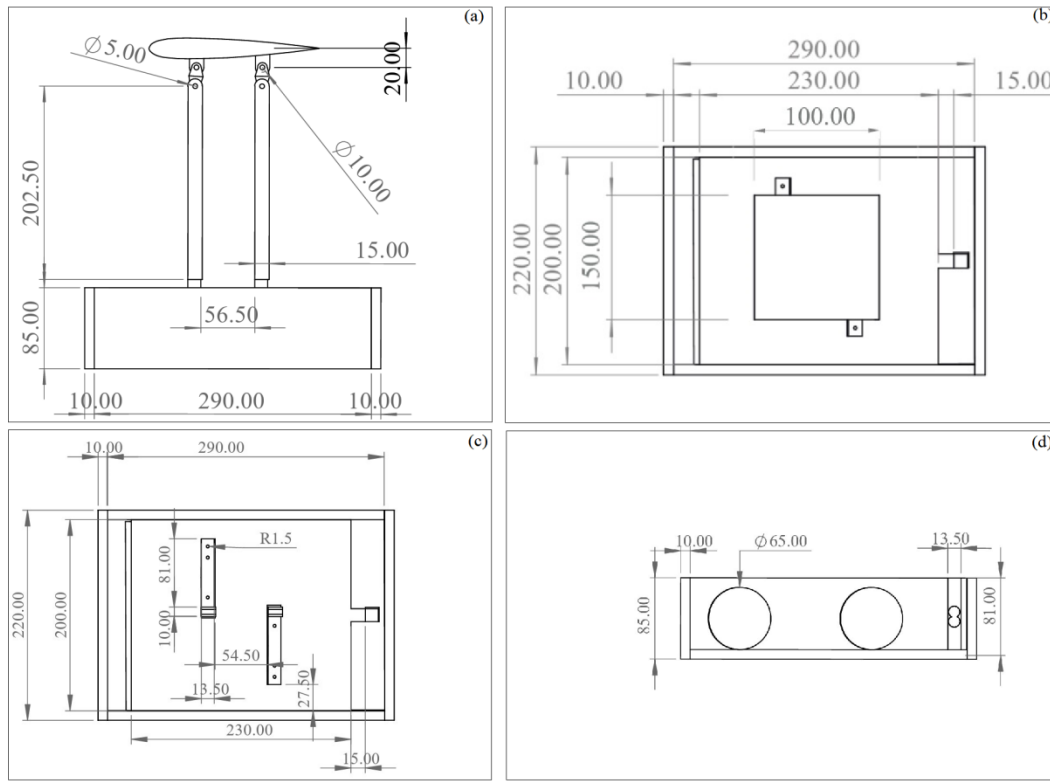


Figure 5. (a) Side view of the load/balance measurement system design (b) top view of the load/balance measurement system design, (c) top view of the load/balance measurement system design (without airfoil), (d) the stationary box enclosing the rollers and one of the load cells.

The following equations are used to measure the lift and drag forces:

$$L = F1 + F2 \quad (1)$$

$$D = F3 \quad (2)$$

Additionally, lift coefficient, C_l and drag coefficient C_d are computed as follows:

$$C_l = \frac{L}{\frac{1}{2}\rho V^2 A} \quad (3)$$

$$C_d = \frac{D}{\frac{1}{2}\rho V^2 A} \quad (4)$$

where ρ is the density [kg/m^3] of air at the inlet of the test section, V is the inlet velocity at the inlet of the test section, A is the planform area [m^2] of the wing.

From CFD calculations, $\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$, $V = 9 \text{ m/s}$ and $A = b \times c = 0.15 \times 0.1 = 0.015 \text{ m}^2$. In the planform area calculation, b stands for the wing span [m] and c stands for the chord length [m]. Also, Reynolds number in terms of the chord length is found to be 60000 using the following equation:

$$Re = \frac{\rho V c}{\mu} \quad (5)$$

where μ is the kinematic viscosity [Pa.s] of air and is taken as $1.7894 \times 10^{-5} \text{ Pa.s}$.

Sensor data acquisition codes are written using the Arduino IDE and force measurement experiments are performed at various angles of attack on the NACA2412 airfoil at Reynolds number of 60000, for the maximum flow rate of $5200 \text{ m}^3/\text{h}$ through the fan controller in the constructed mini wind tunnel.

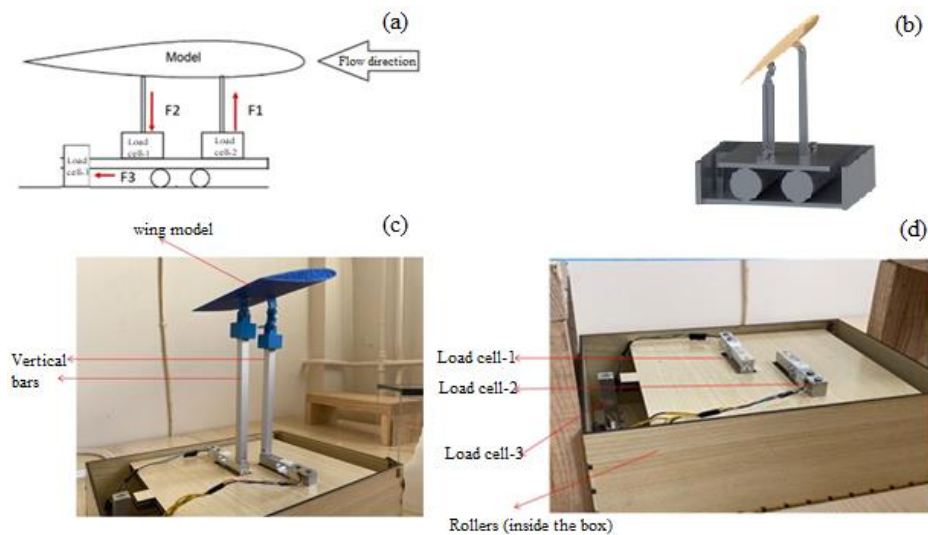


Figure 6. (a) Simplified diagram of the load/balance measurement system design (b) three dimensional design of the load/balance measurement system, (c) manufactured load/balance measurement system with the wing model attached on it, (d) close up view of the placements of the load cells and rollers.

3. Results

In the results section, a mesh independence test is first performed for the computational domain of the mini wind tunnel design. Secondly, the turbulence models, Spalart-Allmaras, Realizable $k-\epsilon$ and SST $k-\omega$ are compared for their success in predicting aerodynamic characteristics, i.e. lift and drag, and stall angle of attack. After selecting the most successful turbulence model, a comparison of the CFD results with the experimental results of the current study and similar experimental studies from the literature close to the Reynolds number of the current study is given. Finally, at the end of the results section, the streamlined flow through the wind tunnel is visualized using ANSYS Fluent 2022 R2 (2022).

3.1. Mesh independence test

The first step before proceeding with the CFD solution for the computational domain is to perform a mesh independence test. The meshes are categorized as coarse (Mesh1), moderate (Mesh2), fine (Mesh3) and extra-fine (Mesh4) depending on the number of elements. The sizes are given in Table 1 with their additional informations. For a high quality mesh structure, the minimum orthogonal quality is expected to be greater than 0.1 and the maximum skewness is expected to be less than 0.95 (Ansys Theory Guide, 2022). From tabulated values below, all the meshes produced can be considered to be of good quality.

Figure 7 shows the change in drag and lift coefficients with the number of elements tabulated below. As can be seen from the minimal change in both coefficients for an increase in the number of elements from Mesh3 (175000 elements) to Mesh4 (357000 elements), we conclude that Mesh3 is adequate for the remainder of the study. Also, the last column in Table 1 shows that the y^+ value for both Mesh3 and Mesh4 is less than 1, so both are applicable.

Table 1. Data information for the tested number of elements

Mesh name	Category	Number of elements	Average mesh spacing (mm)	Maximum skewness	Minimum orthogonal quality	y^+ value
Mesh1	Coarse	45300	0.200	0.9167	0.1324	1.9604
Mesh2	Moderate	90000	0.100	0.9167	0.1319	1.4909
Mesh3	Fine	175400	0.050	0.9167	0.10635	0.4207
Mesh4	Extra-fine	357000	0.025	0.9167	0.10235	0.4206

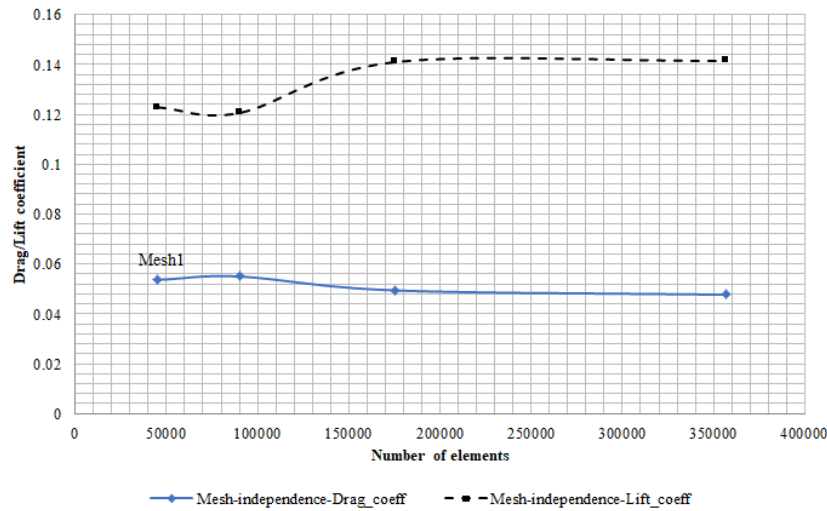


Figure 7. Mesh independence study results for drag coefficient and lift coefficient convergences vs number of elements

3.2. CFD solution compared to experimental results

The pressure-based solver with Spalart-Allmaras, Realizable k-ε and SST k-ω turbulence models are used for the computational domains shown in Figure 4. The SIMPLEC solution method is used in the ANSYS Fluent flow solver and the conservation of mass, conservation of momentum and turbulence equations are solved to a lower bound of 10⁻⁵ residual. The solutions are generated for a range of geometric angle of attacks, α = -4°, 0°, 4°, 8°, 12°, 16°, 18° and 20°.

Figure 8 shows the lift coefficient, C_l, and drag coefficient, C_d, distributions for the NACA 2412 airfoil at Re = 60000 over the range of angles of attack between -4° and 20°. For low angles of attack between -4° and 4° C_l the predictions of the turbulence models do not differ. Spalart-Allmaras and realizable k-ε turbulence models differ only in their stall angles of attack. Realizable k-ε turbulence models give more realistic high stall angle of attack than other turbulence models, similar to the experimental results. The C_d predictions of the turbulence models do not change much, only SST k-ω gives small fluctuations in the moderate angle of attack. The values are tabulated and compared with the current experimental study in Tables 2 and 3. As can be seen in the total average error column and Equations 6 and 7 below, this turbulence model will be used as a comparable CFD study for the experimental data in the following paragraphs.

$$E_l = \frac{\sum_{\alpha=-4^\circ}^{20^\circ} [C_{l,e}(\alpha) - C_l(\alpha)]}{8} \tag{6}$$

$$E_d = \frac{\sum_{\alpha=-4^\circ}^{20^\circ} [C_{d,e}(\alpha) - C_d(\alpha)]}{8} \tag{7}$$

Table 2. Comparison of C_l values for the selected turbulence models with experimental study

Turb. Model	α								E _l , Total average error
	-4°	0°	4°	8°	12°	16°	18°	20°	
Spalart-Allmaras	-0.431	0.187	0.584	0.919	1.090	1.212	1.204	1.135	-0.139
Realizable k-ε	-0.547	0.119	0.457	0.741	0.894	1.178	1.151	0.993	-0.025
SST k-ω	-0.403	0.182	0.610	0.815	1.111	1.205	1.329	1.157	-0.151
Exp. Study, C _{l,e}	-0.272	0.030	0.610	0.697	0.882	0.925	1.012	0.903	-

Table 3. Comparison of C_d values for the selected turbulence models with experimental study

Turb. Model	α								E_d , Total average error
	-4°	0°	4°	8°	12°	16°	18°	20°	
Spalart-Allmaras	0.034	0.024	0.029	0.043	0.078	0.241	0.406	0.428	0.239
Realizable k- ϵ	0.090	0.056	0.057	0.074	0.111	0.251	0.467	0.439	0.206
SST k- ω	0.152	0.018	0.064	0.037	0.156	0.314	0.632	0.471	0.169
Exp. Study, $C_{d,e}$	0.269	0.134	0.269	0.349	0.403	0.443	0.564	0.766	-

As the mesh independence tests have been successfully generated and there is no divergence for any of the angles of attack, it is unlikely that the large errors at angle of attacks of -4° , 0° , 4° lies with the mesh quality or the numerical solution technique. However, it may be related to the vertical bars attached under the wing and the walls enclosing the wind tunnel test section. The drag is increased by the additional body of the vertical bars' cross-sections at low angles of attack, specifically between -4° and 4° . Additionally, these extra components significantly reduce lift at the same angle of attack due to their less aerodynamic shape. Nonetheless, the overall presentation of the C_l vs α and C_d vs α curves in Figure 8 is unaffected, especially at the critical stall angle of attack, 18° and post-stall angle of attack, 20° .

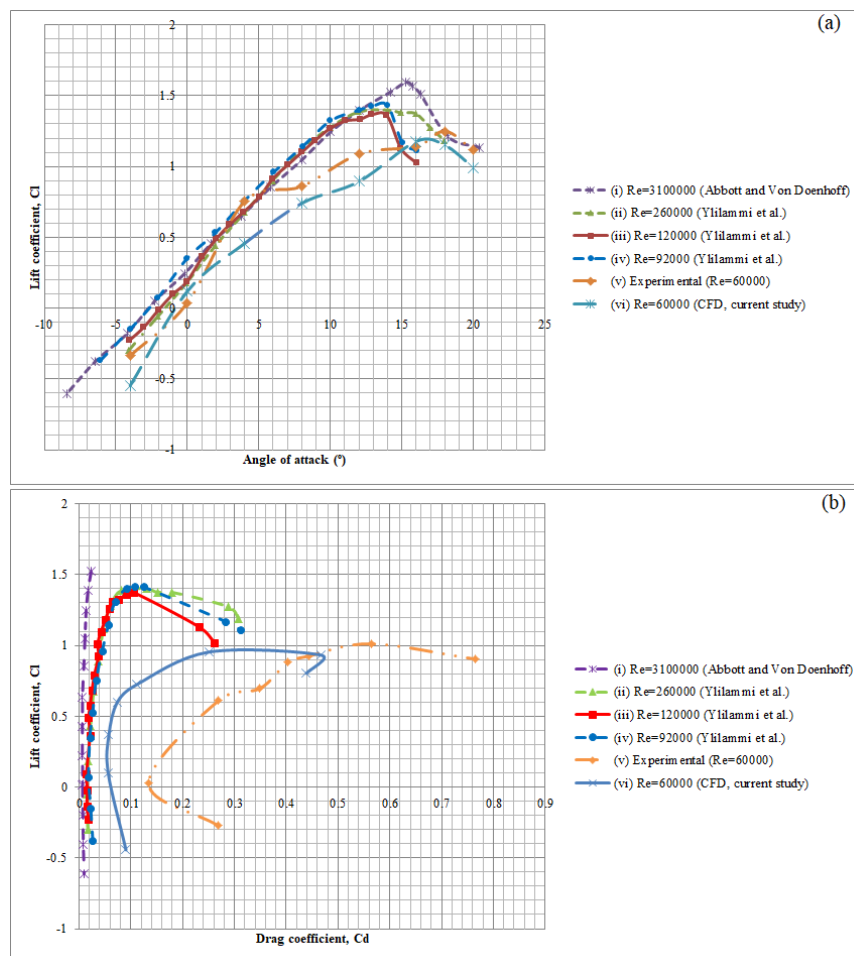


Figure 8. Comparison of lift coefficient, C_l (a) vs angle of attack, α , and (b) vs drag coefficient, C_d for experimental results of (i) Abbott et al. (1945) at $Re = 3100000$, (ii) Yililammi et al. (2010) at $Re = 260000$, (iii) Yililammi et al. (2010) at $Re = 120000$, (iv) Yililammi et al. (2010) at $Re = 92000$ with (v) current experimental study at $Re = 60000$ and (vi) current CFD study at $Re = 60000$ around the NACA 2412 airfoil

The current study is generated both numerically and experimentally for a low Reynolds number flow of 60000 around a small scale ($c = 0.1\text{m}$) NACA 2412 airfoil profile wing. Figure 8 examines a wide range of Reynolds numbers for the flow around NACA 2412, varying from 92000 (Ylilammi et al., 2010) to 310000 (Abbott et al., 1945) from the literature. As can be seen in Figure 8.a, a similarity between the reference studies and the current study is captured for angles of attack between -4° and 4° . After moderate angles of attack, i.e. higher than 4° , the C_l curve cannot rise to higher values, but this is an expected result since the Reynolds number is very much lower than in the reference studies. Looking at the differences between the experimental and CFD study of C_l , the stall angle of attack is slightly different between 16° and 18° but at the same level of C_l , 1.2 to 1.25. Thus, it can be concluded that the realizable $k-\varepsilon$ turbulence model can be considered as a successful model to predict the change of C_l with α . Looking at Figure 8.b, the variation of C_d with C_l is also comparable with reference studies, but the drag effect for the reference studies is higher for the same C_l values as expected. In conclusion, the NACA 2412 airfoil profile wings are more efficient for the medium to high Reynolds numbers and the constructed load/balance measurement system and mini wind tunnel are successful in terms of C_l and C_d measurements.

The velocity contours of the flow inside the wind tunnel and the close-up view of the test section with the NACA 2412 airfoil in it are shown in the following figures for the selected turbulence model, realizable $k-\varepsilon$ turbulence model.

In Figure 9, at $\alpha = -4^\circ$, velocity contours are nearly the same in the settling chamber and collector section so that the wind tunnel design fulfills the uniform flow expectations for these sections. Additionally, realizable $k-\varepsilon$ turbulence model displays the separation from the leading edge through wake region as expected.

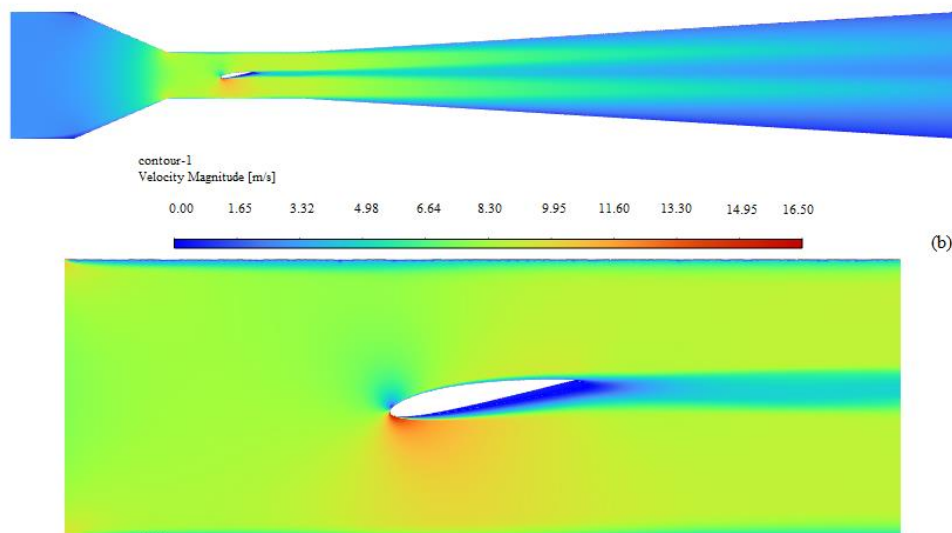


Figure 9. Velocity contours (a) inside the virtual wind tunnel and (b) around the NACA 2412 airfoil, $\alpha = -4^\circ$, $Re = 60000$, realizable $k-\varepsilon$ turbulence model

At angle of attack, $\alpha = 0^\circ$, the velocity contours differ between settling chamber to test section from 2.10 m/s to 10.50 m/s as shown in Figure 10. At angle of attack, $\alpha = 4^\circ$, as seen in Figure 11 the contours show a realistic separation behavior near the trailing edge.

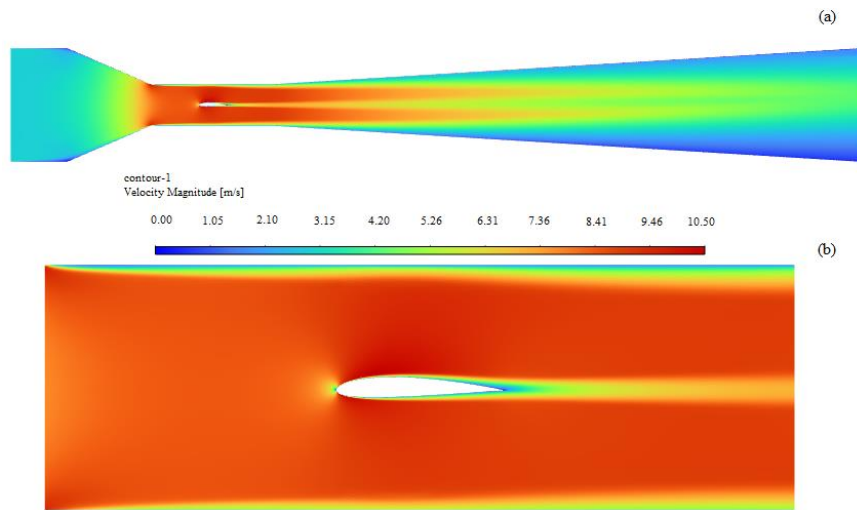


Figure 10. Velocity contours (a) inside the virtual wind tunnel and (b) around the NACA 2412 airfoil, $\alpha = 0^\circ$, $Re = 60000$, realizable $k-\epsilon$ turbulence model

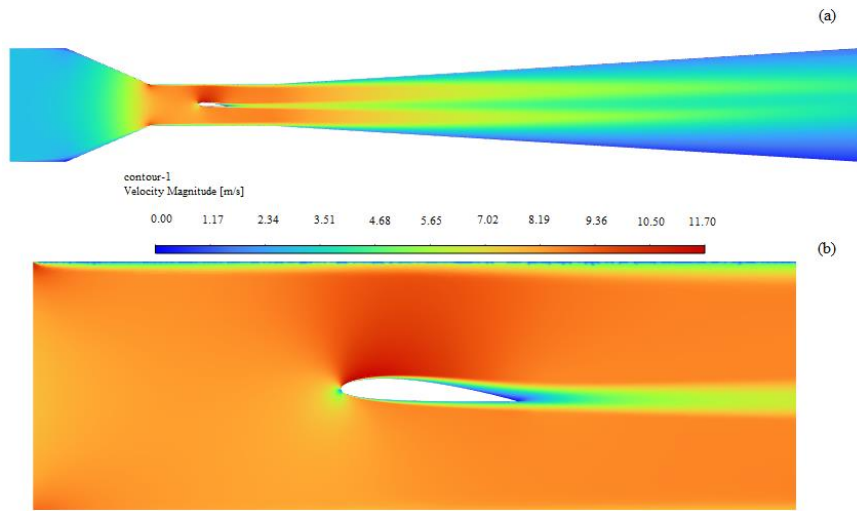


Figure 11. Velocity contours (a) inside the virtual wind tunnel and (b) around the NACA 2412 airfoil, $\alpha = 4^\circ$, $Re = 60000$, realizable $k-\epsilon$ turbulence model

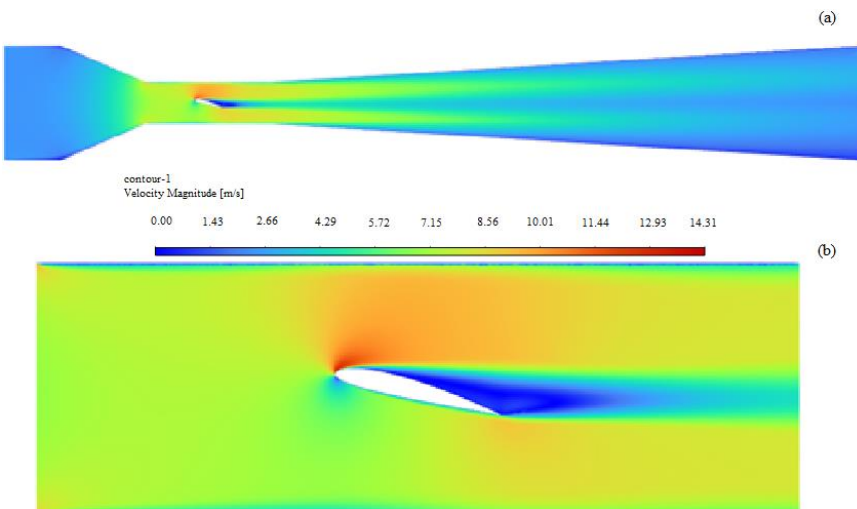


Figure 12. Velocity contours (a) inside the virtual wind tunnel and (b) around the NACA 2412 airfoil, $\alpha = 8^\circ$, $Re = 60000$, realizable $k-\epsilon$ turbulence model

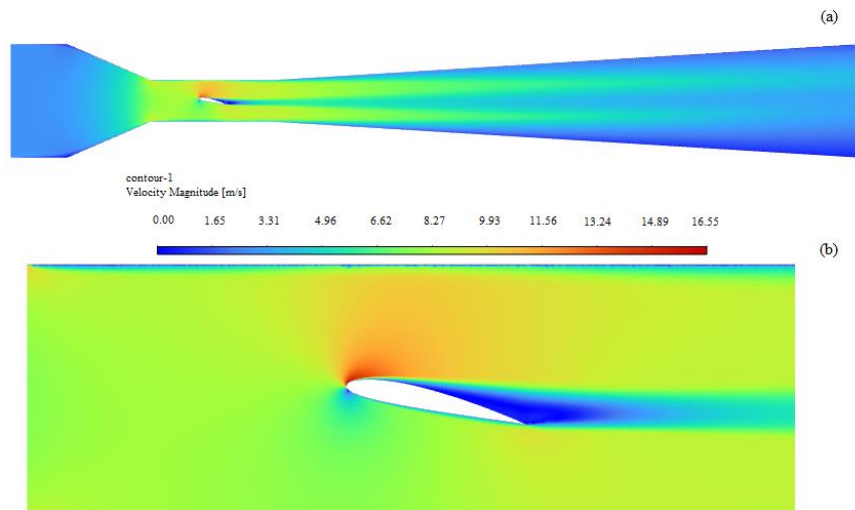


Figure 13. Velocity contours (a) inside the virtual wind tunnel and (b) around the NACA 2412 airfoil, $\alpha = 12^\circ$, $Re = 60000$, realizable $k-\epsilon$ turbulence model

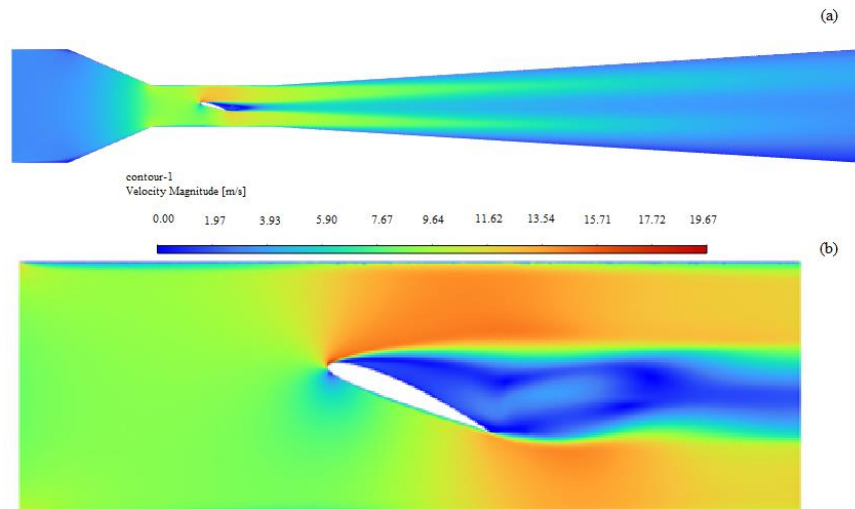


Figure 14. Velocity contours (a) inside the virtual wind tunnel and (b) around the NACA 2412 airfoil, $\alpha = 16^\circ$, $Re = 60000$, realizable $k-\epsilon$ turbulence model

At angle of attack, $\alpha = 8^\circ$, the realizable $k-\epsilon$ turbulence model exhibit leading edge separation and a uniform wake region as shown in Figure 12. At angle of attack, $\alpha = 12^\circ$, realizable $k-\epsilon$ turbulence model gives a good prediction of separation location over the upper surface in Figure 13.b.

At angle of attack, $\alpha = 16^\circ$, realizable $k-\epsilon$ turbulence model predict the vortex shedding at the wake region in Figure 14, successfully. At high angle of attacks 18° and 20° , in Figures 15 and 16, respectively, the case study with realizable $k-\epsilon$ model continues to show the vortex shedding behavior in the wake region as expected.

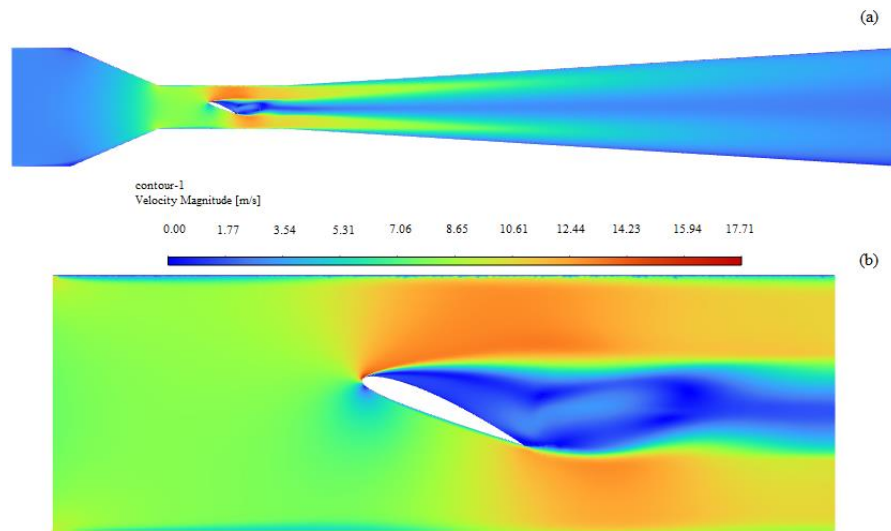


Figure 15. Velocity contours (a) inside the virtual wind tunnel and (b) around the NACA 2412 airfoil, $\alpha = 18^\circ$, $Re = 60000$, realizable $k-\varepsilon$ turbulence model

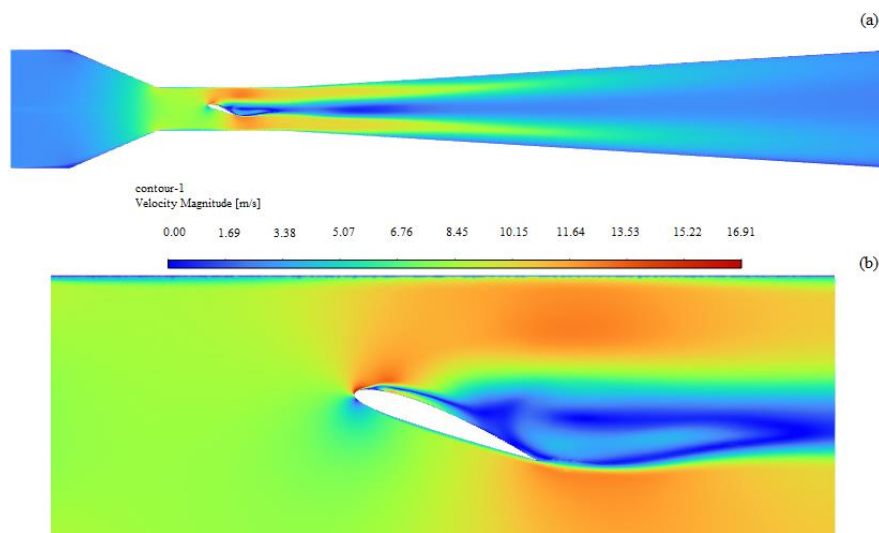


Figure 16. Velocity contours (a) inside the virtual wind tunnel and (b) around the NACA 2412 airfoil, $\alpha = 20^\circ$, $Re = 60000$, realizable $k-\varepsilon$ turbulence model

4. Conclusion

In this study, a portable three-axis load/balance measurement system in a mini wind tunnel is investigated both numerically and experimentally. A low-cost, portable and compact three-axis load/balance measurement system that can be adapted and used in wind tunnels of different sizes and characteristics is constructed for future academic use.

As a result of the mesh independence test, a mesh of 175000 elements is found to be sufficient for the current numerical (virtual) wind tunnel design. Realizable $k-\varepsilon$ turbulence model gives more realistic high stall angles of attack than other turbulence models, similar to experimental results. Numerically, the best C_l prediction (an average error of -0.025) is generated by the realizable $k-\varepsilon$ turbulence model, and it came second (an average error of 0.206) in the C_d prediction. Using this turbulence model, the overall representation of the C_l vs α and C_d vs α curves is successful, especially at the critical stall angle of attack of 18° and the post-stall angle of attack of 20° .

In addition to the current experimental study, four other literature studies in similar Reynolds number ranges are used as reference cases. A similarity between the reference studies and the current study is found for angles of attack between -4° and 4° . After moderate angles of attack, i.e. higher than 4° , the C_l curve cannot rise to

higher values, but this is an expected result since the Reynolds number is very much lower than in the reference studies. Looking at the differences between the experimental and CFD study of C_l , the stall angle of attack is slightly different between 16° and 18° , but at the same level of C_l , 1.2 to 1.25. The variation of C_d with C_l is also comparable to the reference studies, but the drag effect for the reference studies is higher for the same C_l values.

A visual study of the flow around the NACA 2412 airfoil is given as velocity contours in addition to the numerical comparisons. At an angle of attack of $\alpha = 0^\circ$, the velocity contours vary from 2.10 m/s to 10.50 m/s between the settling chamber and the test section. The contours show a realistic separation behaviour near the trailing edge at an angle of attack of $\alpha = 4^\circ$. At an angle of attack of $\alpha = 8^\circ$, the realizable k- ϵ turbulence model shows leading edge separation and a uniform wake region. At an angle of attack of $\alpha = 12^\circ$, the model gives a good prediction of the separation location over the upper surface. At an angle of attack of $\alpha = 16^\circ$, the model successfully predicts the vortex shedding in the wake region. At high angles of attack, 18° and 20° , the case study continues to show the vortex shedding behaviour in the wake region as expected.

From the numerical and experimental results, it is concluded that the NACA 2412 airfoil profile wings are more efficient for moderate to high Reynolds numbers and the constructed load/balance measurement system and mini wind tunnel are highly successful in terms of C_l and C_d measurements.

Acknowledgement

This work is financially supported by the Scientific Research Project Fund (BAP) of GAZIANTEP UNIVERSITY under the project number HUBF.ÖKAP.22.01. The 3D printing and laser cutting processes are completed at the IOM FabLab Application Center, Gaziantep Office.

Author contribution

The contribution role of E. Kara includes conceptualization, data curation, formal analysis, funding acquisition, investigation, methodology, project administration, supervision, validation, visualization, writing – original draft, and writing – review & editing. The contribution role of K. Öztürk includes data curation, formal analysis, investigation, and writing first part of the original draft.

Declaration of ethical code

The authors of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethics committee approval and/or legal-special permission.

Conflicts of interest

No potential conflict of interest was reported by the authors.



References

- Abbott, I. H., Von Doenhoff, A. E., & Stivers Jr, L. (1945). *Summary of airfoil data (No. NACA-TR-824)*. <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19930090976/downloads/19930090976.pdf>
- ANSYS Fluent Theory Guide (2022, July). https://ansyshelp.ansys.com/Views/Secured/corp/v222/en/pdf/Ansys_Fluent_Theory_Guide.pdf
- ANSYS Fluent User's Guide (2022, July). https://ansyshelp.ansys.com/Views/Secured/corp/v222/en/pdf/Ansys_Fluent_Users_Guide.pdf
- Ate AEROTECH - 3 Component External Wind Tunnel Balances. (2024, January 11). <http://www.ate-aerotech.co.uk/capabilities/aerodynamic-test-equipment/external-balances/3-component-external-wind-tunnel-balances>
- Barlow, J. B., Rae, W. H., & Pope, A. (1999). *Low-speed wind tunnel testing* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
- Fernandes, J. T. (2018). *Design of a wind tunnel force balance* [Master's thesis, Technical University of Lisbon].

- Koca, M. S. (2019). *Su tünellerinde model hareket kontrolü ve senkron aerodinamik kuvvet ölçüm sistemi tasarımı* [Master's thesis, Başkent University Institute of Science].
- Kumar, R., Srivatsa, B. R., & Subramanian, B. (2021). Calibration design evaluations through computational analysis and investigation of a six-component wind tunnel balance. *ISSS Journal of Micro and Smart Systems*, 10, 7-31.
- Portman, V., Sandler, B. Z., Chapsky, V., & Zilberman, I. (2009). A 6-DOF isotropic measuring system for force and torque components of drag for use in wind tunnels: Innovative design. *International Journal of Mechanics and Materials in Design*, 5, 337-357. <https://doi.org/10.1007/s10999-009-9106-6>
- Randers-Pehrson, N. (1935). Pioneer wind tunnels. *Smithsonian Miscellaneous Collections*.
- Samardžić, M., Anastasijević, Z., Marinkovski, D., Ćurčić, D., & Isaković, J. (2014). External six-component strain gauge balance for low speed wind tunnels. *Scientific Technical Review*, 64(3), 40-46. <https://doi.org/10.1007/s10999-009-9106-6>
- Stewart, D. (1965). A Platform with six degrees of freedom. *International Journal of Mechanics and Materials in Design Proceedings of the Institute of Mechanical Engineers*, 180(1), 371-386. https://doi.org/10.1243/PIME_PROC_1965_180_029_02
- Tintoré, I. B. (2018). *Design of a Three-axis Wind Tunnel Force Balance* [Bachelor's thesis, University of Zagreb Faculty of Transport and Traffic Sciences].
- Tomin, M., Scipioni, M., & Gatti, B. (2020). Design, Construction and Testing of a 3-Component Force Balance for Educational Wind Tunnels in Undergraduate Aerodynamics. *Journal of Aviation/Aerospace Education & Research*, 29(1), 89-105.
- Ylilammi, N., Cavalieri, A. V. B., & Soenne, E. (2010). Experimental and computational study of two flapped airfoils at low Reynolds Numbers. 27th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences (ICAS) (pp. 1-9), Nice, France.

Aktif ve pasif kaynaklı yüzey dalgası verileri kullanılarak yer etkisine dayalı mikrobölgelendirme: Gümüşhane örneği

Microzonation based on site effect using active and passive source surface waves data: The case of Gümüşhane

Yasemin BEKER USTA*¹ , Nilgün SAYIL² 

¹Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 29100, Gümüşhane

²Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon

• Geliş tarihi / Received: 12.01.2024

• Kabul tarihi / Accepted: 02.052024

Öz

Gümüşhane ili, sismik aktivite açısından sakin bir bölge olmakla birlikte Kuzey Anadolu Fay Zonu'na (KAFZ) yakın olması sebebiyle deprem tehlikesi altındadır. Dolayısıyla, hızlı ve yoğun bir yapılaşma süreci içerisinde olan Gümüşhane ili merkez ilçesinde, yerel zemin etkilerinin ortaya çıkarılması büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla, Yatay/Düşey Spektral Oran (HVSr) ve Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analizi (MASW) uygulanarak yer etkilerinin tespitinde önemli parametreler olan baskın frekans/periyot, büyütme potansiyelini tanımlayan HVSr ve ilk 30 metreye ait ortalama S-dalgası hızı (V_{S30}) hesaplanmıştır. Tek istasyonda toplanan mikrotremor verilerinden inceleme alanı için belirlenen baskın frekanslar 1.21-13.40 Hz, baskın periyotlar 0.07-0.82 sn, büyütme potansiyel değerleri 1.12-9.76 ve V_{S30} değerleri ise 300.2-677.2 m/sn arasında değişmektedir. Ayrıca hesaplanan V_{S30} değerleri kullanılarak inceleme alanı için TBDY (2018), NEHRP (2020) ve Eurocode-8 (2004)'e göre zemin sınıfları tanımlanmıştır. HVSr ve MASW yöntemlerinden elde edilen ölçüm parametreleri kullanılarak çalışma alanına ait baskın frekans, baskın periyot, büyütme potansiyel riski ve V_{S30} değerlerine ait mikrobölgelendirme haritaları oluşturulmuştur. Bu haritalara göre Gümüşhane ili merkez ilçesinde yüksek baskın frekans ve düşük baskın periyot bölgelerinin düşük büyütme potansiyeline ve yüksek V_{S30} değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Bu çalışma ile Gümüşhane ili merkez ilçesi için farklı jeofizik yöntemlerden elde edilen zemin parametrelerinin birbirleriyle ve bölgenin jeolojik yapısıyla iyi bir uyum gösterdiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Çok kanallı yüzey dalgası analizi (MASW), Gümüşhane, HVSr, Mikrobölgelendirme, Mikrotremor, Yer etkisi

Abstract

Although Gümüşhane province is a quiet region in terms of seismicity, it is under earthquake danger due to its proximity to the NAFZ. Therefore, it is of great importance to reveal the local site effects in the central district of Gümüşhane province, which is in a rapid and intense construction process. For this purpose, the predominant frequency (or period), horizontal to vertical spectral ratio (HVSr) defining the amplification potential and S-wave velocity (V_{S30}) values, which are important parameters in the detection of site effects, were calculated by applying the HVSr and multichannel surface wave analysis (MASW). The predominant frequencies determined for the investigation area from microtremor data collected at a single station vary between 1.21-13.40 Hz, dominant periods between 0.07-0.82 sec, amplification potential values between 1.12-9.76 and V_{S30} values between 300.2-677.2 m/sec. Additionally, using the calculated V_{S30} values, soil classification was defined for the investigation area according to TBDY (2018), NEHRP (2020) and Eurocode-8 (2004). Using the measurement parameters obtained from HVSr and MASW methods, microzonation maps of the predominant frequency, predominant period, amplification potential risk and V_{S30} values of the study area were created. According to these maps, it was seen that the high predominant frequency and low predominant period regions in the central district of Gümüşhane province had low magnification potential and high V_{S30} values. With this study, it has been concluded that the ground parameters obtained from different geophysical methods for the central district of Gümüşhane province are in good harmony with each other and with the geological structure of the region. With this study, it has been concluded that the site effect parameters obtained from different geophysical methods for the central district of Gümüşhane province are in good harmony with each other and with the geological structure of the region.

Keywords: Multichannel analysis of surface waves (MASW), Gümüşhane, HVSr, Microzonation, Microtremor, Site effect

*Yasemin BEKER USTA; yaseminbeker@gumushane.edu.tr

52 1. Giriş

53 1. Introduction

54

55 Ülkemizde zamanla yapılaşmanın geliştiği alanlarda zemin karakteristiklerinin yapılar üzerinde oluşturacağı
56 etkinin belirlenmesi çok büyük önem taşımaktadır. Çünkü, yeni yapılaşmanın gerçekleştirileceği veya
57 yapılaşmanın yoğun olduğu alanlarda bu etkiden doğacak riskin afet öncesinde belirlenmesi gerekmektedir.
58 Yer hareketinin zemin tabakalarından geçtikten sonra yeryüzüne ulaşmasına kadar olan süre içerisinde
59 geçirmiş olduğu değişim yer etkisi olarak tanımlanmaktadır. Afetlerden kaynaklı can kaybı ve hasarların
60 azaltılmasında yer etkisine bağlı dinamik zemin parametrelerinin ve yerin S-dalga hızının elde edilmesi çok
61 önemlidir. Kentsel gelişim süreci kapsamında, arazi kullanımı için potansiyel tehlikenin belirlenmesine
62 yönelik mikrobölgelendirme çalışmaları gerçekleştirilmelidir. Mikrobölgelendirme çalışmaları bir bölgedeki
63 zemin-yapı arasındaki ilişki, heyelan/toprak kayması problemleri ve deprem tehlike parametrelerinin tespiti
64 etkin bir biçimde yapılabilmektedir. Afet öncesi ve sonrasında zemin davranışında meydana gelen değişim
65 hakkında bilgi sahibi olmak için jeofizik araştırmalar yapılmaktadır. Mikrobölgelendirme çalışmalarında S-
66 dalga hızı, zemin tabaka kalınlıkları, zemin baskın frekansı/periodyu, zemin büyütmesi ve dinamik/elastik
67 parametreler hesaplanmaktadır.

68

69 Farklı jeofizik yöntemler kullanılarak kentsel gelişim alanlarında çok sayıda mikrobölgelendirme çalışması
70 yapılmıştır (Güzel, 2009; Akın & Sayıl, 2016; Ateş & Uyanık, 2019; Akkaya & Özvan, 2019; Keskinsezer &
71 Dağ, 2019, Caielli vd., 2020; Fadli vd., 2023). Bir sismik olayda kuvvetli yer hareketi ile zemin tabakasına ait
72 baskın frekans değeri aynı olduğu zaman rezonans durumu meydana gelecektir. Bunun sonucunda zemin
73 tabakası üzerinde kurulu olan yapılarda büyük hasarlar oluşacaktır. Bu sebeple yeni kurulacak yerleşim
74 alanlarında öncelikle zemin baskın frekansı/periodyu ve zemin büyütmesinin, kurulu olan yapılar için ise yapı
75 baskın frekansının hesaplanması gerekmektedir (Putti & Satyam, 2020).

76

77 Uygun ve doğru mühendislik sismolojisi çalışmaları neticesinde zemin karakteristiğinin tanımlanmasıyla,
78 deprem gibi yer hareketlerinin yerel etkilerinden korunmak mümkün olacaktır. Zemin ve mühendislik ana
79 kayası boyunca S-dalgası hız (V_s) profillerinin elde edilmesi depreme dayanıklı yapı tasarım çalışmalarında
80 ve imar planının geliştirilmesinde önem taşımaktadır. Bu nedenle, yerleşime uygunluk, afet risklerine karşı
81 güvenli kentleşme ile yaşam kalitesi yüksek mekanların oluşturulmasına yönelik birçok çalışma yapılmıştır
82 (Tüdeş, 2001; Akın, 2020; Özdağ vd., 2020; Öztürk vd., 2021; Acar vd., 2022; Güven, 2022; Arrahman vd.,
83 2023; Chopra vd., 2023; Wibowo vd., 2023; Kim vd., 2024; Pomsopin vd., 2024).

84

85 Bu çalışma son yıllarda hızlı bir yapılaşma sürecinde olan Gümüşhane ili merkez ilçesinde temel jeofizik
86 yöntemler (Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analizi, Mikrotremor Araştırma Yöntemi, MASW) kullanılarak
87 zemine ait jeofizik özelliklerin belirlenmesi ve farklı büyütme potansiyeline sahip alanların yerel zemin etkileri
88 açısından değerlendirilmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Ayrıca Gümüşhane ili Kuzey Anadolu Fay Zonu'na
89 (KAFZ) oldukça yakın mesafede yer almaktadır. Dolayısıyla KAFZ üzerinde meydana gelebilecek herhangi
90 bir depremden etkilenme potansiyeline sahip olduğu için Gümüşhane ili merkez ilçesine ait
91 mikrobölgelendirme haritaları oluşturulmuştur.

92

93 2. İnceleme alanının jeolojisi ve depremselliği

94 2. The geology and seismicity of the investigation area

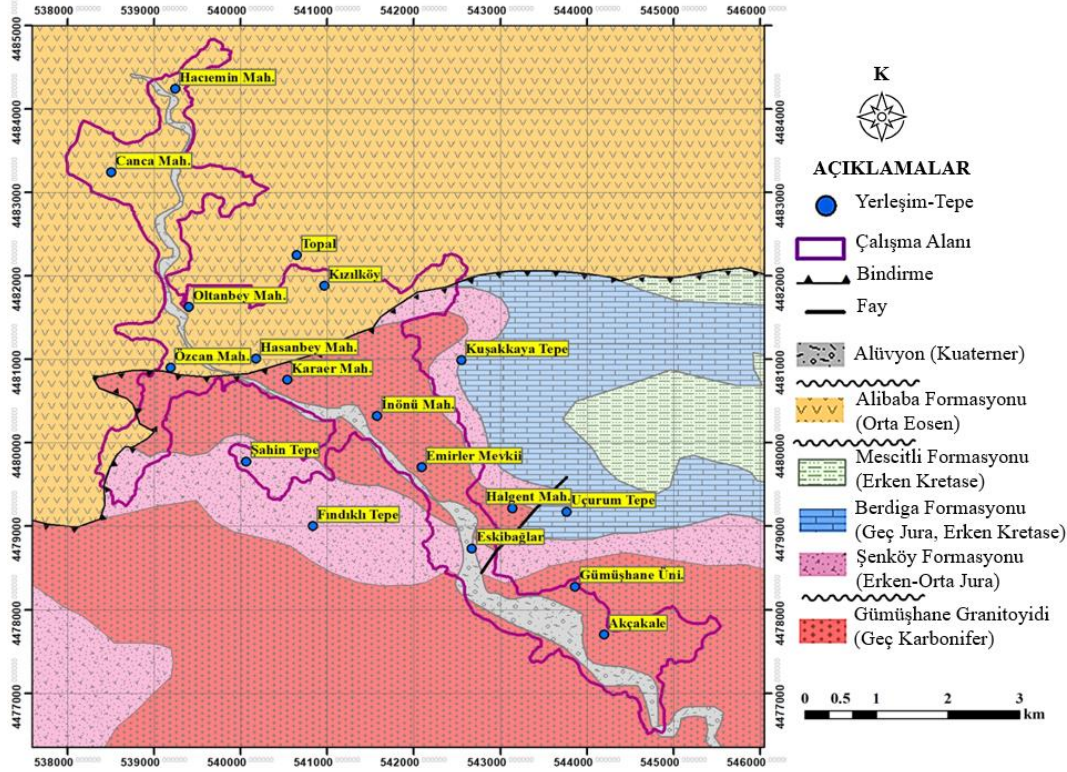
95

96 İnceleme alanı olarak seçilen, Gümüşhane İli Merkez ilçesi, dağlık ve engebeli bir arazi yapısına sahip olan,
97 Doğu Karadeniz Bölgesinde bulunmaktadır (Şekil 1). Doğuda Bayburt, batıda Giresun, kuzeyde Trabzon ve
98 güneyde Erzincan illeri ile komşu olan Gümüşhane $38^{\circ} 45' - 40^{\circ} 12'$ doğu boylamları ve $39^{\circ} 45' - 40^{\circ} 50'$ kuzey
99 enlemleri arasında yer alır. Merkez ilçenin yüzölçümü 6.668 km^2 ve deniz seviyesinden olan ortalama
100 yüksekliği 1210 m 'dir. Gümüşhane İl'inde yeryüzü şekilleri bakımından güney kesim yüksek bir plato
101 özelliğine sahipken, çalışma alanı olan Merkez ilçesinin bulunduğu kuzey kesim oldukça engebelidir.

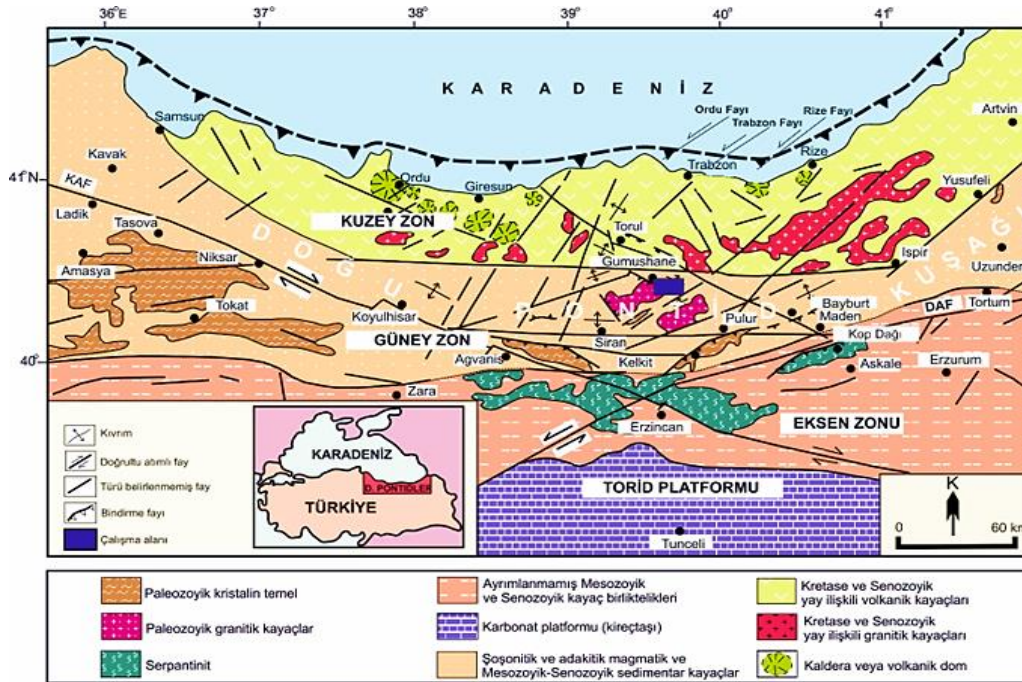
102

103 Gümüşhane İli, Pontid Orojenik Kuşağının doğusunda ve çoğunlukla tortul kayaların yüzeylenmiş olduğu
104 Doğu Pontidler'in Güney Zonunda yer almaktadır. Gümüşhane Merkez ilçesinin yerleşim alanı ve yakın
105 çevresinde Karbonifer (Geç Paleozoyik)'den Eosen'e kadar uzanan aralıkta oluşmuş kayalar
106 yüzeylenmektedir. İnceleme alanının temelini oluşturan karbonifer yaşlı Gümüşhane granitoyidi, en yaşlı
107 birimdir ve Şenköy Formasyonu (Kandemir, 2004) üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. Geç Jura-Erken
108 Kretase yaşlı Berdiga Formasyonu uyumlu olarak Şenköy Formasyonunun üzerine gelir (Pelin, 1977). Bu

109 formasyon, gri-bej renkli, tümüyle kalın-yer yer masif katmanlı, dolomit ve dolomitik kireçtaşlarından oluşur.
 110 Kıvrımlı tortul malzemeli kireçtaşlarını içeren Mescitli Formasyonunun üzerine açılmal uyumsuzlukla Eosen
 111 yaşlı Alibaba Formasyonu gelmektedir (Tokel, 1972). Volkano-tortul istif özelliği taşıyan Alibaba formasyonu
 112 çoğunlukla arazide ince bir taban konglomerasıyla başlamaktadır (Tüdeş, 2001). İnceleme alanındaki en genç
 113 oluşuklar yaşlı alüvyon ve taraçalardır (Şekil 1).
 114



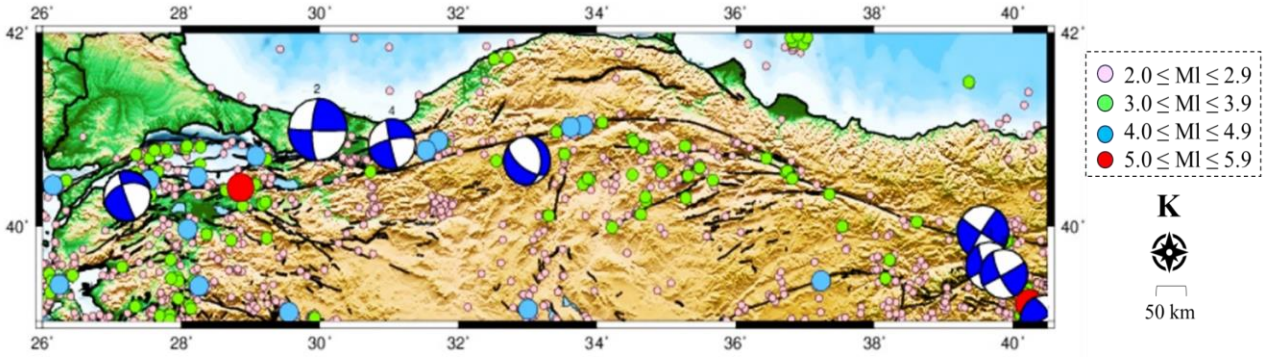
115
 116
 117 Şekil 1. İnceleme alanı ve yakın civarına ait jeoloji haritası (Güven, 1993'ten değiştirilerek alınmıştır)
 118 Figure 1. Geology map of the investigation area and its surrounding (modified from Güven, 1993)
 119
 120



121
 122
 123 Şekil 2. Doğu Pontidlerin başlıca tektonik zonları ve birimleri (Alkan vd., 2019'dan düzenlenerek alınmıştır)
 124 Figure 2. Main tectonic features and tectonic zones of the Eastern Pontides (modified from Alkan et al., 2019)

125 Doğu Pontidler, sedimantolojik, magmatik ve tektonik özelliklere bağlı olacak şekilde Bektaş ve Yılmaz
126 (1995) tarafından üç tektonik alt birime ayrılmıştır. Bu birimler, Kuzey Zon, Güney Zon ve Eksen Zonu'dur
127 (Şekil 2). Kuzey Zon, genel olarak Geç Kretase ve Tersiyer yaşlı volkanik ve granitik kayalarla temsil
128 edilirken, Güney Zon ağırlıklı olarak Erken Jura yaşlı tortul birimlerle temsil edilmektedir (Dokuz, 2000;
129 Dokuz & Tanyolu, 2006). Eksen Zonu ise Jura-Kretase yaşlı ofiyolitik-olistostromal melanj ve çoğunlukla
130 ultramafik kütleler ile karakterize edilmektedir (Eyüboğlu vd., 2010).

131
132 Gümüşhane ve yakın civarının depremselliği göz önüne alındığında, konumu itibarıyla buradaki kıvrım
133 tektoniğinin ve kırık sistemlerinin etkili olduğu söylenebilmektedir. KAFZ'a yakın olan bölgelerdeki kırık
134 zonları normal, ters ve doğrultu atımlı faylardan meydana gelmektedir. Buna karşın kıvrımlı yapılar asimetric
135 antiklinal ve senklinalardan oluşmaktadır (Taş vd., 2003). Ülkemizin en aktif fay zonlarından biri olan
136 KAFZ'nun Gümüşhane'ye olan uzaklığı yaklaşık 80 km'dir. Son yıllarda hızlı bir yapılaşma sürecine girmiş
137 olan şehirde, yüksek katlı binalar çoğunlukla Harşit Çayı boyunca inşa edilmiş ve yoğun yerleşimler özellikle
138 bu kısımlarda yer almaktadır. Harşit Çayı boyunca zeminin jeolojik yapısına bakıldığında, buralarda alüvyonal
139 birim hakimdir. Dolayısıyla, Gümüşhane ili hem KAFZ'a olan yakınlığı hem de gevşek zemin karakteristiğine
140 sahip alanlardaki yoğun yerleşimlere sahip olması bakımından büyük ($M>6.0$) ve yıkıcı nitelikteki bir
141 depremden etkilenebilecek potansiyeldedir (Şekil 3, Tablo 1). Ayrıca Gümüşhane İli'nin Kelkit ilçesinde 17
142 Aralık 2023 tarihinde 4.3 ve 18 Aralık 2023 tarihinde 3.9 büyüklüğünde art arda iki deprem meydana gelmiştir.
143



144
145
146 **Şekil 3.** 1976-2023 yıllarında KAFZ ve çevresinde meydana gelen deprem aktivitesi (USGS, 2024) ile büyük
147 depremlerin ($M>6.0$) odak mekanizma çözümleri (GCMT, 2024)

148 **Figure 3.** Earthquake activity (USGS, 2024) focal mechanism solutions of major earthquakes ($M>6.0$) along
149 the NAFZ and surrounding region for the period of 1976–2023 (GCMT, 2024)

150
151 **Tablo 1.** Şekil 3'te odak mekanizması çözümleri verilen büyük depremlerin ($M>6.0$) listesi (KOERİ, 2024)
152 **Table 1.** List of major earthquakes ($M>6.0$) whose focal mechanism solutions are given in figure 3 (KOERİ,
153 2024)
154

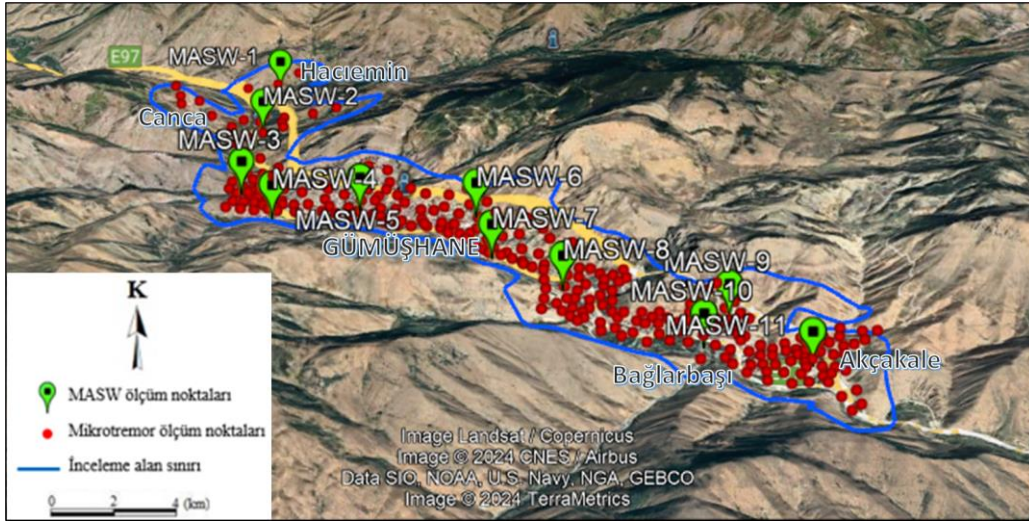
Tarih (Gün.Ay.Yıl)	Enlem (°K)	Boylam (°D)	Magnitüd (M)	Odak derinliği (h, km)
05.07.1983	40.32	27.22	6.1	10
13.03.1992	39.94	39.57	6.6	15
17.08.1999	41.01	29.92	7.6	17
12.11.1999	39.58	39.66	6.0	15
06.06.2000	40.69	32.99	6.0	10
27.01.2003	39.50	39.87	6.1	10
01.05.2003	39.00	40.46	6.4	10
23.11.2022	40.86	31.04	6.1	12

155 3. Materyal ve yöntem

156 3.1. Materyal ve yöntem

157
158
159 Gümüşhane ili merkez ilçesinde yerel zemin karakteristiklerinin belirlenmesine yönelik yapılan bu çalışmada
160 Yatay/Düşey Spektral Oran (HVSr) ve MASW uygulanmıştır. Yaklaşık 7 km²'lik bir alana sahip olan merkez

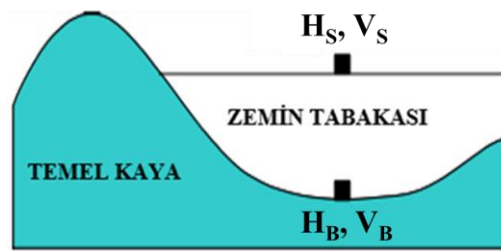
161 ilçesinde, 279 tek istasyonda alınan mikrotremor ölçüm noktalarını temsil edecek şekilde ve farklı jeolojik
 162 birimler üzerinde 11 adet MASW ölçümü gerçekleştirilmiştir (Şekil 4).
 163



164 **Şekil 4.** İnceleme alanındaki ölçüm noktalarının konumları

165 **Figure 4.** Locations of measurement points in the investigation area

166
 167
 168
 169 Tek istasyon mikrotremor ölçümleri Güralp marka CMG-6TD sayısal çıkışlı portatif üç bileşenli (doğu-batı,
 170 kuzey-güney ve düşey) hız ölçer sismometre kullanılarak alınmıştır. Ölçüm noktaları arasındaki mesafeler
 171 sabit olmayıp (100-400 m), konumları yerleşim düzenine ve arazi yapısına uyumlu olacak şekilde seçilmiştir.
 172 Ayrıca gündüz kültürel gürültülerin yoğun olması sebebiyle daha sağlıklı kayıtlar elde edebilmek için tüm
 173 ölçümler gece saatlerinde (23:00-03:00) alınmıştır. Verilerin kayıt süreleri 15-35 dk arasında olup,
 174 ölçümlerdeki örnekleme aralığı 100 Hz'dir. Elde edilen kayıtlar "Geopsy" (Geopsy, 2022) programı ile
 175 Yatay/Düşey Spektral Oran (Nakamura Tekniği, HVSR) yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Nakamura
 176 (1989)'a göre mikrotremorlar derinden değil, yüzeyden ve yüzeye yakın noktalardan gelen titreşimlerdir.
 177 Nakamura (1989) tekniğinin temel varsayımına göre mikrotremorların yatay bileşenleri zemin tabakasının
 178 sahip olduğu düşük hız ve yoğunluğa bağlı olarak önemli büyütmeleme uğrarken, düşey bileşen zemin
 179 tabakasından etkilenmemektedir. Bu teknik, mikrotremorları Rayleigh dalgaları ile açıklamıştır. Fourier
 180 frekans bölgesinde zemin tabakasının yüzeyi ile tabanındaki yatay ve düşey bileşenlere ait dört adet genlik
 181 spektrumu (H_s , D_s , H_B , D_B) tanımlanmıştır (Şekil 5).
 182

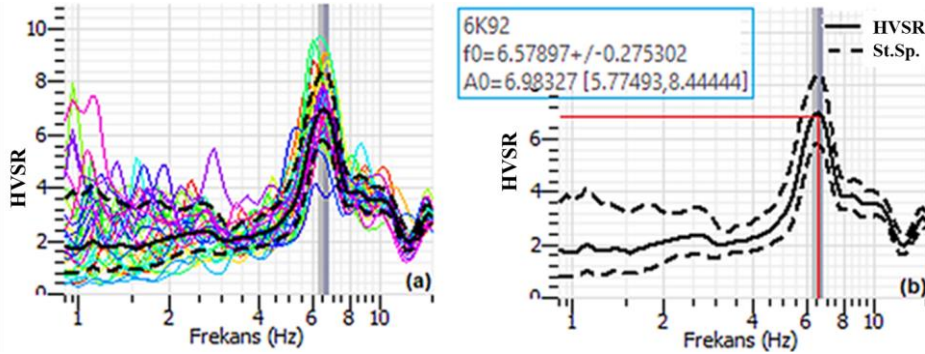


183 **Şekil 5.** Nakamura (1989) tarafından önerilen basit model (H_s ve V_s , yüzeydeki hareketin yatay ve düşey
 184 bileşen genlik spektrumları, H_B ve V_B tabandaki hareketin yatay ve düşey genlik spektrumları)

185 **Figure 5.** Simple model proposed by Nakamura (1989) (H_s and V_s are horizontal and vertical component
 186 amplitude spectra of motion on the surface, H_B and V_B are the horizontal and vertical amplitude spectra of the
 187 motion on the basement)
 188
 189
 190

191 Mikrotremor kaydının her bir bileşeni için ilk olarak ani genlik değişimlerinden kaynaklı trend etkileri
 192 giderilmiştir. Daha sonra mikrotremor kayıtlarındaki çok düşük ve yüksek frekanslardaki gürültüleri atmak
 193 için 0.5-20 Hz band geçişli Butterworth süzgeç uygulanmıştır. Çözümlemede kullanılacak pencere boyu için
 194 farklı pencere boyları (10, 20, 25, 40 sn) Sesame kriterlerine (SESAME, 2005) göre denenmiş ve en uygun
 195 pencere boyunun 20 sn olduğu belirlenmiştir. Zaman ortamındaki veriye Kosinüs penceresi %5 oranında
 196 uygulanarak oluşacak enerji sızması engellenmiştir. Daha sonra zaman ortamındaki verinin Fourier dönüşümü

197 ile frekans ortamında üç bileşen genlik spektrumları hesaplanmıştır. Elde edilen yatay bileşenlerin genlik
 198 spektrumlarından (doğu-batı ve kuzey-güney) karekök ortalama ile tek bir ortalama yatay bileşen genlik
 199 spektrumu hesaplanmış ve bu ortalama yatay bileşen genlik spektrumu düşey bileşen genlik spektrumuna
 200 oranlanarak ölçüm noktası için HVSR eğrisi elde edilmiştir. Böylece HVSR eğrisi üzerinden maksimum pike
 201 karşılık gelen baskın frekans (f_0) değeri ve o nokta için olan büyütme potansiyeli belirlenmiştir (Şekil 6).
 202



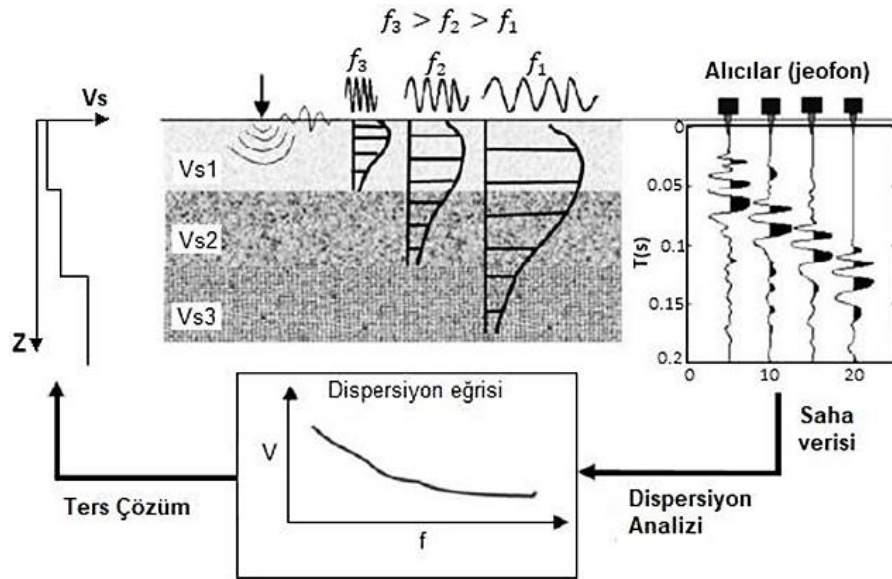
203
 204

205 **Şekil 6.** (a) HVSR spektral oran eğrisi. (b) HVSR eğrisi üzerinde belirlenen baskın frekans (f_0) ve büyütme
 206 potansiyeli (A_0)

207 **Figure 6.** (a) The HVSR curve. (b) predominant frequency (f_0) and amplification potential (A_0) on HVSR
 208 curve

209

210 MASW yönteminin temeli, yüzey dalgalarının dispersif özelliğinden yararlanarak tabakalı yeraltı için 1-
 211 boyutlu S-dalgası hız profillerinin elde edilmesine dayanmaktadır. Tahribatsız sismik yöntemlerden biri olan
 212 MASW, kolay uygulanabilir bir arazi düzeneği ve balyoz gibi basit bir kaynak ile güçlü yüzey dalgası enerjisi
 213 üretebilmektedir. Veri işleme, uygulama adımları oldukça basittir ve işleme parametreleri güvenilir biçimde
 214 seçilebilmektedir. Ayrıca, farklı türde yüzeye yakın anomalilere en etkili cevabı yüzey dalgaları vermektedir
 215 (Park vd., 1999). MASW, üç aşamada uygulanmaktadır. Bunlar veri toplama, dispersiyon eğrisinin
 216 hesaplanması ve ters çözüm ile hız profiline elde edilmesidir (Şekil 7). Arazide veri toplama düzeneği sismik
 217 kırılma yöntemi ile aynıdır, sadece veri toplamada farklı parametreler seçilir ve sismik kırılmaya göre daha
 218 fazla avantaj sağlar (Xia vd., 1999; Miller vd., 1999). MASW’de kolaylıkla yüksek sinyal/gürültü oranı elde
 219 edilebilmektedir. Ölçümlerdeki serim boyu, alıcılar arası mesafe ve ilk alıcıya olan uzaklığı, ulaşılmak
 220 istenen araştırma derinliği ile dispersiyon eğrisinin elde edilmesini etkileyen parametrelerdir.
 221



222
 223

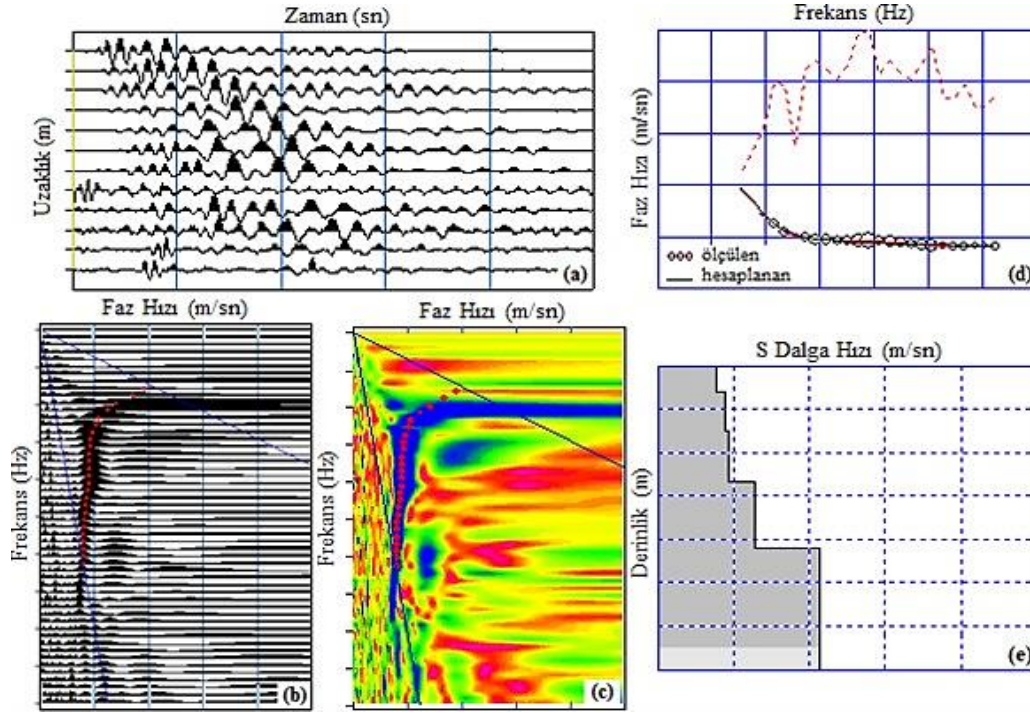
224 **Şekil 7.** MASW'nin veri işlem şeması (Dikmen, 2009)

225 **Figure 7.** Data processing scheme of MASW (Dikmen, 2009)

226

227 İnceleme alanındaki her bir farklı jeolojik birimlerdeki 30 metre derinliğe kadar olan ortalama S-dalgası hız
 228 (V_{S30}) değerini belirlemek amacıyla Seisronix RAS-24 marka, 12 kanallı sismograf, kaynak olarak 10 kg

229 ağırlığında balyoz ve 4.5 Hz'lik düşey alıcılar kullanılmıştır. Her bir profildeki serim boyu 75 m'dir. Ofset
 230 mesafesi 10 m ve alıcılar arası mesafe de 5 m olarak ayarlanmıştır. Kayıtlarda örnekleme aralığı 0.5 msn ve
 231 kayıt süresi 1 sn'dir. Ayrıca düz ve ters atışlarda sinyal/gürültü oranını arttırmak amacıyla ölçümler 3'er adet
 232 yığma işlemi yapılarak alınmıştır. Toplamda 11 profilden elde edilen MASW kayıtlarının
 233 değerlendirilmesinde SeisImager/Pickwin yazılımı kullanılmıştır (SeisImager, 2022). Verilerin ilk
 234 değerlendirme aşaması, faz kayması tekniğinin kullanılmasıyla frekans-faz hızı ilişkisi ile başlamaktadır
 235 (Park vd., 1999). Bu ilişki grafiğinde maksimum genliklere karşılık gelen temel mod piklenmiştir. Sönümlü
 236 en küçük kareler yaklaşımı ile ters çözüm işlemi gerçekleştirilerek, ölçülen ve hesaplanan dispersiyon
 237 eğrilerinin çakışması sağlanmıştır. Bu şekilde her bir profil için derinliğe bağlı 1 boyutlu S-dalgası hız profili
 238 elde edilmiştir (Şekil 8).
 239



240
 241

242 **Şekil 8.** (a) MASW verisi. (b) en büyük genliklerin piklenmesi. (c) en büyük genliklerin renklendirilmesi. (d)
 243 ölçülen ve hesaplanan dispersiyon eğrilerinin çakışması. (e) 1-boyutlu S dalgası hız profili

244 **Figure 8.** (a) MASW data. (b) peaking of maximum amplitudes (c) coloring of maximum amplitudes. (d)
 245 matching of measured and calculated dispersion curves. (e) 1-dimensional S wave velocity profile

246

247 4. Bulgular

248

249 4. Results

250

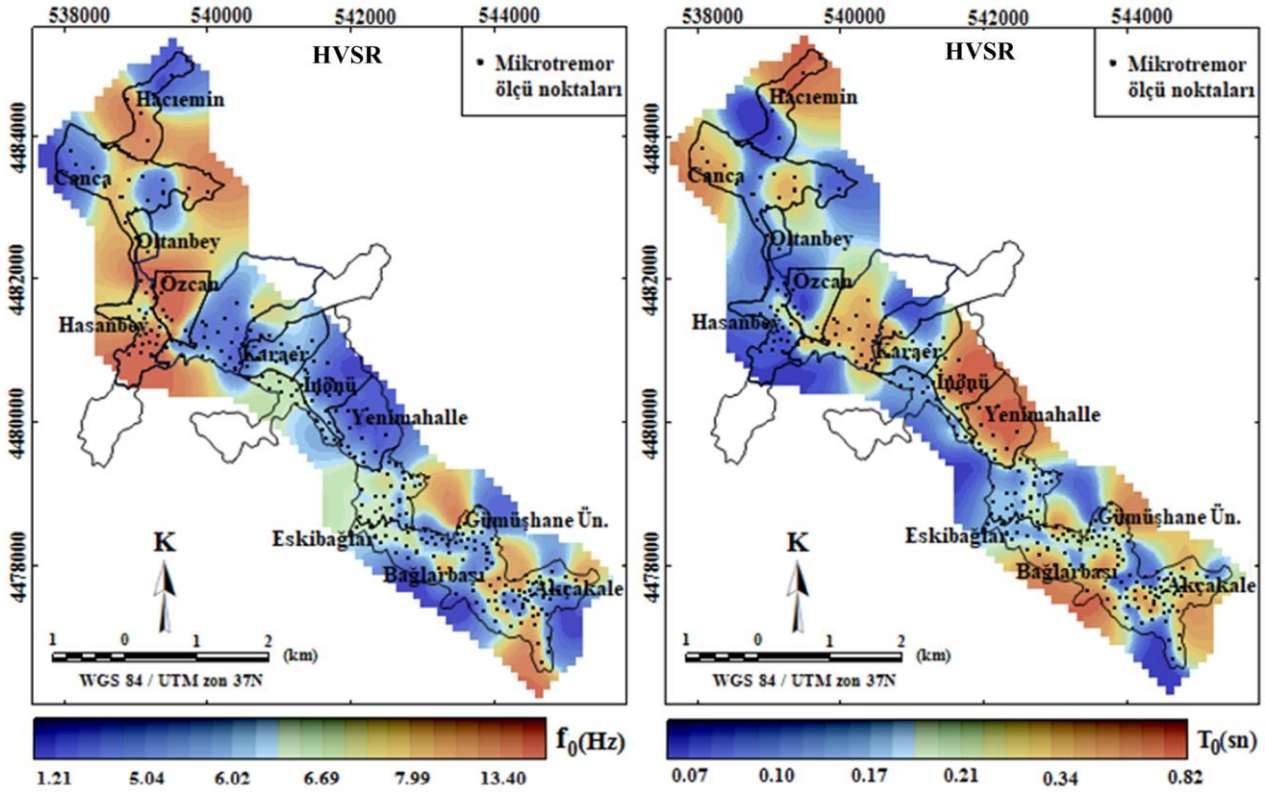
251 4.1. Tek istasyon mikrotremor ölçümleri

252

253 4.1. Single station microtremor measurement results

254

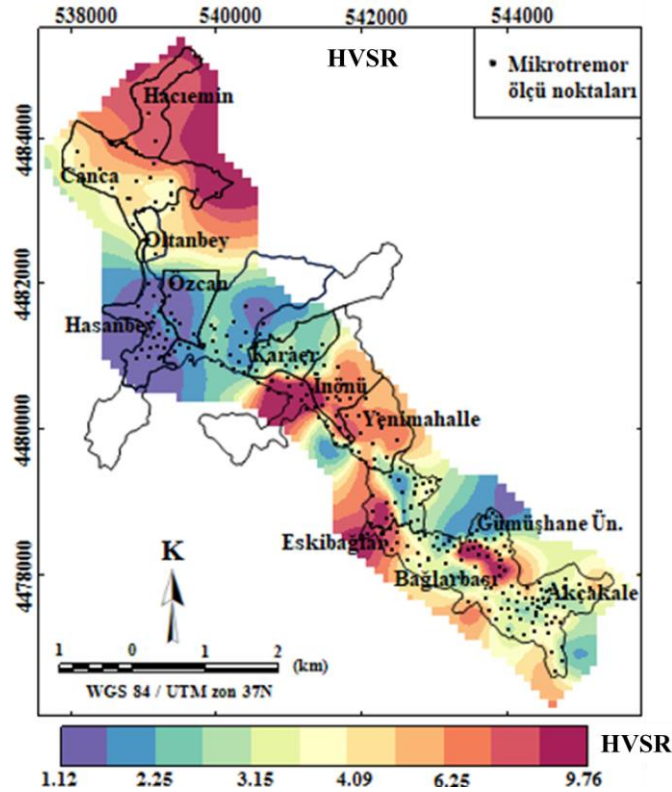
255 HVSR tekniğine göre değerlendirilen 279 istasyondaki mikrotremor kayıtlarından Gümüşhane ili merkez
 256 ilçesine ait baskın frekans değerleri (f_0) ile büyütme potansiyeli (A_0) belirlenmiştir. İnceleme alanı için
 257 HVSR'den elde edilen baskın frekans değerleri 1.21-13.40 Hz arasında ve baskın periyot değerleri de 0.07-
 258 0.82 sn aralığında değişmektedir (Şekil 9). Merkez ilçe için oluşturulan baskın frekans dağılım haritasına
 259 bakıldığında, çoğunlukla kuzey-batı kesiminde yüksek baskın frekans (6.02-13.40 Hz) değerlerinin olduğu
 260 görülmektedir. Buna göre en yüksek baskın frekans değerlerinin bulunduğu alanlar için Hasانبey, Oltanbey
 261 ve Özcan mahalleleri gösterilebilir. Bununla birlikte inceleme alanının kuzey-doğu kesiminde Gümüşhane
 262 granitoyidi üzerinde yer alan Bağlarbaşı ve Akçakale mahallelerinde yine yüksek baskın frekanslar etkin
 263 durumdayken, Harşit nehri boyunca alüvyon birimden (İnönü mahallesi ve Yenimahalle) elde edilen baskın
 frekanslar oldukça düşük değerler sergilemektedir (1.21-6.02 Hz).



264
265
266
267
268
269
270

Şekil 9. HVSR eğrilerinden elde edilen inceleme alanına ait baskın frekans(sol) ve periyot (sağ) dağılım haritası

Figure 9. Predominant frequency (left) and period (right) distribution map of the investigation area obtained from HVSR curves



271
272
273
274
275

Şekil 10. HVSR eğrilerinden elde edilen inceleme alanına ait büyütme potansiyellerinin dağılım haritası

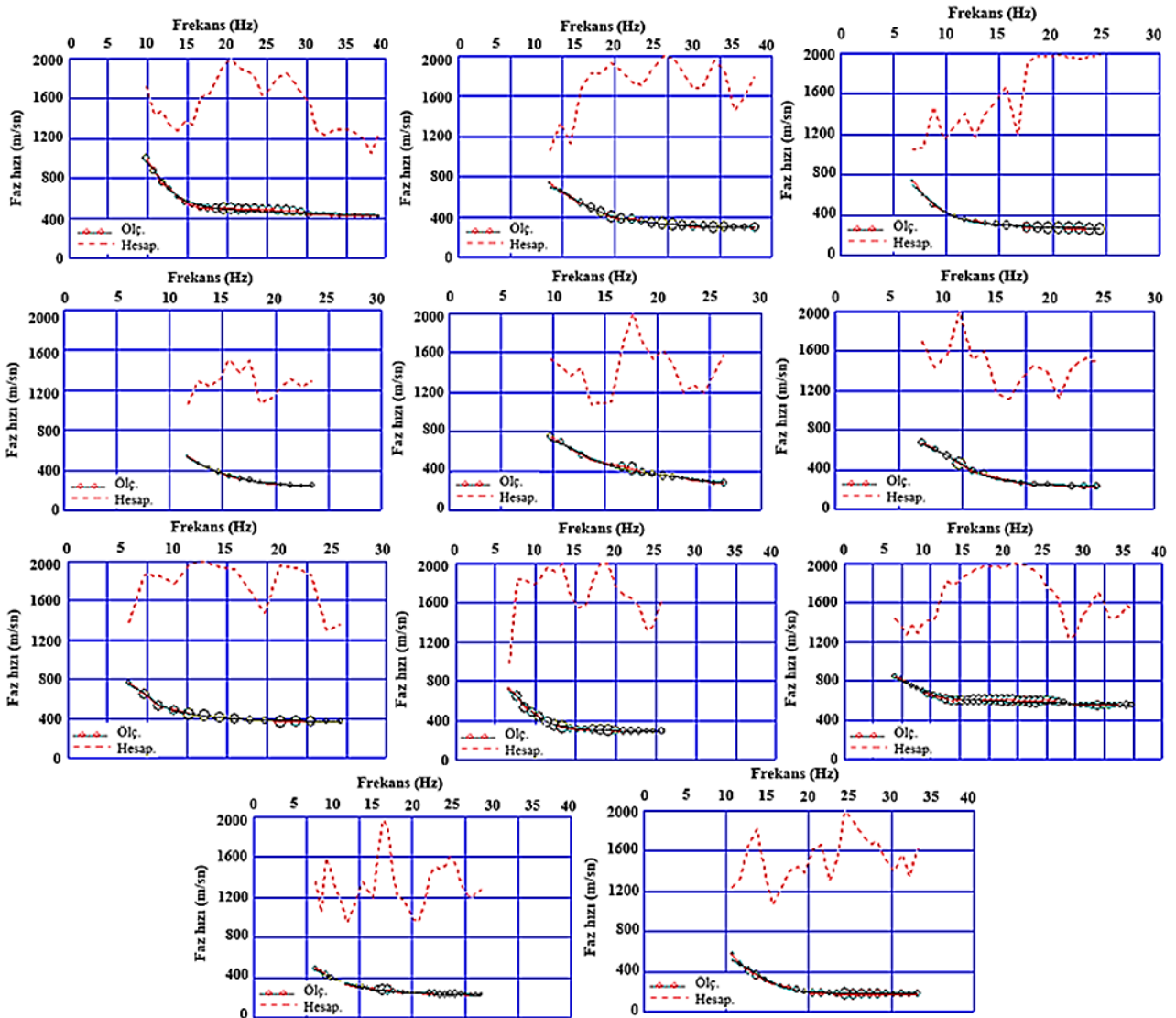
Figure 10. Distribution map of amplification potentials of the investigation area obtained from HVSR curves

276 Harşit nehri boyunca yüksek katlı binaların olduğu kısımlarda büyütme potansiyelleri, granitik kayalara
 277 oranla çok daha fazladır. Eskibağlarbaşı mahallesinde bulunan yeni Gümüşhane Devlet hastanesinin
 278 bulunduğu alanda büyütme potansiyelleri en yüksek seviyelere sahiptir. Ayrıca Hacıemin ve Canca
 279 mahallelerinde yüksek baskın frekanslar gözlemlenirken, bu bölgelerdeki üst zemin tabakasının kumlu-çakıllı,
 280 az kumlu çakıllı silt ve kırıklı parçalı bazaltlardan oluşmuş olması düşük büyütme potansiyeli sergilemesine
 281 sebep olmaktadır. Gümüşhane granitoyidi üzerinde bulunan Bağlarbaşı mahallesinde en düşük seviyelerden
 282 en yüksek seviyelere varan büyütme potansiyelleri gözlenmiştir. Bunun nedeni, kırıklı parçalı granitik özellikte
 283 olan Gümüşhane granitoidinin farklı ayrışma derecelerine sahip olmasıdır (Tüdeş, 2001). Elde edilen
 284 mikrotremor kayıtları neticesinde, inceleme alanı içerisindeki en sağlam zemin özelliğine sahip yer Hasanbey
 285 mahallesi olarak değerlendirilmiştir. Burada baskın frekanslar en yüksek değerlere sahipken, Y/D spektral oran
 286 değerleri en düşük seviyelerdedir. Dolayısıyla yüksek frekans değeri ve düşük büyütme potansiyeline sahip bu
 287 mahalle, merkez ilçe içerisindeki en sağlam bölge olarak değerlendirilebilir.
 288

4.2. MASW ölçümleri

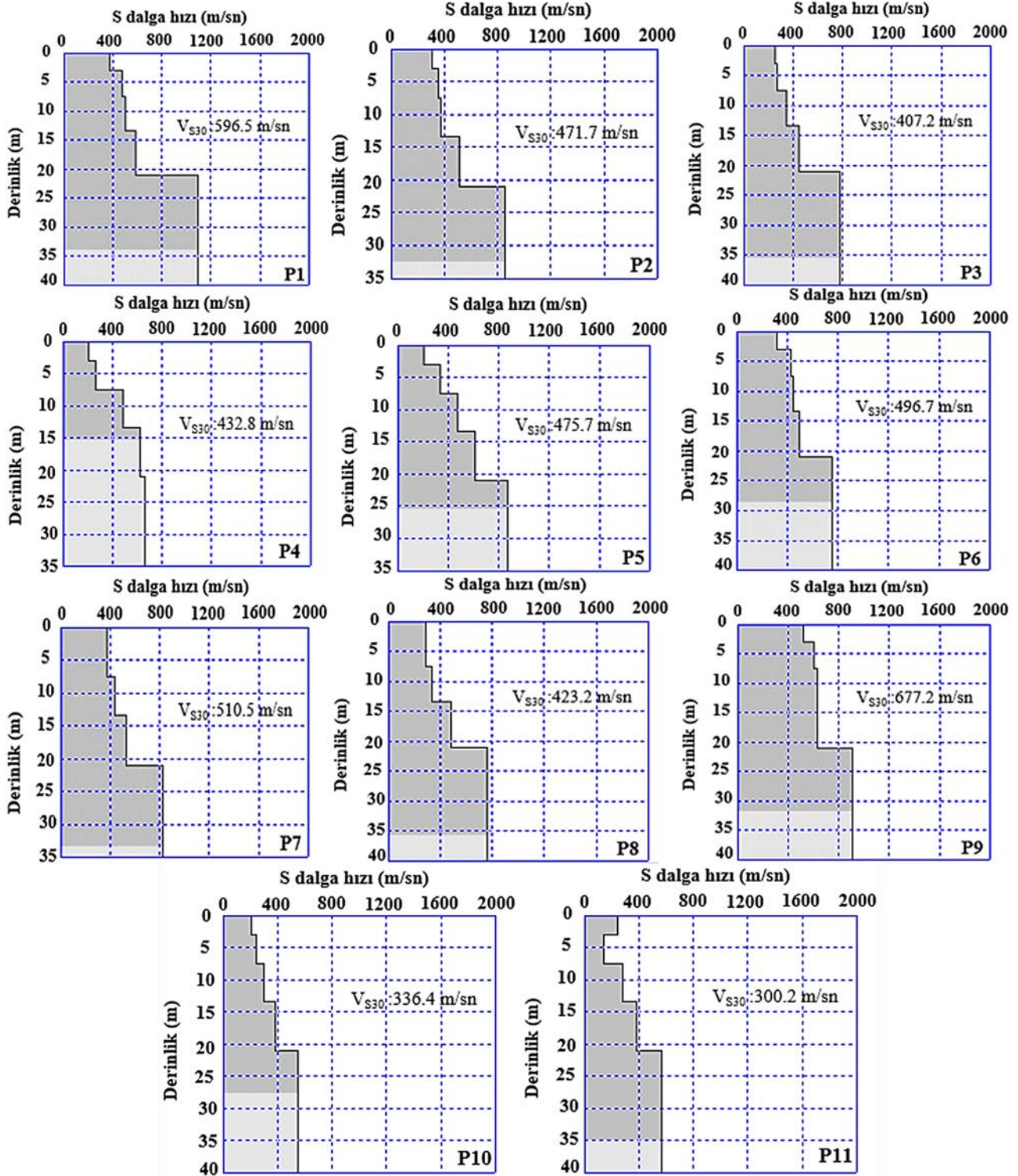
4.2. MASW measurements

292 MASW verilerinin çözümlenmesiyle her bir profil için ölçülen ve hesaplanan dispersiyon eğrileri elde
 293 edilmiştir (Şekil 11). Sönümlü en küçük kareler yaklaşımı kullanılarak bu dispersiyon eğrilerinin ters
 294 çözümünden her bir profil için hız modeli oluşturulmuştur (Şekil 12).
 295



296 Şekil 11. MASW profillerine ait ölçülen ve hesaplanan dispersiyon eğrileri

297 *Figure 11. Measured and estimated dispersion curves of MASW profiles*



300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312

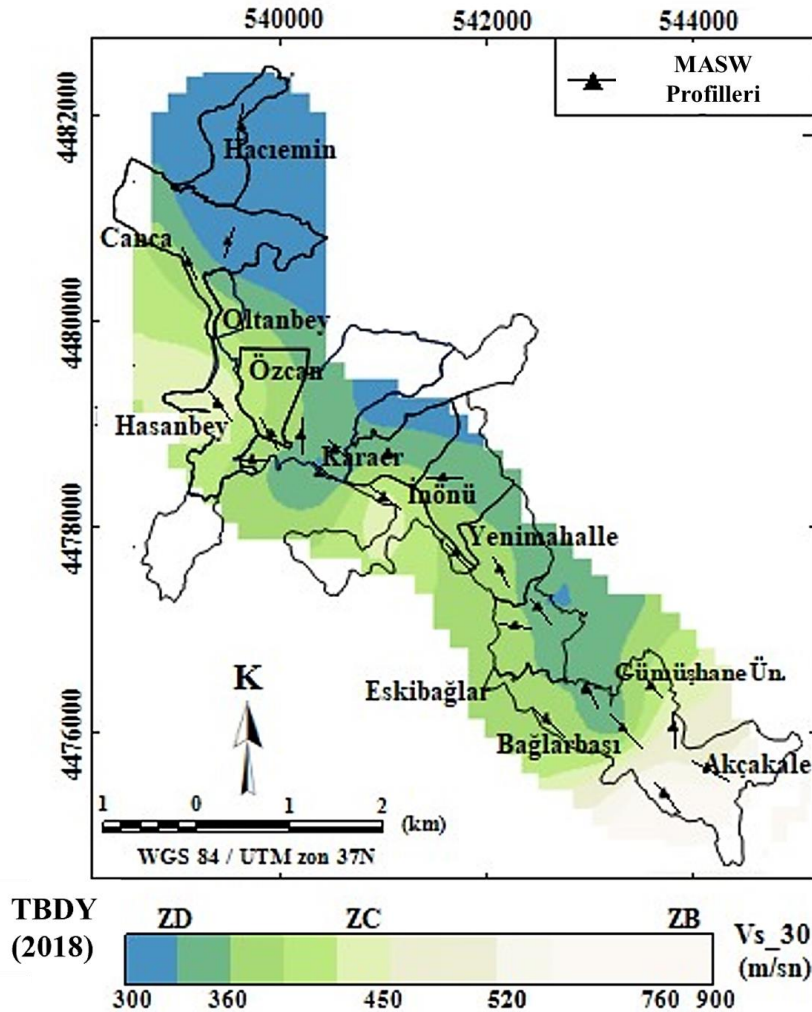
Şekil 12. Her bir profile ait 1B hız modelleri ve V_{S30} değerleri
Figure 12. 1D Velocity models and V_{S30} values of each profile

Hız modellerinden, inceleme alanındaki jeolojik formasyonlara ait V_{S30} değerleri hesaplanmıştır. V_{S30} değerleri Alibaba formasyonunda 300.2-596.5 m/sn, Gümüşhane granitoidinde 407.2-677.2 m/sn ve alüvyon birimde 404.7 m/sn olarak belirlenmiştir. İnceleme alanına ait zemin sınıflaması Ulusal Deprem Azaltma Programı (National Earthquake Hazards Reduction Program) Eurocode-8 (2004), Türkiye Bina ve Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018) ve NEHRP (2020) kullanılarak hız değerlerine göre yapılmıştır (Tablo 2). Buna göre, MASW-10 ve MASW-11 haricindeki diğer profillerden inceleme alanı için Eurocode-8 (2004)'e göre "B" grubu, TBDY (2018)'e göre "ZC" ve NEHRP (2020)'e göre "C-CD" zemin sınıfı tanımlaması yapılabilir.

313 **Tablo 2.** MASW profillerinden 30 m derinlik için elde edilen V_{S30} değerleri ve zemin sınıflaması
 314 **Table 2.** Soil classification and V_{S30} values obtained from MASW profiles for 30 m depth
 315

Profil	V_{S30} (m/sn)	Eurocode-8 (2004)	TBDY (2018)	NEHRP (2020)
MASW-1	300.2	B	ZC	C
MASW-2	336.4	B	ZC	C
MASW-3	596.5	B	ZC	C
MASW-4	471.7	B	ZC	CD
MASW-5	407.2	B	ZC	C
MASW-6	432.8	B	ZC	CD
MASW-7	475.7	B	ZC	C
MASW-8	496.7	B	ZC	CD
MASW-9	510.5	B	ZC	BC
MASW-10	423.2	C	ZD	CD
MASW-11	677.2	C	ZD	D

316 Tüm profillerden elde edilen ortalama hızlar kullanılarak, Gümüşhane ili merkez ilçesi için V_{S30} dağılımına
 317 göre zemin sınıfı haritası oluşturulmuştur (Şekil 13). Hacıemin ve Canca mahallelerinde en düşük V_{S30}
 318 değerleri ile **TBDY (2018)**'e göre en zayıf zemin sınıfını (ZD) oluşturmaktadırlar. Harşit nehri boyunca düşük
 319 V_{S30} değerleri görülürken, nehir seviyesinden yukarıya doğru gidildikçe V_{S30} değeri artış göstermektedir.
 320 Dolayısıyla zayıf zemin özelliğine sahip alüvyon birimlerin kumlu, çakıllı, gevşek ve suya doygun özellikte
 321 olması hız değerindeki bu azalmanın nedeni olarak kabul edilebilir.
 322
 323



324 **Şekil 13.** İnceleme alanına ait V_{S30} haritası ve zemin sınıflaması
 325 **Figure 13.** V_{S30} map and soil classification of the investigation area
 326
 327

328 5. Tartışma ve sonuçlar

329 5. Discussion and conclusions

330

331 Bu çalışmada, Gümüşhane ili merkez ilçesinin yerel zemin etkileri MASW ve HVSR yöntemleriyle
332 belirlenmiştir. Tek istasyonda uygulanan mikrotremor yönteminden merkez ilçeye ait baskın frekans, baskın
333 periyot ve bölge için büyütme potansiyelini ifade eden yatay/düşey spektral oranlar elde edilmiştir. MASW,
334 uygulamasıyla incelenen alana ait V_{S30} değerleri hesaplanarak Eurocode-8 (2004), TBDY (2018) ve NEHRP
335 (2020)'e göre zemin sınıfları tanımlanmıştır. Bulunan sonuçlardan merkez ilçe için yer etkisine dayalı
336 mikrobölgelendirme haritaları hazırlanarak farklı tehlike potansiyeline sahip alanlar belirlenmiştir.

337

338 Gümüşhane ili merkez ilçesinde 279 tek istasyonda HVSR yönteminden elde edilen baskın frekans ve baskın
339 periyot değerleri sırasıyla 1.21-13.40 Hz ile 0.07-0.64 sn arasında değişim göstermektedir. Bununla birlikte
340 çalışma alanı için belirlenen büyütme potansiyeli 1.12-9.76 arasındadır. Bu değerlere göre, Hasanbey,
341 Oltanbey, Özcan, Bağlarbaşı ve Akçakale mahalleleri yüksek baskın frekans değerleri sergilerken, İnönü
342 mahallesi ve Yenimahalle çalışma alanı içerisindeki en düşük baskın frekans değerlerine sahiptirler. Çalışma
343 alanı büyütme potansiyeli açısından Hasanbey ve Özcan mahallelerinde en düşük seviyelerde iken, en yüksek
344 büyütme potansiyeline sahip alanlar çoğunlukla Harşit nehri boyunca elde edilmiştir.

345

346 Çalışma alanında gerçekleştirilen MASW ölçümleri ile 30 metre derinliğe kadar olan ortalama S dalga hızları
347 belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre V_{S30} değerleri 300.2-677.2 m/sn aralığında değişmektedir. Bu hız değerleri
348 kullanılarak çalışma alanına ait yapılan zemin sınıflaması Eurocode-8 (2004)'e göre "B", TBDY (2018)'e
349 göre "ZC" ve NEHRP (2020)'e göre "C-CD" grubunda yer almaktadır. Çalışma alanı için oluşturulan V_{S30}
350 değerleri dağılım haritasına göre düşük hız değerleri Harşit nehri civarında gözlemlenirken, bu seviyeden
351 yukarıya gidildikçe hız değerlerinin arttığı görülmüştür.

352

353 Mikrotremorlardan elde edilen zemin parametreleri ile MASW'den belirlenen V_{S30} değerleri inceleme
354 alanının jeolojik yapısıyla ve birbirleriyle uyumlu sonuçlar sergilemiştir. Genel anlamda V_{S30} değerlerinin
355 yüksek olduğu alanlar, yüksek baskın frekans ve düşük büyütme potansiyellerine sahipken, daha düşük V_{S30}
356 değerlerine sahip alanlarda düşük baskın frekanslara karşılık yüksek büyütme potansiyelleri gözlemlenmiştir.
357 Bununla birlikte, hesaplanan zemin parametreleri de tanımlanan zemin sınıfları ile örtüşmektedir. Bu çalışma
358 ile elde edilen verilerin birbirleriyle ve jeolojik yapıyla olan uyumu HVSR ve MASW yöntemlerinin
359 Gümüşhane ili merkez ilçesi için uygulanabilir olduğunu göstermiştir.

360

361 Gümüşhane, sismotektonik açıdan durgun bir bölge olarak kabul edilmekte, ancak Kelkit Çayı vadisinin Kuzey
362 Anadolu Fay Zonu (KAFZ)'na olan yakınlığı sebebiyle oluşabilecek herhangi bir deprem tehdit edici olabilir.
363 Böyle bir deprem hareketi, özellikle Harşit nehri boyunca, zayıf zeminler üzerine inşa edilmiş yapılarda
364 hasarlar meydana getirebilir. Bu sebeple, afet risklerini en aza indirgeyebilmek adına yeni yerleşimlerin
365 kurulacağı alanlarda herhangi bir yer hareketi meydana gelmeden yerel zemin koşullarının belirlenmesi çok
366 önemli ve gereklidir.

367

368 Teşekkür

369 Acknowledgement

370

371 Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon birimi tarafından
372 2009.112.007.3 numaralı proje ile desteklenmiştir. Destekleri için KTÜ Bilimsel Araştırma Projeleri
373 Koordinasyon birimine teşekkür ederim.

374

375 Yazar katkısı

376 Author contribution

377

378 Bu makale KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Prof. Dr. Nilgün SAYIL'ın
379 danışmanlığında Yasemin BEKER USTA tarafından yapılan "Gümüşhane ve Çevresinin Jeofizik Verilerle Yer
380 Etkisinin İncelenmesi ve Mikrobölgelendirme Çalışması" başlıklı Doktora tezinin bir parçasıdır.

381

382

383

384

385 **Etik beyanı**386 *Declaration of ethical code*

387

388 Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel
389 izin gerektirmediğini beyan etmektedirler.

390

391 **Çıkar çatışması beyanı**392 *Conflicts of interest*

393

394 Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

395

396 **Kaynaklar**397 *References*

398

399 Acar, İ., Kamacı, Z., & Kapucu, S. (2022). *Ödemiş kuzey bölgesinin imar ve bölge planlama alanı incelenmesi, Süleyman*
400 *Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 26(1), 83-89. <https://doi.org/10.19113/sdufenbed.959180>

401

402 Akın, Ö., & Sayıl, N. (2016). *Site characterization using surface wave methods in the Arsin-Trabzon province, NE*
403 *Turkey. Environmental Earth Sciences*, 75, 1-17. <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4840-6>

404

405 Akın, Ö. (2020). *Trabzon – Ortahisar ilçesi güneyindeki heyelanlı alanların zeminözelliğinin aktif ve pasif yüzey*
406 *dalgası yöntemleriyle incelenmesi* [Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].

407

408 Akkaya, İ., & Özvan, A. (2019). *Site characterization in the Van settlement (Eastern Turkey) using surface waves and*
409 *HVSR microtremor methods. Journal of Applied Geophysics*, 160, 157-170.
410 <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2018.11.009>

411

412 Alkan, H., Çınar, H., Oreshin, S., & Vinnik, L. (2019). *Investigation of the crustal and upper-mantle structure of the*
413 *eastern Pontides orogenic belt (NE, Turkey): a receiver-function study. Journal of Seismology*, 23, 473-491.
414 <https://doi.org/10.1007/s10950-019-09818-1>

415

416 Arrahman, M. A., Tohari, A., & Perwita, C. A. (2023). Seismic microzonation for Lembang fault hazard area in West
417 Bandung Regency based on microtremor measurement. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental*
418 *Science* (Vol. 1288, No. 1, p. 012018). IOP Publishing.

419

420 Ateş, E., & Uyanık, O. (2019). *Jeofizik yöntemler ile yer ve yapı etkileşimi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri*
421 *Enstitüsü Dergisi*, 23, 46-60. <https://doi.org/10.19113/sdufenbed.430906>

422

423 Caielli, G., de Franco, R., Di Fiore, V., Albarello, D., Catalano, S., Pergalani, F., ... & Vassallo, M. (2020). Extensive
424 surface geophysical prospecting for seismic microzonation. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 18, 5475-5502.

425

426 Chopra, S., Choudhury, P., Nikam, R., Chaudhary, P., Limbachiya, H., & Joshi, V. (2023). Use of Geophysical
427 Techniques in Seismic Hazard Assessment and Microzonation. In *Geohazards: Analysis, Modelling and*
428 *Forecasting* (pp. 73-87). Singapore: Springer Nature Singapore.

429

430 Dikmen, Ü. (2009). *Statistical correlations of shear wave velocity and penetration resistance for soils. Journal of*
431 *Geophysics and Engineering*, 6(1), 61-72. <https://doi.org/10.1088/1742-2132/6/1/007>

432

433 Dokuz, A. (2000). *Yusufeli (Artvin-Turkey) yöresinin jeolojisi, jeotektoniği, magmatik- metamorfik kayaların*
434 *jeokimyası ve petrojenezi* [Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].

435

436 Dokuz, A., & Tanyolu, E. (2006). *Geochemical constraints on the provenance, mineral sorting and subaerial weathering*
437 *of lower jurassic and upper cretaceous clastic rocks of the Eastern Pontides, Yusufeli (Artvin), NE Turkey. Turkish*
438 *Journal of Earth Sciences*, 15(2). <https://journals.tubitak.gov.tr/earth/vol15/iss2/4>

439

440 Eurocode 8 (2004). *Design of structures for earthquake resistance – part 1: general rules, seismic actions and rules for*
441 *buildings, authority: The European Union PerRegulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC.*

442

443 Eyuboglu, Y., Dilek, Y., Bozkurt, E., Bektas, O., Rojay, B. & Şen, C. (2010). *Structure and geochemistry of an alaskan-*
444 *type ultramafic-mafic complex in the Eastern Pontides, NE Turkey. Gondwana Research*, 18(1), 230-252.
445 <https://doi.org/10.1016/j.gr.2010.01.008>

446

- 447 Fadli, D. I., Awaliyah, I. A., Hadi, A. I., Farid, M., Akbar, A. J., & Refrizon, R. (2023). Microzonation Site Effects and
448 Shear Strain during Earthquake Induced Landslide Using HVSR Measurement in Ulu Mana Sub-District, South
449 Bengkulu Regency Indonesia. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(2), 592-599.
- 450
- 451 Geopsy (2022, 10 Eylül). <https://www.geopsy.org/download.php>
- 452
- 453 Güven, İ.H. (1993). Doğu Pontidlerin 1/25 000 ölçekli jeolojisi ve komplikasyonu, Maden Tetkik Arama, Ankara
454 (yayımlanmamış)
- 455
- 456 Güven, İ. T. (2022). *Seismic vulnerability indices for ground in Derince-Kocaeli (NW Turkey)*. *Environmental Earth*
457 *Sciences*, 81(5), 167. <https://doi.org/10.1007/s12665-022-10288-x>
- 458
- 459 Güzel, M. (2009). *Mikrobölgeleme çalışmalarında jeolojik, jeofizik, jeoteknik verilerin birlikte kullanımı (kuzey Adana*
460 *örneği)* [Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- 461
- 462 Kandemir, R. (2004). *Sedimentary characteristics and depositional conditions of lower- middle jurassic Şenköy*
463 *Formation in and around Gümüşhane* [Doktora Tezi (yayımlanmamış), Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen
464 Bilimleri Enstitüsü].
- 465
- 466 Keskinsezer, A., & Dağ, E. (2019). *Investigating of soil features and landslide risk in Western-Atakent (İstanbul) using*
467 *resistivity, MASW, Microtremor and boreholes methods*. *Open Geosciences*, 11(1), 1112-1128.
468 <https://doi.org/10.1515/geo-2019-0086>
- 469
- 470 Kim, J., Park, D., Nam, G., & Jung, H. (2024). Shear-Wave Velocity Model from Site Amplification Using Microtremors
471 on Jeju Island. *Applied Sciences*, 14(2), 795.
- 472
- 473 Miller, R. D., Xia, J., Park, C. B., & Ivanov, J. M. (1999). *Multichannel analysis of surface waves to map bedrock*. *The*
474 *Leading Edge*, 18(12), 1392-1396. <https://doi.org/10.1190/1.1438226>
- 475
- 476 Nakamura, Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground
477 surface. *Railway Technical Research Institute, Quarterly Reports*, 30(1), 25-33.
- 478
- 479 NEHRP (2020). *National earthquake hazards reduction program, recommended seismic provisions for new buildings*
480 *and other structures (FEMA P-2082-1), 2020 edition, Vol.1, Part 1: Provisions and Part 2: Commentary*.
- 481
- 482 Özdağ, Ö., Akgün, M., & Gönenç, T. (2020). *Determining bedrock of the northern part of Izmir Bay, western Anatolia,*
483 *using a combination of microtremor, ESPAC, VES, and microgravity methods*. *Bollettino di Geofisica Teorica ed*
484 *Applicata*, 61(4). Doi: 10.4430/bgta0313
- 485
- 486 Öztürk, S., Beker, Y., Sarı, M., & Pehlivan, L. (2021). *Estimation of ground types in different districts of Gümüşhane*
487 *province based on the ambient vibrations H/V measurements*. *Sigma Journal of Engineering and Natural*
488 *Sciences*, 39(4), 374-391. Doi: 10.14744/sigma.2021.00026
- 489
- 490 Park, C. B., Miller, R. D., & Xia, J. (1999). *Multichannel analysis of surface waves*. *Geophysics*, 64(3), 800-808.
491 <https://doi.org/10.1190/1.1444590>
- 492
- 493 Pelin, S. (1977). *Alucra (Giresun) güneydoğu yöresinin petrol olanakları bakımından jeolojik incelenmesi*. *K.T.Ü yayını*,
494 13, 1-103.
- 495
- 496 Pornsopin, P., Pananont, P., Furlong, K. P., Chaila, S., Promsuk, C., Kamjudpai, C., & Phetkongsakul, K. (2024). *Seismic*
497 *Microzonation Map of Chiang Mai Basin, Thailand*. *Trends in Sciences*, 21(3), 7370-7370.
- 498
- 499 Putti, S. P., & Satyam, N. (2020). *Evaluation of site effects using HVSR microtremor measurements in Vishakhapatnam*
500 *(India)*. *Earth Systems and Environment*, 4, 439-454. <https://doi.org/10.1007/s41748-020-00158-6>
- 501
- 502 SeisImager (2022, 2 Haziran). <https://www.geometrics.com/software/seisimager-sw/>
- 503
- 504 SESAME, (2005). *Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations*
505 *measurements, processing and interpretation, European project*.
- 506
- 507 Tüdeş, Ş. (2001). *Gümüşhane kenti ve yakın çevresinin yerleşime uygunluk açısından araştırılması* [Doktora Tezi,
508 Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- 509

- 510 Taş N., Okumuş E., Öner Ş., Köksal C., İcat M. Y., Tanış S. & Aslan N. (2003). *Gümüşhane İl Çevre Durum Raporu,*
511 *Gümüşhane Valiliği İl Çevre ve Orman Müdürlüğü,* 179.
512
- 513 Tokel, S. (1972). Stratigraphical and volcanic history of the Gümüşhane region, NE, Turkey [Doktora tezi
514 (yayınlanmamış), University College].
515
- 516 Türkiye bina ve deprem yönetmeliği. (2018). *Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı.*
517
- 518 Wibowo, N. B., Fathani, T. F., Pramumijoyo, S., & Marliyani, G. I. (2023). Microzonation Of Seismic Parameters In
519 Geological Formation Units Along The Opak River Using Microtremor Measurements. *Geomate*
520 *Journal*, 25(110), 208-219.
521
- 522 Xia, J., Miller, R. D., & Park, C. B. (1999). Estimation of near-surface shear-wave velocity by inversion of Rayleigh
523 waves. *Geophysics*, 64(3), 691-700. <https://doi.org/10.1190/1.1444578>
524
- 525 GCMT-Global CMT Catalog Search. (2024, Şubat, 18) <https://www.globalcmt.org/CMTsearch.html>
526
- 527 KOERİ, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi. (2024, Şubat 18) <http://udim.koeri.boun.edu.tr/>
528
- 529 USGS, The U.S. Geological Survey Works. (2024, Şubat 17) <https://www.usgs.gov/>

Sarıççek ve Sarihan plütonlarının petrofiziksel karakterleri: Yerinde jeofiziksel ölçümlerle manyetik suseptibilite ve radyojenik ısı üretimi ilişkisinin irdelenmesi

Petrophysical characteristics of Sarıççek and Sarihan plutons: Investigation of the relationship between magnetic susceptibility and radiogenic heat production with in-situ geophysical measurements

Suna ALTUNDAŞ*¹ , Hakan ÇINAR² 

¹Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 29100, Gümüşhane

²Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon

• Geliş tarihi / Received: 05.02.2024

• Kabul tarihi / Accepted: 02.05.2024

Öz

Granit kökenli farklı litolojik birimler içeren Eosen yaşlı Sarıççek (Gümüşhane) ve Sarihan (Bayburt) Plütonları üzerinde 532 noktada yerinde radyoaktivite ve manyetik suseptibilite ölçümleri yapılmıştır. Her iki plüton ve çevresindeki kayalardan numuneler alınarak laboratuvar ortamında bu kayaların yoğunlukları belirlenmiştir. Yapılan çalışmada hem granitik kayaların ısı üretimine olan katkıları ile ısı değerine bağlı kabuk sınıflaması hem de kayaların radyojenik ısı üretimi ve manyetik suseptibilite arasında bir ilişkinin olup olmadığı araştırılmıştır. Radyojenik ısı üretim değerine göre yapılan kabuk sınıflamasında; üst-alt kıtasal kabuk kökenli kayalardan oluşan Eosen yaşlı Sarihan Plütonunun ortalama radyojenik ısı değeri ($2.03 \mu\text{W}/\text{m}^3$), üst-orta kıtasal kabuk kökenli kayalardan oluşan Eosen yaşlı Sarıççek Plütonunun değerinden ($1.9 \mu\text{W}/\text{m}^3$) yüksektir. Plüton, Melanj kuşağı ve Hozbirikyayla formasyonları için ortalama suseptibilite değerleri sırasıyla 1.08×10^{-3} SI, 0.132×10^{-3} SI ve 0.059×10^{-3} SI olarak hesaplanmıştır. Ortalama suseptibilite değerleri Sarıççek Plütonu için 1.518×10^{-3} SI ve Alibaba formasyonu için 2.5012×10^{-3} SI olarak belirlenmiştir. Çalışma alanındaki radyoaktif ölçümlere göre Sarıççek Plütonunda radyojenik ısı üretimine en büyük katkı potasyumdan (K) gelirken, Sarihan Plütonunda ise en büyük katkıyı toryum (Th) radyonüklidi sağlamıştır. Sarıççek ve Sarihan Plütonunları ve çevre formasyonların radyojenik ısı üretim değerleri ile manyetik suseptibilite değerleri arasında genel olarak bir uyum söz konusu iken, kayaların içerdiği mineral ve element içeriklerine bağlı olarak uyumsuzluklar da gözlenmiştir. Uyumsuzluklar, magmatizma ve sonrasındaki süreçlerden dolayı radyonüklid miktarlarında ve mineral içeriklerinde meydana gelen düzensiz değişimlerle ilişkilendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Plüton, Kabuksal sınıflama, Manyetik suseptibilite, Radyojenik ısı

Abstract

In-situ radioactivity and magnetic susceptibility measurements were made at 532 points on the Eocene Sarıççek (Gümüşhane) and Sarihan (Bayburt) plutons. Samples were taken from plutons and its surrounding rocks and their densities were determined. In this study, both the contributions of granitic rocks to heat production and whether there is a relationship between these two petrophysical properties of the rocks (radiogenic heat production and magnetic susceptibility) were investigated. In addition, crustal classifications of rocks were made in terms of their radiogenic heat values. In the crust classification based on radiogenic heat production value; the average radiogenic heat production value ($2.03 \mu\text{W}/\text{m}^3$) of the Eocene aged Sarihan Pluton, consisting of rocks of upper-lower continental crust origin, was obtained to be higher than the value of the Eocene aged Sarıççek Pluton ($1.9 \mu\text{W}/\text{m}^3$), consisting of rocks upper-middle continental crust origin. Average susceptibility values for Pluton, Melange belt, and Hozbirikyayla formations were calculated as 1.08×10^{-3} SI, 0.132×10^{-3} SI, and 0.059×10^{-3} SI, respectively. Average susceptibility were determined as 1.518×10^{-3} SI for Sarıççek Pluton and 2.5012×10^{-3} SI for Alibaba formation. The highest contribution to radiogenic heat in Sarıççek and Sarihan Pluton came from K and Th. While there is general in good agreement with radiogenic heat and magnetic susceptibility of the Sarıççek and Sarihan Plutons and formations surrounding, incompatibilities have also been observed in some places depending on the mineral and element contents of rocks. Unconformities have been associated with irregular changes in radionuclide amounts and mineral contents due to magmatism and subsequent processes.

Keywords: Pluton, Crustal classification, Magnetic susceptibility, Radiogenic heat

*Suna ALTUNDAŞ; suna.altundas@gumushane.edu.tr

1. Giriş

1. Introduction

Granit kökenli kayalar; bulunma şekilleri, oluşum türleri ve çoğu zaman maden oluşumlarıyla bir arada bulunmalarından dolayı yerbilimcilerin yakından ilgilendiği ve çalışmalarda önemli bir yeri olan magmatik kayalar topluluğudur. Bu kayalar grubunu önemli kılan karmaşık bir bileşime sahip doğal ergiyiklerden oluşan magmanın varlığıdır. Yer kabuğunun derinliklerinde yüksek basınç ve sıcaklık koşulları altındaki magma içerisinde oksit, silikat, uçucu elementler, sülfür ve su gibi değişik element ve bileşikler bulundurmaktadır. Bünyelerinde bulundurdıkları element ve bileşikler nedeniyle; yaygın kayalar türleri arasında sadece granitik kayalar ısı üretimine katkıda bulunan radyoaktif elementleri (Uranyum (U), Toryum (Th) ve Potasyum (K)) yüksek konsantrasyonlarda içerirler (Jaupart & Mareschal, 2003). Isı üreten ve diğer büyük iyonlu litofil (LIL) elementleri açısından zengin malzemelerin orta ve üst kabuk seviyelerine taşınması, yüksek dereceli metamorfizma, metasomatizm, kısmi erime ve sıvı-eriyik göçü ile ilişkili farklı süreçlerle gerçekleşebilir (Taylor & McLennan, 1985). Potasyum, LIL elementlerinden biridir ve flogopit, muskovit ve biyotit gibi kayalar oluşum minerallerinin temel bir elementi olarak granitlerde yoğunlaşma eğilimine sahiptir. Granitik kayalardaki K konsantrasyonu silis içeriği ile artar. LIL elementlerinden olan ve çoğunlukla kayalarda iz minerallerinde bulunan U ve Th (Van Schmus, 1995) silika içeriği ile zayıf korelasyon (ilişki) göstermektedir. Ancak ısı üretimi bir dereceye kadar SiO₂ içeriği ile ilişkilidir (Artemieva, 2011). Daha da önemlisi radyoaktif bozunma nedeniyle, ısı üretimi yaşla birlikte ve farklı kayalar türleri için farklı bir şekilde azalım göstermektedir. Çünkü kabuksal kayalarda bulunan ana radyoaktif izotoplar (U, Th ve K) farklı konsantrasyonlar, farklı bozunma sabitleri ve farklı miktarlara sahiptir (Van Schmus, 1995; Jaupart & Mareschal, 2003). Granitlerdeki ısı üretiminin sistematik olarak analiz edilmesi özellikle hem kabuk evrim modelleri hem de termal modelleme için önemlidir. Çünkü granitik üst kabuk ²³²Th, ²³⁵U, ²³⁸U ve ⁴⁰K izotoplarının radyojenik bozunmasıyla üretilen ısıdan dolayı yüzey ısı akışına en yüksek katkıyı sağlar. Bu katkı granitik plütonlarda bölgesel olarak yaklaşık %30 ile %80–90 arasında değişmektedir (Artemieva & Mooney, 2001).

Granit kökenli kayalar, içerisindeki elementlere ve türlerine bağlı olmak üzere önemli ölçüde manyetik özellik göstermektedirler. Granitik kayalardaki manyetit ile ilmenit serisi granitleri birbirinden ayırt etmede, manyetik suseptibilite (duyarlılık) parametresi petrografik bir araç olarak kullanılmıştır (Ishihara, 1977; Takahashi vd., 1980; Ellwood & Wenner, 1981; Ishihara vd., 2000). Manyetik duyarlılığın ana kaynağı sırasıyla manyetit serisi granitlerdeki titanomagnetit ve ilmenit serisi granitlerdeki ferromagnezyen silikatlar ve ilmenittir. Bu parametre esas olarak kayalar oluşturan minerallerin bolluğunu, doğasını (manyetit vs silikatlar) ve kimyasal bileşimini (demir/magnezyum oranı) yansıtmaktadır. Bu nedenle manyetik duyarlılık yalnızca petrografik değil, aynı zamanda granitik plütonlar arasındaki jeokimyasal değişimlerin de izlenmesine olanak sağlamaktadır.

Manyetik suseptibilite ve doğal gamma radyoaktivitesi, kayaların mineralojik bileşimleri ile doğrudan ilişkili olan fiziksel özellikler arasındadır (Brimhal & Adams, 1969; Clark, 1997; Harenayama vd., 2006). Radyoaktivite, kayaların mineralojik bileşimi ile ilişkililikten (Dickson & Scott, 1997), manyetik suseptibilite ise esas olarak kayaların içinde var olan manyetik minerallerin karakteri, içeriği, türü ve dağılımı ile ilişkilidir (Clark, 1997). Jeolojik sokulumların oluşumu ve yerleşmesiyle ilgili süreçler mineralojik bileşimleri ile dolayısıyla suseptibilite ve radyoaktivite değerleri kullanılarak belirlenmektedir (Dickson & Scott, 1997; Aydın vd., 2007; Oliveira vd., 2008; Maulana vd., 2013). Volkanik kayalarda ve granitik plütonlarda radyonüklid konsantrasyonlarının araştırılarak radyojenik ısı üretim miktarlarının ve kayaların manyetik suseptibiliteleri belirlenmesi ile ilgili birçok bilimsel çalışma bulunmaktadır (Wollenberg & Smith, 1987; Aydın vd., 2007; Huang vd., 2013; Rodriguez vd., 2017; Artemieva vd., 2017; Hasterok & Webb, 2017; Porquet vd., 2017; Podugu vd., 2017; Batista-Rodriguez vd., 2017b; Abbady & Al-Ghamdi, 2018; Aisabokhae & Tampul, 2020; Batista-Rodriguez vd., 2020; Akingboye vd., 2021; Chopra vd., 2020; Asfahani, 2022; Pueyo vd., 2022; Batista-Rodriguez vd., 2023).

Çalışma için Türkiye'nin kuzeydoğusunda Alp-Himalaya orojenik kuşağındaki Doğu Pontidlerin güney zonunda yüzeyleyen Eosen yaşlı ve farklı litolojik birimlerden oluşan Sarıççek ve Sarıhan Plütonları seçilmiştir (Okay vd., 1997; Aslan, 2005; Topuz & Okay, 2006). Yapılan bu çalışmada, Sarıççek ve Sarıhan Plütonlarının yerinde ölçümlerle manyetik suseptibilite, radyoaktivite ve radyojenik ısı üretim değerleri belirlenmiş ve bu fiziksel özellikler her iki plütonun ana özelliklerini tanımlamada bir araç olarak kullanılmıştır.

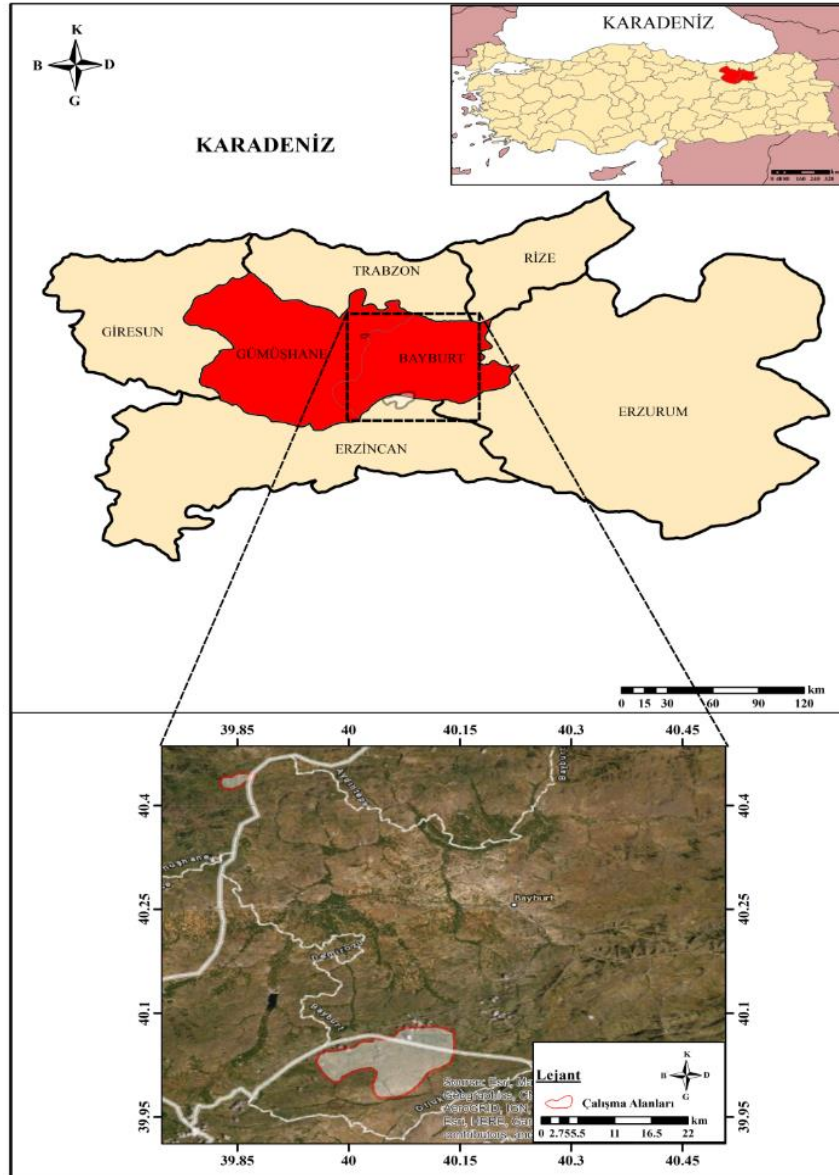
2. Çalışma alanı

2. Study area

2.1. Genel bilgiler

2.1. General informations

Bu çalışma; Gümüşhane ili merkezinden 30 km doğuda yer alan ve Doğu Pontid Kuşağının Güney Zon kesiminde yüzeyleme veren Sarıçiçek Plütону ile bir kısmı Bayburt ilinin yaklaşık 40 km güneyinde bir kısmı ise Erzincan il sınırları içerisinde bulunan Sarıhan Plütону ve çevresinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Elipsoidal şekilli ve uzun eksenli KD-GB yönlü olan Sarıçiçek Plütону yaklaşık olarak 7x2.3 km boyutlarında iken Sarıhan Plütону ise ortalama 40 km²'lik bir alanda yüzlek vermektedir.



Şekil 1. Çalışma alanlarına ait yer bulduru haritası

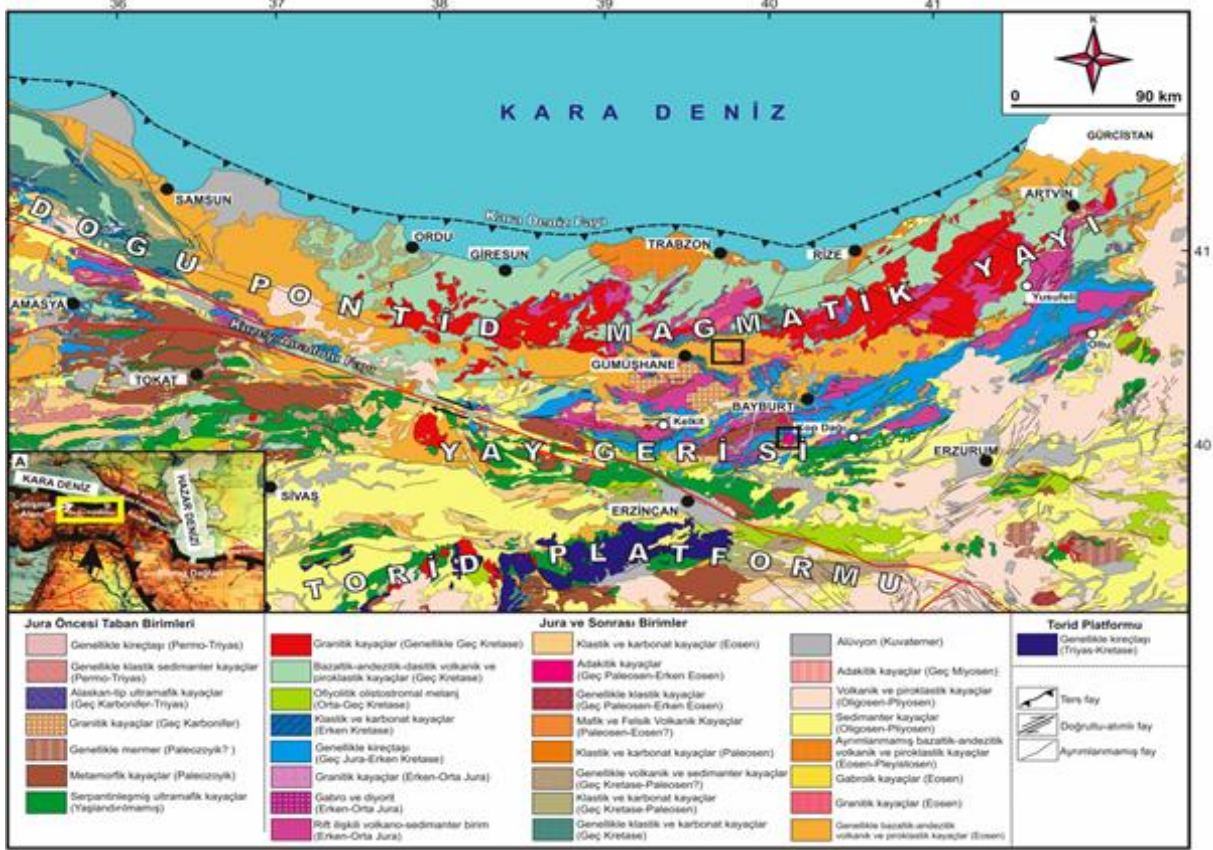
Figure 1. Location map of study areas

2.2. Çalışılan alanların genel jeolojisi

2.2. General geology of studied areas

Alp-Himalaya sisteminin önemli bir parçası olan Doğu Pontid Orojenik Kuşağı, coğrafi olarak Türkiye'nin Karadeniz ve Trakya bölgelerine karşılık gelmektedir (Ketin, 1966). Türkiye'nin kuzeyinde yer alan Pontidler Ketin (1966) ve Canitez (1972) tarafından Kuzey ve Güney Zon olmak üzere iki birime ayrılmıştır. Daha sonra

yapılan çalışmalarda ise Doğu Pontidler Kuzey, Güney ve Eksen Zonu olmak üzere üçe ayrılmıştır (Bektaş vd., 1995; 1999). Her iki ayırmda da inceleme alanları Doğu Pontidlerin Güney Zonu'nda yer almaktadır. Kuzey Zon'da magmatik kayalar çoğunlukta iken Güney Zon'da volkano-tortul özelliğindeki kayalar ağırlık kazanmıştır. Kırmızı renkli kireçtaşları Güney Zon'da tabanda ve tek seviye halinde bulunurken Kuzey Zon'da ortada başlayıp üç seviye halinde bulunmaktadır.

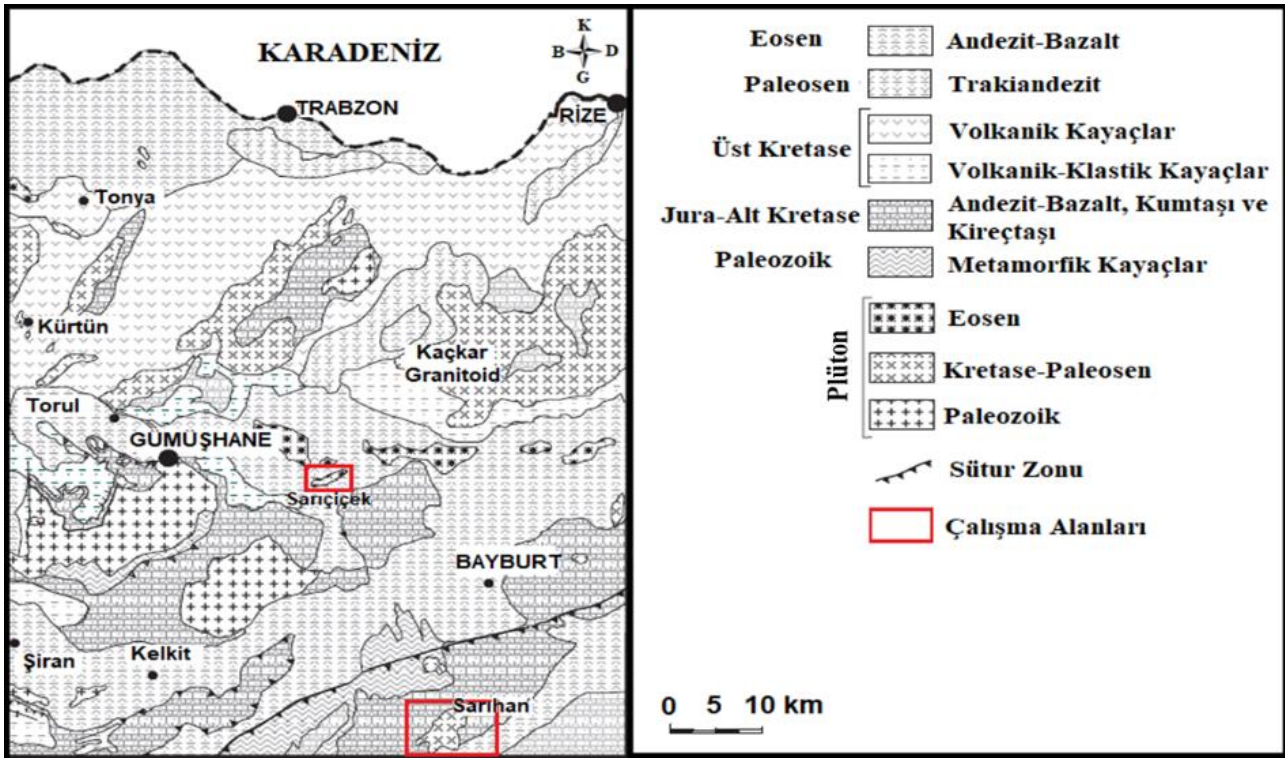


Şekil 2. Çalışma sahaları ve çevresindeki ana tektonik yapılar ile jeolojik birimler (Eyüboğlu vd., 2016a tarafından düzenlenmiştir.)

Figure 2. Main tectonic structures and geological units in and around the study areas (compiled by Eyüboğlu et al., 2016a)

Çalışılan iki kütlede güneyde olanını temsil eden ve kuvarslı monzodiyorit, granodiyorit ile kuvarslı diyoritlerden oluşan Sarıhan Plütonu, Otlukbeli Melanj kuşağı (Orta Kretase) ve kireçtaşından oluşan Hozbirikyayla formasyonu (Geç Jura-Erken Kretase) dokanak halindedir (Şekil 3). Bu dokanak sınırı boyunca kontakt metamorfizma izleri ve skarn mineralizasyonları görülmüştür. Plütön bol miktarda çapları yer yer 40 cm'ye ulaşan mafik mikrogranüler anklavlar içermekte olup, apolit dayk damarları tarafından kesilmiştir (Aslan, 2005). Masif yapıda ve adakitik bileşimli dolgunuz kırık sistemli kütle; I-tipi, kalk-alkali ve genellikle metalümin karakterlidir. Sarıhan Plütönünün yaşı, kayaktan alınan numunelerdeki zirkonların değerlendirilmesiyle yaşlandırma yöntemlerinden U-Pb yöntemi kullanılarak belirlenmiş ve Sarıhan Plütönünün yaşı Erken Eosen (yaklaşık 53 milyon yıl) olarak elde edilmiştir (Eyüboğlu vd., 2011a).

İncelenen kütlelerden diğeri olan ve Gümüşhane il merkezinin yaklaşık 30 km doğusunda yüzeyleyen Sarıçiçek Plütönü (Şekil 3), güney zonun kuzeyine yakın bir yerde Eosen yaşlı volkanik kayalarla çevrilidir. Plütönün elipsoidel biçimde ve KD-GB yönlü yüzeylenmesi Doğu Pontid kuşağındaki büyük ölçekli derin faylardan kaynaklanmıştır. Plütön temelde granodiyorit, granit, kuvarslı monzodiyorit ve kuvarslı monzonit bileşimine sahip kayalardan oluşmaktadır. Kütlede yüzeyleyen kayaç grubu I-tipi plütönik kayaç özelliğine sahip olup, bileşimi kalk-alkali'den yüksek potasyumlu kalk-alkali'ye doğru geçiş göstermektedir (Karlı, 2002). Kütledeki yaşı, zirkonlara uygulanan U-Pb yaşlandırması (Eyüboğlu vd., 2013) ve mafik mineraller üzerinde yapılan Ar/Ar yaş tayini sonucunda (Karlı vd., 2007) Lütésiyen olarak bulunmuştur. Sarıhan Plütönü ile karşılaştırıldığında daha az anklav içeren kütle, iyi gelişmiş kırık sistemlerine sahiptir.



Şekil 3. Çalışılan alanların jeoloji haritası (Güven, 1993'ten değiştirilmiştir.)

Figure 3. The geology map of the studied area (modified from Güven, 1993)

3. Yöntem ve veri toplama

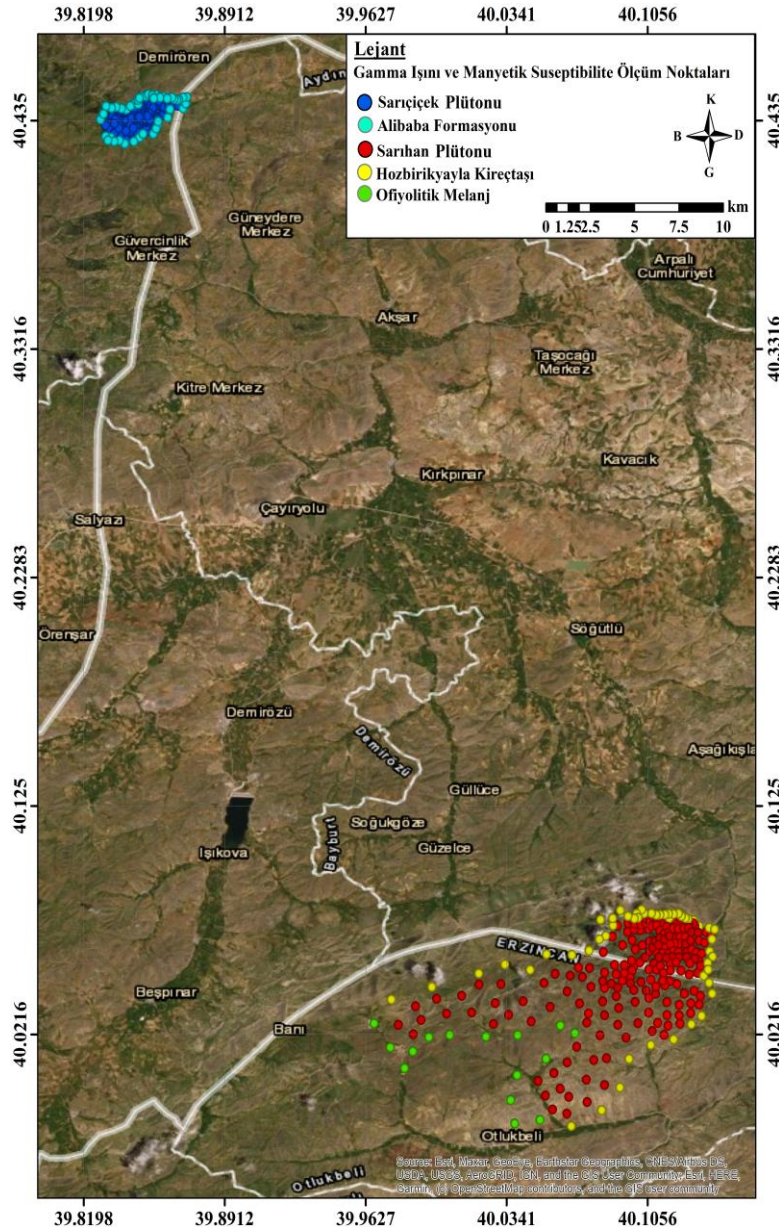
3. Method and data collection

3.1. Yerinde radyoaktivite ölçümleri

3.1. In-situ radioactivity measurements

Radyoaktivite yöntemi, özellikle yer kabuğunda doğal olarak bulunan radyoaktif element içeriklerinin (Potasyum (K), Uranyum (U) ve Toryum (Th)) yüzeydeki dağılımlarının doğrudan belirlenerek yüzey jeolojisinin haritalanmasında etkili olmasının yanı sıra hızlı ölçüm alınması ve ekonomik olması nedeniyle sıklıkla tercih edilmektedir. Çalışma sahasında doğrudan kayaç ya da toprak yüzeyi üzerinde olmak üzere Sarıççek (Gümüşhane) ve Sarıhan (Bayburt) Plütonları ve çevre formasyonlarda sırasıyla 265 ve 267 noktada radyoaktivite ölçümleri yapılmıştır (Şekil 4). Ölçüm sırasında GF marka 512 kanallı, NaI(Tl) kristalli ve 4 pencereci portatif gama-ışını spektrometresi kullanılmıştır. Ölçümlerde kullanılan spektrometre bu üç radyonüklidi toryum için 2.62 MeV (^{208}Tl), uranyum için 1.76 MeV (^{214}Bi) ve potasyum için 1.46 MeV (^{40}K) enerji aralıklarını kullanarak hesaplamaktadır. Uranyum ve toryum tayinleri, yavru nüklidlerin ana nüklidlerle dengede olduğu varsayımına dayanmaktadır ve bu nedenle gama ışını analizlerinin sonuçları “eşdeğer uranyum (eU)” ve “eşdeğer toryum (eTh)” olarak ifade edilmektedir (Killeen & Cameron, 1977).

Spektrometre kullanılarak yerinde yapılan radyoaktivite ölçümleriyle toprak ve kayaçlar içerisinde radyoaktif element miktarları (eU (ppm), K (%), eTh (ppm)) ile doz oranı (D, nGy/h) değerleri ölçülmüştür (Şekil 5). Çalışma alanında her bir formasyon üzerinde alınan ölçümler Şekil 4'te verilen haritada farklı renklerle temsil edilmiştir. Ölçüm sırasında spektrometrenin yerleştirileceği yüzeydeki bitki kökleri ve çöpler temizlenmiştir. Her bir nokta için ölçüm süresi 300 sn olarak belirlenmiş olup, noktalara ait koordinatlar bir GPS yardımıyla kaydedilmiştir.



Şekil 4. Çalışma alanlarındaki yerinde radyoaktivite ve manyetik suseptibilite ölçüm noktaları
Figure 4. In-situ radioactivity and magnetic susceptibility measurement points in the study areas



Şekil 5. Kayaç üzerinde gama ışını spektrometre ve manyetik suseptibilite ölçümleri
Figure 5. Gamma-ray spectrometry and magnetic susceptibility measurements on the rock

3.2. Manyetik suseptibilite ölçümleri

3.2. Magnetic susceptibility measurements

Yapılan birçok jeofizik çalışma için kayaların manyetik suseptibilite (duyarlılık) değeri oldukça önemli bir parametredir. Kayaların bileşimlerinde bulunan ve manyetik özellik sergileyen minerallerin miktarlarına ve türlerine bağlı olarak kayalar farklı oranlarda manyetik suseptibilite özelliği göstermektedir. Manyetik suseptibilite parametresi 'k' sembolü ile temsil edilmektedir. Yapılan suseptibilite ölçümlerindeki amaç; bir örnek içerisindeki mineralin tanımlanması, bunların konsantrasyon ya da toplam hacimlerinin hesaplanması, formasyonun ya da taşınımın süreçlerinin belirlenmesi şeklinde tanımlanabilir (Canbay & Kurtuluş, 2008). Suseptibilite ölçümleriyle oldukça geniş bir alanda yayılım gösteren jeolojik formasyonlar ya da yüzeyleme vermiş kütlelerin içerdiği oldukları manyetik özellik gösteren minerallerdeki en küçük değişimler belirlenebilmektedir. Minerallerin manyetik özelliklerindeki değişimlerinin belirlenmesinin yanı sıra yeraltında gömülü halde bulunan manyetik özellik gösteren ya da göstermeyen katmanlar, kapanım alanları ve litolojik birimler de kolay bir şekilde ayırt edilebilmektedir. Manyetik suseptibilite gerek arazide gerekse laboratuvar ortamındaki kayalar üzerinde oldukça kolay bir şekilde ölçülebilen petro-fiziksel bir parametredir. Özellikle arazi çalışmalarında yüzeylemiş kayalar üzerinde suseptibilite ölçümlerinin yapılabilmesi için birçok portatif suseptibilite ölçerler geliştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında Gümüşhane'de 265 ve Bayburt'ta 267 olmak üzere toplamda 532 noktada suseptibilite ölçümü yapılmıştır. Çalışmada ölçümler Terraplus marka KT-10 Plus S/C Suseptibilite ölçer ile alınmıştır. Cihaz hem suseptibilite hem de iletkenlik ölçümü yapma özelliğine sahiptir. Boyutunun küçük ve ölçümlerin kısa sürede alınabilmesi avantajından dolayı saha ölçümlerinde sıklıkla tercih edilmektedir. Yaklaşık olarak 500'den fazla ölçümü hafızasına depolayabilen bu cihazın hassasiyet değeri 1×10^{-6} SI'dır. Yapılan çalışma kapsamında cihazın kullanma prosedürüne bağlı olarak her bir noktada 3 adet ölçüm yapılmış ve ortalamaları kaydedilmiştir.

3.3. Radyojenik ısı üretimi

3.3. Radiogenic heat production

Yüzeysel ısı akısını kabukta var olan ve radyoaktif özellik gösteren elementlerin bozuluşu sonucu meydana gelen ısı ile alt kabuk-üst manto arasındaki etkileşim sonucu ortaya çıkan ısı oluşturmaktadır. Radyojenik ısının kaynağını, yer kabuğunda bulunan uzun ve kısa yarı-ömürlü radyoaktif izotoplar oluşturmaktadır. ^{26}Al , ^{26}Cl ve ^{60}Fe gibi kısa yarı ömürlü radyoaktif izotoplar yerkürenin ilk dönemlerindeki ısı üretiminde etkili olurken, ^{235}U , ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K gibi uzun ömürlü izotoplar ise yerkürenin ilk oluşumundan günümüze kadar radyojenik ısı üretiminde aktif olarak rol almaktadır. Bu radyoaktif izotoplar arasında K'nın bu ısı üretimine olan etkisi Th ve U izotoplarının ısıya olan katkısından çok daha azdır. Magmatik kayalarda (granit gibi) bu izotoplar yüksek miktarlarda bulunduğu için bu kayalar yüksek iç ısı üretimine sahiptir. Çünkü radyoaktif özellik gösteren bu elementlerin bozunurken ortamda beta, alfa ve gama partiküllerinin salınımı sonucunda bir elektromanyetik dalga yayılımı meydana gelmektedir. Bu dalgalar, bir yandan ortamda bulunan farklı atomlar tarafından emilirken, diğer taraftan da salınım halindeki partiküllerle çarpışır ve bu atomların kinetik enerjilerinde bir artış oluşur. Bu durum ortamdaki kinetik enerjinin artmasına dolayısıyla sıcaklığın artmasına neden olur (Göktürkler, 2002). Üst kabukta oluşan ve radyojenik ısı olarak adlandırılan bu enerjinin litosferdeki ısı akısı ile eklenmesi ısı değerinde artışa neden olur. Kıtasal kısmın en üst katmanından yayılan toplam ısının %50-70'ini kabuktan kaynaklanan radyojenik ısı oluşturmaktadır (Waples, 2002; Rudnick & Fountain, 1995). Yerkabuğunun radyojenik ısı üretim değeri ile ilgili yapılan çalışmada bu değer $21-34 \mu\text{W}/\text{m}^3$ arasında bulunmuştur (McLennan & Taylor, 1996).

A ile temsil edilen radyojenik ısı üretim değerinin birimi $\mu\text{W}/\text{m}^3$ olup, Rybach (1976) tarafından geliştirilen radyojenik ısı üretim bağıntısı kullanılarak hesaplanmaktadır. Yüzeysel yapılan gamma ışını ölçümleri ile belirlenen radyoaktif elementler ve kayaç yoğunluk değerleri kullanılarak kayaların radyojenik ısı üretim miktarları kolay bir şekilde hesaplanmaktadır. Yapılan çalışmada her iki plüton ve çevre formasyonlarını oluşturan kayaların radyojenik ısı üretim miktarları (1) nolu bağıntı ile hesaplanmıştır.

$$A(\mu\text{W}/\text{m}^3) = \rho(0.0957C_U + 0.0256C_{Th} + 0.0348C_K) \quad (1)$$

Bağıntıda; C_U ve C_{Th} ppm olarak uranyum ve toryum konsantrasyon değerlerini, C_K % olarak potasyum konsantrasyonunu ve ρ ise kayaç yoğunluğunu (gr/cm^3) göstermektedir.

3.4. Kayaç yoğunluklarının belirlenmesi

3.4. Determination of rock densities

Kayaçların radyojenik ısı üretimine olan katkıları içerdikleri radyoaktif element miktarları ve yoğunluk değerleri kullanılarak hesaplanmaktadır. Yoğunluk değerleri kayacın türüne göre farklılık göstermektedir. Çalışma sahasından her iki plüton ve çevresindeki kayaçlardan bu formasyonları en iyi temsil edecek şekilde örnekler alınmıştır. Herbir formasyon için ayrı ayrı kayaç yoğunlukları belirlenmiş olup, hesaplamalarda kullanılmak üzere herbir formasyonu temsil edecek ortalama yoğunluk değeri alınmıştır. Yoğunluk belirleme deneyleri Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliğinde bulunan Uygulamalı Jeoloji Laboratuvarında yapılmıştır. Araziden alınan kayaç numuneleri bozmuş ve altere olmuş yapılarından dolayı yoğunluk belirleme deneylerinde kullanılan belirli geometrik şekillerde kesilememiştir. Bu nedenden dolayı yoğunluk değerleri su taşıma tekniği ile belirlenmiştir. Öncelikli olarak kayaç örnekleri hassas terazide tartılarak kütleleri belirlenmiştir. Yapılan bu deneyde, belirli bir geometriye sahip olmayan bu örnekler kullanılan dereceli silindire uygun boyutlara getirilmiştir. Dereceli silindire su konulup hacmi okunmuş, daha sonra kütlesi bilinen örnekte içine konularak tekrar hacim okunup örneğin hacmi belirlenmiştir. Kütle (m) ve hacmi (V) belirlenen her bir formasyon için yoğunluklar ($\rho=m/V$) hesaplanmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. Kayaç örneklerinin laboratuvarında belirlenen yoğunlukları (Altundaş, 2016)

Table 1. Densities of rock samples determined in the laboratory (Altundaş, 2016)

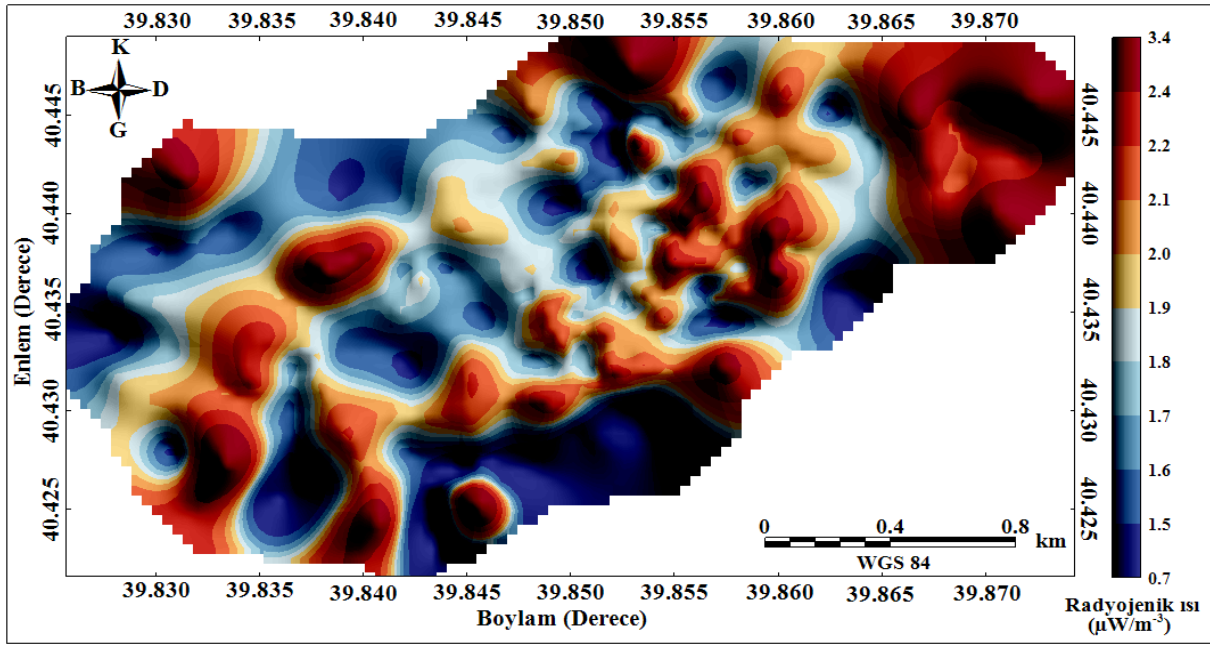
Kayaç Örneği	V (cm ³)	m (gr)	ρ (gr/cm ³)
Alibaba formasyonu	12.5	35.83	2.8664
Sarıççek Plütonu	28	70.96	2.5342
Sarihan Plütonu	15	39.47	2.6313
Ofiyolitik melanj	20	43.52	2.176
Hozbirikyayla formasyonu	20	56.56	2.828

4. Bulgular ve tartışma

4. Results and discussion

Yapılan çalışmada, Gümüşhane ilinde bulunan Sarıççek ve Bayburt ilinde bulunan Sarihan Plütonları ve çevre kayaçları da içeren bir alan içerisinde toplamda 532 noktada olmak üzere doğrudan kayaç ve toprak yüzeyi üzerinde manyetik suseptibilite ve radyoaktivite ölçümleri yapılmıştır. Arazi çalışması sonucunda elde edilen eU, eTh ve K konsantrasyonları ve laboratuvarında belirlenen yoğunluk değerleri kullanılarak her iki çalışma alanına ait radyojenik ısı üretim değerleri hesaplanmıştır. Yerinde yapılan manyetik suseptibilite ölçümleri ve radyojenik ısı üretim değişimlerini gösteren haritalar hazırlanmış ve çalışma alanlarının jeolojisi de göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir.

Sarıççek Plütonu ve bu kütleyi çevreleyen Alibaba formasyonundaki kayaçların bileşimlerine ve mineral türüne göre farklı oranlarda içerdikleri radyonüklid konsantrasyonları ve yoğunluk değerlerine bağlı olarak (1) nolu bağıntı (Rybach, 1976) kullanılarak bu kayaçların ısı üretimine olan katkısı belirlenmiştir. Çalışılan alan için radyojenik ısı üretim değişimini gösteren harita Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 6'da ısı değerlerinin yaklaşık olarak 0.89-3.4 $\mu\text{W}/\text{m}^3$ aralığında değiştiği açık bir şekilde görülmektedir (Tablo 2). En düşük radyojenik ısı değerleri, kütleyi çevreleyen ve yer yer altere olmuş andezitler ve bazaltik kayaçlardan oluşan Alibaba formasyonu üzerinde gözlenmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi plütonun iç ve kenar kesimlerinde de yer yer düşük değerler gösteren kapanımlar bulunmaktadır. Sarıççek plütonunun orta kısımlarındaki ısı değerleri ortalama değer üzerinde bir değişim sergilemekte olup, bu değerlerin değişim aralığı 1.8-2.15 $\mu\text{W}/\text{m}^3$ olarak belirlenmiştir. Çalışma alanında yapılan radyoaktivite ölçüm sonuçlarına göre alandaki kayaçlarda K ve eTh radyonüklidlerinin bulunma miktarı eU miktarından daha fazla olduğu için K ve eTh ısı üretimine daha fazla katkı sağlamaktadır.



Şekil 6. Sarıçiçek Plütunu ile çevresindeki radyojenik ısı dağılımı

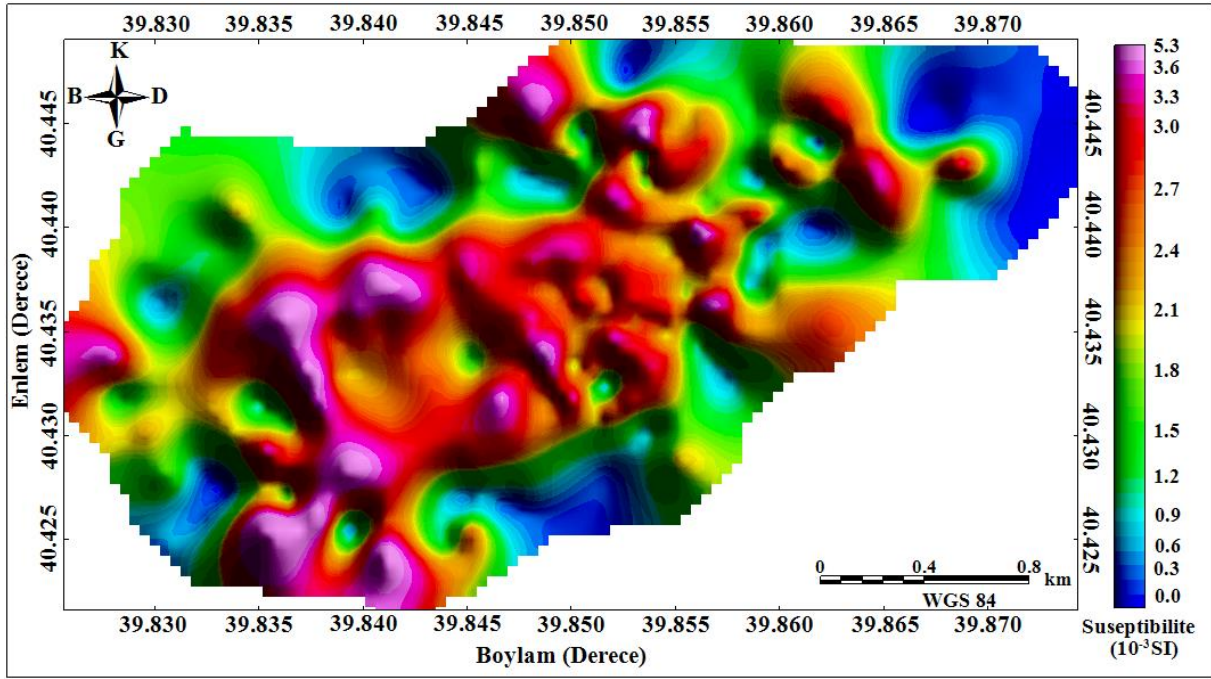
Figure 6. Radiogenic heat distribution in Sarıçiçek Pluton and its surroundings

Isı üretimine katkıda bulunan kayaçların kökeninin belirlenmesi için farklı araştırmacılar tarafından (Taylor & McLennan, 1985; Jokinen & Kukkonen, 1999; He vd., 2009) yapılan çalışmalar sonucu elde edilen verilerle Sarıçiçek Plütunu ve çevre kayaçlar için hesaplanan ortalama radyojenik ısı üretim değerleri karşılaştırılmıştır. He vd. (2009) ortalama radyojenik ısı değerlerini toplam kabuk, alt kabuk, orta ve üst kabuk için sırasıyla 0.24, 0.37, 0.83 ve 1.10 $\mu\text{W}/\text{m}^3$ olarak tanımlarken, Taylor ve McLennan (1985) tarafından bu değerler 0.89, 0.19, 1.0 ve 1.65 $\mu\text{W}/\text{m}^3$ olarak hesaplanmıştır. Bunun yanısıra Jokinen ve Kukkonen (1999) yaptıkları çalışmada litosferik manto, alt kabuk, orta kabuk ve üst kabuk için ortalama radyojenik ısı değerlerini 0.002, 0.2, 0.6 ve 1.8 $\mu\text{W}/\text{m}^3$ olarak elde etmişlerdir. Sarıçiçek Plütunu ve çevresi için elde edilen ortalama değer üst kıtasal kabuk kökenli kayaçlara karşılık gelmektedir.

Tablo 2. Sarıçiçek Plütunu ile çevresinin radyonüklid, suseptibilite ve radyojenik ısı değerleri (Altundaş, 2016)
Table 2. Radionuclide, susceptibility and radiogenic heat values of Sarıçiçek Pluton and its surroundings (Altundaş, 2016)

	K (%)	eU (ppm)	eTh (ppm)	D (nGy/h)	A ($\mu\text{W}/\text{m}^3$)	k ($\times 10^{-3}$ SI)
Minimum	0.8	0.5	2.9	30.435	0.885	0.004
Maksimum	5.22	8.9	23.6	153.12	3.385	5.32
Ortalama	2.98	3.15	12.45	87.54	1.884	2.282
Kabuk ort. (IAEA, 2003)	2-2.5	2-3	8-12	---	---	---
Kabuk ort. (Sharma, 1997)	---	---	---	---	1.1	---

Şekil 7’de Sarıçiçek Plütunu ve Alibaba formasyonu üzerinde portatif bir suseptibilite ölçer kullanılarak alınan manyetik suseptibilite ölçülerinin değişimini gösteren harita verilmiştir. Tüm çalışma alanı için ortalama suseptibilite değeri 2.282×10^{-3} SI olarak hesaplanmıştır. Ortalama suseptibilite değerleri Sarıçiçek Plütunu için 1.518×10^{-3} SI ve Alibaba formasyonu için 2.5012×10^{-3} SI olarak belirlenmiştir. Çalışma alanına ait manyetik suseptibilite değişim haritası incelendiğinde, özellikle plütunun kuzeydoğu kesimi ile andezit ve bazaltlardan oluşan çevre kayaçlarda düşük değerlere sahip alanlar göze çarpmaktadır.

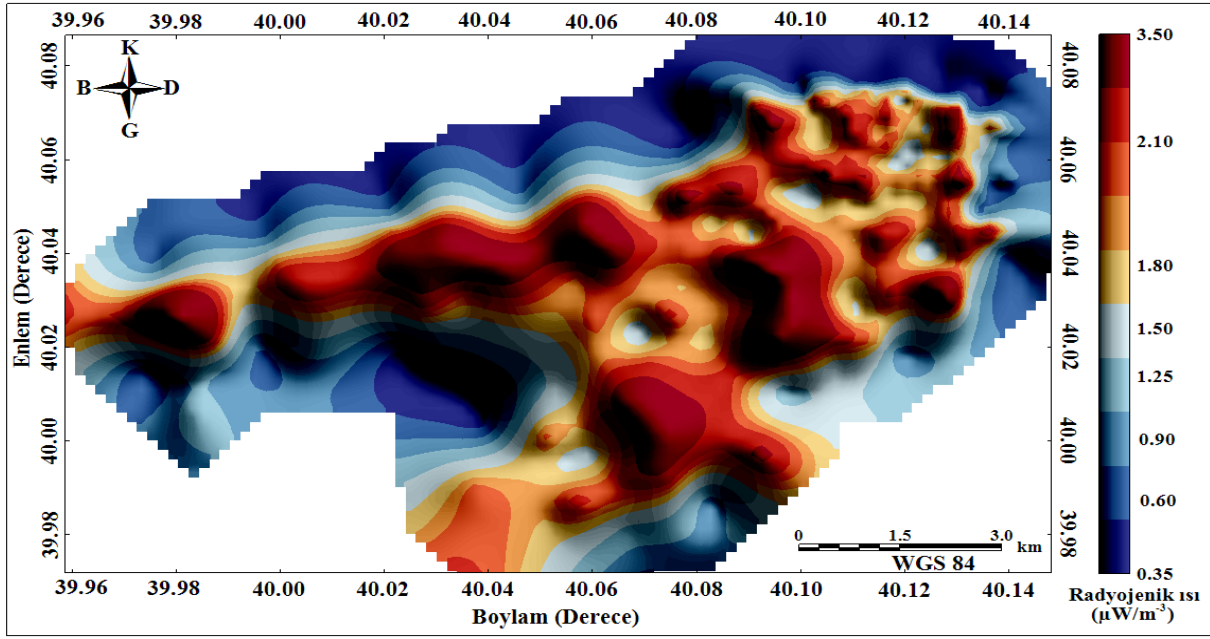


Şekil 7. Sarıçiçek Plütunu ve çevresinin manyetik suseptibilite haritası

Figure 7. Magnetic susceptibility of Sarıçiçek Pluton and its surroundings

Karlı (2002) tarafından yapılan çalışmada; Sarıçiçek Plütununun taze görünümlü grimsi ve pembemsi granit, kuvarslı monzodiyorit, kuvarslı monzonit ve granodiyoritten oluşan kayaçlar ile kuvarslı diyorit, diyorit, kuvarslı monzodiyorit ve monzodiyorit karışımı içeren kapanımlarından oluştuğu tespit edilmiştir. Sarıçiçek Plütunu; kuvars, ortoklas, plajiyoklas, piroksen, biyotit, amfibol, sfen ve Fe-Ti oksit (ilmenit ve magnetit) minerallerinden oluşurken, ikincil mineral olarak yer yer, epidot ve kloritler gözlenmiştir (Karlı, 2002). Bu farklı kayaç gruplarının manyetik özellik gösteren mineralleri farklı tür ve miktarlarda içermelerinden kaynaklı olarak plütunun büyük çoğunluğunda yüksek suseptibilite değerleri ölçülürken yer yer orta ve düşük değerlerde görülmüştür. Sarıçiçek Plütundaki yüksek suseptibilite değerlerine sahip kapanımlar içerisinde bol miktarda biyotit minerali içeren kayaçlar ile ilişkilendirilirken, düşük değerli kapanımlar ise biyotit içermeyen granitik kayaçlara karşılık gelmektedir.

Volkanik kayaçların manyetik suseptibilite değerleri Fe_2O_3 , CaO ve MgO ile pozitif ilişki gösterirken, SiO_2 ve NaO_2 ile negatif ilişki göstermektedir. Bunun yanı sıra potasik magmanın farklılaşması suseptibilite değerlerinde ters yönde bir değişimin olmasına neden olmaktadır (Elitok vd., 2010). Sarıçiçek Plütunda; MgO değeri 11.9-18.2, SiO_2 değeri ana kayaçlarda % 58-75 kapanımlarda %53-58 ve K_2O ise oldukça yüksek olup ana kayaçlarda % 2-4.5 kapanımlarda %1-2.5 arasında değişmektedir (Karlı, 2002). Suseptibilite değerinin düşük olarak gözlemlendiği alanlar manyetik özellik gösteren mineral içeriği az, SiO_2 içeriği ise yüksek olan granitlerle ilişkilendirilmiştir. Bunun yanı sıra ölçülen potasyum konsantrasyonlarının yüksek olduğu bazı alanlarda suseptibilite değerlerinin düşük olması potasik magma farklılaşmasının suseptibilite değerlerini ters yönde etkilemesi sonucu desteklemektedir.



Şekil 8. Sarihan Plütünü ve çevresinin radyojenik ısı üretimi haritası
Figure 8. Radiogenic heat production map of Sarihan Pluton and its surroundings

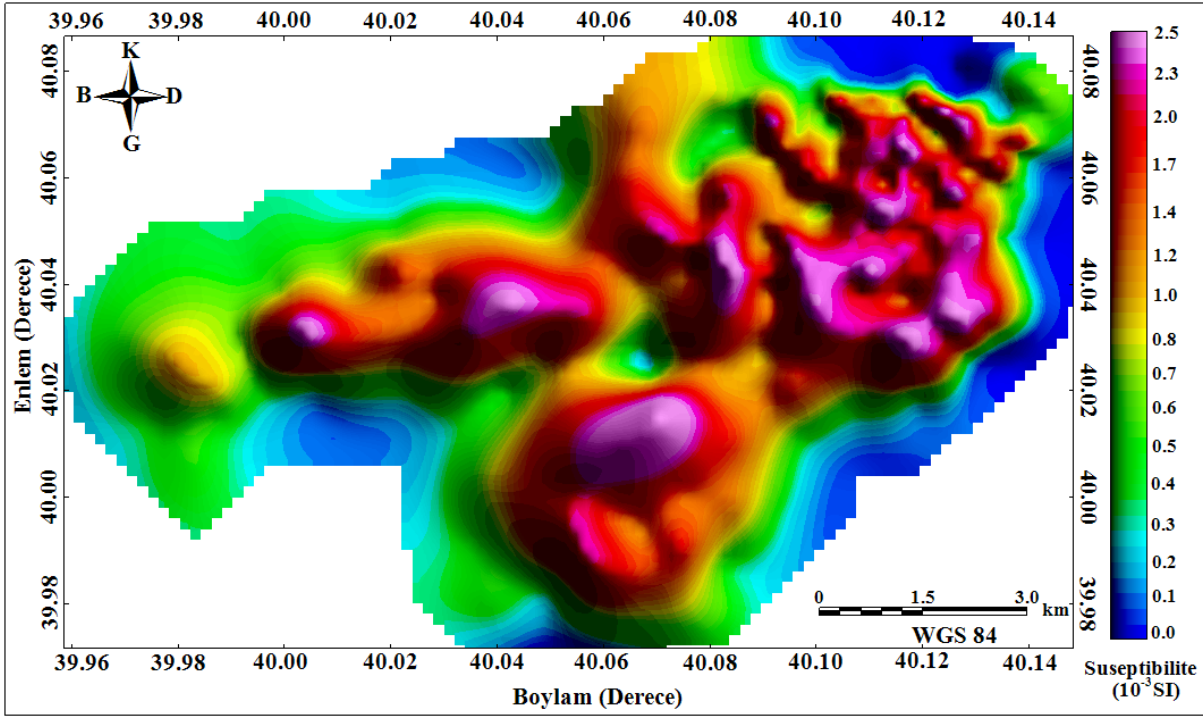
Sarihan Plütünü ve çevresi için radyojenik ısı üretim haritası Şekil 8’de verilmiştir. Çalışma alanındaki radyojenik ısı değerleri $0.367\text{-}3.498 \mu\text{W}/\text{m}^3$ arasında değişmekte olup, ortalama değer ise $1.772 \mu\text{W}/\text{m}^3$ olarak hesaplanmıştır (Tablo 3). Ofiyolitik Melanj kuşağı (kireçtaşı, kumtaşı, radyolarit, bazalt, andezit ve piroklastları) ile Hozbirikyayla formasyonunda (fosilli kireçtaşı) ısı üretim değerleri oldukça düşük ölçülürken, Sarihan Plütünüde ise orta ve yüksek radyojenik ısı değerleri elde edilmiştir. Radyojenik ısının hesaplanması için yapılan radyoaktivite ölçümlerinde eTh konsantrasyonu yüksek değerlerde ölçülmüştür ve bu alanda ısı üretimine en büyük katkıyı eTh radyonüklidi vermiştir. Sarihan Plütünü, Ofiyolitik Melanj ve Hozbirikyayla formasyonunun ortalama radyojenik ısı değerleri $2.03 \mu\text{W}/\text{m}^3$, $1.354 \mu\text{W}/\text{m}^3$ ve $0.89 \mu\text{W}/\text{m}^3$ olarak bulunmuştur.

Bu kütle ve çevresi için hesaplanan ortalama değerler; Taylor ve McLennan (1985), Jokinen ve Kukkonen (1999) ve He vd. (2009) tarafından verilen değerler ile karşılaştırılmış ve verilere göre kayaçların alt ve üst kıtasal kabuk kökenli olduğu görülmüştür. Literatürde verilen bu ortalama değerler her bir formasyona göre değerlendirilmesi halinde; plütünü ve melanj kuşağını oluşturan kayaçların üst kıtasal kabuk kayaçlarından, hozbirikyayla formasyonunun ise orta ve toplam kabuk kayaçlarından (Jokinen & Kukkonen, 1999; He vd., 2009) oluştuğu görülmektedir. Bu formasyonlar ayrıca Sharma (1997) tarafından verilen ortalama kabuk değerine göre de değerlendirilmiş ve hozbirikyayla formasyonu dışındaki melanj kuşağı ve plütünü ortalama radyojenik ısı değerinin dünya ortalamasının ($1.1 \mu\text{W}/\text{m}^3$) üzerinde olduğu görülmüştür.

Tablo 3. Sarihan Plütünü ile çevresinin radyonüklid, süseptibilite ve radyojenik ısı değerleri (Altundaş, 2016)
Table 3. Radionuclide, susceptibility and radiogenic heat values of Sarihan Pluton and its surroundings (Altundaş, 2016)

	K (%)	eU (ppm)	eTh (ppm)	D (nGy/h)	A ($\mu\text{W}/\text{m}^3$)	k ($\times 10^{-3}$ SI)
Minimum	0.01	0.8	0.2	8.038	0.367	0.003
Maksimum	4.41	5.4	33.6	158.78	3.498	2.65
Ortalama	1.83	2.73	13.6	73.03	1.772	0.83
Kabuk ort. (IAEA, 2003)	2-2.5	2-3	8-12	---	---	---
Kabuk ort. (Sharma, 1997)	---	---	---	---	1.1	---

Yüzeiden yapılan ölçümlerle Sarıhan Plütonu ve çevresi için oluşturulan manyetik suseptibilite haritasında; Plüton, Hozbirikyayla ve Melanj kuşağı arasındaki suseptibilite farkı açık bir şekilde gözlenmektedir (Şekil 9). Plüton (1.08×10^{-3} SI), Melanj (0.132×10^{-3} SI), Hozbirikyayla (0.059×10^{-3} SI) formasyonları ile tüm alan (0.83×10^{-3} SI) için ortalama suseptibilite değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 9. Sarıhan Plütonu ve çevresinin manyetik suseptibilite haritası

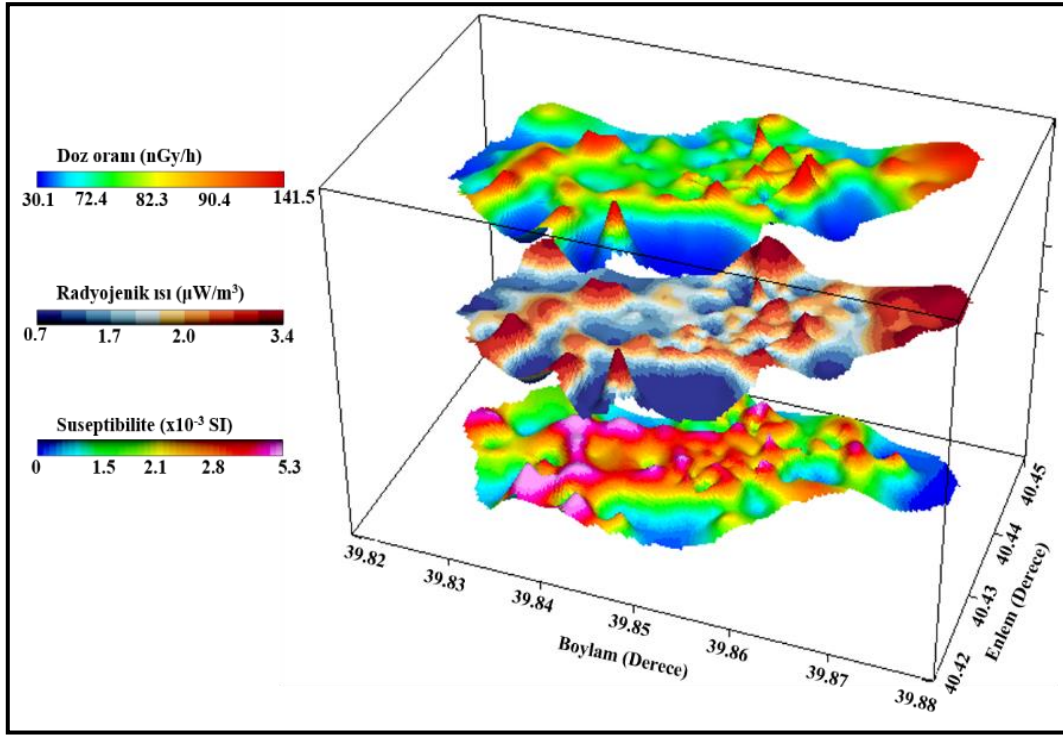
Figure 9. Magnetic susceptibility of Sarıhan Pluton and its surroundings

Magmatik kökenli plütonda yüksek değerler elde edilirken, Hozbirikyayla formasyonunun üyesi olan kireçtaşı ve kumlu kireçtaşı gibi sedimanter kayalarda düşük değerler ölçülmüştür. Plüton içerisinde kuvars ve feldispat gibi diyamanyetik mineralleri, hornblend ve biyotit gibi paramanyetik mineralleri ve manyetit olan bir ferrimanyetik minerali barındırdığı için yüksek değerler ölçülmüştür. Sarıhan Plütunda SiO_2 %65-67 arasında değişirken, Mg % 1.48-3.04, Fe_2O_3 % 0.46-2.10, Fe % 1.47-2.34 ve Na_2O %4.10-5.15 arasında değişmektedir (Aslan, 2005). Ayrıca plüton üzerindeki yüksek değerli kapanımlar sağlam ve altere olmamış kayalarla ilişkilendirilirken, orta kısımdaki düşük değerli kısım plüton ve çevre kayaları oluşturan formasyonların dokanak sınırında bulunan ayrılmış, bozunmuş ve toprağımsı bir görünüm sunan volkanik kayalar olarak değerlendirilmiştir. Saha çalışmaları sırasında bazı kireçtaşları üzerinde yapılan ölçümlerin neredeyse sıfıra yakın değerlerden oluşması bu alandaki kireçtaşlarının miktatsızlanma özelliklerinin çok az ya da hiç olmadığını işaret etmektedir.

Sarıhan Plütununun Hozbirikyayla formasyonunu kesmesi ile gelişen skarn zonunda manyetit minerali oluşurken, bu mineralin ayrışma ürünleri olan lepidokrositin, götit, martit ve hematit haricinde bir de malakitten oluşan ve plütunun güney, güneybatı ve doğu sınırları boyunca oldukça geniş bir alanda yüzeyleme veren bir oksidasyon zonu oluşumu söz konusudur. Bu oluşum esnasında ayrıca kireçtaşlarının mermer ya da yan kristalize kireçtaşlarına dönüşmesi sonucunda fazla miktarda manyetit cevheri oluşumu da gözlenmiştir (Aslan, 1998; Aydın vd., 2007). Çalışma alanında, Aydın vd. (2007) tarafından manyetik suseptibilite ölçümleri alınarak olası cevher kütlelerinin yaklaşık rezervi ve derinliğe bağlı değişimi belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışma sonucunda plüton üzerinde suseptibilite değerleri $0.142-2.55 \times 10^{-3}$ SI arasında değişmekte olup, ortalaması 1.19×10^{-3} SI olarak hesaplanmıştır. Yapılan bu çalışma kapsamında Sarıhan Plütonu için elde edilen ortalama suseptibilite değeri (1.08×10^{-3} SI), Aydın vd. (2007) tarafından bulunan ortalama değer ile uyumludur.

Sarıççek ve Sarıhan plütunları üzerinde yapılan yerinde ölçümler ve bu ölçümler kullanılarak hesaplanan parametreler arasında herhangi bir ilişki varlığının ortaya çıkarılması amacıyla radyoaktivite, radyojenik ısı ve suseptibilite değişim haritaları bir arada çizilerek incelenmiştir (Şekil 10 ve Şekil 11). Çalışma alanında yapılan

radyoaktivite ölçümleri sonucu eU, eTh ve K radyonüklidlerinin katkıları ile ölçülen ve ortamdaki radyoaktivite seviyesini gösteren doz oranı haritasında plütonik kütle içerisinde SiO₂ içeriği yüksek olan (kuvars ve potasyumlu feldispat içeriği yüksek) granitik kayalarda yüksek değerler gözlenmektedir.



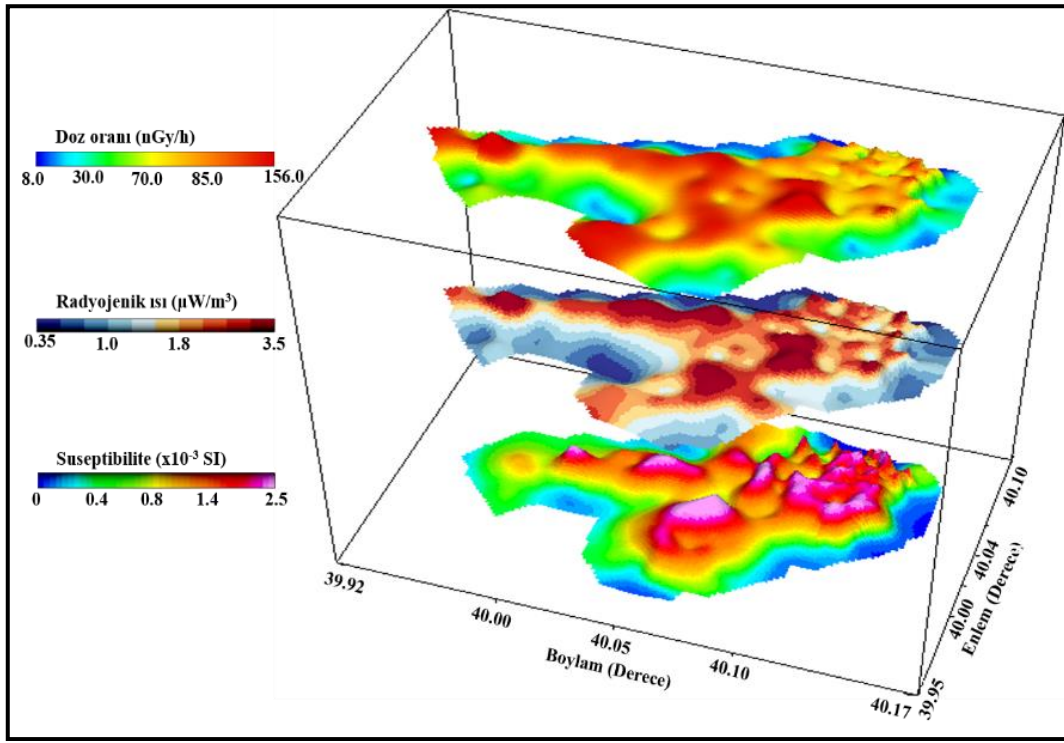
Şekil 10. Sarıççek Plütunu ve çevresi için doz oranı, radyojenik ısı üretim ve suseptibilite haritası

Figure 10. The dose rate, radiogenic heat, and susceptibility map for Sarıççek Pluton and its surroundings

Radyojenik ısı üretim değerleri, doğrudan kayaların yoğunluğu ve radyonüklid konsantrasyonları (K, eU ve eTh) ile ilişkili olduğu için ısı üretim ve toplam radyonüklid anomali haritalarındaki değişimler birbiriyle uyum içerisindedir. Gerek plütonik kütlelerin gerekse çevre formasyonun manyetik ve radyoaktif özelliğe sahip element ve mineralleri farklı oranlarda içermesi nedeniyle yüksek suseptibilite, radyojenik ısı üretim ve doz oranı değerleri plüton üzerinde elde edilirken, andezit ve bazaltlardan oluşan Alibaba formasyonu üzerinde düşük değerler ölçülmüştür (Şekil 10). Kütle üzerinde bazı alanlarda ise radyoaktivite ve manyetik suseptibilite değerleri arasında uyumsuzluklar göze çarpmaktadır. Bu durum ise magmatizma ve sonrasındaki süreçlerle ilişkilidir. Süreç sonucunda radyonüklid miktarlarında ve mineral içeriklerinde düzensiz değişimler oluşmakta ve dolayısıyla kayalar radyoaktif element ve manyetik mineralleri farklı oranlarda bulundurmaktadır.

Şekil 11'den de görüldüğü gibi en yüksek radyoelement konsantrasyonları, radyojenik ısı ve manyetik suseptibilite değerleri esas olarak kuvarslı monzodiyorit, granodiyorit, kuvarslı diyoritten oluşan Sarıhan Plütunu üzerinde elde edilirken, en düşük değerler plütunu KB'dan GD'ye doğru çevreleyen Hozbirikyayla formasyonu (kireçtaşı ve kumlu kalkerler) ve Ofiyolitik melanj üzerinde ölçülmüştür. Jeokimyasal döngü içerisinde U ve Th en kararsız elementlerdir. Bu nedenle, bu elementlerin miktarları genellikle farklılaşma, fraksiyonel kristalleşme, kısmi erime vb. gibi magmatik süreçlerin son aşamasında artar ve bu da kayalarda SiO₂ ve alkali miktarının artmasına neden olur. Böylece bu elementler asidik kayalarda zenginleşir (Wilson, 1989; Rollinson, 1993). Dolayısıyla bu kayaların yüksek oranda radyoaktif element içermesine bağlı olarak radyojenik ısı üretimine katkısı da fazla olmaktadır. Sarıhan Plütununun kireçtaşlarına olan etkisiyle oluşan skarn zonundaki cevher örneklerinde yoğun manyetit mineralinin bulunması da (Aslan, 1998) plütonik kütle üzerindeki yüksek suseptibilite değişimlerini açıklamaktadır. Sonuç olarak Sarıhan plütunu üzerinde elde edilen bütün parametre değişimleri birbiri ile uyum içerindedir.

Yapılan çalışma sonucunda elde edilen manyetik suseptibilite ve radyojenik ısı üretim değerleri, literatürde yer alan benzer çalışmalarla karşılaştırılarak Tablo 4'te verilmiştir. Dünya'da yapılan çalışmalarla bu çalışma kapsamında elde edilen veriler kıyaslandığında hem Sarıççek hem de Sarıhan Plütunlarını oluşturan jeolojik birimler için elde edilen değerlerin yapılan birçok çalışmadaki ortalama değerlerle uyumlu olduğu görülmüştür.



Şekil 11. Sarihan Plütunu ve çevresi için doz oranı, radyojenik ısı üretim ve suseptibilite haritası
Figure 11. The dose rate, radiogenic heat, and susceptibility map for Sarihan Pluton and its surroundings

Tablo 4. Çalışmada elde edilen radyojenik ısı ve manyetik suseptibilite değerlerinin benzer araştırmalarla karşılaştırılması

Table 4. Comparison of radiogenic heat and magnetic susceptibility values obtained in this study with similar studies

Kayacın türü	Referanslar	A ($\mu\text{W}/\text{m}^3$)	k ($\times 10^{-3}$ SI)
Tortul kayalar	(Roque & Riberio, 1997)	< 0.37	---
Bazalt	(Verdoya vd., 1997)	0.2	---
Kalk-alkali granit		4.2	---
Tortul kayalar		1.05	
Şeyl-Ofiyolit	(Pasquale vd., 2001)	0.04	---
Serpantin-Ortogneys		0.24-2.92	
Bazaltik kayalar		0.6	
Riyolit lavları	(Chiozzi vd., 2002b)	6.6-71	---
İri taneli granitler		5.5	
Tonalit granitler	(Menon, vd., 2003)	1.4	---
Gnayslar		7.4	
Kumtaşları	(King, 1997)	---	0.11
Şeyl ve tortul içeren Kimbelitler	(Eccles & Sutton, 2004)	---	<0.15
Volkanitler			
Gönen	(Uyanık, 2011)	8.82	1.73
Çünür		7.16	1.51
Gölcük		7.99	2.43
Granitler		3.52	
Andezitler ve bazaltlar	(Maden & Akaryalı, 2015)	1.68	---
Sarihan Plütunu		2.03	1.08
Hozbirikyayla formasyonu		0.89	0.059
Ofiyolitik melanj kuşağı	(Altundaş, 2016)	1.35	0.132
Sarıççek Plütunu		1.90	2.5
Alibaba formasyonu		1.83	1.51

5. Sonuçlar

5. Conclusions

Gümüşhane ve Bayburt'da bulunan plütonlar ile bu plütonlarla sınır olan litolojik birimler üzerinde yerinde radyoaktivite ve manyetik duyarlılık (suseptibilite) ölçümleri yapılarak, plütonlar ve çevre kayaların ısı üretimine olan katkıları ile kayaların manyetik özelliklerini yansıtan parametreler elde edilmiştir. Yapılan radyoaktivite ölçümlerinde özellikle plütonik kütleler üzerinde yüksek radyoaktif element konsantrasyonları ölçülmüş olup, buna bağlı olarak bu kütleler için hesaplanan radyojenik ısı üretim değerleri de çevre formasyonlara göre çok daha yüksek değerlerde elde edilmiştir. Hesaplanan radyojenik ısı üretim değerleri; kayaların oluşum kökenlerine, yaşlarına ve SiO₂ içeriklerine göre değerlendirilmiştir. SiO₂ içeriği %65-69 aralığında değişen ve kabuk sınıflamasına göre üst-alt kıtasal kabuk kökenli kayalardan oluşan Eosen yaşlı Sarıhan Plütonunun ortalama radyojenik ısı üretim değeri (2.03 $\mu\text{W}/\text{m}^3$), üst-orta kıtasal kabuk kökenli kayalardan oluşan ve %58-75 oranında SiO₂ içeren Eosen yaşlı Sarıçiçek Plütonunun değerinden (1.9 $\mu\text{W}/\text{m}^3$) yüksek olarak elde edilmiştir.

Granodiyorit, kuvarslı diyorit ve kuvarslı monzodiyorit bileşimindeki kayalardan oluşan Sarıhan Plütonu, bileşimindeki kayaların içermiş olduğu manyetik minerallere bağlı olarak kütleli çevreleyen Hozbirikyayla ve Melanj kuşağına göre yüksek suseptibilite değerleri sergilemiştir. Plüton üzerinde yer yer düşük suseptibilite değerleri de gözlenmiş ve bu alanlar altere olmuş volkanik kayalarla ya da oksidasyon zonu ile ilişkilendirilmiştir. Ayrıca kireçtaşından oluşan Hozbirikyayla formasyonu ile dokanaklarında gelişen skarn zonunda bir cevher (manyetit) oluşumu gözlenmiştir. Sarıhan Plütonu da yüksek suseptibilite değerleri (altere olmamış ve biyotit gibi miktatsızlanma özelliğine sahip minerallerce zengin sağlam kayaç yapıları) sergilerken, kütleli çevreleyen andezit ve bazaltlardan oluşan Alibaba formasyonu üzerinde düşük suseptibilite değerleri elde edilmiştir.

Teşekkür

Acknowledgement

Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon birimi tarafından BTAP-9588 numaralı proje ile desteklenmiştir. Destekleri için K.T.Ü. bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon birimine teşekkür ederiz.

Yazar katkısı

Author contribution

Bu makale KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doç. Dr. Hakan ÇINAR danışmanlığında Suna ALTUNDAŞ tarafından yapılan "Sarıçiçek ve Sarıhan Granodiyoritlerinin yerinde Gama-ışını Spektrometresi ve Manyetik Suseptibilite yöntemleriyle incelenmesi" başlıklı Doktora tezinin bir parçasıdır.

Etik beyanı

Declaration of ethical code

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedirler.

Çıkar çatışması beyanı

Conflicts of interest

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Kaynaklar

References

Abbadly, A.G.E., & Al-Ghamdi, A.H. (2018). Heat production rate from radioactive elements of granite rocks in north and southeastern Arabian Shield Kingdom of Saudi Arabia. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 11, 281-290. <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2018.03.002>

- Aisabokhae, J., & Tampul, H. (2020). Statistical variability of radiation exposures from Precambrian basement rocks, NW Nigeria: implication on radiogenic heat production. *Scientific African*, 10, e00577. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00577>
- Akingboye, A.S., Ogunyele, A.C., Jimoh, A.T., Adaramoye, O.B., Adeola, A.O., & Ajayi, T. (2021). Radioactivity, radiogenic heat production and environmental radiation risk of the basement complex rocks of Akungba-Akoko, southwestern Nigeria: insights from in situ gamma-ray spectrometry. *Environmental Earth Science*, 80, 228. <https://doi.org/10.1007/s12665-021-09516-7>
- Altundaş, S. (2016). *Sarıçiçek ve Sarıhan granodiyoritlerinin yerinde gama-ışını spektrometresi ve manyetik suseptibilite yöntemleriyle incelenmesi* [Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Artemieva, I.M., & Mooney, W.D. (2001). Thermal thickness and evolution of Precambrian lithosphere: a global study. *Journal Geophysical Research*, 106, 16387–16414. <https://doi.org/10.1029/2000JB900439>
- Artemieva, I.M. (2011). *The Lithosphere: an interdisciplinary approach*. Cambridge University Press. <http://dx.doi.org/10.1017/CBO9780511975417>
- Artemieva, I.M., Thybo, H., Jakobsen, K., Rensen, N.K., & Nielsen, L.S.K. (2017). Heat production in granitic rocks: global analysis based on a new data compilation granite. *Earth Science Reviews*, 172 pp. 1-26. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.07.003>
- Asfahani, J. (2022). Radioactive heat production characterization of ar-rassafeh badyieh area (area-2), Syria using aerial gamma ray spectrometric and fractal modeling techniques. *Geofisica Internacional*, 61(1), 20-39. <https://doi.org/10.22201/igeof.00167169p.2022.61.1.2120>
- Aslan, Z. (1998). *Saraycık-Sarıhan granitoyitleri (Bayburt) ve çevre kayaçlarının petrolojisi, jeokimyası ve Sarıhan granitoidinin jeokronolojik incelenmesi* [Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Aslan, Z. (2005). Petrography and petrology of the calcalkaline Sarıhan granitoid (NE Turkey): an example of magma mingling and mixing. *Turkish Journal Earth Science*, 14, 185-207
- Aydın, A., Ferr'e, E.C., & Aslan, Z. (2007). The magnetic susceptibility of granitic rocks as a proxy for geochemical composition: example from the Saruhan granitoids, NE Turkey. *Tectonophysics*, 441(1), 85-95. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2007.04.009>
- Bektaş, O., Yılmaz, C., Taşlı, K., Akdağ, K., & Özgür, S. (1995). Cretaceous rifting of the eastern Pontide carbonate platform (NE Turkey): the formation of carbonates breccias and turbidites as evidences of a drowned platform. *Geologia*, 57, 233-244
- Bektaş, O., Şen, C., Atıcı, Y., & Köprübaşı, N. (1999). Migration of the upper cretaceous subduction-related volcanism toward the back-arc basin of the eastern Pontide magmatic arc (NE Turkey). *Geological Journal*, 34, 95-106. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1034\(199901/06\)34:1/2<95::AID-GJ816>3.0.CO;2-J](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1034(199901/06)34:1/2<95::AID-GJ816>3.0.CO;2-J)
- Brimhal, W.H., & Adams, J.A.S. (1969). Concentration changes of thorium, uranium and metals in hydrothermally altered Conway Granite, New Hampshire. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 33(10), 130-131. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(69\)90050-7](https://doi.org/10.1016/0016-7037(69)90050-7)
- Canbay, M., & Kurtuluş, C. (2008). Armutlu Yarımadası'nda manyetik duyarlık çalışmaları. *Uygulamalı Yerbilimleri*, 1, 60-64
- Canitez, N. (1972). Source mechanism and rupture propagation in the Mudurnu Valley Turkey: Earthquake of July 22, 1967. *Pure and Applied Geophysics*, 93, 116-124
- Chiozzi, P., Pasquale, V., & Verdoya, M. (2002b). Heat from radioactive elements in young volcanics by gamma ray spectrometry. *Journal of Volcanology and Geothermal Search*, 119, 205-214. [https://doi.org/10.1016/S0377-0273\(02\)00354-2](https://doi.org/10.1016/S0377-0273(02)00354-2)
- Chopra, N., Ray, L., Dey, S., & Mitra, A. (2020). Thermal conductivity, density, petrological and geochemical characteristics of granitoids from Singhbhum Craton, eastern India. *Geothermics*, 87, 101855. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2020.101855>

- Clark, D.A. (1997). Magnetic petrophysics and magnetic petrology: aids to geological interpretation of magnetic surveys. *AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics*, 17 (2), 83-103
- Dickson, B.L., & Scott, K.M. (1997). Interpretation of aerial gamma ray surveys adding the geochemical factors. *AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics*, 17, 187-200
- Eccles, D.R., & Sutton, R. (2004). Magnetic susceptibility measurements on kimberlite and sedimentary rocks in Alberta. EUB/AGS Geo-Note.
- Elitok, Ö., Özgür, N., Drüppel, K., Dilek, Y., Platevoet, B., Guillou, H., Poisson, A., Scaillet, S., Satır, M., Siebel, W., Bardintzeff, J-M., Deniel, C., & Yılmaz, K. (2010). Origin and geodynamic evolution of late cenozoic potassium-rich volcanism in the Isparta area, Southwestern Turkey. *International Geology Review*, 52, 4-6, 454-504. <https://doi.org/10.1080/00206810902951411>
- Ellwood, B.B., & Wenner, D.B. (1981). Correlation of magnetic susceptibility with 18O:16O data in late orogenic granites of the southern Appalachian Piedmont. *Earth and Planetary Science Letters*, 54, 200-202. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(81\)90003-0](https://doi.org/10.1016/0012-821X(81)90003-0)
- Eyüboğlu, Y., Chung, S.L., Dudas, F.O., Santosh, M., & Akaryali, E. (2011a). Transition from shoshonitic to adakitic magmatism in the Eastern Pontides, NE Turkey: Implications for slab window melting. *Gondwana Research*, 19, 413-429. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2010.07.006>
- Eyüboğlu, Y., Dudas, F.O., Santosh, M., Zhu, D.C., Yi, K., Chatterjee, N., Akaryali, E. & Liu, Z. (2016a). Cenozoic forearc gabbros from the northern zone of the Eastern Pontides Orogenic Belt, NE Turkey: Implications for slab window magmatism and convergent margin tectonics. *Gondwana Research*, <https://doi.org/10.1016/j.gr.2015.07.006>
- Göktürkler, G. (2002). Yerbilimlerinde ısı transferi modellemesi: kararlı-hal kondüktif ısı iletimi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 43, 67-80
- Güven, İ.H. (1993). Doğu Pontidlerin 1/25000 ölçekli jeolojisi ve komplikasyonu. Maden Tetkik Arama, Ankara (Yayımlanmamış)
- Harenayama, M., Tsuchiya, N., Takeba, M., & Chida, T. (2006). Two dimensional measurement of radioactivity of granite rocks by photostimulated luminescence technique. *Geochemical Journal*, 34, 1-9. <https://doi.org/10.2343/geochemj.34.1>
- Hasterok, D., & Webb, J. (2017). On the radiogenic heat production of igneous rocks. *Geoscience Frontiers*, 8(5), 919-940. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2017.03.000>
- He, L., Hu, S., Yang, W., & Wang, J. (2009). Radiogenic heat production in the lithosphere of Sulu ultrahigh-pressure metamorphic belt. *Earth Planetary Science Letter*, 277, 525-538. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2008.11.022>
- Huang, Y., Chubakov, V., Mantovani, F., Rudnick, R.L., & McDonough, W.F. (2013). A reference Earth model for the heat producing elements and associated flux. *Geochemistry-Geophysics-Geosystems*, 14, 2003-2029. <https://doi.org/10.1002/ggge.20129>
- IAEA, 2003. *Guidelines for radioelement mapping using gamma ray spectrometry data*. IAEA/Tecdoc-1363, Vienna. https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te_1363_web.pdf
- Ishihara, S. (1977). The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks. *Mining Geology*, 27, 293-305
- Ishihara, S., Hashimoto, M., & Machida, M. (2000). Magnetite/ilmenite series classification and magnetic susceptibility of the mesozoic-cenozoic batholiths in Peru. *Resource Geology*, 50, 123-129. <https://doi.org/10.1111/j.1751-3928.2000.tb00062.x>
- Jaupart, C., & Mareschal, J.C. (2003). Constraints on crustal heat production from heat flow data. In: Rudnick, R.L. (Ed.), *The Crust*, Vol. 3 Treatise on Geochemistry (Eds. H.D. Holland and K.K. Turekian). *Elsevier-Pergamon Oxford*, 6-84. <https://doi.org/10.1016/B0-08-043751-6/03017-6>
- Jokinen, J., & Kukkonen, I. (1999). Random modelling of the lithospheric thermal regime: forward simulations [Mh1] applied in uncertainty analysis. *Tectonophysics*, 306, 277-292. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(99\)00061-X](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(99)00061-X)

- Karslı, O. (2002). *Granitoid kayaçlarda magma etkileşimleri için petrografik, mineralojik ve kimyasal bulgular: Dölek ve Sarıççek plütonları (Gümüşhane, KD-Türkiye)* [Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Karslı, O., Chen, B., Aydın, F., & Şen, C. (2007). Geochemical and Sr-Nd-Pb isotopic compositions of the eocene Dölek and Sarıççek plutons, Eastern Turkey: implications for magma interaction in the genesis of high-K calc-alkaline granitoids in a post-collision extensional setting. *Lithos*, 98, 67-96. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2007.03.005>
- Ketin, İ. (1966). Anadolu'nun Tektonik Birlikleri. *Maden Tetkik Arama Dergisi*, 66, 20-4
- Killeen, P.G., & Cameron, G.W. (1977). Computation of in situ potassium, uranium and thorium concentration from portable gamma-ray spectrometer data; in Report of Activities Part A. *Geological Survey of Canada*, 77-1A, 91-92
- King, M.S. (1997). Magnetic susceptibility mapping: applications for the Meguma Group, Central Nova Scotia. *Atlantic Geology*. <https://doi.org/10.4138/2063>
- Maden, N., & Akaryalı, E. (2015). A review for genesis of continental arc magmas: U, Th, K and radiogenic heat production data from the Gümüşhane Pluton in the Eastern Pontides (NE Türkiye). *Tectonophysics*, 664, 225-243. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2015.09.023>
- Maulana, A., Watanabe, K., Imai, A., & Yonezu, K. (2013). Origin of magnetite- and ilmenite-series granitic rocks in Sulawesi, Indonesia: magma genesis and regional metallogenic constraint. *Procedia Earth and Planetary Science*, 6, 50-57. <https://doi.org/10.1016/j.proeps.2013.01.007>
- McLennan, S.M., & Taylor, S.R. (1996). Heat Flow and the Chemical Composition of Continental Crust. *The Journal of Geology*, 104(4), 369-377. <http://www.jstor.org/stable/30067380>
- Menon, R., Kumar, P.S., Reddy, G.K., & Srinivasan, R. (2003). Radiogenic heat production of Late Archaean Bundelkhand granite and some Proterozoic gneisses and granitoids of central India. *Current Science*, 85(5)
- Okay, A.İ., Şahintürk, Ö., & Yakar, H. (1997). Stratigraphy and tectonics of the Pular (Bayburt) region in the eastern Pontides. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration Institute (MTA) of Turkey*, 119, 1-22
- Pasquale, V., Verdoya, M., & Chiozzi, P. (2001). Radioactive heat generation and its thermal effects in the Alp-Apennines boundary zone. *Tectonophysics*, 331, 269-283 [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(00\)00294-8](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(00)00294-8)
- Podugu, N., Ray, L., Singh, S.P., & Roy, S. (2017). Heat flow, heat production, and crustal temperatures in the Archaean Bundelkhand craton, north-central India: implications for thermal regime beneath the Indian shield. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 122, 5766-5788.
- Porquet, M., Pueyo, E.L., Román-Berdiel, T., Olivier, P., Longares, L.A., Cuevas, J., Ramajo, J., Antolín, B., Aranguren, A., & Auréjac, J.B. (2017). Anisotropy of magnetic susceptibility of the Pyrenean granites. *Journal of Maps*, 13(2), 438-448. <https://doi.org/>
- Pueyo, E.L., Román-Berdiel, T., Calvin, P., Bouchez, J.L., Beamud, E., Ayala, C., Loi, F., Soto, R., Clariana, P., & Margalef, A. (2022). Petrophysical characterization of non-magnetic granites; density and magnetic susceptibility relationships. *Geosciences*, 12, 240. <https://doi.org/10.3390/geosciences12060240>
- Rodriguez, J.A.B., Proenza-Fernandez, J.A., Rodriguez-Vega, A., Lopez-Saucedo, F., & Cazares-Carreón, K.I. (2017b). Magnetic susceptibility and natural gamma radioactivity as indirect proxies for characterization of sandstones and limestones of Sabinas Basin. *Geofizika*, 34(1), 19-43. <https://doi.org/10.15233/gefz.2017.34.6>
- Rodriguez, J.A.B., Fernandez, J.A.P., Pulido, G.I.D., Garcia, M.G., & Medellin, I.Y.Z. (2017). Magnetic susceptibility and natural gamma radioactivity as indirect indicators of impurities in limestones of the Sabinas Basin: possible relationships with the sedimentation environment. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 5, 77-91. <https://doi.org/10.4236/gep.2017.510007>
- Rodriguez, J.A.B., Nino-Rodriguez, E., Rodriguez-Riojas, P.A., Diaz-Martinez, R., Rodriguez-Vega, A., & Lopez-Saucedo, F. (2020). In situ magnetic susceptibility and gamma radiation data in the Candela-Monclova intrusive belt, Northeast Mexico: case studies of the Cerro Colorado and Cerro Marcelinos pluton. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 29, 579-595. <https://doi.org/10.3906/yer-1905-21>

- Rodríguez, J.A.B., Tolentino-Álvarez, J., Batista-Cruz, R.Y., Almaguer-Carmenates Y., & Lopez-Saucedo, F.J. (2023). Radiogenic heat production in rocks from the Sabinas Basin (northeastern Mexico) determined by in situ gamma radiation measurements. *Environmental Earth Sciences*, 82, 458. <https://doi.org/10.1007/s12665-023-11157-x>
- Roque, A., & Riberio, F.B. (1997). Radioactivity and Radiogenic Heat Production in the Sediments of the Silo Francisco Sedimentary Basin, Central Brazil. *Applied Radiation and Isotopes*, 48, 3413-422
- Rollinson, H.R. (1993). *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation*. Longman.
- Rudnick, R.L., & Fountain, D.M. (1995). Nature and composition of the continental crust: A lower crustal perspective. *Reviews of Geophysics*, 33(3), 267-309. <https://doi.org/10.1029/95RG01302>
- Rybach, L. (1976). *Radioactive heat production: A physical property determined by the chemistry of rocks*. In *The Physics and Chemistry of Minerals and Rocks*; Stems, Wiley-Interscience: New York, USA, 309-318.
- Sharma, P.V. (1997). *Environmental and Engineering Geophysics*. Cambridge University Press, 474, United Kingdom.
- Takahashi, M., Aramaki, S., & Ishihara, S. (1980). Magnetite series/ ilmenite series vs. I-type/ S-type granitoids. In: Ishihara, I., Takenouchi, S. (Eds.), *Granitic magmatism and related mineralization*. *Mining Geology*, Nihon Shigen Chishitsu Gakkai- Society of Resource Geologists of Japan, Tokyo, 13-28
- Taylor, S.R., & McLennan, S.M. (1985). *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*. Blackwell, Oxford.
- Topuz, G., & Okay, A.İ. (2006). Comment on “petrography and petrology of the calc-alkaline Sarıhan Granitoid (NE Turkey): an example of magma mingling and mixing”. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 15(3), 373-377. <https://journals.tubitak.gov.tr/earth/vol15/iss3/5>
- Uyanık, N.A. (2011). *Isparta Alkali Volkanitlerinin radyometrik ve manyetik yöntemlerle incelenmesi* [Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Van Schmus, W.R. (1995). Natural radioactivity of the crust and mantle. In: *Global Earth Physics. A Handbook of Physical Constants* (AGU Reference Shelf 1). <https://doi.org/10.1029/RF001p0283>
- Verdoya, M., Pasquale, V., Chiozzi, P., & Kukkonen, I.T. (1997). Radiogenic in the Variscan crust: new determinations and distribution models in Corsica (Northwestern Mediterranean). *Tectonophysics*, 291, 63-75. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(98\)00031-6](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(98)00031-6)
- Waples, D.W. (2002). A new model for heat flow in Extensional Basins: Estimating radiogenic heat production. *Natural Resources Research*, 11. <https://doi.org/10.1023/A:101556811999>
- Wilson, M. (1989). Igneous Petrogenesis: A Global Tectonic Approach. *Geological Magazine*, 126, 4
- Wollenberg, H.A., & Smith, A.R. (1987). Radiogenic heat production of crustal rocks: an assessment based on geochemical data. *Geophysical Research Letters*, 14, 295-298. <https://doi.org/10.1029/GL014i003p00295>

YAZAR REHBERİ

1. KAPSAM ve GENEL BİLGİ

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi (GUFBD), Gümüşhane Üniversitesi'nin yayın organıdır. Dergi kapsamında bütün Fen, Teknoloji, Mühendislik, Tarım ve Mimarlık Alanlarında daha önce başka yerlerde yayınlanmamış, özgün, araştırma makaleleri, derlemeler ve editöre mektuplar yayınlanır (Anket çalışmaları dergimizin konu kapsamına uygun değildir).

Dergi bilimsel ve hakemli bir dergi olup, Ocak, Nisan, Temmuz ve Ekim aylarında olmak üzere yılda dört kez çevrimiçi ortamda yayımlanır.

Derginin amacı araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin bilimsel yayına dönüştürülmesi, ulusal ve uluslararası indekslere girerek evrensel bilime katkı sağlamaktır.

2. YAYIN DİLİ ve ANLATIM

Dergide yayınlanacak tüm yazılar için yayın dili Türkçe ve İngilizce'dir. Anahtar kelimeler alfabetik sıralamaya uygun olarak verilir. İngilizce anahtar kelimeler (Keywords) ise yine bu sıralama dikkate alınarak yazılır.

Makale içerisinde yazar tarafından gerçekleştirilen çalışmalara yönelik (Deneysel çalışmalar, analizler vb) anlatımlarda üçüncü şahıs kullanılmaya özen gösterilmelidir.

3. ELEKTRONİK ORTAMDA BAŞVURU

Dergi ile ilgili tüm yazışmalarda DergiPark tarafından sağlanan arayüz kullanılmalıdır. Dergi yazım kurallarına uygun olarak hazırlanmış makaleler, basılı kopyaya gerek olmaksızın, Ulakbim Dergipark üzerinden <https://dergipark.org.tr/tr/pub/gumusfenbil/> adresi kullanılarak gönderilmelidir. Dergiye makale göndermek isteyen yazarların yazım kuralları ile birlikte "Gönderi Kontrol Listesi"ndeki her maddeyi de kontrol etmeleri gerekmektedir. Makaledeki bilgilerin doğruluğunun sorumluluğu yazar(lar)a aittir.

Yayınlanacak makalelerde, araştırma ve yayın etiğine uygunluk esastır. "Makale Gönderimi ve Telif Hakkı Devir Formu" doldurulup bütün yazarlar tarafından imzalanmalıdır. Yayın ile ilgili işlemler bu formun tesliminden sonra başlar. Bu formun farklı kopyaları başka şehirlerde yaşayan yazar(lar) tarafından ayrı ayrı imzalanıp gönderilebilir. Dergi ana sayfasında yer alan "Etik İlkeler ve Yayın Politikası" yazarlar tarafından önemle dikkate alınmalıdır.

Hayvanların veya zararlı maddelerin kullanıldığı araştırmalarda "Etik Kurul İzin Belgesi"nin makaleye eklenmesi gerekir. İnsanların denek olarak kullanıldığı araştırma sonuçlarını içeren makalelerde yazar(lar), "insan denemeleri üzerinde yetkili kurul" etik standartlarına ve gözden geçirilmiş Helsinki bildirgesi 1983'e uygunluğunu belgelemeleri gerekir.

4. DEĞERLENDİRME SÜRECİ

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi'ne iletilen yazılar öncelikle dergi baş editörünün yönlendireceği alan editörü tarafından konu başlığı ve anahtar kelimelere dayanılarak biçimsel açıdan değerlendirilir. Ön kontrol aşamasında öncelikle intihal tespit yazılımları kullanılarak benzerlik raporları oluşturulur. Aday yayının benzerlik raporu toplamda %20 den az olmalı ve tek bir kaynaktan ise %4 oranından fazla olmamalıdır. Daha sonra incelenecek yayının dergi formatına uygun olup olmadığına karar verilir. "Makale Gönderimi ve Telif Hakkı Devir Formu" olmayan veya eksik olan aday yayınlar ile benzerlik oranı sınırlarını aşan aday yayınlar ön incelemeye alınmaz. Ön inceleme aşamasını geçen yazılar dergi baş editörü tarafından inceleme sürecinin gerçekleştirilmesi için ilgili alan editörüne yönlendirilir.

Alan editörü bilimsel içerik bakımından değerlendirilmek üzere aday yayını, konusuna uygun olarak en az üç hakeme yönlendirir. Hakem seçiminde öncelikle konu ile ilgili dergi yayın danışma kurulu üyelerinden ya da alanında uzman başka bir bilim insanından yararlanılır. Hakemler değerlendirmeleri sonucunda, uygun, düzeltilerek yayınlanabilir, düzeltildikten sonra tekrar görmek isterim, istediğim düzeltmelerin kontrolünü derginin uzman bilimsel ekibi tarafından yapılması uygundur veya yayınlanamaz şeklinde kararları verebilirler.

Düzeltilme istenen yazılarla ilgili olarak yazar gerekli düzeltmeleri yapar. Ayrıca katılmadığı hususlarla ilgili olarak gerekçeli yazısını dergiye gönderir.

Hakem kurulu tarafından farklı türde değerlendirilen yazılar için alan editörü kendi görüşünü de ekleyerek değerlendirmenin sonuçlandırılması için baş editöre iletir. Değerlendirmede son karar baş editöre aittir. Baş editör gerekli görürse yeni bir hakem tayin eder veya yazı ile ilgili kararını sonuçlandırır.

Tüm değerlendirmeler sonucunda kabul ya da red kararı gerekçeleri ile birlikte DergiPark üzerinden yazışmadan sorumlu yazara iletir.

Değerlendirme sonucu kabul kararı verilecek makaleler yazım ve dil editörüne yönlendirilerek ilgili makalenin yazım ve dil yönünden incelemesi ile dergi yazım kuralları açısından uygunluğu sağlanır. Kabul edilen makaleler dergi sekreteryası tarafından esasa bağlı kalınarak yayına uygun formata dönüştürülür.

Dergide yayımlanan makaleler başka hiç bir yerde yayımlanamaz veya bildiri olarak sunulamaz. Kısmen veya tamamen yayımlanan makaleler kaynak gösterilmeden hiçbir yerde kullanılamaz. Dergiye gönderilen makalelerin içerikleri özgün, daha önce herhangi bir yerde yayımlanmamış veya yayımlanmak üzere gönderilmemiş olmalıdır. Değerlendirmeye sunulacak çalışmaların bir başka dergiye gönderilmediği veya basılmadığı ön yazı ile belirtilmelidir.

Makale basım için kabul edilmezse “Makale Gönderimi ve Telif Hakkı Devir Formu” nun yasal bir önemi kalmaz ve hükümsüz olarak kabul edilir. Bu formun imzalanması ile yazarlar, makalenin “Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi” dergisi ve web sayfasında yayınlamasına ilaveten makalenin tamamı veya bir kısmının yasal olarak çoğaltılması ve dağıtılması hakkını Gümüşhane Üniversitesi’ne devrederek, kendi haklarından feragat etmektedirler.

5. MAKALE TÜRLERİ

Dergide yayınlanan farklı yayın formatları ile ilgili bilgiler ve yazı türlerine göre yazarların dikkat etmeleri gereken hususlar şu şekildedir:

5.1 Araştırma Makaleleri: Türkçe Başlık, İngilizce Başlık, Yazarlar, Adresler, Türkçe Öz, Türkçe Anahtar Kelimeler, İngilizce Öz, İngilizce Anahtar Kelimeler, Giriş, Amaç, Gereç ve Yöntem, Bulgular, Tartışma ve Sonuçlar, gerekli ise Etik konular, Katkı Belirtme ve Teşekkür, Kaynaklar, Şekil ve Tablolarla ilgili açıklamalar içermelidir. Makale konunun uzmanları tarafından tekrarlanabilecek şekilde yeterli bilgiyi içermelidir. Bu tür makalelerde ana metin 3500-4000 kelime arası olmalı, kaynak sayısı 40’ı aşmamalıdır.

5.2 Derlemeler: Yazar(lar)ın uzmanlık alanında yapılmış eski araştırmaların derlenip eleştirel bir şekilde yorumlanıp ortaya yeni bir görüş ileri süren çalışmaları kapsmalıdır. Bu tür makale öneren yazar(lar)ın en az 10 SCI-Expanded makalesi bulunmalı ve bunların en az 5 tanesi derleme yaptığı alanda olmalıdır. Derlemeler, Türkçe Başlık, İngilizce Başlık, Yazarlar, Adresler, Türkçe Öz, Türkçe Anahtar Kelimeler, İngilizce Öz, İngilizce Anahtar Kelimeler, Giriş, Ana Bölümler, Alt Bölümler, Sonuç, Katkı Belirtme ve Teşekkür, Kaynaklar, Şekil ve Tablolarla ilgili açıklamalar içermelidir. Ana metin en fazla 5000 kelime olup kaynak sayısında bir kısıtlama yoktur. Bu tür çalışmalar literatürle ilgili geniş bir tartışma ortaya koymalı ve kaynak sayısı en az 40 olmalıdır.

5.3 Editöre Mektup: Dergide yayınlanmış makaleler hakkında veya ilgili diğer konularda soru sormak, görüş bildirmek isteyenlerin yazıları bu türde değerlendirilir. Bu tür yazılarda kapsam ve etik kavramlar göz önünde bulundurulur. Ana metin en fazla 1000 kelime olup kaynak sayısı 10’u geçmemelidir.

6. MAKALENİN HAZIRLANMASI

Dergiye değerlendirilmek üzere yayın gönderecek yazarların GUFBD makale şablonu dosyasını dikkate alarak yayınlarını hazırlamaları ve gerekli olan diğer belgelerle birlikte sisteme yüklemeleri gerekmektedir.