



T.C. İÇİŞLERİ BAKANLIĞI
AFET VE ACİL DURUM
YÖNETİMİ BAŞKANLIĞI

AFAD

TÜRK DEPREM ARAŞTIRMA DERGİSİ

Haziran
June

2023

Cilt
Volume

5

Sayı
Number

1

TURKISH
JOURNAL OF
EARTHQUAKE
RESEARCH



TUSAK
Türkiye Ulusal
Sismoloji ve Araştırma
Komisyonu

Ankara / TÜRKİYE

e-ISSN: 2687-301X

Türk Deprem Araştırma Dergisi (TDAD)

*Turkish Journal of Earthquake Research
(Turk. J. Earthq. Res)*

(c) 2023

Cilt 5 - Sayı 1

(Volume 5 - Issue 1)

Türkiye Ulusal Sismoloji ve Arziçi Fiziği Komisyonu (TUSAK)
Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD)

*National Seismology and Earth's Interior Physics Commission of Türkiye (TUSAK)
Disaster and Emergency Management Authority (AFAD)*

30.06.2023

Sıra (Nr)	İÇİNDEKİLER (CONTENT)	Sayfa No (Page Nr)
1	Afet ve Acil Durumlarda Sosyal Altyapı Alanlarının Toplanma Alanı Olarak Belirlenme Kriterleri ve Yöntemi (<i>The Determination of Criteria and Method for Social Infrastructure Areas as Gathering Areas in case of Disaster and Emergency Situations</i>) <i>Hilmi Evren Erdin, Hayat Zengin Çelik, Mediha Burcu Sılaydın ve Nur Sinem Partigöç</i>	1
2	Deprem Büyüklüklerinin Benford Yasası'na Uygunluğu: Kahramanmaraş Depremleri Örneği (<i>Conformity of Earthquake Magnitudes to Benford's Law: the Case of Kahramanmaras Earthquakes</i>) <i>Nazif Ayyıldız, Erdinç Karadeniz ve Ömer İskenderoğlu</i>	22
3	Düşük Dayanımlı Donatılı Betonlarda Donatının Sismik Hızlara Etkisi (<i>The Effect of Reinforcement on Seismic Velocities in Low Strength Reinforced Concrete</i>) <i>Nevbahar Ekin, Nurten Ayten Uyanık ve Osman Uyanık</i>	33
4	Swarm Uydu Verileri Kullanılarak 06 Şubat 2023 Pazarcık Depreminden Önceki Öncül Manyetik Sinyallerin Tespiti ve Yorumlanmasına Ait İlk Sonuçlar (<i>Preliminary Results of Detection and Interpretation of Precursory Magnetic Signals Preceding February 06, 2023 Pazarcik Earthquake Using ESA Swarm Satellite Data</i>) <i>İlkin Özsöz</i>	48
5	Betonarme Binalarda Zemin-Yapı Etkileşiminin Yapının Zemine Rijitlik Oranı Yardımıyla Değerlendirilmesi (<i>Assessment of Soil-Structure Interaction in Reinforced Concrete Buildings Based on Structure to Soil Stiffness Ratio</i>) <i>Mehmet Özgür ve Kanat Burak Bozdoğan</i>	69
6	6 Şubat 2023 Pazarcık (Kahramanmaraş) depreminin Doğu Anadolu Fay Zonu Erkenek ve Pazarcık Segmentleri Üzerindeki Etkisi: Çelikhán-Gölbaşı (Adıyaman) Arasından Gözlemler (<i>Effect on the Eastern Anatolian Fault Zone Erkenek and Pazarcik Segments of the 6 February 2023 Pazarcik (Kahramanmaras) Earthquake: Observations from Celikhan-Golbasi (Adiyaman)</i>) <i>Ercan Aksoy, Elif Akgün, Mustafa Softa, Fikret Koçbulut, Hasan Sözbilir, Orhan Tatar ve Serap Çolak Erol</i>	85



The Determination of Criteria and Method for Social Infrastructure Areas as Gathering Areas in case of Disaster and Emergency Situations

Hilmi Evren Erdin¹, Hayat Zengin Celik¹, Mediha Burcu Silaydin¹ and Nur Sinem Partigoc²

¹ Dokuz Eylul University, Faculty of Architecture, Department of City and Regional Planning, 35390 İzmir, Türkiye

² Pamukkale University, Faculty of Architecture and Design, Department of City and Regional Planning, 20160 Denizli, Türkiye

ORCID: 0000-0002-3350-8930, 0000-0002-4460-2498, 0000-0001-9843-3370, 0000-0002-9905-2761

Keywords

Disaster, Social Infrastructure Area, Gathering Area, Urban Planning

Highlights

- * The use of social infrastructure areas after disasters and emergency situations
- * The determination of social infrastructure areas as gathering areas
- * The criteria and proposal method for the determination of gathering areas

Aim

The aim of this study is to form a method for determining the criteria for gathering areas in case of disaster and emergency situations

Location

--

Methods

Analytic Hierarchy Process (AHP)

Results

A set of criteria that can be used in other cities of Türkiye are determined in order to define the gathering areas

Supporting Institutions

It was supported by the National Earthquake Research Program of the Ministry of Interior Disaster and Emergency Management Presidency (AFAD) and Dokuz Eylul University, Earthquake Research and Application Center

Financial Disclosure

This study has received financial support within the scope of the project with Project No. UDAP-G-16-08 titled "Determining the Criteria for Public Gathering Areas After Disaster and Emergency Situations and Establishing the Evaluation Method, Izmir City".

Peer-review

Externally peer-reviewed

Conflict of Interest

The authors have no conflicts of interest to declare

Manuscript

Research Article

Received: 17.02.2023

Revised: 05.04.2023

Accepted: 13.04.2023

Printed: 30.06.2023

DOI

10.46464/tdad.1251998

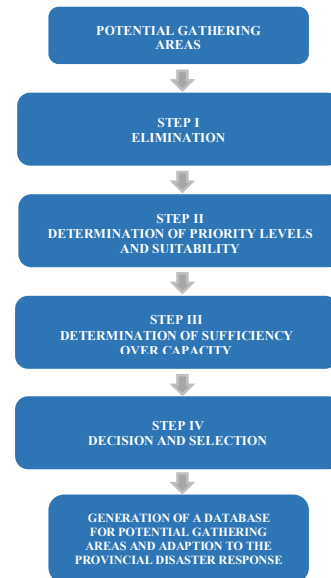


Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International Non-Commercial License

Corresponding Author

Hilmi Evren Erdin

Email: evren.erdin@deu.edu.tr



Figure

The flow chart for evaluation and determination of potential gathering areas

How to cite:

Erdin H.E., Celik H.Z., Silaydin M.B., Partigoc N.S., 2023. The Determination of Criteria and Method for Social Infrastructure Areas as Gathering Areas in case of Disaster and Emergency Situations, Turk Deprem Arastirma Dergisi 5(1), 1-21, <https://doi.org/10.46464/tdad.1251998>



Afet ve Acil Durumlarda Sosyal Altyapı Alanlarının Toplanma Alanı Olarak Belirlenme Kriterleri ve Yöntemi

Hilmi Evren Erdin¹, Hayat Zengin Çelik¹, Mediha Burcu Silaydin¹ ve Nur Sinem Partigöç²

¹ Dokuz Eylül Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, 35390 İzmir, Türkiye

² Pamukkale Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, 20160 Denizli, Türkiye
ORCID: 0000-0002-3350-8930, 0000-0002-4460-2498, 0000-0001-9843-3370, 0000-0002-9905-2761

ÖZET

Kentsel mekânda yer alan boşluklar (açık ve yeşil alanlar, meydanlar, spor alanları, kamu kurum alanlarının bahçeleri vb. sosyal altyapı alanları) bir afet durumunda acil kurtarma, müdahale, yardım gibi desteklerin kentliye sunulabilmesi için son derece hayati öneme sahip alanları oluşturmaktadır. Bu alanların sahip olduğu öneme rağmen gerek ulusal gerekse de uluslararası ölçekte belirlenmiş yeterli düzeyde norm ve standartlar bulunmamaktadır. Ayrıca ülkemizde sorunlu kentleşme pratiği içerisinde toplanma alanlarının belirlenmesi için ortak kabul gören kriterler ve bu kriterlerin hangi sistemle değerlendirmeye alınacağına ilişkin tariflenmiş bir yöntem de bulunmamaktadır. Bu nedenle afet yönetimi çalışmalarında toplanma alanı olarak tariflenen bu tür alanların bir sistem dahilinde ele alınması gerekmektedir. Bu doğrultuda çalışmada, afet ve acil durumlarda toplanma alanlarını belirlemeye yönelik bir yöntem önerilmektedir. Çalışma, kullanılabilirlik, güvenlik ve erişilebilirlik kriterleri temelinde uygunluk ve yeterlilik ölçütlerini tartışmakta ve afet durumunda halkın toplanma alanlarının belirlenmesine yönelik Türkiye'nin bütün kentlerinde kullanılabilir bir kriter seti ve dört aşamalı bir yöntem ortaya koymaktadır.

Anahtar kelimeler

Afet, Sosyal altyapı alanı, Toplanma alanı, Kent planlama

Öne Çıkanlar

- * Afet ve acil durumlar sonrasında sosyal altyapı alanlarının kullanılması
- * Sosyal altyapı alanlarının toplanma alanı olarak belirlenmesi
- * Toplanma alanlarının belirlenmesine ilişkin kriterler ve yöntem önerisi

Makale

Araştırma Makalesi

Geliş: 17.02.2023

Düzeltilme: 05.04.2023

Kabul: 13.04.2023

Basım: 30.06.2023

DOI

10.46464/tdad.1251998

Sorumlu yazar

Hilmi Evren Erdin

Eposta:

evren.erdin@deu.edu.tr

The Determination of Criteria and Method for Social Infrastructure Areas as Gathering Areas in case of Disaster and Emergency Situations

Hilmi Evren Erdin¹, Hayat Zengin Celik¹, Mediha Burcu Silaydin¹ and Nur Sinem Partigoc²

¹ Dokuz Eylul University, Faculty of Architecture, Department of City and Regional Planning, 35390 İzmir, Türkiye

² Pamukkale University, Faculty of Architecture and Design, Department of City and Regional Planning, 20160 Denizli, Türkiye
ORCID: 0000-0002-3350-8930, 0000-0002-4460-2498, 0000-0001-9843-3370, 0000-0002-9905-2761

ABSTRACT

Gaps in the urban areas (social infrastructure areas such as open and green areas, squares, sports areas, gardens of public institutions, etc.) constitute the necessary areas to give any assistance (emergency rescue, response, prevention) to citizens in case of disaster. There is no adequate level of norms and standards stated both on a national and international scale despite the importance of these areas. In addition to this, there are no common accepted criteria to determine the gathering areas and also a define method which these criteria will be evaluated in the defective urbanization practices in our country. For this reason, gathering areas should be criticized within a system in disaster management studies. The aim of this study is to form a method for determining the criteria for gathering areas in case of disaster and emergency situations. The study discusses the suitability and sufficiency norm on the basis of usability, security and accessibility criteria. Moreover, a set of criteria that can be used in other cities of Türkiye are determined in order to define the gathering areas.

Keywords

Disaster, Social infrastructure area, Gathering area, Urban planning

Highlights

- * The use of social infrastructure areas after disasters and emergency situations
- * The determination of social infrastructure areas as gathering areas
- * The criteria and proposal method for the determination of gathering areas

Manuscript

Research Article

Received: 17.02.2023

Revised: 05.04.2023

Accepted: 13.04.2023

Printed: 30.06.2023

DOI

10.46464/tdad.1251998

Corresponding Author

Hilmi Evren Erdin

Email:

evren.erdin@deu.edu.tr

1. GİRİŞ

Kentsel dirençlilik son süreçte yaşanmış ve yaşanmakta olan afetler bağlamında önemli tartışma başlıklarından biri haline gelmiştir. Kent bağlamında bir tanımlama çeşitliliği içeriyor olsa da kavramı beklenmedik ve kontrol edilemez süreçler çerçevesinde insan topluluklarının ve fiziksel sistemlerin sürekliliğini sağlamak üzere risklerin bertaraf edilmesi kapsamında ele almak mümkündür. Dolayısıyla herhangi bir afet olduğunda kayıpları ve zararı en aza indirmek ve mevcut koşulları en çabuk biçimde iyileştirme ölçüsü olarak direnç kavramı ön plana çıkmaktadır (Kavanoz 2020).

Toplumsal ve mekânsal düzen üzerinde yıkıcı etkiler bırakan doğal afetlere yönelik afet yönetimi kapsamında gerçekleştirilen zarar azaltma çalışmaları afet öncesi, sırası ve sonrası olarak planlanmaktadır. Söz konusu çalışmalar afet öncesinde acil kurtarma ve yardım için hazırlıkların etkin bir biçimde yapılmasını içermekte olup, afet sırasında kentlilerin toplanma ve tahliye, afet sonrasında da geçici barınma gereksinimlerini karşılamaya yönelik bir kentsel mekân organizasyonu ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır. Bugün dünyada ve Türkiye’de afetlere sağlıklı bir şekilde müdahale edilebilmesi için gerekli olan mekân organizasyonunun en önemli bileşenlerinden biri toplanma alanlarıdır ve bu alanlar afet sırasında ve sonrasında mümkün olan en kısa sürede, çok sayıda insanın hayatını kurtarmak, yaralıların tedavisini sağlamak açısından büyük önem taşımaktadırlar. Afet yönetimi kapsamında toplanma alanları dışında, geçici barınma alanları, depo alanları, lojistik depo ve merkezler, tahliye alanları, tahliye koridorları, konuşlanma alanları gibi çeşitli alan tanımlamaları da yapılmakta ve kullanılmaktadır (Erdin ve diğ. 2017). Bunun yanı sıra önemli kurumların konumları ve afet durumunda öncelikli noktalara bağlantıyı sağlayan ulaşım güzergâhları da afetlerin başarı ile yönetilebilmesi açısından önemli işlevler üstlenmektedir.

Ülkemizde yaşanan afet türleri açısından ve bu bağlamda özellikle de 1999 Marmara depreminden başlayarak büyük kayıplarla sonuçlanan depremler itibariyle kentlerde afet sırasında ve sonrasında yaşayan halkın güvenli alanlara ulaşmasını sağlayacak tahliye ve toplanma alanlarının yetersizliği dikkati çekmektedir. Ülkemizde var olan sorunlu kentleşme pratiği içerisinde bu tür alanların planlanmasına olan ihtiyacın belirlenmiş olmasıyla, tahliye ve toplanma alanları oluşturmaya dair çalışmalar yerel yönetim birimlerince yapılmaya başlanmıştır. Ancak bu alanların belirlenmesine ve afet yönetimi ile ilişkilendirilmesine dayalı ortak kabul gören kriterlerin ve yöntemin bulunmaması önemli bir eksiklik olup, bu eksiklik makalenin temel çıkış noktasını oluşturmuştur.

2. TOPLANMA ALANI KAVRAMI VE LİTERATÜR İNCELEMESİ

Afetin yaşandığı an ve hemen sonrası ile ilişkili olan toplanma alanlarının, insanların yaşadıkları büyük şoku atlatabilmeleri, yakınları ile bir araya gelebilmeleri, ilk yardım desteği alabilmeleri ya da haberleşebilmelerine olanak sağlayan hayati bir işlevi bulunmaktadır. Afet gerçekleştikten sonraki ilk 72 saatlik sürecin, afete maruz kalan insanların ihtiyaç duyacağı güvenli toplanma alanlarına erişimi, sağlıklı bilgiye ulaşımı, yerel düzeydeki yetkililerin bilgilendirme yapması, olası kargaşaların önüne geçilmesi bakımından en fazla öneme sahip olan zaman dilimi olduğu sıklıkla ifade edilmektedir (JICA ve İBB 2002). Söz konusu alanlar ilerleyen aşamalarda afetten etkilenenlerin tahliyesi ve geçici olarak barınmanın sağlanması, ilk yardım ve tüm diğer yardım hizmetlerinin dağıtımı için önemli olup, gündelik hayatın olabildiği ölçüde hızlı bir biçimde olağan seyrine dönebilmesine imkân sağlamaktadır. Ayrıca afetten etkilenen topluluklardaki bireyler genel olarak evlerinde veya evlerine yakın yerlerde kalmak istemekte ve böyle durumlarda evleri yıkılmış ya da hasar görmüş olsa da insanlara oldukları yerde hizmet vermek daha kolay olmaktadır. Böylece insanların yaşadıkları ve birbirlerini tanıdıkları yerde hizmet ve yardım almaları onların sosyal yapılarını korumalarını ve normal yaşamlarına çok daha çabuk dönmelerini sağlamaktadır (Sphere 2018).

Hayati işlevleri olduğu düşünülürken, kentsel alanlarda olası bir afet durumunda toplanma alanlarının konumlarının stratejik olarak planlanması ve kentlerde bu amaçla kullanılabilecek potansiyel alanların belirlenmesi gerektiği açıktır. Mevcut durumda afet müdahale planlarında toplanma alanı olarak sosyal altyapı alanlarının kullanıldığı görülmektedir. Bu çerçevede ağırlıklı olarak park ve rekreasyon alanları veya geniş açık alanı olan okul ya da resmi kurum alanları tercih edilmektedir. 14.06.2014 tarihinde yürürlüğe giren Mekânsal Planlar Yapım Yönetmeliği'nin Mekânsal Kullanım Tanımları ve Esasları başlıklı 5. Maddesinin (i) bendinde Sosyal Altyapı Alanları: “*Birey ve toplumun kültürel, sosyal ve rekreatif ihtiyaçlarının karşılanması ve sağlıklı bir çevre ile yaşam kalitelerinin artırılmasına yönelik kamu veya özel sektör tarafından yapılan eğitim, sağlık, dini, kültürel ve idari tesisler, açık ve kapalı spor tesisleri ile park, çocuk bahçesi, oyun alanı, meydan, rekreasyon alanı gibi açık ve yeşil alanlara verilen genel isimdir*” şeklinde tanımlanmıştır. Dolayısıyla, mevcut eğilimler dikkate alındığında, hem kentsel açık alanları ve parkları hem de diğer kamu kurum alanlarını içerecek şekilde sosyal altyapı alanları toplanma alanı olarak değerlendirme kapsamına alınmalıdır.

Ülkemizde mevcut mekânsal ve toplumsal koşullar dikkate alındığında, neredeyse tamamı deprem riskleri içeren kentlerimizde afet ve acil durumlarda kullanılabilecek toplanma alanlarının standartlarının yeniden değerlendirilmesi ve yerleşme dinamiklerine bağlı olarak yeniden şekillendirilmesi gerekmektedir. Ayrıca ulusal ve uluslararası ölçekte kullanılabilecek yeni önerilerin geliştirilmesinin bir zorunluluk olduğu da açıktır. Bu önerilerin kentlerde imar planı kararları ile eşgüdüm içerisinde olması ve il afet müdahale planı kapsamında değerlendirilebilecek nitelikler taşıması ise son derece önemlidir. Dolayısıyla imar planı kararları ile afet yönetim sisteminin birbiri ile ilkesel temelde ortaklık kurması mutlaka sağlanmalıdır. Afet sırasında ve sonrasında ihtiyaç duyulacak bu tür alanlar için dünya genelinde belirlenmiş ve kullanılmakta olan çeşitli standartların değerlendirilmesi ve özellikle depremlerin çok sık yaşandığı ülkelerin deneyimlerinin dikkate alınması da önemlidir.

Nitekim Japonya tarih boyunca dünyada en fazla doğal afetlerin ve özellikle de depremlerin ortaya çıktığı ülkelerden biridir. 1940'lı yıllardan itibaren bir afet yönetim sistemi geliştirilmiş olan Japonya'da böyle bir sistemi destekleyecek bir mevzuat altyapısı da mevcuttur. Yasaların içeriği açısından dikkati çeken ise, konunun afet sonrası alınacak önlemlerden çok, önleyici ve dolayısıyla afete hazırlık çalışmalarına odaklanıyor olmasıdır. Hazırlık çalışmaları sismik algılama, erken uyarı sistemleri, uyarıları yaymak vb. teknoloji tabanlı sistemleri içeriyor olmakla birlikte, tehlike haritalaması, tahliye planlaması, afet eğitimleri ve tatbikatlarını da içerecek şekilde farklı alanlara da yayılmıştır (Bayra 2021). Toplanma alanları ise afet yönetiminin önemli bir parçası haline getirilmiştir. Örneğin Tokyo şehrinde iki aşamalı bir tahliye kuralı izlenmektedir. Bir felaketin ortaya çıkmasından sonra tahliye etmenin ilk aşaması olarak insanlar geçici bir toplanma alanına ulaşmakta ve bu sırada hasar tespiti yapılmaktadır. Japon Uluslararası İşbirliği Ajansı (JICA) ve İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) tarafından 2002 yılından hazırlanan Türkiye Cumhuriyeti İstanbul İli Sismik Mikro-Bölgeleme Dahil Afet Önleme/Azaltma Temel Plan Çalışması raporunda ise, toplanma alanları, tahliye sürecinin ilk aşaması olarak gözetilmekte ve bu alanlar “*kamuya ait ve konumu itibarıyla bölgede yaşayanlar tarafından kolay fark edilebilen, hızlı ve düzenli bir şekilde erişilebilen, yeterli bir büyüklüğe sahip olan, açık alanlar ve parklardan oluşmaktadır*” şeklinde tanımlanmaktadır (JICA ve İBB 2002).

Avrupa Deprem Önleme ve Tahmin Merkezi (ECPFE) ve Deprem Planlama ve Koruma Organizasyonu (OASP) tarafından Atina için hazırlanan 2002 tarihli Deprem Durumunda Nüfusun Acil Tahliyesi başlıklı raporda da toplanma alanları, ilk travmanın hemen sonrasında halka güvenli kısa süreli kalış sağlayan alanlar olarak ifade edilmektedir (ECPFE ve OASP 2002). Mersin ve Şahin (2009) ilk toplanma yerlerini “*afetlerin/acil durumların hemen sonrasında bina dışına çıkan vatandaşların doğru bilgiye ulaşabileceği ve toplanabileceği fiziksel tehlikesi bulunmayan güvenli alanlar*” olarak tanımlamıştır. İncir ve Yorulmaz (2013) ilk toplanma yerlerine afetin meydana gelmesinden hemen sonra afetzedelerin paniği önlemek ve sağlıklı bilgi alabilmelerini sağlamak amacıyla ihtiyaç duyulduğunu belirtmektedir. Erdin vd.

(2017), toplanma alanlarının afet ve acil durum anında vatandaşlar tarafından kamuya ait ve konumu itibariyle bölgede yaşayanlar tarafından kolay fark edilebilen, hızlı ve düzenli şekilde erişilebilen, yeterli büyüklüğe sahip, ağırlıkla açık alanlar ve parklardan oluştuğunu ifade etmektedir. Genel bir ifadeyle, toplanma alanları, yapıları hasar görmüş olsun ya da olmasın afet sırası ve sonrasında insanlara kendilerini güvende hissedebilecekleri bir alanda bulunmaları ve hayatlarının normal olarak sürdürebilmeleri imkânı sağlayan önemli mekânsal organizasyonlardır (Kara 2007).

Literatür incelendiğinde, afet toplanma alanlarının belirlenmesine ve değerlendirmesine yönelik çeşitli çalışmalar olduğu görülmektedir. Bu çerçevede, değerlendirme hedefli çalışmalar, literatürde görece daha çok yer bulmaktadır (Tablo 1).

Tablo 1: Afet toplanma alanlarının belirlenmesi/değerlendirmesine yönelik çalışmalar
Table 1: Current studies on the determination/evaluation of gathering areas for disasters

KAYNAK	YÖNTEM	ANA KRİTERLER	ALT KRİTERLER
Öztürk ve Kaya (2020)	PROMETHEE	Ulaşım, arazi topoğrafyası, arazi büyüklüğü, altyapı, güvenlik, konutlara yakınlık, tehlike unsurları	-
Gökgöz ve diğ. (2020)	AHS	Alan özellikleri, jeolojik özellikler, ulaşım ve erişilebilirlik	Alansal büyüklük, altyapı, jeolojik yapı, sınırlama potansiyeli, yeraltı su seviyesi, eğim, yükselti kuşakları, yola yakınlık, sağlık tesislerine yakınlık, konut alanlarına yakınlık
Gerdan ve Şen (2020)	AHS	Ulaşılabilirlik, kapasite	Ana caddeye cephe, denize uzaklık, yüksek yapılardan uzaklık, yaya yolu, engelli yolu, elektrik, su, WC, 2 m ² den büyük kişi başı boş alan
Aşıkkutlu ve diğ. (2021)	Hesaplama Ağ analizi	Büyüklük, etkili hizmet alanı, kişi başına düşen toplam alan, fay hatları	-
Kalkan (2022)	Mekânsal Analiz Hesaplama	Ulaşım, altyapı, kapasite	Ana caddeye cephe, yaya yolu, engelli yolu, yüksek yapılardan uzaklık, su, kanalizasyon, elektrik
Saygılı ve Akpınar (2022)	Mekânsal Analiz Hesaplama	Kapasite	-
Doğan (2023)	AHS	Özellik, erişim, güvenlik	Nüfus yoğunluğu, erişim ve tahliye kolaylığı, düz, eğimsiz ve beton zemin, yürüyerek erişim, tabela, kroki ve işaretleme ile konum belirlenmesi, alternatif rotaların belirlenmesi, çevresel risklerden uzaklık, temel ihtiyaçlara yakınlık, ikincil tehlikelerden uzaklık
Palazca ve Partigöç (2018)	CBS AHS	Arazi kullanım durumu, eğim, fay hattının etki düzeyi, yol kademelenmesi, alansal büyüklük	-
Şekkeli (2020)	AHS	Erişilebilirlik, merkezlere yakınlık, alan, altyapı	Konum, büyüklük, nüfus kapasitesi, bilinirlik, yerleşim yerine yakınlık, ulaşım kolaylığı, itfaiye, polis, sağlık kuruluşları, AFAD, elektrik, su, tuvalet, gıda
Ekin ve Sarıkaya (2021)	AHS TOPSİS	Altyapı, çevre güvenliği, alansal büyüklük, ulaşım, alan tipi ve uzaklık	Elektrik, su, kanalizasyon, etrafındaki yapılara uzaklık, yapı yükseklikleri, kara ulaşımı, yaya ulaşımı, engelli ulaşımı

Bu çalışmalarda afet toplanma alanlarının belirlenmesi ve/veya değerlendirmesinde birbirinden farklılaşan kriterlerden yararlanılmış olup, ulaşım, güvenlik gibi bazı kriterler öne çıkmaktadır. Öte yandan afet toplanma alanlarının değerlendirmesi ve/veya belirlenmesine yönelik yapılan çalışmalarda, ağırlıklı olarak bir Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi olan Analitik Hiyerarşi Süreci'nden (AHS) yararlanılmıştır. AHS, karar verme noktasında yararlanılabilecek etkin bir araçtır. Bununla birlikte, toplanma alanlarının belirlenmesine yönelik sadece AHS yöntemiyle sınırlı kalmak, alan seçimini kriterle sınırlı salt teknik bir sürece indirgemektedir. Kriter çeşitliliği içerisinde, genel olarak değerlendirildiğinde, afet toplanma alanlarının belirlenmesine yönelik sistemli bir yöntem gereksinimi bulunmaktadır.

3. TOPLANMA ALANLARINA İLİŞKİN KABULLER, PARAMETRE VE KRİTERLER

3.1. KABULLER

Toplanma alanlarının belirlenmesine ilişkin yöntemin tanımlanmasında ülkemiz koşullarını da dikkate alarak insan davranışları ve gereksinimleri ve alan niteliği açısından bazı kabullerin yapılması gerekmektedir. İnsan davranışları açısından bakıldığında, afet sırasında herkesin öncelikle kendisini ve ailesini kurtarma eğiliminde olduğu ve hemen sonrasında yakınlarının, komşularının güvenliği ve kurtarılması için de büyük çaba harcadığı izlenebilmektedir. Ancak kişinin kendini ve yakınlarını güvenli kılma, güvenli bir alana taşınması açısından en büyük risk paniktir. Afetin ortaya çıktığı aşamada yaşanan şok kişilerin doğru biçimde davranmasını engellemekte ve bazı durumlarda can kayıplarının artmasına da sebep olabilmektedir. Afetin ilk şok atlatıldıktan sonraki aşamasında, iletişim, haber alma, yakınlarla ulaşma, yardım alma ya da yardım etme eğilimleri ortaya çıkacaktır ki bu süreçte de kişilerin güvenli olan alanlarda bulunmaları büyük önem taşımaktadır. Bu noktada da yaşanan deneyimler ailelerin evlerinin önlerini terk etmediklerini ve güvenlik ya da enkazdaki yakınlarını beklemek üzere yakın konumdaki alanlarda toplanma eğiliminde olduklarını göstermiştir. Dolayısıyla bir yerleşme için toplanma alanlarının oluşturulması kadar bu alanların herhangi bir afet durumunda kimler tarafından nasıl kullanılacağına belirlenmesi de son derece önemlidir.

İnsan gereksinimleri açısından ele alındığında da afetin günün hangi saatinde yaşandığı, mevsimsel şartlar vb. önem kazanmaktadır. Bu tür koşullar da insanların kapalı alanlardan açık alanlara yönelmelerini engelleyebilmekte ya da söz konusu alanlarda uzun saatler kalınabilmesini güçleştirmektedir. Dolayısıyla bu tür durumların da dikkate alınması ve mekân organizasyonlarının açık kapalı alan birlikteliği ve hava şartlarına karşı korunaklı arazi kullanım türleri ile ele alınması gerekmektedir. Afet sonrası toplanma alanlarında bulunan kişilerin temel ihtiyaçlarını (gıda, su, tuvalet, ısınma, ilk yardım vb.) karşılamaya yönelik mekânsal düzenlemelerin de önemli olduğu açıktır. Kalınan süreye ve afetin niteliğine bağlı olarak bu tür ihtiyaçların karşılanması ve ilk yardım hizmetlerinin ulaştırılması bağlamında, toplanma alanlarına ulaşım ve erişim olanakları da dikkate alınmalıdır. Ayrıca foseptik, tuvalet, baz istasyonu, depo vb. kullanımların kişi başına düşen standardı ve konumlanma özellikleri tariflenmelidir.

Bir afet durumunda kentsel alanlarda yaşayan toplulukları güvenli alanlara ulaştırmada açık alanlar, parklar ve üzerinde yapı olmayan, meydan, pazaryeri, spor alanı gibi kentsel kullanımlar önemli hale gelmektedir. Afet sonrası olağanüstü şartlar içerisinde, en kısa sürede erişilebilecek ve en yakın mesafede güvende olmayı sağlayacak toplanma alanlarında, bu alanlara erişmeyi engelleyecek bir sınırlayıcının bulunmaması önemlidir. Bir başka ifade ile kolay girilebilen/geçiş yapılabilen alanların toplanma alanı olarak belirlenmesi gereklidir. Bu noktada okul, resmi kurum ya da sağlık tesislerinin güvenlik nedeniyle duvar, çit vb. sınırlayıcılarla kapalı ve çevrili olmaları, bu tür kullanımların ilk anda kolay erişilebilir olmalarını engellemektedir. Bu tür alanların mesai saatleri dışındaki sürelerde kilitli olmaları da düşünüldüğünde, toplanma alanları açısından bir nitelik sınıflaması yapılması gerekli hale gelmektedir. Bu elbette ülkemiz şartları açısından dikkate alınacak bir durumdur ve tüm kentler için geçerli, yönetsel/prosedürel çerçevede dikkate alındığında, bu tür alanların ikinci kademe

toplanma alanları olarak planlanmasının, özellikle mevsim koşullarına göre gerektiğinde afetin ilk aşamasında kullanılan açık alanları destekleyecek biçimde aşamalı bir kullanım öngörüsü geliştirilmesinin daha sağlıklı olacağı açıktır.

Böyle bir sınıflamada dikkate alınması gerekli bir başka husus, potansiyel toplanma alanı (PTA) olarak belirlenecek sosyal altyapı alanlarının yapılaşma biçimi ve bu bağlamda yarattıkları farklı risklerdir. Sosyo-kültürel tesislerin ve dini tesislerin yaygın olarak izlenen yapılaşma özellikleri dikkate alındığında yüksek ve büyük kitleler, minareler vb. unsurlar açısından bu tür alanların belirlemeler dışında bırakılması uygun olacaktır. Ayrıca dini tesislerin mülkiyet açısından farklı özellikler (diyanet, vakıflar, dernekler, belediyeler, özel şahıslar gibi) göstermesi kullanımını sınırlayıcı bir faktördür. Aynı durum özel eğitim kurumları için de geçerlidir. Bu sebeple dini tesisler ve özel eğitim kurumları çalışmada değerlendirme dışı bırakılmıştır.

Bu doğrultuda çalışmanın toplanma alanları açısından ortaya koyduğu en temel kabullerden biri yasal ve yönetsel işleyişin mekân organizasyonunu biçimlendirmede temel bir çıkış noktası olmasının gerekliliğidir. Bu doğrultuda toplanma alanları iki kademeli olarak sınıflandırılmıştır. Buna göre;

- 1. Kademe Toplanma Alanları:** Park ve yeşil alan, rekreasyon alanları, açık spor alanları, meydanlar ve açık pazar yerleri,
- 2. Kademe Toplanma Alanları:** Kamu kurumları, resmi nitelik taşıyan okullar (anaokulları, ilkokul, ortaokul, lise ve üniversite), sağlık tesisleri, kapalı spor alanları ve kapalı pazar yerlerinden oluşmaktadır.

2. kademe toplanma alanları 1. kademe toplanma alanlarından farklı olarak kapalı alana sahip olmaları nedeniyle özellikle olumsuz iklim şartlarında daha korunaklı bir alanda bulunma imkânı sağlayabilecektir. Bununla birlikte bu toplanma alanları tuvalet, su deposu, jeneratör, acil yardım ekipmanları, ilk yardım malzemesi vb. ihtiyaçların giderilmesine yönelik mekânsal bir olanak sunabilecektir. Böyle bir sınıflamanın temel alınması halinde 2. kademe toplanma alanı olarak belirlenmiş yerlerde bu tür ihtiyaçların zorunlu olarak karşılanmasına yönelik tedbirlerin alınması gerektiği açıktır. Afetin etkisine bağlı olarak ortaya çıkacak olan barınma ihtiyacı için standartları ilk iki kademedeki toplanma alanlarından farklı tariflenecek geçici iskân alanlarının ise son aşamada organize edilmesi gerekmektedir (Şekil 1).



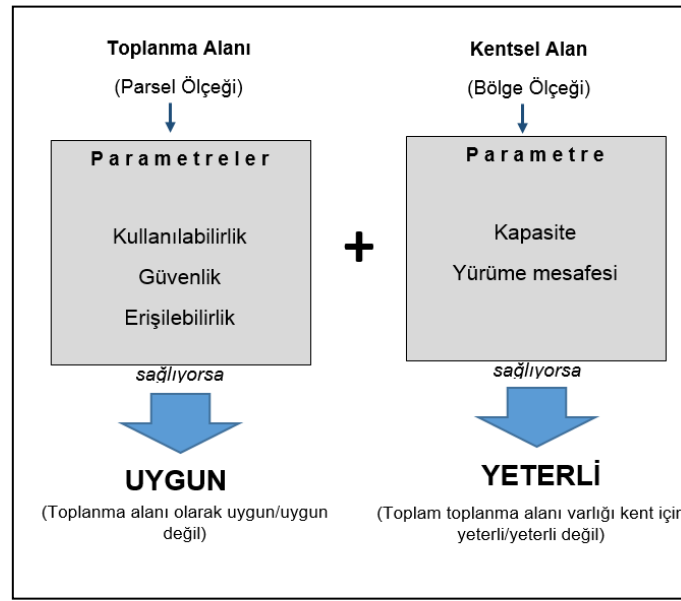
Şekil 1: Afet durumunda mekân organizasyonu aşamaları
Figure 1: The spatial organization stages in case of disasters

3.2. PARAMETRE VE KRİTERLER

Toplanma alanlarının belirleme kriterlerinin bazı parametrelere temellenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada parametreler;

- (a) Kullanılabilirlik,
- (b) Güvenlik ve
- (c) Erişilebilirlik olarak tanımlanmıştır.

Bir sosyal altyapı alanı sıralanan bu üç parametre açısından gereken şartları sağlıyorsa, daha açık bir ifadeyle kullanılabilir, güvenli ve erişilebilir ise toplanma alanı olarak kullanılması uygundur. Ancak bir alanın her üç parametreyi ideal düzeyde karşılaması mümkün olmayabilir. Bu durumda değerlendirilen alanın kriterler bazında güçlü ve zayıf yönleri dikkate alınarak bir öncelik sıralaması yapılması yoluna gidilmelidir. Bu durumda, toplanma alanı ölçeğinde kullanılabilirlik, erişilebilirlik ve güvenlik parametreleri UYGUN alanların seçimi açısından önem kazanırken; bölge ölçeğinde toplam kapasite ve yürüme mesafesi ile olan ilişki çerçevesinde YETERLİ olup olmadığı önem kazanmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2: Toplanma alanı parametreleri ve uygunluk-yeterlilik değerlendirmesi
Figure 2: The gathering areas' parameters and the suitability-sufficiency assessment

(a) Kullanılabilirlik Parametresi: Kullanılabilirlik, bir toplanma alanının afet kapsamında yüklenen görevleri kullanıcılar açısından uygun çevre koşullarında kolaylıkla ve etkili biçimde yerine getirebilmesi olarak tanımlanabilir (Özdemir 2004). Bu kapsamda amaca bağlı olarak alanın doğru bir biçimde kullanılabilmesi ve kolay ve hızlı bir biçimde erişilebilir olması gereklidir. Toplanma alanlarının olası bir afet durumunda can kaybının azaltılması ve gündelik yaşama hızlı bir biçimde dönülebilmesi amaçlarına bağlı olarak, kullanıcıların yaşadıkları deneyimlerden etkilenme biçiminin dikkate alınması gerekmektedir. Afet durumunda insanların ilk ulaştıkları güvenli alanların beklenen amacına uygun kullanım olanağı sağlaması önemlidir ve bunun için bu alanların belirli özelliklere sahip olması gereklidir. Potansiyel toplanma alanlarının mekânsal ve doğal özellikleri bu durumda belirleyici olacaktır. Çok boyutlu bir değerlendirme gereksinimi olan kullanılabilirlik, bir alanın büyüklük, form özellikleri ile üzerindeki fiziksel ya da yapısal unsurların dikkate alınmasını gerekli kılmaktadır. Bu bağlamda çalışmada kullanılabilirlik parametresi kapsamında belirlenen kriterler alansal büyüklük, mülkiyet, doluluk-boşluk oranı, eğim, iklimsel özellikler, bitki örtüsü, zararlı canlı varlığı şeklinde sıralanmaktadır (Tablo 2).

(b) Güvenlik Parametresi: Deprem sonrasında insanın kendini güvende hissedeceği bir alana yönelmesi içgüdüsel bir davranıştır. İnsanların afet ve acil durum sonrasında kendilerini panik halde dışarı atarak amaçsızca bir yerlere gitmeye çalışmaları, kapalı alanlardan açık alanlara doğru yönelmeleri yaygın bir eğilim olarak görülmektedir (Maral ve diğ. 2015). Toplanma alanının varlığı kadar bu alanın kendisinin güvenli olma durumu, o alanın toplanma alanı olarak belirlenebilmesi açısından önem taşımaktadır. Afet durumunda kişilerin kentlerde yıkılma tehlikesi olan yapılardan/yapısal unsurlardan ya da risk taşıyan patlayıcı, yanıcı kentsel

kullanımlardan mümkün olduğunca uzak alanlara yönlendirilmesi gerekmektedir (Çelik ve diğ. 2018). Afet durumu dışında afetten etkilenen vatandaşların güvenliğini tehlikeye sokarak zarar görmelerine sebep olabilecek diğer faktörlerden (yangın, patlama, göçük, heyelan, su taşkını vb.) izole olacak şekilde yer seçiminin yapılması güvenlik parametresi ile ilişkilendirilmektedir. Bu kapsamda toplanma alanının güvenlik parametresi temelinde değerlendirilebilmesi için saptanan kriterler fay hattı, jeolojik formasyon, zemin özellikleri, heyelan, tsunami ve su baskını, dere taşkın alanı, enerji nakil hattı, doğal gaz hattı, isale hattı, köprü ve viyadükler, jeotermal enerji altyapısı, kanalizasyon altyapısı, tehlikeli tesis/kullanımlar, çevreleyen yapı yaşı, çevreleyen yapı kat sayısı, çevreleyen yapı nizamı, çevreleyen yapı zemin kat kullanımı olarak ortaya konulmuştur (Tablo 2).

(c) Erişilebilirlik Parametresi: Kentsel kullanımların yer seçimi, büyüklükleri, kullanılabilirliği, kullanımların birbirleriyle olan ilişkileri çerçevesinde erişilebilirlik kavramı, mekânın organizasyonunda ve kent yaşamının biçimlenişinde önemli bir yere sahiptir. İnsanların, malların ve hizmetlerin eşit düzeyde erişilebilirliği açısından yapılan kent planlaması tanımları, kentsel işlevlere erişilebilirlik kapsamında ele alınmaktadır (Ertugay ve Duzgun 2006). Erişilebilirlik kavramı, genel olarak uzaklık (mesafe) ile ilişkilendirilmekte olup, fiziksel, zamansal, ekonomik ve algısal ölçümler ışığında değerlendirilmektedir. Afet ve acil durumlarda erişilebilirlik ise, fiziksel ve mekânsal erişilebilirlik kavramına dayanarak zaman ve mesafe temelinde içerik bakımından farklılaşmaktadır. Literatürde birçok çalışma ulaşım ağlarına erişilebilirliğin can ve mal kayıplarının azaltılmasında önemli olduğu, toplanma alanlarına erişim olanaklarının değerlendirilmesi gerektiği, acil ulaşım planları ve acil tahliye güzergahlarının belirlenmesi gerektiği üzerinde durmaktadır (Chang 2003, Sohn 2006, Kadioğlu ve Özdamar 2008, Konstantinidou ve diğ. 2014, Liu ve diğ. 2014, Buldurur ve Kurucu 2015). Afet ve acil durumlarda işlevlendirilmiş bir alanın yer seçimi, uzaklık ile ilişkilendirilmiş bir hizmet alanı tanımlaması çerçevesinde ele alınırken, alanın büyüklüğü kapasiteye bağlı olarak ihtiyacı karşılama düzeyi çerçevesinde değerlendirilmelidir. Erişilebilirlik parametresi kapsamında belirlenen kriterler yol kademelenmesi, yürüme mesafesi ve sağlık tesislerine yakınlık şeklinde sıralanmaktadır (Tablo 2).

Tablo 2: Toplanma alanlarının belirlenmesinde dikkate alınması gerekli kriterler
Table 2: The criteria used in the determination of gathering areas

KULLANILABİLİRLİK	GÜVENLİK	ERİŞİLEBİLİRLİK
Alansal Büyüklük	Fay Hattı	Yol Kademelenmesi
Mülkiyet	Jeolojik Formasyon	Yürüme Mesafesi
Doluluk-Boşluk Oranı	Zemin Özellikleri ve uygunluk	Sağlık Tesislerine Yakınlık
Eğim	Heyelan	
İklimsel Özellikler	Tsunami ve Su Baskını	
Bitki Örtüsü	Dere Taşkın Alanı	
Zararlı Canlı Varlığı	Enerji Nakil Hattı	
	Doğal Gaz Ana Hattı	
	İsale Hattı	
	Köprü ve Viyadükler	
	Jeotermal Enerji Altyapısı	
	Kanalizasyon Altyapısı	
	Tehlikeli Tesis/Kullanımlar	
	Çevreleyen Yapı Yaşı	
	Çevreleyen Yapı Kat Sayısı	
	Çevreleyen Yapı Nizamı	
	Çevreleyen Yapı Zemin Kat Kullanımı	

3.3. KAPASİTE KRİTERİ VE STANDARTLAR

Afet anındaki insan davranış ve hareketlerinin, sosyal ilişkiler, afetin yoğunluğu, hasar seviyesi, ilan edilen toplanma, sığınma ve tahliye alanları, kamu duyuruları, büyük nüfus hareketleri, medya ve gazete haberleri, erişim olanakları gibi hususlara bağlı olarak şekillendiği bilinmektedir. Afet anında insan hareket ve davranışları yüksek düzeyde özgürlük ve varyasyona sahiptir (Song ve diğ. 2014). Bu noktada, çok çeşitli senaryolar üzerinden afet

ihtiyacını tanımlamak mümkündür. Genellikle afet olduğu anda insanların yaptıkları işleri bırakıp güvenli alan ya da sığınak aramaya başladığı bilinmektedir. Toplanma alanları afet anında veya sonrasında halkın güvenli bir şekilde toplanması için ayrılmış alanlardır. İnsanlar afetin olduğu anın hemen arkasından gittikleri güvenli alanda ilk önce ayakta durmak yoluyla ihtiyaçlarını karşılanabiliyorken, afetin etki süresi uzadıkça ve etkilenme düzeyi değiştikçe ihtiyaç farklılaşmakta ve oturma, uzanma, tuvalet gibi çok çeşitli ihtiyaçlar ön plana çıkabilmektedir. Bu durum kişinin ihtiyaç duyduğu alansal büyüklüğü etkilemekte ve alan kullanımını değiştirmektedir.

Sphere (2018) Rehberi kapsamında, afetten etkilenen insanların barınma ihtiyacını karşılamaya yönelik kişi başına düşen kapalı alan 3,5-4,5 m², Çin ulusal standartlarına göre 1 aya kadar olan kısa süreli konaklamalar için kişi başına gerekli olan alan miktarı 2 m², 1 günden kısa süreli konaklamalar için ise 1 m² olarak ifade edilmiştir (Xu ve diğ. 2016). Yunanistan'ın Deprem Planlama ve Koruma Organizasyonu (OASP) tarafından 2002 yılında hazırlanan "Deprem Durumunda Nüfusun Acil Tahliyesi" başlıklı raporda (ECPFE ve OASP 2002) toplanma alanları kapasitesinin hesaplanmasında kişi başına aktif 2 m², JICA ve İBB (2002) raporu içerisinde kişi başına brüt minimum 1,5 m² (net minimum 0,5 m²), İzmir İli Valiliği İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü tarafından 14.07.2015 tarih ve 242 sayılı Valilik Olur'u ile oluşturan Toplanma Alanları Komisyonu'nca belirlenen toplanma alanı kriterleri içerisinde ise kişi başına 4 m² gibi çok farklı değerlerin saptandığı izlenmektedir. Bu farklılaşmalar çalışma kapsamında ele alınan kapasite hesaplamalarında kullanılmak amacıyla yeni standartlar geliştirilmesini gerektirmiştir. Bu hususta, mekân ve yapı tasarımı açısından önemli bir eser olan ve insan ve oran ilişkilerine ilişkin ölçü ve ihtiyaçları tanımlayan Neufert (1979)'un standartları referans alınmış ve toplanma alanı kapasite hesabında kişi başına kısa süreli toplanmalarda brüt minimum 1 m² ve uzun süreli toplanmalarda brüt minimum 2,5 m² alan ihtiyacı olacağı öngörülmüştür. Dolayısıyla toplanma alanlarına ilişkin yapılacak kapasite hesaplamalarında toplanma alanlarının uzun süreli (0-72 saat) kullanılacağı düşünülerek kişi başına 2,5 m² değeri belirlenmiştir (Erdin ve diğ. 2019).

Bununla birlikte 2020 ve 2021 yıllarında dünyada ve ülkemizde yaşanan Covid-19 pandemisi, bu tür salgın hastalıkların bulunduğu dönemlerde bu standardın yetersiz kalabileceğini ortaya koymuştur. Pandemi döneminde kamusal nitelikli alanlarda sosyal mesafe çerçevesinde gerçekleştirilen sınırlandırılmalar kişi başına düşen alan ihtiyacını etkilemiştir. Burada ifade edilen, olası bir afet durumunda en yakın toplanma alanına ulaşabilen kişilerin kullanabilecekleri açık ve yeşil alan miktarının pandemi öncesi duruma göre azaldığıdır. Dolayısıyla toplanma alanlarının kapasite üzerinden yeterliliklerinin belirlenmesinde kullanılan kişi başına düşen standartların -kısa süreli toplanmalarda 1 m² ve uzun süreli toplanmalarda 2,5 m² alan ihtiyacı olacak biçimde- artması söz konusudur. Covid-19 pandemi döneminde öne çıkan nüfus seyreltme, kontrollü sosyal yaşam politikaları ve sosyal izolasyon gibi açık ve yeşil alanlara yönelik uygulamalar belirlenen standartların bu tür özel durumlar için yeniden ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

4. YÖNTEMİN AÇIKLANMASI

Sosyal altyapı alanlarının belirlenmesi, gerekli verilerin (mekânsal, mekânsal olmayan, istatistiksel, niteliksel veriler vb.) tespiti ve temin edilmesi, temin edilen verilerin niteliğine göre ortak bir formata dönüştürülmesi, veri tabanına girişlerin yapılması, mekân ve nitelik temelli analizlerin yapılması ve tematik haritaların üretilmesi için Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) önemli bir analiz aracı niteliği taşımaktadır. Belirtilen adımlar çerçevesinde, çalışma alanına ilişkin potansiyel toplanma alanı niteliği taşıyan sosyal altyapı alanlarının CBS tabanlı (ArcMap, QGIS, MapInfo vb.) bir yazılıma aktarılması ve sonrasında bu alanlara ilişkin belirlenen ve elde edilen kriterler temelinde veri girişlerinin yapılması gerekmektedir. Böylece çalışma alanına ilişkin tematik haritaların oluşturulması ve toplanma alanlarının belirlenmesine yönelik sorgulamaların yapılması ve oluşturulan yöntemin uygulanması mümkün olabilecektir.

Çalışma kapsamında sosyal altyapı alanlarının kullanılabilirlik, güvenlik ve erişilebilirlik parametreleri açısından toplanma alanı olarak uygunluğunun belirlenmesi amacıyla 4 aşamalı bir yöntem oluşturulmuştur. Buna göre oluşturulan aşamalar aşağıda sıralanmaktadır:

- (1) Eleme,
- (2) Öncelik derecelerinin ve uygunluğunun belirlenmesi,
- (3) Kapasite üzerinden yeterliliklerin belirlenmesi,
- (4) Karar ve seçme (Şekil 3).



Şekil 3: Potansiyel toplanma alanlarının değerlendirilmesi ve belirlenmesine ilişkin akış şeması
Figure 3: The flow chart for evaluation and determination of potential gathering areas

(1) Eleme Aşaması: Çalışma alanı olarak seçilen alanda yer alan potansiyel toplanma alanlarının, belirlenen kriterler üzerinden bir eleme sürecine tabi tutulduğu aşamadır. Toplanma alanlarının belirlenmesi için saptanan kriterler seçme kriteri olabildiği gibi bazıları aynı zamanda eleme kriteridir. Eleme kriterine sahip alanlar (örneğin PTA'nın eleme kriterlerinden biri olan fay hattı üzerinde bulunması) toplanma alanı olarak belirlenemeyecektir.

(2) Öncelik Derecelerinin ve Uygunluğunun Belirlenmesi Aşaması: İlk aşama sonrasında elendikten sonra geriye kalan PTA'ların kendi aralarında değerlendirilmesi ve hangi PTA'nın amaca daha iyi hizmet verecek nitelikte olduğunun saptanması gerekmektedir. Bu doğrultuda ikinci aşamada belirlenen kriterler aynı etki/eş değere sahip olmadığı için kriterlerin ağırlıklarının ve öncelik derecelerinin belirlenmesi biçiminde bir yöntem uygulanmalıdır. Bu aşamada çok kriterli problemlerin çözümünde yaygın biçimde kullanılan ve Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yöntemi uygulanmıştır.

Tablo 4: Toplanma alanlarının belirlenmesinde kullanılan kriterlere ilişkin standartlaştırılmış değerler matrisi
Table 4: The standardized values matrix for the criteria used to determine gathering areas

Kriterler	Büyüklik	Mülkiyet	Doluluk-boşluk oranı	Eğim	İklimsel Özellikler	Bitki örtüsü	Zararlı Canlı Varlığı	Fay hattı	Jeolojik Formasyon	Zemin özellikleri/uygunluk	Heyelan	Tsunami ve su baskını	Dere Taşkın Alanı	Enerji nakil hattı	Doğalgaz ana hattı	İsale Hattı	Köprü ve Viyadükler	Jeotermal Enerji Altyapısı	Kanalizasyon Altyapısı	Tehlikeli Tesis/Kullanımı	Çevreleyen Yapı Yaşı	Çevreleyen Yapı Kat Sayısı	Çevreleyen Yapı Nizamı	Çevreleyen Yapı Zemin Kat Kullanımı	Yol Kademelemesi	Yürüme Mesafesi	Sağlık Tesislerine Yakınlık	ARİTMETİK ORT. AĞIRLIK	ARİTMETİK ORT. YÜZDE (%)			
Alansal Büyüklük	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,03	0,01	1,00			
Mülkiyet	0,04	0,01	0,04	0,04	0,04	0,04	0,01	0,01	0,00	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,04	0,01	0,04	0,02	2,00		
Doluluk-boşluk oranı	0,01	0,00	0,01	0,00	0,04	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	1,00	
Eğim	0,06	0,00	0,04	0,01	0,04	0,04	0,01	0,01	0,04	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,04	0,05	0,04	0,02	2,00		
İklimsel Özellikler	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	1,00		
Bitki örtüsü	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	1,00	
Zararlı Canlı Varlığı	0,06	0,07	0,06	0,07	0,04	0,04	0,03	0,01	0,00	0,01	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,06	0,05	0,05	0,06	0,07	0,09	0,04	0,05	5,00	0,05	5,00	
Fay hattı	0,06	0,07	0,06	0,07	0,04	0,06	0,15	0,07	0,07	0,11	0,10	0,10	0,09	0,04	0,04	0,04	0,08	0,04	0,04	0,04	0,10	0,09	0,09	0,10	0,07	0,09	0,04	0,07	7,00	0,07	7,00	
Jeolojik Formasyon	0,04	0,07	0,04	0,00	0,04	0,04	0,09	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,03	0,02	2,00		
Zemin özellikleri/uygunluk	0,06	0,04	0,06	0,04	0,04	0,06	0,15	0,02	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,05	0,04	0,04	4,00	0,04	4,00	
Heyelan	0,06	0,07	0,06	0,07	0,04	0,06	0,09	0,07	0,07	0,11	0,10	0,10	0,09	0,13	0,13	0,13	0,08	0,13	0,13	0,13	0,10	0,09	0,09	0,10	0,07	0,09	0,04	0,09	9,00	0,09	9,00	
Tsunami ve su baskını	0,06	0,07	0,06	0,07	0,04	0,06	0,09	0,07	0,07	0,11	0,10	0,10	0,09	0,13	0,13	0,13	0,08	0,13	0,13	0,13	0,10	0,09	0,09	0,10	0,07	0,09	0,04	0,09	9,00	0,09	9,00	
Dere Taşkın Alanı	0,06	0,07	0,06	0,07	0,04	0,06	0,09	0,07	0,07	0,11	0,10	0,10	0,09	0,13	0,13	0,13	0,08	0,13	0,13	0,13	0,10	0,09	0,09	0,10	0,07	0,09	0,04	0,08	8,00	0,08	8,00	
Enerji nakil hattı	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,07	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,08	0,04	0,04	0,04	0,06	0,05	0,05	0,06	0,07	0,05	0,04	0,05	5,00	0,05	5,00	
Doğalgaz ana hattı	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,07	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,08	0,04	0,04	0,04	0,06	0,05	0,05	0,06	0,07	0,05	0,04	0,05	5,00	0,05	5,00	
İsale Hattı	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,07	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,08	0,04	0,04	0,04	0,06	0,05	0,05	0,06	0,07	0,05	0,04	0,05	5,00	0,05	5,00	
Köprü ve Viyadükler	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,07	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,08	0,04	0,04	0,04	0,06	0,05	0,05	0,06	0,07	0,05	0,04	0,05	5,00	0,05	5,00	
Jeotermal Enerji Altyapısı	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,07	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,08	0,04	0,04	0,04	0,06	0,05	0,05	0,06	0,07	0,05	0,04	0,05	5,00	0,05	5,00	
Kanalizasyon Altyapısı	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,07	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,08	0,04	0,04	0,04	0,06	0,05	0,05	0,06	0,07	0,05	0,04	0,05	5,00	0,05	5,00	
Tehlikeli Tesis/Kullanımı	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,07	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,08	0,04	0,04	0,04	0,06	0,05	0,05	0,06	0,07	0,05	0,04	0,05	5,00	0,05	5,00	
Çevreleyen Yapı Yaşı	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,01	0,01	0,04	0,04	0,02	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,05	0,02	0,06	0,00	0,02	0,04	0,03	3,00	0,03	3,00	
Çevreleyen Yapı Kat Sayısı	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,01	0,01	0,04	0,04	0,02	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,05	0,01	0,00	0,01	0,03	0,02	2,00	0,02	2,00	
Çevreleyen Yapı Nizamı	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,01	0,01	0,04	0,04	0,02	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,00	0,02	0,04	0,02	2,00	0,02	2,00	
Çevreleyen Yapı Zemin Kat Kullanımı	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,01	0,01	0,04	0,04	0,02	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,05	0,05	0,02	0,00	0,02	0,04	0,03	3,00	
Yol Kademelemesi	0,04	0,00	0,01	0,00	0,04	0,01	0,01	0,01	0,04	0,01	0,02	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,03	0,01	1,00	0,01	1,00
Yürüme Mesafesi	0,06	0,04	0,04	0,00	0,04	0,04	0,01	0,01	0,04	0,01	0,02	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,05	0,02	0,02	0,07	0,02	0,04	0,03	3,00	0,03	3,00	
Sağlık Tesislerine Yakınlık	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	1,00	0,01	1,00	

Kriterler ağırlıklı oranlarına göre, %0-9 arasında bir aralıkta yer almış ve %7-9 aralığı çok önemli, %4-6 aralığı önemli, %2-3 aralığı az önemli ve %0-1 aralığı çok az önemli olarak sınıflandırılmıştır. Buna göre kriterlerin dağılımına bakıldığında, çok önemli sınıf ağırlıklı olarak yüksek risk içeren birincil ve ikincil afet ve etki alanlarına ilişkin kriterleri içerirken, önemli sınıf ağırlıklı olarak teknik altyapıya ilişkin kriterleri, çok az önemli olan sınıf ise alana ve çevresine yönelik doğal ve yapay fiziki unsurlara ilişkin kriterleri içermektedir (Tablo 5). Bu sınıflama içerisinde az önemli ve çok az önemli sınıfları içerisinde yer alan kriterlerin, kentsel dokunun toplanma alanı belirlemeye olanak vermediği niteliğe sahip olduğu alanlarda ve bölgelerde, gerektiğinde ağırlık oranı en düşük olandan itibaren göz ardı edilebilecek kriterler olarak ele alınması söz konusu olabilmektedir. Bir başka ifadeyle az önemli ve çok az önemli kriterler gerektiğinde göz ardı edilebilmektedir.

AHS yöntemi temel olarak iki aşamalı biçimde ele alınmaktadır. İlk aşamada parametreler arasında hiyerarşik yapının kurulması ve ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulup ağırlıkların belirlenmesi yer almaktadır (Tablo 3-5). İkinci aşamada ise, çalışma kapsamında seçilen kriterlerin tutarlılık oranların saptanması üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Bu aşamada, karşılaştırma matrisini oluşturan karar vericinin/vericilerin kriterler arasında karşılaştırma yaparken tutarlı davranıp davranmadığının anlaşılması amacıyla çeşitli hesaplamalar yapılmaktadır (Donegan ve diğ. 1992, Stain ve Mizzi 2007). Saaty (2008) tarafından oluşturulan AHS yöntemi kapsamında belirlenen Rassallık Göstergeleri (RI) maksimum 15 kritere göre belirlenmiştir. Dolayısıyla bir kent özelinde yapılacak çalışmada belirlenen kriter sayısı 15'in üzerinde olduğu takdirde bu yöntemin tutarlılık değerinin hesaplanabilmesi mümkün olamamaktadır.

Tablo 5: Toplanma alanlarının belirlenmesinde kullanılan kriterlerin ağırlıklarına göre sınıflandırılması
Table 5: The classification of criteria used in the determination of gathering areas due to their weights

SIRALAMA	KRITERLER	AĞIRLIK ORANI (%)	ÖNEM DERECESİ
1	Heyelan	9,00	ÇOK ÖNEMLİ
2	Tsunami ve su baskını	9,00	ÇOK ÖNEMLİ
3	Dere Taşkın Alanı	8,00	ÇOK ÖNEMLİ
4	Fay hattı	7,00	ÇOK ÖNEMLİ
5	Enerji nakil hattı	5,00	ÖNEMLİ
6	Doğalgaz ana hattı	5,00	ÖNEMLİ
7	İsale Hattı	5,00	ÖNEMLİ
8	Jeotermal Enerji Altyapısı	5,00	ÖNEMLİ
9	Kanalizasyon Altyapısı	5,00	ÖNEMLİ
10	Tehlikeli Tesis/Kullanımı	5,00	ÖNEMLİ
11	Zararlı Canlı Varlığı	4,00	ÖNEMLİ
12	Zemin özellikleri/uygunluk	4,00	ÖNEMLİ
13	Köprü ve Viyadükler	4,00	ÖNEMLİ
14	Çevreleyen Yapı Yaşı	3,00	AZ ÖNEMLİ
15	Çevreleyen Yapı Zemin Kat Kullanımı	3,00	AZ ÖNEMLİ
16	Yürüme Mesafesi	3,00	AZ ÖNEMLİ
17	Mülkiyet	2,00	AZ ÖNEMLİ
18	Eğim	2,00	AZ ÖNEMLİ
19	Jeolojik Formasyon	2,00	AZ ÖNEMLİ
20	Çevreleyen Yapı Kat Sayısı	2,00	AZ ÖNEMLİ
21	Çevreleyen Yapı Nizamı	2,00	AZ ÖNEMLİ
22	Alansal Büyüklük	1,00	ÇOK AZ ÖNEMLİ
23	Doluluk-boşluk oranı	1,00	ÇOK AZ ÖNEMLİ
24	İklimsel Özellikler	1,00	ÇOK AZ ÖNEMLİ
25	Bitki örtüsü	1,00	ÇOK AZ ÖNEMLİ
26	Yol Kademelenmesi	1,00	ÇOK AZ ÖNEMLİ
27	Sağlık Tesislerine Yakınlık	1,00	ÇOK AZ ÖNEMLİ

Çalışma her bir potansiyel toplanma alanı için belirlemelere referans olacak ve karar verme sürecini yönlendirecek doğrusal ilişki fonksiyonunda, bağımlı değişken (Y) olarak Toplanma Alanının Uygunluk Derecesi, bağımsız değişkenler (X) olarak ise mülkiyet, eğim, fay hattı, jeolojik formasyon, zemin özellikleri ve uygunluk, enerji nakil hattı, doğalgaz ana hattı, isale hattı, köprü ve viyadükler, jeotermal enerji altyapısı, kanalizasyon altyapısı, tehlikeli tesis/kullanımlar, çevreleyen yapı yaşı, çevreleyen yapı kat sayısı, çevreleyen yapı nizamı, çevreleyen yapı zemin kat kullanımı, yol kademelenmesi ve sağlık tesislerine yakınlık belirlenmiştir. Belirlenen değişkenler kullanılarak elde edilen doğrusal ilişki fonksiyonu denklem (1) deki gibidir:

$$\begin{aligned} \text{Toplanma Alanının} &= FH \times 0,07 + (ENH \times 0,05) + (DAH \times 0,05) + (IH \times 0,05) + (JEA \times 0,05) + (KA \times 0,05) + \\ \text{Uygunluk Derecesi} & (TTK \times 0,05) + (KV \times 0,04) + (ZU \times 0,04) + (\text{ÇYY} \times 0,03) + (\text{ÇYZKK} \times 0,03) + (M \times 0,02) + \\ & (E \times 0,02) + (JF \times 0,02) + (\text{ÇYKS} \times 0,02) + (\text{ÇYN} \times 0,02) + (STY \times 0,01) + (YK \times 0,01) \end{aligned} \quad (1)$$

Toplanma Alanının Uygunluk Derecesi: Bağımlı değişken,
FH : Fay hattı etki düzeyini durumunu ifade eden bağımsız değişken,
ENH : Enerji nakil hattı etki düzeyini durumunu ifade eden bağımsız değişken,
DAH : Doğalgaz hattı etki düzeyini durumunu ifade eden bağımsız değişken,
İH : İsale hattını ifade eden bağımsız değişken,
JEA : Jeotermal enerji altyapısını ifade eden bağımsız değişken,
KA : Kanalizasyon altyapısını ifade eden bağımsız değişken,
TTK : Tehlikeli tesis kullanımını ifade eden bağımsız değişken,
KV : Köprü ve viyadükleri ifade eden bağımsız değişken,
ZU : Zemin özelliği ve uygunluğunu ifade eden bağımsız değişken,
ÇYY : Çevreleyen yapı yaşını ifade eden bağımsız değişken,
ÇYZKK : Çevreleyen yapı zemin kat kullanımını ifade eden bağımsız değişken,
M : Mülkiyeti ifade eden bağımsız değişken,
E : Eğim durumunu ifade eden bağımsız değişken,
JF : Jeolojik formasyona göre yerleşime uygunluğu ifade eden bağımsız değişken,
ÇYKS : Çevreleyen yapı kat sayısını ifade eden bağımsız değişken,
ÇYN : Çevreleyen yapı nizamını ifade eden bağımsız değişken,
STY : Sağlık tesislerine yakınlığı ifade eden bağımsız değişken,
YK : Yol kademelenmesini ifade eden bağımsız değişken şeklindedir.

Ayrıca toplanma alanlarının belirlenmesinde kullanılan kriterlerin birbirleriyle olan ilişkisinin yanı sıra kriterlerin her biri niteliğine bağlı olarak kendi içerisinde çeşitlenebilmekte,

detaylanabilmekte veya alt sınıflara ayrılabilir. Kriter bazındaki bu alt sınıflar, kriterin kendi niteliğine uygun olarak belirlenmiş aralık değerleri itibariyle tanımlanmakta ve her bir aralık değeri de o kriter temelinde toplanma alanının derecelendirilmesine öncülük etmektedir. Örneğin eğitim kriterine açısından bakıldığında %0-3,9 aralığı 1'inci Derece Öncelikli, %4-7,9 aralığı 2'nci Derece Öncelikli ve %8-11,9 aralığı 3'üncü Derece Öncelikli olmak üzere derecelendirme yapılmıştır. Hesaplamalarda, kriterlere ilişkin verilen ve derecelendirilen aralıklara göre kod değerleri (1'inci Derece öncelikli 3 puan, 2'nci Derece öncelikli 2 puan ve 3'üncü Derece öncelikli 1 puan) verilerek (Tablo 6) ve bu kodların formülde ağırlık oranları ile çarpılması yoluyla her bir PTA için birbirlerine göre durumunu ve önceliğini ifade eden değerler elde edilecektir. Bu noktada Toplanma Alanının Uygunluk Derecesi bakımından yüksek puana sahip PTA'lar, öncelikli olarak toplanma alanı belirlenmesi gereken en uygun alanlar olarak öne çıkacaktır.

Tablo 6: Kriterlere ilişkin kodlar
Table 6: Codes related to criteria

KRİTER	ARALIK / SINIFI	KOD
Mülkiyet	Kamu Mülkiyeti	2
	Özel Mülkiyet	1
Eğitim	%0-3,9 Eğitim Oranı	3
	%4-7,9 Eğitim Oranı	2
	%8-11,9 Eğitim Oranı	1
Fay Hattı	Alanın yüzey faylanması tehlike kuşağı+sakinim bandı dışında kalması	2
	Alanın kısmen yüzey faylanması tehlike kuşağı+sakinim bandı içinde	1
Jeolojik Formasyon	Yerleşime uygun alan	3
	Yerleşime kısmen uygun alan	2
	Yerleşime uygun olmayıp, zemin iyileştirme yapılması gereken alan	1
Zemin Özellikleri ve Uygunluk	$G_{max} > 750 \text{ kg/cm}^2$	3
	$300 \text{ kg/cm}^2 < G_{max} < 750 \text{ kg/cm}^2$	2
	$G_{max} < 300 \text{ kg/cm}^2$	1
	$T_0 < 1 \text{ sn ve } V_{s30} > 760 \text{ m/sn}$	3
	$T_0 > 1 \text{ sn ve } 460 < V_{s30} < 760 \text{ m/sn}$	2
Enerji Nakil Hattı	Alan içinde/yakınında yok	2
	Alanın kısmen içinde veya yakınında var	1
Doğalgaz Ana Hattı	Alan içinde/yakınında yok	2
	Alanın kısmen içinde veya yakınında var	1
İsale Hattı	Alan içinde/yakınında yok	2
	Alanın kısmen içinde veya yakınında var	1
Köprü ve Viyadükler	Alan içinde/yakınında yok	2
	Alanın kısmen içinde veya yakınında var	1
Jeotermal Enerji Altyapısı	Alan içinde/yakınında yok	2
	Alanın kısmen içinde veya yakınında var	1
Kanalizasyon Altyapısı	Alan içinde/yakınında yok	2
	Alanın kısmen içinde veya yakınında var	1
Tehlikeli Tesis / Kullanımlar	Alan içinde/yakınında yok	2
	Alanın kısmen içinde veya yakınında var	1
Çevreleyen Yapı Yaşı	2001 Sonrası	2
	2001 Öncesi	1
Çevreleyen Yapı Kat Sayısı	1-4 arası kat sayısı	2
	5 ve üstü kat sayısı	1
Çevreleyen Yapı Nizamı	Ayrık Nizam	2
	Bitişik Nizam / Blok Nizam	1
Çevreleyen Yapı Zemin Kat Kullanımı	Ticaret Dışı Kullanımlar	2
	Ticaret Kullanımı	1
Yol kademelenmesi	Ana yol	3
	Toplayıcı yol	2
	Servis yolu	1
Sağlık Tesislerine Yakınlık	0-2500 m	2
	2501 m ve üstü	1

Dikkate alınması gereken bir başka husus ise, toplanma alanlarının belirlenmesine ilişkin yapılan bu değerlendirmelerin tek başına sağlıklı yer seçimi ve karar süreci için yeterli olmadığıdır.

(3) Kapasite Üzerinden Yeterliliklerin Belirlenmesi Aşaması: İlk iki aşamadaki analizler PTA bazında kullanılabilirlik ve güvenlik açısından en uygun alanları belirlemeye ilişkin yapılan analizleri içermektedir. Üçüncü aşamada ise, farklı kademelerde toplanma alanlarının nüfus ile ilişkisinin değerlendirilmesi ve alan bazında kapasite üzerinden yeterliliğinin tespit edilmesi yer almaktadır. Böylece olağanüstü durumlarda en yakın konumda erişilebilir alanlar açısından yetersizliklerin ve dolayısıyla sorunlu ve kritik bölgelerin saptanması söz konusu olabilmektedir. PTA'ların yetersizliklerinin tespit edildiği bölgeler için var olan sorunu çözmek üzere eleme ve öncelik kriterlerine yönelik yeni değerlendirmeler yapılabilecektir. Bir başka ifadeyle bölgede toplanma alanları yönünden önemli eksiklikler saptanıyorsa, ağırlığı az olan kriterlerden bazılarının eleme yerine seçme kriteri olarak kullanılması ya da değerlendirme dışı bırakılması yoluna gidilebilecektir.

PTA'ların alansal büyüklükleri üzerinden kişi başına gereksinim duyulan alan standardından (Kişi başına 2,5m² toplanma alanı) hareketle alanların hizmet edebileceği nüfusun hesaplanması gerekmektedir. Sonrasında PTA'ların hizmet ettiği yürüme mesafesinde (0-200m) kalan alan içerisindeki nüfus üzerinden kapasiteleri hesaplanmalı ve bu alanlara ilişkin yeterlilik temelinde değerlendirmeler yapılmalıdır. Bu noktada hesaplamalar için yapı ölçeğinde nüfus verisinin bulunması önemlidir. Ne var ki, Türkiye'de nüfus verileri mahalle ölçeğinde elde edilebilmekte ve bu durum değerlendirmelerin mahalle ölçeğinde yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Bu zorunluluk bir yandan nüfusun mekânsal dağılımının daha net tespitini zorlaştırmakta; diğer yandan toplanma alanının hizmet etki çapı bağlamında erişilebilir ve yeterli gibi görünmesine neden olabilmektedir. Dolayısıyla hizmet etki alanı özelinde mahalle verisi üzerinden yapılan hesaplamalar, hizmet etki alanı içindeki doku özellikleri, yapı yoğunluğu ve nüfus ile ilişkilendirilerek PTA'ların alansal büyüklüğü ve yer seçimi değerlendirilmelidir.

(4) Karar ve Seçme Aşaması: Uygunluk ve yeterlilik açısından değerlendirilen PTA'lardan hangilerinin toplanma alanı olarak seçilebileceğine dair nihai bir karar aşamasıdır. Bu aşamada karar verilmeden önce mutlaka yerinde gözlem ve incelemelerin yapılması gereklidir. Eldeki potansiyelin öncelikle çevreleyen yapı özellikleri (yaş, kat sayı, zemin kat kullanımı ve yapı nizamı) ve alanların doluluk-boşluk oranları (yapısal ve doğal unsurlar) itibarıyla değerlendirilmesi gerekmektedir. Böyle bir değerlendirme süreci, arazi kullanım çalışmaları ile birlikte, GPS ölçümü, uydu görüntüleri ile alan karşılaştırmaları vb. çalışmaları içermektedir. Bu yolla eğer tespit edilen özellikler açısından yukarıda ortaya konan kapsam ve içeriğe göre uygun olmayan alanlar olduğu saptanıyorsa (örneğin uydu görüntülerinde yer almayan yapısal ve doğal unsurlar, risk yaratabilecek ilave kullanımlar gibi), bu durumda ilgili alanların değerlendirme dışı bırakılması söz konusu olabilecektir. Dolayısıyla bu hesaplamaların yanı sıra arazi çalışmaları ve yerinde yapılacak tespitler de belirlemeler açısından büyük önem taşımaktadır. Sonuç olarak PTA'lar arasından yapılacak seçimlerde mutlaka yerinde yapılacak inceleme ve tespitlere göre de değerlendirmelerde bulunmak gerekmektedir.

Yukarıda ortaya konulan 4 aşamalı yöntemin uygulanması ile Potansiyel Toplanma Alanları (PTA) arasından Toplanma Alanları seçilmiş olacaktır. Böylece seçilen alanların Toplanma Alanı tanımlanmasıyla afet müdahale planlarına ve imar planlarına aktarılması aşamalarına geçilebilecektir.

5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Kentlerin mekânsal gelişimlerinin planlanmasında, bir yeşil ağ sisteminin oluşturulması ve bu sistemin açık ve yeşil alanlarla birlikte sosyal altyapı alanlarını da içerecek biçimde ilişkisel bir çalışma ile ele alınması gerektiği bilinmektedir. Böyle bir ilişkisel çalışmanın sosyal altyapı alanlarına temellenen toplanma alanlarının dağılımını adil biçimde sağlamak açısından da önemli olduğu açıktır. Ancak mevcut kentsel pratiklerimiz içerisinde sağlıklı bir açık ve yeşil alan sistemi izlenmemektedir. Bunun temel sebebi sorunlu bir kentleşme sürecinin ortaya çıkardığı sağlıksız fiziksel yapılanmadır. Göç ve kaçak yapılaşmaların yanı sıra imarlı gelişen

kent bölgelerinde de izlenen niteliksiz yapı stoku, yetersiz sosyal ve teknik altyapı olanakları bugün karşımızda duran en önemli sorunlardır. Gelişme süreçleri ve görsel olarak izlenen yapılaşma özellikleri açısından ayrışıyor olsa da bugün hemen hemen tüm kentsel bölgeler için aynı yetersizliklerden söz etmek mümkündür. Bu nedenle kentlerde herhangi bir bölgesel ayırım yapılmaksızın bütüncül olarak toplanma alanlarına ilişkin analizlerin yapılması önemlidir.

Toplanma alanlarının saptanmasında ulusal kriter, standartlar ve yöntem doğrultusunda kapsamlı-sistemik bir ele alışla belirlemelerin yapılmadığı, ayrıca yeterli ve güncel bir veri tabanının bulunmadığı da izlenmektedir. Afet riskleri ile bağlantılı mekân organizasyonlarının temel parçaları olarak mevzuatta tanımlanan içeriği ile kentsel sosyal altyapı alanları önemli bir potansiyel oluşturmaktadır. Ancak kentlerde var olan bu potansiyelin etkin biçimde kullanılabilmesi ve bu yolla kentsel mekânın dirençliliğinin artırılabilmesi için, bu tür kullanımların afet amaçlı kullanımına yönelik standartların belirlenmesi ve sınıflamaların yapılması gerekmektedir.

Bu çalışmada, kentlerde mevcut sosyal altyapı alanları içerisinde hangilerinin toplanma alanı olarak belirlenmesi gerektiğine ilişkin dört aşamalı bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntemden yararlanarak, tüm kentlerde uygun toplanma alanlarını belirlemek mümkündür. Öte yandan her kentin kendine özgü farklı fiziksel, mekânsal yapılanmaları olabileceği ve hatta kentlerin bölgesel olarak farklı özellikler gösterebileceği de bir gerçektir. Bununla birlikte bu çalışmada önerilen temel kriterler tüm kentler için geçerli olabilecek nitelikler taşımaktadır. Dolayısıyla kentler ya da bölgeler açısından elde edilecek sonuçlar farklılaşsa bile, önerilen yöntem tüm kentler için genellenebilir ve uygulanabilir niteliktedir.

Toplanma alanlarının belirlenmesinde önemli bir husus kentler için yeterli ve güncel veri altyapısıdır. Veri varlığı bağlamında da farklı yerleşmelerde değişen kurumsal kapasiteler mevcuttur. Afetlere toplanma alanlarının belirlenmesi açısından da hazırlıklı olabilmek için kurumların veri altyapılarını geliştirmeleri gerekmektedir. Geliştirilen veri altyapısı aynı zamanda afet yönetimi ile ilgili mekânsal kullanımları içerecek olan imar planı çalışmalarında da kullanılabilir. Ayrıca afet risklerinin azaltılması çalışmalarının temel kaynağı kurumlar arası işbirliğidir ve bu alanda sağlıklı sonuçlara ulaşabilmek için disiplinler arası bir bilgi akışına ihtiyaç bulunmaktadır.

Diğer yandan afetin günün hangi saatinde gerçekleşeceği ve bunun sonucunda hangi kentsel bölgelerin daha fazla etkileneceği belirlenemediğinden, toplanma alanlarına ilişkin yer seçimi çalışmalarının konut alanlarına ek olarak aynı zamanda iş ve çalışma alanları, kent merkezleri, alışveriş ve ticaret odakları, eğitim alanları vb. farklı arazi kullanım türleri için de yapılması büyük önem taşımaktadır. Ayrıca kentin farklı bölgelerinde zamansal ve mevsimsel değişimlere göre nüfuslarının farklılaşacağı da gözlemlenmeli ve hesaplamaların sadece adrese dayalı nüfus verisi üzerinden yapılmasının bu bölgeler için yeterli olamayacağı bilinmelidir.

Toplanma alanı bağlamında, kapasite ile kent içerisindeki mekânsal dağılımın oldukça önemli bir husus olduğu ve toplanma alanı belirleme işinin, bu alanların kentin tamamına hizmet etmesini sağlayacak sistemik bir yaklaşımla ele alınması gerektiği açıktır. Söz konusu sistemik yaklaşımın planlama sürecinin tüm aşamalarında afet vurgusuna ve duyarlılığına gereksinimi bulunmaktadır. Bu kapsamda önerilen yöntemin kent planlama çalışmalarında bir yönlendirici içerik yaratması ve sonrasında imar planlarını İl Afet Müdahale Planları ile bütünleştirecek bir ara kesit olarak işlev görmesi beklenmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, 2019 yılında tamamlanan Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı'nın (AFAD) Ulusal Deprem Araştırma Programı tarafından desteklenen UDAP-G-16-08 Proje Numaralı "Afet ve Acil Durumlar Sonrası Halkın Toplanma Alanlarına İlişkin Kriterlerin Belirlenmesi ve Değerlendirme Yönteminin Oluşturulması, İzmir Kenti Örneği" başlıklı proje kapsamında yapılan çalışmalara ve ortaya konulan yönetime dayanmaktadır.

KAYNAKLAR

Aşıkkutlu H.S., Aşık Y., Yücedağ C., Kaya L.G., 2021. Olası deprem durumunda mahalle ölçeğinde Burdur kenti acil toplanma alanlarının yeterliliğinin saptanması. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 8 (1), 442-456.

Bayra E., 2021. Büyük Doğu Japonya Depremi Sonrası Japon Mevzuatında Görülen Eksikliklerin Düzeltilmesi Bağlamında Deprem ve Hukuk, Marmara Üniversitesi, *Hukuk Fakültesi Hukuk Araştırmaları Dergisi*, 27 (2), 1191-1206.

Buldurur M.A., Kurucu H., 2015. İstanbul'da Afet Yönetimi ve Acil Ulaşım Yollarının Değerlendirmesi. *Planlama Dergisi*, 25 (1), 21 – 31.

Chang S.E., 2003. Transportation planning for disasters: an accessibility approach. *Environment and Planning A*, 35(6), 1051-1072.

Çelik H.Z., Aydın M.B., Partigöç N.S., Erdin H.E., 2018. Deprem Riskleri Bağlamında Toplanma Alanlarının Güvenlik Kriterleri Temelinde Değerlendirilmesi: Bayraklı (İzmir) Örneği. *Natural Hazards and Disaster Management 04-06 Mayıs 2018*, Sakarya, Türkiye, Bildiriler kitabı, 612-624.

Doğan O., 2023. İş Güvenliği Uzmanlarının Bakış Açısıyla Acil Durum Toplanma Alan Özelliklerinin AHP Yöntemi ile Değerlendirilmesi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Doğal Afetler Uygulama ve Araştırma Merkezi Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 9(1): 112-124.

Donegan H.A., Dodd F.J., McMaster T.B.M., 1992. "A New Approach To AHP Decision Making", *The Statistician*, 41(3): 295-302.

Ekin E., Sarıkaya Z., 2021. Ahp Tabanlı Topsis Yöntemi ile Afet Sonrası Acil Toplanma Alanlarının Belirlenmesine Yönelik Bir Uygulama. *Social Sciences Research Journal*, 10 (3), 696-713.

Erdin H.E., Çelik H.Z., Aydın M.B.S., Partigöç N.S., 2019. Afet ve Acil Durumlar Sonrası Halkın Toplanma Alanlarına İlişkin Kriterlerin Belirlenmesi ve Değerlendirilmesi Yönteminin Oluşturulması, İzmir Kenti Örneği, AFAD-UDAP Çalışması, Proje No: UDAP-G-16-08, Ankara, 2019.

Erdin H.E., Çelik H.Z., Aydın M.B.S., Özcan N.S., Erdem U., 2017. Afet yönetimi içerisinde kentsel mekân ihtiyacı ve kentsel arazi kullanımları, *Disiplinlerarası Afet Yönetimi Araştırmaları*, (Editörler: Z. Toprak Karaman, O. Sancakdar, S.İ. Kaya), Birleşik Matbaacılık: İzmir, 255-272.

Ertugay K., Duzgun S., 2006. Integrating physical accessibility of emergency establishments into earthquake risk assessment, *International Engineering Conferences Proceedings*, Middle East Technical University, Geodetic and Geographical Information Technologies Department, Ankara.

European Centre on Prevention and Forecasting of Earthquakes (ECPFE), Earthquake Planning and Protection Organization (OASP), 2002. Emergency Evacuation of the Population in case of an Earthquake Emergency Evacuation, Handbook No:3, Athens, Greece, 72 p, Erişim adresi: https://ecpfe.oasp.gr/sites/default/files/eee_0.pdf

Gerdan S., şen A., 2020. Kocaeli/ Başiskele İlçesi Afet ve Acil Durum Toplanma Alanlarının Yeterliklerinin Değerlendirilmesi, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(2), 489-500.

Gökgöz B.İ., İlerisoy Z.Y., Soyluk A., 2020. Acil Durum Toplanma Alanlarının AHP Yöntemi ile Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (19), 935-945.

İncir A., Yorulmazel V., 2013. Temel afet bilinci, afet toplanma merkezleri, afet hazırlık müdahale kurulunun amaçları ve çalışmalarını, TMMOB 2. İzmir Kent Sempozyumu, 28-30 Kasım 2013, ss.1-8.

Japon Uluslararası İşbirliği Ajansı (JICA), İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB), 2002. Türkiye Cumhuriyeti "İstanbul İli Sismik Mikro-Bölgeleme Dahil Afet Önleme/Azaltma Temel Plan Çalışması", Son Rapor, Cilt V, Eylül 2002.

Kadioğlu M., Özdamar E., 2008. Afet zararlarının azaltmanın temel ilkeleri, JICA Türkiye Ofisi, Ankara, 353 s.

Kalkan M., 2022. Uşak Kentinde Belirlenen Afet ve Acil Durum Toplanma Alanlarının Yeterliklerinin Değerlendirilmesi. *Resilience*, 269-285.

Kara H., 2007. Türkiye'deki Şehir Yerleşmelerinde Afet Sonrasına Yönelik Afet Merkezleri Planlaması. TMMOB Afet Sempozyumu, 279-288.

Kavanoz S.E., 2020. Kentsel Direnç Kavramını Üzerine. *Kent ve Çevre Araştırmaları Dergisi*, 2(1), 5-24.

Konstantinidou M., Kepaptsoglou K., Karlaftis M., 2014. Transportation network post-disaster planning and management: a review part I: post-disaster transportation network performance. *International Journal of transportation*, 2(3), 1-16.

Liu L., Lin Y., Wang S., 2014. Urban design for post-earthquake reconstruction: A case study of Wenchuan County, China. *Habitat International*, 41, 290-299.

Erişim adresi: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0197397513000957>

Maral H., Akgün Y., Çınar A.K., Karaveli A.S., 2015. İzmir'deki Afet Sonrası Toplanma ve Acil Barınma Alanları Üzerine Bir Değerlendirme. 3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

Mersin O., Şahin N., 2009. 1999'dan günümüze İzmir'de afet yönetimi. İzmir Afet Riskini Azaltma Sempozyumu Bildiriler Kitabı. (Editörler: V. Tecim, Ç. Tarhan, B. Baradan, E. Kavas), ss. 35-49.

Neufert E., 1979. Yapı Tasarımı Temel Bilgiler. Güven Yayıncılık, 474 s.

Özdemir H., 2004. Afetlere Hazırlık Çalışmalarında Geçici İskân Alanlarının Belirlenmesi. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 9:12, 237 – 256.

Öztürk F., Kaya G.K., 2020. Afet Sonrası Toplanma Alanlarının PROMETHEE Metodu ile Değerlendirilmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, Cilt 25, Sayı 3, 1239-1252.

Palazca A., Partigöç N.S., 2018. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) kullanılarak afet sonrası potansiyel toplanma alanlarının yer seçimi: Denizli kenti örneği VII. Uzaktan Algılama-Cbs Sempozyumu (UZAL-CBS 2018), 18-21 Eylül 2018, Eskişehir, Erişim adresi: http://uzalCBS.org/wp-content/uploads/bildiriler/2018/2018_6898.pdf

Saaty T.L., 2008. Relative Measurement and Its Generalization in Decision Making Why Pairwise Comparisons Are Central in Mathematics For The Measurement of Intangible Factors The Analytic Hierarchy/Network Process, *Review Of The Royal Spanish Academy Of Sciences Series A Mathematics*, 102(2): 251-318.

Saygılı H.B., Akpınar A., 2022. Aydın/Efeler Kentsel Yeşil Alanlarının Afet ve Acil Durum Toplanma Alanları Açısından Yeterliliğinin İncelenmesi, *ADÜ Ziraat Dergisi*, 2022;19(2): 305-311.

Sohn J., 2006. Evaluating the significance of highway network links under the flood damage: An accessibility approach. *Transportation research part A: policy and practice*, 40(6), 491-506.

Song X., Zhang Q., Sekimoto Y., Shibasaki R., 2014. Prediction of human emergency behavior and their mobility following large-scale disaster. KDD'14, August 24–27, 2014, New York, NY, USA. Erişim adresi: <http://dx.doi.org/10.1145/2623330.2623628>

Sphere 2018. Sphere Rehberi: İnsani Sözleşme ve İnsani Yardımda Asgari Standartlar, Erişim adresi: <https://spherestandards.org/wp-content/uploads/Sphere-Handbook-2018-Turkish.pdf>

Stain W.E., Mizzi P.J. 2007. "The Harmonic Consistency Index For The Analytic Hierarchy Process", *European Journal of Operational Research*, 177(1): 488-497.

Şekkeli Z., 2020. Afet ve Acil Durum Lojistiği Kapsamında Acil Durum Toplanma Merkezi Seçiminde AHP Yöntemi: Kahramanmaraş On İki Şubat Belediyesinde Bir Uygulama. *İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi*, 9 (2), 903-930.

Xu J., Yin X., Chen D., An J., Nie G., 2016. Multi-criteria location model of earthquake evacuation shelters to aid in urban planning. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 20(2016), 51-62.

Yılmaz E., 2005. Analitik Hiyerarşi Süreci Tekniği ve Orman Kaynakları Planlamasına Uygulanması Örnekleri, Doğu Akdeniz Ormanlık Araştırma Enstitüsü, *DOA Dergisi*, Sayı:11, 1-33.

ARAŞTIRMA VERİSİ (Research Data)

Çalışma kapsamında kullanılan veri türü *bulunmamaktadır*.

ÇIKAR ÇATIŞMASI / İLİŞKİSİ (Conflict of Interest / Relationship)

Araştırma kapsamında herhangi bir kişiyle ve/veya kurumla çıkar çatışması/ilişkisi bulunmamaktadır.

YAZARLARIN KATKI ORANI BEYANI (Author Contributions)

- Çalışmanın tasarlanması (*Designing of the study*): H.E.E., H.Z.Ç., M.B.S., N.S.P.
- Literatür araştırması (*Literature research*): H.E.E., H.Z.Ç., M.B.S., N.S.P.

- Saha alışması, veri temini/derleme (*Fieldwork, collection/compilation of data*): H.E.E., H.Z.., M.B.S., N.S.P.
- Verilerin işlenmesi/analiz edilmesi (*Processing/analysis of data*): H.E.E., H.Z.., M.B.S., N.S.P.
- Şekil/Tablo/Yazılım hazırlanması (*Preparation of figures/tables/software*): H.E.E., H.Z.., M.B.S., N.S.P.
- Bulguların yorumlanması (*Interpretation of findings*): H.E.E., H.Z.., M.B.S., N.S.P.
- Makale yazımı, düzenleme, kontrol (*Writing, editing and checking of manuscript*): H.E.E., H.Z.., M.B.S., N.S.P.



Conformity of Earthquake Magnitudes to Benford's Law: the Case of Kahramanmaraş Earthquakes

Nazif Ayyildiz¹, Erdinc Karadeniz² and Omer Iskenderoglu³

¹ Harran University, Suruc Vocational School, 63300 Suruc-Sanlıurfa, Türkiye

² Mersin University, Faculty of Tourism, Department of Management, 33340 Mersin, Türkiye

³ Omer Halisdemir University, Faculty of Economics and Administrative Sciences, 51240 Nigde, Türkiye
ORCID: 0000-0002-7364-8436, 0000-0003-2658-8490, 0000-0002-3407-1259

Keywords

Benford's Law, Numerical analysis, Earthquake magnitudes, Kahramanmaraş Earthquakes, Seismic clusters

Highlights

- * Natural occurrence of earthquake magnitudes
- * Reliability of earthquake magnitude data
- * Conformity of earthquakes to Benford's Law

Aim

The aim of this study is to determine whether the earthquake magnitude data comply with Benford's Law

Location

This study has implemented in a field area in Türkiye

Methods

Benford's Law

Results

It has been determined that the earthquake magnitude digits conform to Benford's Law and closely follow Benford's Law with very small deviations

Supporting Institutions

The author(s) declared that this study has used no support data from other institutions

Financial Disclosure

The author(s) declared that this study has received no financial support

Peer-review

Externally peer-reviewed

Conflict of Interest

The authors have no conflicts of interest to declare

Manuscript

Research Article

Received: 17.04.2023

Revised: 01.05.2023

Accepted: 09.05.2023

Printed: 30.06.2023

DOI

10.46464/tdad.1284689



Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International Non-Commercial License

Corresponding Author

Nazif Ayyildiz

Email: nazifayyildiz@harran.edu.tr

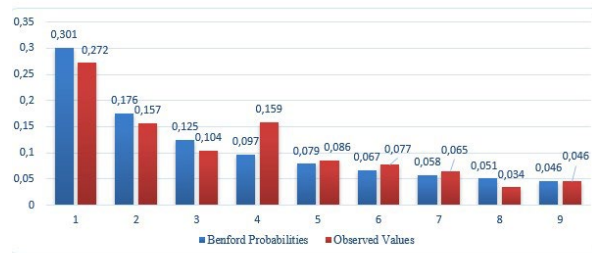


Figure
Observed Values of Earthquake Magnitudes and Benford Probabilities

How to cite:

Ayyildiz N., Karadeniz E., Iskenderoglu O., 2023. Conformity of Earthquake Magnitudes to Benford's Law: the Case of Kahramanmaraş Earthquakes, Turk Deprem Arastirma Dergisi 5(1), 22-32, <https://doi.org/10.46464/tdad.1284689>



Deprem Büyüklüklerinin Benford Yasası'na Uygunluğu: Kahramanmaraş Depremleri Örneği

Nazif Ayyıldız¹, Erdinç Karadeniz² ve Ömer İskenderoğlu³

¹ Harran Üniversitesi, Suruç Meslek Yüksekokulu, 63300 Suruç- Şanlıurfa, Türkiye
² Mersin Üniversitesi, Turizm Fakültesi, Turizm İşletmeciliği Bölümü, 33340 Mersin, Türkiye
³ Ömer Halisdemir Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, 51240 Niğde, Türkiye
ORCID: 0000-0002-7364-8436, 0000-0003-2658-8490, 0000-0002-3407-1259

ÖZET

Bu çalışmada, deprem büyüklüklerinin Benford Yasası'na uygun olup olmadığının tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri incelenmiş ve 01.01.2023–27.02.2023 dönemi boyunca Türkiye'de gerçekleşen 14.565 adet depremin büyüklük verisi Benford Yasası rakamsal dağılımıyla karşılaştırılarak analiz edilmiştir. Analizden elde edilen sonuçlara göre, deprem büyüklüğü rakamlarının Benford Yasası'na uyum sağladığı ve çok küçük sapmalarla birlikte Benford Yasasını yakından takip ettiği belirlenmiştir. Söz konusu küçük sapmaların ise; büyüklük verilerinin tek ondalık basamağa yuvarlanarak açıklanmasından, yerin belirli derinliğinden daha ilerisinde oluşan çok küçük büyüklükteki depremlerin tespit edilememesinden veya mevcut verilerdeki çok küçük ölçüm hatalarından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Dolayısıyla, deprem oluşumlarının doğal süreçler sonucu ortaya çıktığı ve deprem büyüklüklerinin doğru olarak tespit edildiği söylenebilir.

Anahtar kelimeler

Benford Yasası, Rakamsal analiz, Deprem büyüklükleri, Kahramanmaraş Depremleri, Sismik kümeler

Öne Çıkanlar

- * Deprem büyüklüklerinin doğal oluşumu
- * Deprem büyüklük verilerinin güvenilirliği
- * Depremlerin Benford Yasası'na uygunluğu

Makale

Araştırma Makalesi

Geliş: 17.04.2023
Düzeltilme: 01.05.2023
Kabul: 09.05.2023
Basım: 30.06.2023

DOI

10.46464/tdad.1284689

Sorumlu yazar

Nazif Ayyıldız
Eposta:
nazifayyildiz@harran.edu.tr

Conformity of Earthquake Magnitudes to Benford's Law: the Case of Kahramanmaraş Earthquakes

Nazif Ayyıldız¹, Erdinç Karadeniz² and Omer Iskenderoglu³

¹ Harran University, Suruc Vocational School, 63300 Suruc-Sanlıurfa, Türkiye
² Mersin University, Faculty of Tourism, Department of Management, 33340 Mersin, Türkiye
³ Omer Halisdemir University, Faculty of Economics and Administrative Sciences, 51240 Niğde, Türkiye
ORCID: 0000-0002-7364-8436, 0000-0003-2658-8490, 0000-0002-3407-1259

ABSTRACT

The aim of this study is to determine whether the earthquake magnitude data comply with Benford's Law. To this end, magnitude data of 14.565 earthquakes that occurred in Turkey between January 1, 2023, and February 27, 2023, were analyzed by comparing them with the numerical distribution of Benford's Law. According to the results obtained from the analysis, it has been determined that the earthquake magnitude digits conform to Benford's Law and closely follow Benford's Law with very small deviations. These small deviations are thought to arise from the rounding of magnitude data to a single decimal place, the inability to detect very small magnitude earthquakes occurring deeper than a certain depth, or very small measurement errors in the existing data. Therefore, it can be said that earthquake occurrences occur as a result of natural processes and earthquake magnitudes are determined correctly.

Keywords

Benford's Law, Numerical analysis, Earthquake magnitudes, Kahramanmaraş Earthquakes, Seismic clusters

Highlights

- * Natural occurrence of earthquake magnitudes
- * Reliability of earthquake magnitude data
- * Conformity of earthquakes to Benford's Law

Manuscript

Research Article

Received: 17.04.2023
Revised: 01.05.2023
Accepted: 10.05.2023
Printed: 30.06.2023

DOI

10.46464/tdad.1284689

Corresponding Author

Nazif Ayyıldız
Email:
nazifayyildiz@harran.edu.tr

1. GİRİŞ

Depremler, yer kabuğundaki kırılmalar sonucu meydana gelen doğal afetlerdir (Stein ve Wysession 2003). Yer kabuğundaki hareketlilik, dünya genelinde sıklıkla meydana gelmektedir ve özellikle deprem kuşakları boyunca yoğunlaşmaktadır (Kanamori 2005). Depremler, insanların hayatını, malını ve mülkünü etkileyen önemli bir doğal afet olarak karşımıza çıkmaktadır (Kanamori 2009). Bu nedenle, depremlerin nedenleri ve özellikleri üzerine yapılan araştırmalar, doğal afetlerin etkilerinin minimize edilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bilim insanları tarafından uzun yıllardır depremler hakkındaki araştırmalar sürmektedir. Son yıllarda daha çok depremlerin tetikleyicilerine, depremlerin belirli bir bölgede neden daha sık meydana geldiğine ve depremlerin büyüklüklerinin tahmin edilmesini sağlayabilecek yöntemlere odaklanıldığı görülmektedir (National Research Council 2003). Depremlerin nedenleri ve özellikleri hakkındaki araştırmalar, depremlerin tesadüfi olarak meydana gelip gelmediği sorusunu da gündeme getirmiştir. Bu noktada bazı bilim insanları depremlerin tesadüfi olduğunu savunurken diğerleri ise deprem aktivitesinin belirli bir düzen içinde olduğunu savunmaktadır (Scholz 2002). Bu konudaki tartışmalar depremler hakkındaki araştırmaların önemini ve deprem aktivitesi hakkındaki bilgi birikimini artırmıştır (Turcotte ve Schubert 2002).

Depremlerin büyüklüklerine ilişkin doğru ve güvenilir veriler, sismik olayların tahmin edilmesi ve bunlara hazırlanması açısından çok önemlidir. Bununla birlikte deprem büyüklükleri, bir deprem sırasında salınan sismik enerji miktarına bir sayı atayan Richter ölçeği ile ölçülmektedir (Richter 1935). Bir ondalık değere sahip olan bu sayı ondalık basamağa yuvarlanarak ifade edilmektedir. Bu veriler, deprem büyüklüğünün ölçülmesi, deprem sıklığının analiz edilmesi ve depremlerin olası etkilerinin tahmin edilmesi için kullanılmaktadır. Ayrıca, doğru ve güvenilir deprem büyüklüğü verileri, depremlerin etkilerinin saptanması ve depremlere yönelik acil müdahale ekiplerinin harekete geçirilmesi için de büyük önem arz etmektedir. Deprem büyüklüğü verileri, deprem kaynaklarından çıkan enerjinin miktarını ölçer ve depremin ne kadar şiddetli olabileceği hakkında önemli bilgiler sağlar. Kuzeydoğu Japonya'da 2011 Tohoku depremi öncesinde yapılan deprem büyüklüğü ölçümlerinin depremin büyüklüğünün doğru tahmin edilmesi için önemli olduğu belirlenmiştir (Morikawa ve diğ. 2012). Zhou ve Wu (2019) ise deprem büyüklüğü tahminindeki doğruluğun, deprem öncesi hazırlık çalışmalarının başarısı açısından kritik olduğunu belirtmektedirler.

Deprem büyüklükleri gibi birçok doğal olayın ölçümlerinde Benford Yasası'nın uygulanabilirliği incelenebilmektedir. Benford Yasası ilk kez 1881 yılında Amerikalı astronom Simon Newcomb tarafından keşfedilmiştir. Newcomb, bir astronomik tabloyu hazırlarken sayıların ilk rakamlarının dağılımını inceleyerek belirli bir düzenin olduğunu gözlemlemiştir (Newcomb 1881). Daha sonra bu düzen Frank Benford tarafından 1938 yılında tekrar keşfedilerek Benford Yasası geliştirilmiştir. Benford Yasası, bir doğal sayı dizisinde belirli bir sayının ilk rakamlarının olasılık dağılımını tanımlayan bir matematiksel yasadır. Diğer bir ifadeyle doğal olarak oluşan rakamların dağılımını açıklayan Benford Yasası 1 rakamının ilk hane olarak diğer herhangi bir rakamdan daha sık görüldüğü, ardından 2 rakamının geldiği ve bunun böyle devam ettiğini açıklamaktadır (Benford 1938, Karagün ve Taşdemir 2019). Benford Yasası'nın birçok farklı alanda kullanımı bulunmaktadır. Örneğin, finansal verilerde sahtecilik tespiti için kullanılabilir gibi nüfus istatistikleri gibi birçok doğal sayı dizilerinde de uygulanabilir. Bilimsel verilerde ise Benford Yasası özellikle veri doğruluğunu kontrol etmek için kullanılabilir. Bu dağılım modeli kullanılarak, doğal bir süreçle tutarlı olması beklenen deprem büyüklüklerinin yapay olarak manipüle edilip edilmediği veya üretilip üretilmediği de test edilebilmektedir. Eğer deprem büyüklükleri rastgele bir dağılım izliyorsa, her büyüklüğün ilk basamağın dağılımı Benford Yasası'na uyum göstermelidir. Ancak, veriler manipüle edilmiş veya hatalıysa, bu kalıptan sapabilir.

Bu çalışmanın amacı, deprem büyüklüklerinin Benford Yasası'na uygun olup olmadığının tespit edilmesidir. Bu amaç doğrultusunda 6 Şubat 2023 tarihinde, Kahramanmaraş (Türkiye) merkezli ana ve artçı depremlerin büyüklük verilerine ait rakamsal dağılımların Benford Yasası'na uygun olup olmadığı incelenmiştir. Çalışma beş bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde literatürde yer alan benzer çalışmalar özetlenmiştir. Üçüncü bölümde kullanılan veri seti ve yöntem açıklanmıştır. Dördüncü bölümde analizden elde edilen bulgular sunulmuştur. Sonuç bölümünde ise elde edilen bulgular yorumlanarak çeşitli değerlendirmeler yapılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatür incelendiğinde, deprem büyüklüklerinde Benford Yasası'nın uygulanabilirliğinin araştırıldığı gözlemlenmiştir. Aşağıda söz konusu çalışmalar özetlenmiştir.

Sambridge ve diğ. (2010), 1989-2009 döneminde yerel küçük boyuttaki depremlerden ziyade daha büyük boyuttaki deprem verilerinin analize dahil edildiğinde rakamsal frekansların Benford Yasası'nın birinci basamak dağılımına uyumunun arttığını tespit etmişlerdir.

De ve Sen (2011) çalışmasında, kuantum manyetik alanındaki bir sistem üzerinde yapılan deneylerde, Benford Yasası'nın ilk rakam dağılımının sistemin kritik noktasında (faz geçişinde) değiştiği bulunmuştur. Bu bulgu, Benford Yasası'nın kuantum faz geçişleri gibi doğal olayları da tespit edebileceğini göstermektedir. Bu bulgu ayrıca, kuantum faz geçişlerini depremlerle benzer şekilde tespit edebileceğini göstermektedir.

Sottili ve diğ. (2012) çalışmasında, Nisan 2005–Nisan 2011 arasında, İtalya'nın farklı jeolojik bölgelerinde gerçekleşen yaklaşık 17.000 sismik olayın tekrarlanma sürelerinin Benford Yasası'na uygunluğu araştırılmıştır. Etna Dağı volkanik alanı ve 2009 yılındaki 6.3 büyüklüğündeki L'Aquila depremiyle ilişkili sismik seriler araştırmada veri seti olarak kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, ilk basamakların dağılımının Benford Yasası tahmininden %0.02 ile %5.64 arasında sapma olduğu, dolayısıyla ardışık olayların yinelenme zamanlarının Benford Yasasına yakın bir uyum gösterdiği tespit edilmiştir.

Bouzoubaa ve diğ. (2013) tarafından yapılan çalışmada, deprem büyüklüklerinin doğruluğunu kontrol etmek için Benford Yasası'nın nasıl kullanılabileceği incelenmiştir. Bu amaçla, Fas'ta meydana gelen depremlerin büyüklük verileri analiz edilmiştir. Benford Yasası'nın uygulanması sonucunda, bazı deprem büyüklüklerinin yanlış olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlar, Benford Yasası'nın deprem büyüklükleri için uygulanabileceğini göstermiştir.

Deveci ve diğ. (2013), Benford Yasası'nın Türkiye sismik verilerine uygulanmasını araştırmışlardır. Bu amaçla çalışmada Türkiye'nin farklı bölgelerinden sismik veri değerlerinin ilk rakamları incelenmiş ve Benford Yasası'na uygun olup olmadığı analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda sismik veri setlerinin, verilerin bir şekilde manipüle edilebileceğini veya değiştirilebileceğini öne süren Benford Yasası'na tam olarak uymadığı saptanmıştır.

Diaz ve diğ. (2015) çalışmasında sismik verilerin Benford Yasası'na uygunluğu, Merkezi Şili olan 8.2 ve 7.7 büyüklüğündeki deprem kayıtlarını da içeren, 01 Nisan 2014- 04 Nisan 2014 arasındaki üç günlük sismik veri seti kullanılarak araştırılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre, yaklaşık 30 dakikalık zaman penceresi uzunluklarından ziyade 20 saat civarındaki zaman uzunluklarının yerel olayları tanımlamak için daha uygun olduğu, zayıf frekans sinyallerinin lineer bir ilerlemeye sahip olduğundan Benford Yasası'na uymadığı; buna karşın daha zengin sinyallerin geometrik bir ilerleme göstererek Benford Yasası'na uyduğu tespit edilmiştir.

Toledo ve diğ. (2015) çalışmasında, depremlerin ana parametrelerinin Benford Yasası'na uyumu incelenmiştir. 2011 Tohoku depreminin öncesi ve sonrasındaki süreçlerdeki fiziksel parametreler veri seti olarak kullanılmıştır. Söz konusu veriler; fay üzerindeki kayma ve moment dağılımı, jeodezik verilerden ters çevrilmiş yüzey deformasyonu, incelenen tsunami

yükseklikleri ve artçı şok serisinin bırakma ve bekleme sürelerinden oluşmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre, faydaki kosismik atım dağılımları ve iç yer değiştirmeler gibi kaynak parametrelerin birinci basamak anomalisi gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca sismik hareketlerin ve sismik bekleme sürelerinin de bir anormallik gösterdiği tespit edilmiştir.

Nastos ve diğ. (2017), Benford Yasası'nın deprem büyüklüklerinin dağılımına uygulanabilirliği araştırılmışlardır. Araştırmacılar, 1900-2015 yılları arasında dünya genelinde meydana gelen depremlerin büyüklük verilerini toplamış ve Benford Yasası'nın uygulanabilirliğini test etmişlerdir. Çalışmada, deprem büyüklüklerinin birinci basamak rakamlarının Benford Yasası tarafından öngörülen olasılık dağılımına yakın bir şekilde dağıldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, deprem büyüklüklerinin dağılımını tanımlamak için kullanılan farklı dağılım fonksiyonlarının (normal dağılım, Poisson dağılımı) Benford Yasası'na uygun olup olmadığı da incelenmiştir. Sonuçlar, bazı dağılım fonksiyonlarının Benford Yasası'na daha uygun olduğunu göstermiştir. Bu çalışmanın sonuçları, Benford Yasası'nın doğal felaketler gibi farklı alanlarda kullanılabilmesi ve doğal verilerin incelenmesinde faydalı bir araç olabileceğini göstermektedir.

Zeng ve diğ. (2019) yaptıkları çalışmada, Benford Yasası'nın deprem büyüklük verilerinde uygulanabilirliğini incelemişlerdir. Çalışmada, 2008 Wenchuan Depremi'nin deprem büyüklük verileri kullanılarak Benford Yasası'nın geçerliliği test edilmiştir. Bu amaçla, deprem büyüklük verileri farklı istatistiksel testlerle analiz edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda, Benford Yasası'nın deprem büyüklük verilerinde uygulanabilir olduğu ve bu verilerin Benford Yasası'na uyduğu bulunmuştur. Ayrıca Benford Yasası'nın, deprem büyüklük verilerindeki anomali ve hataları tespit etmede etkili bir yöntem olduğu da belirtilmiştir.

Deprem verilerinin rakamsal analizine odaklanan sınırlı sayıda çalışmada büyüklük, derinlik, tekrarlanma süresi, fay üzerindeki kayma, yüzey deformasyonu, tsunami yükseklikleri ve artçı şok serisinin bırakma ve bekleme süreleri ile konunun incelendiği görülmüştür. Doğrudan deprem büyüklüğü verilerinin Benford Yasası'na uygun olup olmadığının araştırıldığı geniş bir literatürün olmadığı, bununla birlikte mevcut çalışmaların çoğunda dünya genelinde yaşanan büyük depremlere odaklanıldığı görülmüştür. Bu çalışmada ise son yüzyılda karada yaşanan en büyük depremlerden 6 Şubat 2023 tarihindeki Kahramanmaraş depremleri incelenmektedir. Çalışmanın bu yönüyle literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

3. VERİ SETİ VE YÖNTEM

Deprem büyüklüklerinin Benford Yasası'na uygun olup olmadığının tespit edilmesi için öncelikle uygun inceleme dönemi belirlenmeye çalışılmıştır. Bu noktada öncelikle incelenen 6 Şubat 2023 döneminin öncesindeki, 1999 yılına kadar olan ve depremin sonrasındaki iki aylık veri analize dahil edilerek farklı dönem aralıkları incelenmiştir. Benzer çalışmalar olan Sambridge ve diğ. (2010) ve Diaz ve diğ.(2015) çalışmalarında da ifade edildiği üzere, küçük magnitudlü depremlerin gerçekleştiği zaman aralıklarında Benford Yasası'na uyumun azaldığı; buna karşın daha büyük magnitudlü depremlerin yaşandığı zaman aralıklarında Benford Yasası'na uyumun arttığı görülmüştür. Bu bağlamda yapılan gözlem ve incelemeler sonucunda 6 Şubat 2023 depremlerinin hemen öncesi ve sonrasını kapsayan 01.01.2023–27.02.2023 dönemi araştırma dönemi olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla 01.01.2023–27.02.2023 dönemine ait deprem büyüklük verileri çalışmanın veri setini oluşturmaktadır. Veriler AFAD (2023) kataloğu kullanılarak elde edilmiştir. Analizde toplam gözlem sayısı 14.565'dir. Ayrıca, Benford Yasası ile karşılaştırma yapılabilmesi için sayıların yeniden üretilmesi gerekmektedir. Benford Yasası'na uyan bir sayı grubunda tüm sayılar sıfırdan farklı sabit bir sayı ile çarpıldığında, ortaya çıkan veri setinin Benford Yasası'nı izlemeye devam edeceği bilinmektedir (Pinkham 1961). Literatürde, deprem büyüklük kataloğundaki ilk hanelerin karesi alınarak genelleştirilme yapılabileceği de ifade edilmektedir (Pietronero 2001). Bu bağlamda, veri setindeki deprem büyüklüklerinin dağılımında 8 ve 9 büyüklüğünde depremler olmadığından deprem büyüklük verilerinin karesi alınarak normalizasyon işlemi yapılmıştır.

Benford Yasası ile ilgili rakamsal analiz konusunun temelini oluşturan öncü çalışmalar Simon Newcomb (1881) ve Frank Benford (1938) tarafından yapılmıştır. Newcomb (1881) çalışmasında, rakamların kullanılma olasılıklarını inceleyerek çeşitli gözlemler yapmış ve elde ettiği sonuçları açıklamıştır. Newcomb, çeşitli hesaplamalarda kullanılan logaritma cetvellerinin son sayfalara göre başlangıç sayfalarının daha çok kirlili ve yıpranmış olduğunu fark etmiştir. Logaritma cetvelinde, "1" ile başlayan sayıların "2" ile başlayan sayılardan, "2" ile başlayan sayıların "3" ile başlayan sayılardan daha fazla kullanıldığını göstermiştir. Benzer şekilde küçük rakamların kendinden büyük rakamlara oranla daha sık kullanıldığını açıklamıştır. Newcomb'un çalışmasının konunun matematiksel olarak alt yapısının oluşturduğu söylenebilir. 1938 yılına gelindiğinde fizikçi Frank Benford da Newcomb'a benzer şekilde diğerlerinden daha fazla yıpranmış logaritma tablolarının yer aldığı sayfaları incelemiştir. Bununla birlikte Benford (1938) çalışmasında, farklı veri tabanlarından seçilen 20.229 örneğin frekans dağılımı incelenerek veri tabanlarının ortalamaları hesaplanmıştır. Rakamların basamaklarda olma ihtimallerinin farklı olduğunu ifade eden teori Benford Yasası olarak literatüre girmiştir. Benford Yasası'nda sayıların ilk basamağında rakamların olabilme olasılıkları (1) no'lu denklem ile hesaplanmaktadır (Benford 1938);

Sayıların ilk rakamı için;

$$\text{Olasılık } (d_1) = \log \left(1 + \frac{1}{d_1} \right); d_1 = (1,2,3 \dots 9) \quad (1)$$

Rakamların sayı basamaklarında olma olasılıklarını gösteren örnekler (2)-(10) no'lu bağıntılarda verilmiştir;

Bir sayının ilk basamağının;

$$1 \text{ olabilme olasılığı için; } \log \left(1 + \frac{1}{1} \right) = 0,30103 \quad (2)$$

$$2 \text{ olabilme olasılığı için; } \log \left(1 + \frac{1}{2} \right) = 0,17609 \quad (3)$$

$$3 \text{ olabilme olasılığı için; } \log \left(1 + \frac{1}{3} \right) = 0,12493 \quad (4)$$

$$4 \text{ olabilme olasılığı için; } \log \left(1 + \frac{1}{4} \right) = 0,09691 \quad (5)$$

$$5 \text{ olabilme olasılığı için; } \log \left(1 + \frac{1}{5} \right) = 0,07989 \quad (6)$$

$$6 \text{ olabilme olasılığı için; } \log \left(1 + \frac{1}{6} \right) = 0,06695 \quad (7)$$

$$7 \text{ olabilme olasılığı için; } \log \left(1 + \frac{1}{7} \right) = 0,05799 \quad (8)$$

$$8 \text{ olabilme olasılığı için; } \log \left(1 + \frac{1}{8} \right) = 0,05115 \quad (9)$$

$$9 \text{ olabilme olasılığı için; } \log \left(1 + \frac{1}{9} \right) = 0,04576 \quad (10)$$

Sayıların ikinci rakamı için denklem (11):

$$\text{Olasılık } (d_2) = \log (1 + (d_1 d_2)) - \log ((d_1 d_2)); d_2 = (1,2,3 \dots 9) \quad (11)$$

Benford Yasası ile yalnız sayıların ilk basamağındaki dağılım olasılıkları değil, sayıda bulunan bütün basamaklar analiz edilebilmektedir. Yasaya göre, sayı basamaklarında soldan sağa doğru ilerledikçe rakamların dağılım olasılıkları birbirine yaklaşmaktadır.

Doğal olarak oluşan deprem büyüklüklerinin, Benford Yasası referans dağılımına uygunluk gösterip göstermediğinin araştırılmasında aşağıdaki hipotezler oluşturulmuştur.

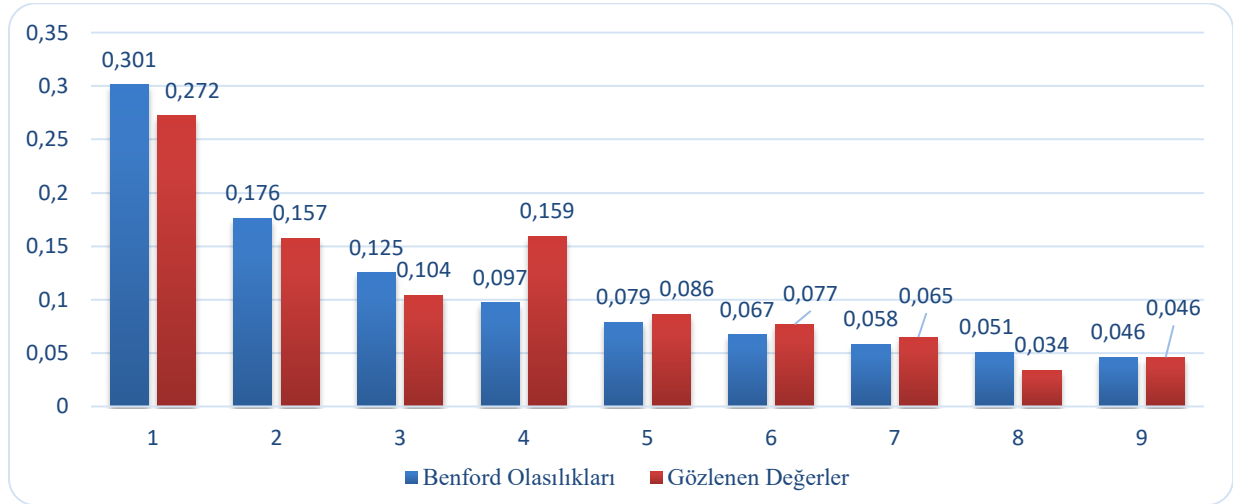
H0: Gözlenen değerler Benford Yasası referans dağılımı ile aynıdır.

H1: Gözlenen değerler Benford Yasası referans dağılımı ile aynı değildir.

H0 hipotezinin kabul edilmesi; deprem oluşumlarında açıklanan verilerin doğal süreçler sonucu ortaya çıktığını ve deprem büyüklüklerinin doğru tespit edildiğini gösterecektir. H1 hipotezinin kabul edilmesi ise, depremlerin tesadüfi olarak ortaya çıkmadığı veya rakamların doğru tespit edilemediği anlamına gelecektir.

4. BULGULAR

Çalışma kapsamında, Türkiye’de 01.01.2023–27.02.2023 tarihleri arasındaki deprem büyüklüklerine ait rakamsal dağılımların Benford Yasası’na uygun olup olmadığı incelenmiştir. Analizde kullanılan deprem büyüklüklerine ait gözlenen verilerin dağılım oranları ile Benford Yasası referans dağılımı arasındaki durum Şekil 1’de gösterilmektedir.



Şekil 1: Deprem Büyüklüklerine ait Gözlenen Değerler ve Benford Olasılıkları
Figure 1: Observed Values of Earthquake Magnitudes and Benford Probabilities

Şekil 1 incelendiğinde, deprem büyüklüklerine ait gözlenen değerlerden 5,6,7 ve 9 rakamlarının Benford Yasası rakamsal olasılıklarına yakından uyum gösterdiği; 1,2,3 ve 8 rakamlarında ise çok yakın bir uyumun olmadığı görülmektedir. Bununla birlikte 9 rakamının olması gereken değeri çok yakından izlediği 1,2,3 ve 8 rakamlarının olması gereken değerlerin biraz altında; 4,5,6 ve 7 rakamlarının ise olması gereken değerlerin biraz üzerinde olduğu görülmektedir. Gözlenen ve beklenen değerlerin uyumunun ölçülmesi amacıyla rakamsal bazda sapmalar hesaplanmıştır. 01.01.2023–27.02.2023 dönemi boyunca deprem büyüklüklerine ait gözlenen verilerin Benford Yasası referans dağılımına uyumunu gösteren test sonuçları Tablo 1’de yer almaktadır.

Tablo 1: Deprem Büyüklüklerinin Benford Yasasına Uyumu
 Table 1: Conformity of Earthquake Magnitudes to Benford's Law

Birinci Basamak	Gözlenen Değerler	Sıklık Oranı	Beklenen Değerler	Benford Olasılıkları	Oransal Fark
1	3962	0.272	4384	0.301	0.029
2	2287	0.157	2563	0.176	0.019
3	1510	0.104	1821	0.125	0.021
4	2322	0.159	1413	0.097	0.062
5	1247	0.086	1151	0.079	0.007
6	1119	0.077	976	0.067	0.010
7	947	0.065	845	0.058	0.007
8	494	0.034	743	0.051	0.017
9	677	0.046	670	0.046	0.000
Toplam	14565	1	14565	1	0.173

Tablo 1 incelendiğinde, Benford Yasası frekans dağılımına en yakın uyumu gösteren rakamın 9 olduğu, söz konusu rakamda sapmanın yok denecek kadar az olduğu görülmektedir. Bununla birlikte 5 ve 7 rakamlarında %0.7 gibi çok düşük bir sapma ile Benford Yasası'na yakın bir uyumun olduğu görülmektedir. En uzak uyumun sağlandığı 4 rakamında ise beklenenden %6.2 bir sapma olduğu görülmektedir. Ayrıca, analizden elde edilen bulgular doğrultusunda, gözlemlenen verilerle yasanın oransal mutlak farkı 0.173'tür. Genel toplamı oluşturan bu farkın ortalamasını bulmak için söz konusu değeri 9 olan rakam sayısına bölmek gerekmektedir. Buna göre, gözlemlenen oran Benford oranından ($0.173/9=0.019$) yüzde 1.9 oranında sapma göstermektedir. Ancak 14565 veriden oluşan veri tabanındaki yaklaşık olarak yüzde iki oranındaki sapmanın düşük bir oran olduğu düşünülmektedir. Söz konusu 9 rakamdaki sapma ortalamasının düşük olması verilerin küçük sapmalarla birlikte Benford Yasası'nı takip ettiğini göstermektedir. Dolayısıyla, gerçekleştirilen analiz sonucunda, H0 hipotezi kabul edilmiştir. Bu bağlamda, deprem büyüklükleri frekansları ile Benford Yasası kuramsal olasılıkları arasındaki farkın rassal ve kabul edilebilir seviyede olduğu düşünülmektedir.

5. SONUÇLAR

Depremler, tektonik plakaların hareketinden veya volkanik aktivitelerden kaynaklanabilecek doğal olarak meydana gelen jeolojik olaylardır. Yeraltı nükleer testi veya hidrolik kırılma gibi faaliyetlerle yapay olarak bir deprem başlatmak teorik olarak mümkün olsa da bu tür olaylar yine de doğal afet olarak kabul edilmektedir. Depremlerin büyük çoğunluğu, mükemmel bir doğrulukla tahmin edilemeyen doğal olaylardır. Bununla birlikte, deprem anında hesaplanan deprem büyüklük verileri, ondalık basamağa yuvarlanan ondalık bir sayı olarak ifade edilmektedir. Bu veriler, deprem büyüklüğünün ölçülmesi, deprem sıklığının analiz edilmesi ve depremlerin olası etkilerinin tahmin edilmesinde kullanılmaktadır. Ayrıca, doğru ve güvenilir deprem büyüklüğü verileri, depremlerin etkilerinin saptanması ve depremlere yönelik acil müdahale ekiplerinin harekete geçirilmesi için de hayati önem taşımaktadır. Bu bağlamda deprem büyüklüğü tahminindeki doğruluğun farklı yöntem ve tekniklerle incelenmesinin önemli bir konu olduğu düşünülmektedir.

Çalışma kapsamında, deprem büyüklüklerinin Benford Yasası'na uygun olup olmadığının tespit edilmesi amacıyla, Türkiye'de 01.01.2023 – 27.02.2023 dönemi boyunca gerçekleşen 14.565 adet depreme ait büyüklük verisi Benford Yasası rakamsal dağılımıyla karşılaştırılarak analiz edilmiştir. Analizden elde edilen sonuçlara göre, deprem büyüklük rakamlarının Benford Yasası'na uyum sağladığı ve çok küçük sapmalarla birlikte Benford Yasası'nı yakından takip ettiği belirlenmiştir. Söz konusu küçük sapmaların ise; büyüklük verilerinin tek ondalık basamağa yuvarlanarak açıklanmasından, yerin belirli derinliğinden daha ilerisinde oluşan çok küçük büyüklükteki depremlerin tespit edilememesinden veya mevcut verilerdeki çok küçük ölçüm hatalarından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Dolayısıyla, deprem oluşumlarının

doğal süreçler sonucu ortaya çıktığı ve deprem büyüklüklerinin doğru olarak tespit edildiği söylenebilir. Elde edilen bu sonuç, deprem büyüklük verilerinin Benford Yasası'na uyumunun araştırıldığı Nastos ve diğ. (2017) ve Zeng ve diğ. (2019) çalışmalarıyla paralellik gösterirken; Bouzoubaa ve diğ. (2013) çalışmasıyla ters düşmektedir. Benzer sonuca ulaşan Nastos ve diğ. (2017) çalışmasında, 1900-2015 yılları arasında dünya genelinde meydana gelen depremlerin; Zeng ve diğ. (2019) çalışmasında ise 2008 Wenchuan Depremi'nin deprem büyüklük verilerinin Benford Yasası'na uyduğu tespit edilmiştir. Farklı sonuca ulaşan Bouzoubaa ve diğ. (2013) çalışmasında ise, Fas'ta meydana gelen depremlerin büyüklük verilerinin Benford Yasası'na uymadığı, bununla birlikte bazı büyüklük verilerinin ise yanlış olduğu tespit edilmiştir.

Çalışmanın kısıtları olarak; belirli bir bölgede meydana gelen depremlerin ele alınması, depremle ilgili verilerden sadece büyüklük verisinin kullanılması ve yalnızca bir yöntem ile incelemenin yapılmış olması sayılabilir. Gelecekte yapılacak çalışmalar için ise, büyüklük dışında derinlik, şiddet gibi farklı deprem verilerinin araştırmalarda kullanılması, farklı bölgelerde oluşan büyük depremlerin veya deprem dışındaki doğal afet verilerinin Benford Yasası'na uygunluğunun incelenmesi önerilmektedir. Son olarak, deprem kuşağında yer alan ülkemiz için, deprem büyüklük verilerindeki yuvarlama hatalarını minimize edebilecek teknoloji ve hesaplamaların geliştirilmesi ve yıkıcı depremler öncesindeki depremlere ait büyüklük frekans dağılımlarındaki değişimler izlenerek deprem erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

AFAD, 2023. Deprem Kataloğu, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Türkiye Cumhuriyeti İçişleri Bakanlığı, Erişim adresi: <https://deprem.afad.gov.tr/event-catalog>

Benford F., 1938. The law of anomalous numbers, American Philosophical Society, 78/4, 551-572.

Bouzoubaa M., El Qadi A., Razzouk A., 2013. Benford's law and its application to the detection of earthquake magnitude falsification, *Journal of Seismology*, 17(2), 367-378.

De A.S., Sen U., 2011. Benford's law detects quantum phase transitions similarly as earthquakes, *Europhysics Letters*, 95(5), 5008.

Deveci A., Kilicarslan Z., Ates A., 2013. Benford's law and its application on Turkish seismic data, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 28(2), 371-378.

Diaz J., Gallart J., Ruiz M., 2015. On the ability of the Benford's law to detect earthquakes and discriminate seismic signals, *Seismological Research Letters*, 86(1), 192-201, doi: 10.1785/0220140131.

Kanamori H., 2005. The nature of seismicity patterns before large earthquakes. *Proceedings of the Japan Academy, Series B*, 81(9), 271-283.

Kanamori H., 2009. Historical perspective on the 1960 Chilean earthquake. *Earthquake Spectra*, 25(1), 1-13.

Karagün V., Taşdemir E., 2019. Benford Yasası'nın Denetimde Kullanımı ve Bir Uygulama. *Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi*, 8(2), 120-137.

Morikawa N., Fujimoto M., Koketsu K., Abe K., 2012. Importance of accurate and rapid determination of earthquake magnitude for prompt tsunami warning: the 2011 Tohoku earthquake case, *Earthquake Spectra*, 28(S1), S369-S383.

Nastos P.T., Kazantzidou-Firtinidou D., Kassaras I.A., 2017. Benford's law and distribution functions of earthquake magnitude, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 465, 263-270.

National Research Council, 2003. Living on an active earth: Perspectives on earthquake science, National Academies Press.

Newcomb S., 1881. Note on the frequency of the use of digits in natural numbers, *American Journal of Mathematics*, 4, 39-40.

Pietronero L., Tosatti E., Tosatti V., Vespignani A., 2001. Explaining the uneven distribution of numbers in nature: the laws of Benford and Zipf, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 293, 297-304, Erişim adresi: [https://doi.org/10.1016/S0378-4371\(00\)00633-6](https://doi.org/10.1016/S0378-4371(00)00633-6).

Pinkham R.S., 1961. On the distribution of first significant digits. *Ann Math Stat*, 32(4):1223–1230.

Richter C.F., 1935. An instrumental earthquake magnitude scale. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 25: 1-32.

Sambridge M., Tkalčić H., Jackson A., 2010. Benford's law in natural sciences, *Geophys. Res. Lettonya*, 37, DOI: 10.1029/2010GL044830.

Scholz C.H., 2002. The mechanics of earthquakes and faulting, Cambridge University Press.

Sottili G., Palladino D.M., Giaccio B., 2012. Benford's law in time series analysis of seismic clusters, *Math Geosci* 44, 619–634. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1007/s11004-012-9398-1>

Stein S., Wysession M., 2003. An introduction to seismology, earthquakes, and earth structure. Blackwell Publishing.

Toledo P., Riquelme S., Campos J., 2015. Earthquake source parameters which display first digit phenomenon, *Nonlinear Processes in Geophysics Discussions*, 2. 811-832. DOI: 10.5194/npgd-2-811-2015.

Turcotte D.L., Schubert G., 2002. Geodynamics, Cambridge University Press, 2.

Zeng Z., Yang C., Zhou Z., Chen W., 2019. The Application of Benford's law in earthquake magnitude data: A Comparative Study on the 2008 Wenchuan Earthquake in China, *Mathematical Geosciences*, 51(1), 119-134.

Zhou Y., Wu Y., 2019. Seismic magnitude estimation with convolutional neural network, *Geophysical Research Letters*, 46(2), 798-807.

ARAŞTIRMA VERİSİ (Research Data)

Çalışma kapsamında 14565 *afet (deprem) verisi kullanılmıştır*. Söz konusu veri seti 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinin hemen öncesi ve sonrasını kapsayan 01.01.2023–27.02.2023 dönemine ait deprem büyüklük verilerinden oluşmaktadır. Veriler Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı'nın <https://deprem.afad.gov.tr> uzantılı internet sitesinde yer alan deprem kataloğu kullanılarak elde edilmiştir.

YAZARLARIN KATKI ORANI BEYANI (*Author Contributions*)

- Çalışmanın tasarlanması (*Designing of the study*): N.A., Ö.İ.
- Literatür araştırması (*Literature research*): N.A., E.K.
- Saha çalışması, veri temini/derleme (*Fieldwork, collection/compilation of data*): N.A.
- Verilerin işlenmesi/analiz edilmesi (*Processing/analysis of data*): N.A.
- Şekil/Tablo/Yazılım hazırlanması (*Preparation of figures/tables/software*): N.A., E.K., Ö.İ.
- Bulguların yorumlanması (*Interpretation of findings*): N.A., E.K., Ö.İ.
- Makale yazımı, düzenleme, kontrol (*Writing, editing and checking of manuscript*): N.A., E.K., Ö.İ.



The Effect of Reinforcement on Seismic Velocities in Low Strength Reinforced Concrete

Nevbahar Ekin¹, Nurten Ayten Uyanik² and Osman Uyanik¹

¹ Suleyman Demirel University, Faculty of Engineering West Campus, 32260 Cunur-Isparta, Türkiye
² Isparta University of Applied Sciences Vocational School of Technical Sciences Department of Occupational Health and Safety 32260 Cunur, Isparta, Türkiye
ORCID: 0000-0003-4959-8077, 0000-0002-8912-0361, 0000-0002-7089-4340

Keywords

Concrete, Reinforcement, Strength, Seismic velocities, Statistical relationships

Highlights

- * Effect of reinforcement diameter on seismic velocity
- * Effect of reinforcement diameter on concrete strength
- * Comparisons of reinforced and unreinforced concrete

Aim

It is aimed to reveal the effects of reinforcement diameter on seismic P and S wave velocities and concrete strength

Location

This study was applied on reinforced concrete produced in the laboratory in Türkiye.

Methods

Ultrasonic method
Uniaxial compressive strength test

Results

In low-strength concretes, as the reinforcement diameter increases, seismic P and S wave velocities decrease while concrete strength values increase

Supporting Institutions

The author(s) declared that this study has used no support data from other institutions

Financial Disclosure

The author(s) declared that this study has received no financial support

Peer-review

Externally peer-reviewed

Conflict of Interest

The authors have no conflicts of interest to declare

Manuscript

Research Article

Received: 23.03.2023

Revised: 02.05.2023

Accepted: 17.05.2023

Printed: 30.06.2023

DOI

10.46464/tdad.1269738

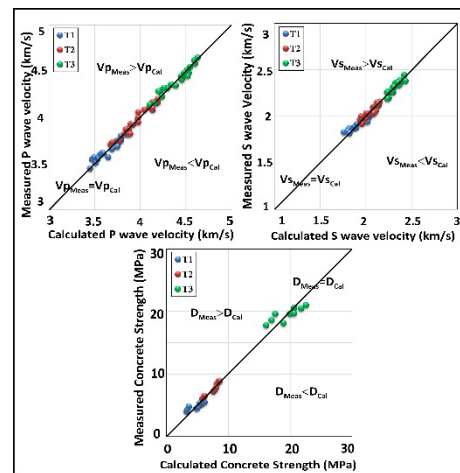


Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International Non-Commercial License

Corresponding Author

Nevbahar Ekin

Email: nevbaharsabbag@sdu.edu.tr



Figure

Comparison of measured and calculated P and S wave velocities and compressive strengths of low strength concretes (Design 1:T1, Design 2:T2; and Design 3:T3)

How to cite:

Ekin N., Uyanik N.A., Uyanik O., 2023. The Effect of Reinforcement on Seismic Velocities in Low Strength Reinforced Concrete, Turk Deprem Arastirma Dergisi 5(1), 33-47, <https://doi.org/10.46464/tdad.1269738>



Düşük Dayanımlı Donatılı Betonlarda Donatının Sismik Hızlara Etkisi

Nevbahar Ekin¹, Nurten Ayten Uyanık² ve Osman Uyanık¹

¹ Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Batı Yerleşkesi, 32260 Çünür- Isparta, Türkiye

² Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Turizm Fakültesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü, 32260 Çünür-Isparta, Türkiye

ORCID: 0000-0003-4959-8077, 0000-0002-8912-0361, 0000-0002-7089-4340

ÖZET

Depremlerden sonra meydana gelen yıkım ve ileri derece hasarların nedenlerini incelemek için yapılan saha çalışmalarında, binalardaki yıkımın asıl kaynaklarından birinin betonarme elemanlara yanlış çap ve sayıda yerleştirilen düz (nervüzsüz) donatılar olduğu ortaya çıkmıştır. Donatılardaki bu durum beton dayanımını olumsuz yönde etkileyerek çok sayıda yapının yıkılmasına veya ağır hasar almasına sebep olmuştur. Bu amaçla farklı mukavemet özellikleri gösteren düşük dayanımlı donatılı ve donatısız numunelerde, donatının sismik ultrasonik hızlarda neden olduğu değişim irdelenmiştir. Bu kapsamda, sismik ultrasonik boyuna-P ve enine-S dalga ölçüleri alınarak sonuçlar birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Daha sonra tek eksenli basınç deneyinin uygulanmasıyla dayanım değerleri belirlenerek sismik ultrasonik hızlardan elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Buna göre, düşük dayanımlı betonlarda donatı çapı arttıkça beton dayanımında artış, ancak beton ile donatı arasındaki temas yüzeyinin azalmasına bağlı olarak sismik ultrasonik P ve S dalga hızlarında azalma gözlenmiştir.

Anahtar kelimeler

Beton, Donatı çapı, Dayanım, Sismik hızlar, İstatistiksel ilişkiler

Öne Çıkanlar

- * Donatı çapının sismik hız etkisi
- * Donatı çapının beton dayanımına etkisi
- * Donatılı ve donatısız beton karşılaştırmaları

Makale

Araştırma Makalesi

Geliş: 23.03.2023

Düzeltilme: 02.05.2023

Kabul: 17.05.2023

Basım: 30.06.2023

DOI

10.46464/tdad.1269738

Sorumlu yazar

Nevbahar Ekin

Eposta:

nevbaharsabbag@sdu.edu.tr

The Effect of Reinforcement on Seismic Velocities in Low Strength Reinforced Concrete

Nevbahar Ekin¹, Nurten Ayten Uyanık² and Osman Uyanık¹

¹ Suleyman Demirel University, Faculty of Engineering West Campus, 32260 Cunur-Isparta, Türkiye

² Isparta University of Applied Sciences Vocational School of Technical Sciences Department of Occupational Health and Safety 32260 Cunur, Isparta, Türkiye

ORCID: 0000-0003-4959-8077, 0000-0002-8912-0361, 0000-0002-7089-4340

ABSTRACT

In field studies conducted to examine the causes of destruction and advanced damage after earthquakes, it has been revealed that one of the main sources of destruction in buildings in all other major earthquakes is the plain (unribbed) reinforcements placed in the reinforced concrete elements in the wrong diameter and number. This situation in the reinforcements affected the concrete strength negatively and caused many structures to collapse or to receive heavy damage. For this purpose, the change caused by the reinforcement in the seismic ultrasonic velocities of the low strength reinforced and unreinforced specimens with different strength properties was examined. In this context, seismic ultrasonic longitudinal-P and transverse-S wave measurements were taken and the results were compared with each other. Then, strength values were determined by applying uniaxial compression test and compared with the results obtained from the seismic ultrasonic velocities. Accordingly, in low-strength concretes, as the reinforcement diameter increases, the concrete strength increases, but the seismic ultrasonic P and S wave velocities decrease due to the decrease in the contact surface between the concrete and the reinforcement.

Keywords

Concrete, Reinforcement, Strength, Seismic velocities, Statistical relationships

Highlights

- * Effect of reinforcement diameter on seismic velocity
- * Effect of reinforcement diameter on concrete strength
- * Comparisons of reinforced and unreinforced concrete

Manuscript

Research Article

Received: 23.03.2023

Revised: 02.05.2023

Accepted: 17.05.2023

Printed: 30.06.2023

DOI

10.46464/tdad.1269738

Corresponding Author

Nevbahar Ekin

Email:

nevbaharsabbag@sdu.edu.tr

1. GİRİŞ

Mühendislik yapılarının birçoğu betonarme yapılar şeklinde inşa edilmektedir. Bu yapıların kalite kontrolünün denetlenmesi, yapının uzun ömürlü olması açısından oldukça önem arz etmektedir. Tarihi eser niteliğindeki yapılar ve mevcut yapıların ayakta kalması bu denetimler yoluyla uzun süreli olmaktadır. Mevcut yapılarda, görsel inceleme ile tespit edilemeyen ciddi iç bozulmalar yaşanmakta, bu da yapıların hasar görmesine ve insan yaşamının kaybına neden olmaktadır. Bu nedenle, mevcut ve yeni betonarme yapılardaki iç hasar veya herhangi bir kusurun değerlendirilmesi gerekmektedir. Böylece, kusurlar belirlenmeli ve bakım veya güçlendirme çalışmaları gibi ön etki azaltma önlemleri alınmalıdır (Parihar ve diğ. 2022). Bu anlamda betonun basınç dayanımının belirlenmesi başta gelen kriterler arasında yer almaktadır. Hâlihazırda uygulama esnasında yapılardan belirli sayıda karot numunesi alınmakta ve bunlar tek eksenli basınç dayanımı testi ile kırılarak betonun basınç dayanımı belirlenmektedir. Bu test yapılırken karot içerisinde donatı olmamasına dikkat edilmelidir. Bu durum uygulamada alınan karotlar nedeniyle yapının zarar görmesi, dayanımının zayıflaması, her zaman donatısız karot elde etmenin zor olması gibi bazı sıkıntıları da beraberinde getirmektedir. Buna karşın tahribatsız test teknikleri beton kalitesi, bütünlüğü ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi açısından yapıya herhangi bir zarar vermemesi nedeniyle tercih edilmektedir (Reufi ve diğ. 2016). Günümüz teknolojisi ile zemin üzerinde ölçü alınmasını sağlayan jeofizik yöntem cihazlarının portatif versiyonları beton üzerinde ölçü alınmasına olanak sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Bunlardan betonun mekanik özelliklerini belirlemek için en çok tercih edilen Sismik Ultrasonik cihaz ile ölçü alınmıştır (Uyanık 1991, Sabbağ 2016, Sabbağ ve Uyanık 2016; 2017; 2018, Kencanawati ve diğ. 2018, Parihar ve diğ. 2022). Bu cihaz ile P ve S dalgaları kullanılarak elde edilen sismik hızlar yardımıyla laboratuvarında numune üzerinde ya da yerinde ölçümlerle mevcut yapı üzerinde alınan ölçümler vasıtasıyla beton basınç dayanımları tahmin edilebilmektedir (Malhotra ve Carino 2004, Shah ve Ribakov 2011, Öziçer ve Uyanık 2017, Sabbağ ve Uyanık 2017). Bu yöntem, uygulanmasının kolay olması, ekonomik ve hızlı olmasının yanı sıra yapıya herhangi bir zarar vermeden donatılı beton üzerinde tekrarlı ölçümler alınmasına olanak sağlaması açısından da çok fazla tercih edilmektedir (Lencis ve diğ. 2011, Lotfi ve diğ. 2013, Benaicha ve diğ. 2015, Sabbağ ve Uyanık 2017, Karabulut 2019, Xu ve Wei 2019, Ekin 2021a; 2021b, Ekin ve Uyanık 2021a; 2021b, Parihar ve diğ. 2022). Dolayısıyla donatı demirinin beton dayanımını artırma veya azaltma gibi etkileri de sismik ultrasonik hızlar yardımı ile ortaya konulabilmektedir.

Bu çalışmada, düşük dayanımlı olarak tasarlanan betonlar üzerinde alınan sismik hızların donatı çapına bağlı değişimini ortaya koymak amacıyla donatılı ve donatısız küp numuneler hazırlanmıştır. Numuneler üzerinde sismik ultrasonik hız ölçümleri yapıldıktan sonra tek eksenli basınç testi ile dayanımları belirlenmiştir. Böylece betonda donatı varlığı ve donatı olması durumunda (betonarme) donatı çapındaki farklılığın sismik hızlara ve basınç dayanımına etkileri ortaya konulmaya çalışılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1) Hazırlanan Beton Tasarımlar

Çalışma kapsamında düşük dayanımlı (20 MPa'dan düşük) olarak tasarlanan 3 beton tasarımına ait 15x15x15 cm boyutunda donatılı ve donatısız küp numuneler hazırlanmıştır. Agregası olarak kristalize kireçtaşı kullanılarak hazırlanan numuneler %25 iri çakıl, %23 orta çakıl, %52 kum olacak şekilde hazırlanmıştır. Çimento olarak CEM II/B-LL Portland kompozite çimento kullanılan çalışmada kimyasal katkı maddeleri olarak hava sürükleyici beton katkısı aermix ve süper akışkanlaştırıcı beton katkısı fluicon kullanılmıştır. İçilebilir nitelikteki şebeke suyu kullanılarak hazırlanan betonlarda Slump (çökme) deneyi değeri 12 cm olarak belirlenmiştir. Betonarme elemanlarda genel itibarıyla TS 708 (2010) standartlarına göre 6-32 mm çap aralığındaki donatı demirleri kullanılarak yapının iskeleti oluşturulmaktadır. Yapılarda yaygın olarak nervürlü donatılar kullanılmaktadır. Bu kapsamda yapılan çalışmada, donatılı

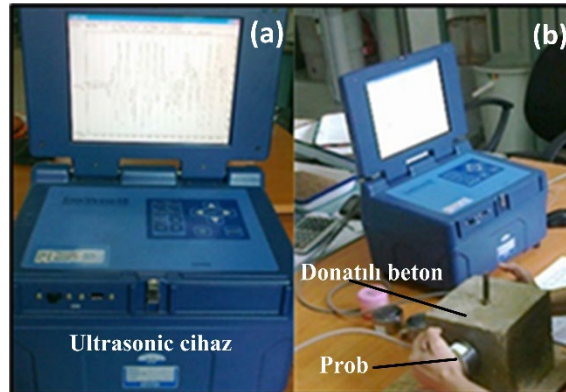
numuneler TS 708 (2010) standardına uygun olarak 10, 14 ve 20 mm çaplarındaki S420 nervürlü inşaat çeliği kullanılarak hazırlanmıştır. Bu numuneler $20\pm 2^\circ\text{C}$ bir ortamda su kürüne maruz bırakılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1: Farklı donatı çaplı su kürüne maruz bırakılmış betonlar
Figure 1: Concretes exposed to water cure with different reinforcement diameters

2.2) Sismik Ultrasonik Yöntem

Elastik dalga yayılım teorisine dayanan ultrasonik yöntemde sismik P (boyuna, basınç) ve S (enine, makaslama) dalgaları yayıldıkları ortamın elastik özelliklerine göre değişebilmektedir (Uyanık 1991, Bungey ve diğ. 2006, Benaicha ve diğ. 2015, Sabbağ 2016). Ultrasonik cihaz (Şekil 2a) ile P ve S dalga ölçümleri hem numune üzerinde hem de yerinde yapılabilmektedir. Şekil 2b'den de görüleceği üzere numunenin bir tarafından gönderilen dalganın diğer tarafa ulaşmaya kadarki geçen süre (T) kaydedilmektedir (Uyanık 1991, Sabbağ ve Uyanık 2017; 2018, Kencanawati ve diğ. 2018, Xu ve Jin 2018, Karabulut 2019, Uyanık ve diğ. 2019, Ekin ve Uyanık 2021a, Sagar ve Dutta 2021, Parihar ve diğ. 2022). Daha sonra alıcı ve verici problar arasındaki uzaklığın (X) zamana oranından ($V=X/T$) P ve S dalga hızları hesaplanabilmektedir. Tahribatsız bir yöntem olan sismik ultrasonik ölçümler yardımıyla basit ve hızlı bir şekilde betonların dayanım ve elastik özelliklerinin yanı sıra beton içerisindeki kırık, çatlak, boşluk, bozuşma ve bunun gibi durumlar belirlenebilmektedir (Uyanık 1991; 1999; 2012, Uyanık ve diğ. 2012a; 2012b; 2012c, Uyanık ve Tezcan 2012, Sabbağ ve Uyanık 2017; 2018, Ekin ve Uyanık 2021a, Parihar ve diğ. 2022).



Şekil 2: a) Ultrasonik cihaz, b) Ultrasonik cihaz ile donatılı beton üzerinde ölçü alımı (Sabbağ 2016)
Figure 2: a) Ultrasonic device, b) Taking measurements on concrete reinforced with an ultrasonic device (Sabbağ 2016)

İçerisinde boşluk bulunan betonda sismik dalgaların beton içinden geçişi yavaş olurken, boşluksuz olması durumunda geçiş daha hızlı olmaktadır. Bu nedenle de, sismik hızların yüksek olması beton kalitesinin yüksek, düşük olması ise kalitenin düşük olduğunu göstermektedir (Uyanık 2012). Beton numune üzerindeki ölçümlerde ultrasonik enerjinin hava boşluğu tarafından gecikmeye uğramaması için numune ile problar arasında çok iyi bir iletimin sağlanması gerekmektedir. Bu nedenle katı, sıvı ve gaz ortamlarda yayılabilen P dalgası ölçümlerinde iletimin tam olarak sağlanabilmesi için gres yağı vb. iletimi artırıcı maddeler kullanılırken, sadece katılarda yayılabilen S dalgası ölçümlerinde bu gibi maddeler kullanılmamalıdır (Uyanık 1991, Sabbağ 2016).

2.3) Tek Eksenli Beton Dayanım Testi

Tek eksenli basınç direnci beton numunelerinin kırılmaya karşı gösterdikleri direnç olarak tanımlanmaktadır. Hazırlanmış olan bu numuneler hidrolik baskı çelik plakaları arasına yerleştirilir (Şekil 3). Basınca maruz bırakılan numunenin kırıldığı andaki tatbik edilen yük (P), numunenin yüzey alanı (A) ise, tek eksenli basınç dayanımı (σ) Eşitlik 1 kullanılarak hesaplanmaktadır (Uyanık 1991, Uyanık ve diğ. 2013, Sabbağ 2016, Sabbağ ve Uyanık 2017).

$$\sigma = P/A \quad (1)$$



Şekil 3: Tek eksenli basınç dayanımı test cihazı ile beton dayanımının belirlenmesi
Figure 3: Determination of concrete strength with a uniaxial compressive strength test device

Yapılan çalışmada donatılı betonların dayanımı belirlenirken donatı yan yüzeye gelecek şekilde kırma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Buna göre yapılan çalışmada, düşük dayanımlı olarak tasarlanan birinci beton tasarımında beton dayanımı 4.5 MPa, ikinci beton tasarımı ortalama 7 MPa ve üçüncü beton tasarımı ise 19 MPa civarında elde edilmiştir.

2.4) Depremler Sonrası Oluşan Yıkımda Donatıların Etkisi

Depremlerin sık yaşandığı ülkemizde yönetmeliklere uygun şekilde ve sayıda donatı ve etriye kullanımına özen gösterilmemesi betonarme yapılarda yıkıcı etkilere yol açabilmektedir. Bunu bazı örneklerini yakın zamanda gerçekleşen depremlerde de görmek mümkündür. 24 Ocak 2020 tarihinde Elâzığ Sivrice de meydana gelen $M_w = 6.8$ büyüklüğündeki depremin ardından yapılan hasar tespit çalışmalarında 8.396 bina ağır hasarlı, 1.492 bina orta hasarlı ve 17.021 bina az hasarlı olarak tespit edilmiştir. Binalardaki beton sınıflarının C6-C12 arasında değişmekte olduğunu, hasar gören binaların neredeyse tamamında donatıların nervüzsüz düz çelik olduğu, çaplarının ve miktarlarının yetersiz olduğu görülmüştür (THBB 2020). Ayrıca, boyuna donatıları saran etriyelerin miktarının ve aralıklarının yetersiz olduğu, etriye sıklaştırmalarının yapılmadığı, uçlarının doğru kıvrılmadığı görülmüştür. Yine 30 Ekim 2020 de Sisam adasında meydana gelen, AFAD verilerine göre $M_w = 6.6$ ve Kandilli verilerine göre

$M_w=6.9$ büyüklüğündeki depremde dışmerkeze 75 km uzaklıktaki İzmir-Bayraklı ilçesinde toptan göçen binalarda düşük kaliteli beton kullanıldığı anlaşılmıştır (İMO 2020). Bunun yanı sıra betonarme elemanlarda çoğunlukla düz yüzeyle donatı kullanımı, donatı çaplarının ve donatı sayılarının yetersiz oluşu, sargılama donatısının (etriyelerin) uygun şekilde kullanılmamış olduğu ilk göze çarpan unsurlar olmuştur. Yine bazı yapılarda kolon-kiriş birleşimlerinde enine donatıların bulunmamasına bağlı olarak gelişen hasarlar belirlenmiştir. Ayrıca, ağır hasar alan ve donatısı açığa çıkan kolon ve perdelerde sargılamanın etkinliğinin artırılması amacıyla kullanılması gereken çirozların bu yapılarda kullanılmadığı görülmüştür (Şekil 4).



Şekil 4: Deprem sonrası yıkılan binalardaki donatıların durumu
Figure 4: Condition of reinforcements in buildings destroyed after the earthquake

6 Şubat 2023 Pazartesi günü, saat 04.17'de, Kahramanmaraş-Pazarcık merkezli $M_w=7.7$ büyüklüğünde ve ardından saat 13.24'te Kahramanmaraş'ın Ekinözü ilçesi merkezli $M_w=7.6$ büyüklüğünde meydana gelen iki deprem yaygın bina göçmelerine ve ağır bina hasarlarına yol açmıştır. Göçen binaların enkazlarından kolon kiriş birleşimlerinde gerekli donatı detaylarının uygulanmadığı, etriye aralıklarının seyrek ve etriye kancalarının doksan derece olduğu, ayrıca kolon demirlerinin üst kat filizlerini oluşturan boylarının gerektiğinden daha kısa olduğu belirlenmiştir. Hatalı malzeme seçimi, hatalı işçilik ve uygulamalarının yanı sıra yetersiz sayıda düz donatı kullanımı can ve mal kaybını arttırmıştır (İMO 2023). Yukarıda bahsedilen deprem sonrası hasar tespit çalışmalarından da görüldüğü üzere donatı varlığı, miktarı, çeşidi ve çapı gibi unsurlar binaların iskeletinin dayanıksız yapılmasına yol açarak ağır hasarlar ve yıkımlar oluşmasına sebep olmuştur.

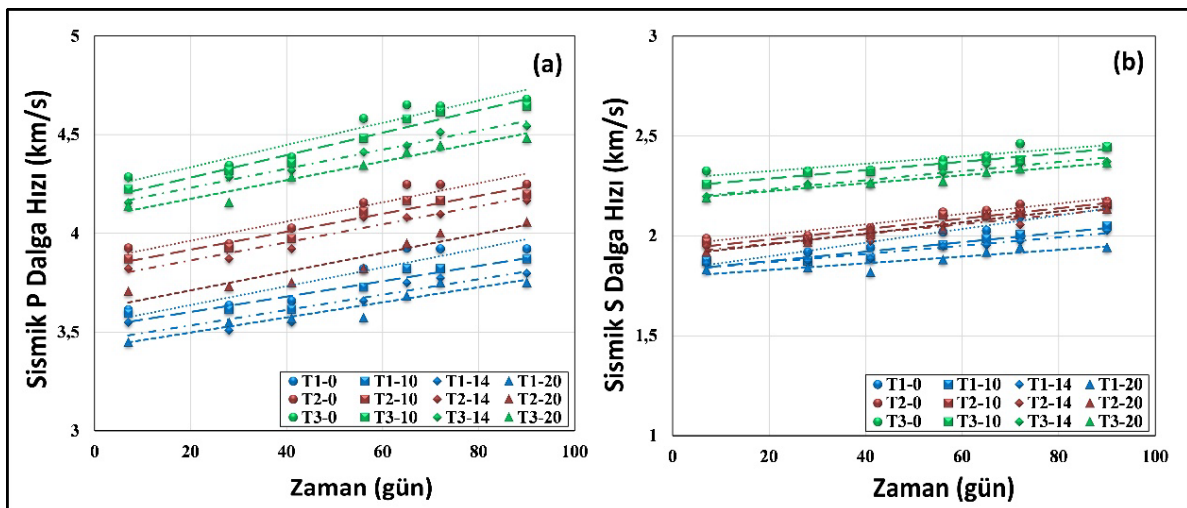
2.5) Donatının Sismik Hızlara Etkisi

İnşaat uygulamalarında betonun çekme mukavemetini ve sünekliğini artırmak, daha yüksek performans özellikleri gösteren yapılar yapmak amacıyla beton malzemenin içerisine donatı demirleri yerleştirilmektedir. Betonarme içerisinden ultrasonik dalga geçerken dalganın bir kısmı betondan bir kısmı ise donatıdan geçecektir. Donatı demiri betondan çok daha yoğun olduğu için donatılı betonun hızı donatısız betondan daha yüksek bulunmaktadır (Fodil ve diğ. 2019). Çeliğin ultrasonik darbe hızı yaklaşık olarak 5.90 km/s'dir. Bununla birlikte, yetersiz yol genişliği nedeniyle donatı çapı ile hız azalır ve daha düşük frekans kullanıldığında hız daha da fazla düşmektedir (Bungey 1980). Bungey (1980) içerisinde 12 mm'den geniş çapta donatı bulunduran donatılı betonda darbe hızının çap arttıkça arttığını ancak bu durumun aynı zamanda donatıyı çevreleyen betonun kalitesine de bağlı olduğunu belirtmiştir. Çünkü sağlam

donatılı betondaki ultrasonik dalganın geçiş süresi, zayıf betondakinden daha kısadır. Bu, beton ve donatı arasındaki bağın doğasından kaynaklanmaktadır (Bungey 1980, Fodil ve diğ. 2019). TBDY (2018)'e göre (Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Esaslar 7.4.1.1 – 7.4.2.2 – 11.2.5 – 15C.2) (TBDY 2018) ve TS 500 (2000)'in 7.3. maddesinde kirişlerde kullanılacak boyuna donatıların çapının 12 mm'den az olmaması istenmektedir. TS 500 (2000)'in 7.4.1. maddesinde ise kolonların, boyuna donatı çubuğu çapının en az 14 mm olması gerektiği belirtilmektedir. Dolayısıyla inşaatı yapılacak yapılarda kullanılacak donatının çapındaki farklılık beton dayanımına da etki edecektir. Genellikle fazla miktarda donatı bulunduran betonlarda hızın yüksek bulunacağı varsayılmasına (Malhotra ve Carino 2004, Bungey ve diğ. 2006, Pucinotti ve diğ. 2007, Fodil ve diğ. 2019) rağmen bazı durumlarda donatı, betonun hızını azaltmaktadır (Lencis ve diğ. 2011). Ancak, bu durum her zaman için geçerli değildir. Fodil ve diğ. (2019) yaptıkları çalışmada yüksek dayanımlı (>50 MPa) betonlar üzerinde yaptıkları çalışmada donatı çapının sismik hızı artırdığını belirtirken, Bungey (1984) beton numuneleri üzerinde yaptığı çalışmada donatının beton dayanımına etkisini hesapladığı düzeltme katsayılarına bağlı olarak ortaya koymuştur. Bu çalışmasında, hızı 4 km/s'den büyük olan donatısız betonların 20 mm'den daha küçük çapta donatı bulundurması durumunda donatının etkisinin olmadığını ve donatı üzerinden elde edilen hızlarda düzeltme faktörünün yalnızca sonuçların azalmasını öngördüğünü belirtmiştir (Bungey 1984). Malhotra ve Carino (2004) uygun kalitede beton kullanılması durumunda donatının beton hızını %3-20 aralığında artıracağını belirtirken, Sabbağ ve Uyanık (2017) ise farklı dayanımlardaki betonlar üzerinde yaptıkları çalışmada düşük dayanımlı betonlarda çap arttıkça hızın düştüğünü, yüksek dayanımlı betonlarda ise tam tersi durum gözlenerek çap artışı ile sismik hızın arttığını ortaya koymuşlardır.

3. BULGULAR

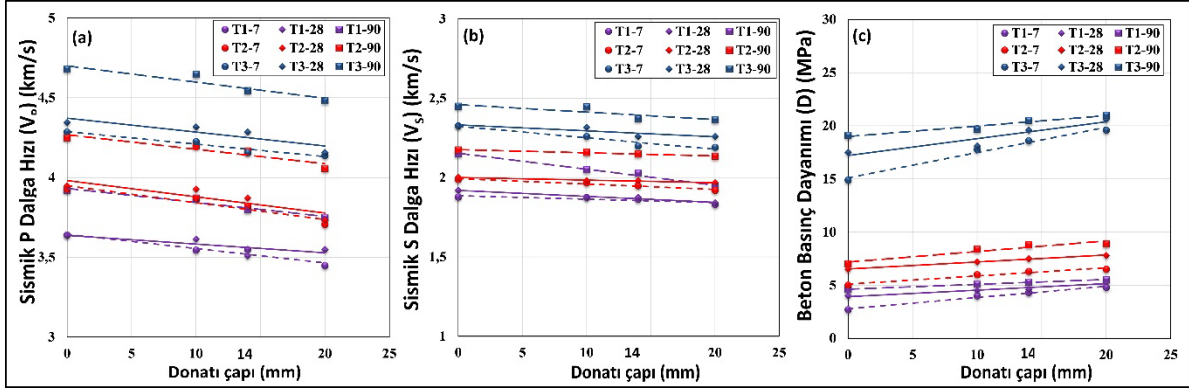
Düşük dayanımlı betonlarda donatı çapının sismik hızı etkisini ortaya koymak amacıyla donatılı ve donatısız beton numuneleri üzerinde yapılan ölçümler sonucunda dayanımları 20 MPa'dan düşük olan üç ayrı tasarım için donatı çapına bağlı olarak sismik P ve S dalga hızlarının zamanla değişimi Şekil 5'te sunulmuştur. Buna göre birinci, ikinci ve üçüncü tasarımdaki P dalga hızları sırasıyla 3400-3950 m/s, 3700-4050 m/s ve 4100-4700 m/s aralığında değişmektedir. Yine birinci, ikinci ve üçüncü tasarımdaki S dalga hızları sırasıyla 1830-2150 m/s, 1900-2200 m/s ve 2150-2450 m/s aralığında değişmektedir.



Şekil 5: Donatı dayanımlı betonlarda donatı çapına bağlı; a) Sismik P ve b) S dalga hızlarının zamanla değişimi

Figure 5: Variation of a) seismic P and b) S wave velocities over time depending on the reinforcement diameter in reinforced concrete

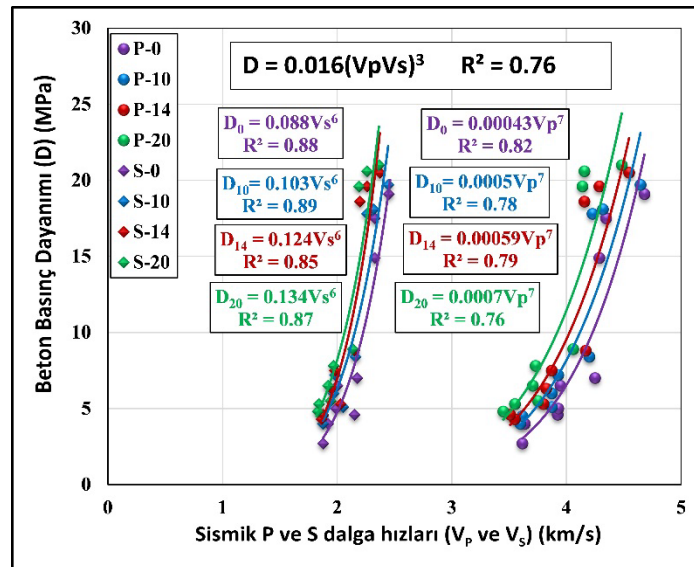
Şekil 5 incelendiğinde, düşük dayanımlı üç beton tasarımında (<20 MPa) zamanla Sismik P ve S dalga hızlarının arttığı belirlenmiştir. Ancak donatı çapına bağlı karşılaştırma yapıldığında çap arttıkça sismik hızlarda azalma gözlenmiştir. Bu durum Şekil 6'da daha net ortaya konulabilmektedir. yedinci, yirmisekizinci ve doksanıncı günlerdeki hız değerleri karşılaştırıldığında çap arttıkça P ve S dalga hızlarının azaldığı görülmektedir.



Şekil 6: Düşük dayanımlı betonlarda farklı donatı çaplarının (10, 14 ve 20 mm) kullanımına bağlı a) Sismik P ve b) S dalga hızları ile c) beton dayanımının değişimi

Figure 6: Variation of a) seismic P and b) S wave velocities and c) concrete strength due to the use of different reinforcement diameters (10, 14 and 20 mm) in low strength concrete

Donatı çapına bağlı olarak Sismik P ve S dalga hızları ile beton dayanımı arasındaki çok parametrelili ilişkiler Şekil 7'de sunulmuştur. Buna göre, sismik P ve S dalga hızları artarken beton dayanımları da üstel olarak artış göstermektedir. Ancak bu artış donatısız ve 10, 14 veya 20 mm çapında donatı bulunduran betonlarda farklılık göstermektedir. Donatı çapı arttıkça sismik P ve S dalga hızları azalırken beton dayanımında artış gözlenmiştir.



Şekil 7: Düşük dayanımlı betonlarda donatı çapına bağlı Sismik P ve S dalga hızları ile beton dayanımı arasındaki ilişkiler (D₀: donatısız; D₁₀: 10 mm donatılı; D₁₄: 14 mm donatılı ve D₂₀: 20 mm donatılı küp numuneler)

Figure 7: Relationships between seismic P and S wave velocities depending on the reinforcement diameter and concrete strength in low strength concretes (D₀: unreinforced; D₁₀: 10 mm reinforced; D₁₄: 14 mm reinforced and D₂₀: 20 mm reinforced cube samples)

Bu kapsamda donatı çapına bağlı olarak P ve S hızları ile beton dayanımı arasında farklı bağıntılar elde edilmiştir (Eşitlik 2-9).

$$D_0 = 0.00043V_P^7 \quad R^2 = 0.82 \quad (2)$$

$$D_{10} = 0.0005V_P^7 \quad R^2 = 0.78 \quad (3)$$

$$D_{14} = 0.00059V_P^7 \quad R^2 = 0.79 \quad (4)$$

$$D_{20} = 0.0007V_P^7 \quad R^2 = 0.76 \quad (5)$$

$$D_0 = 0.088V_S^6 \quad R^2 = 0.88 \quad (6)$$

$$D_{10} = 0.103V_S^6 \quad R^2 = 0.89 \quad (7)$$

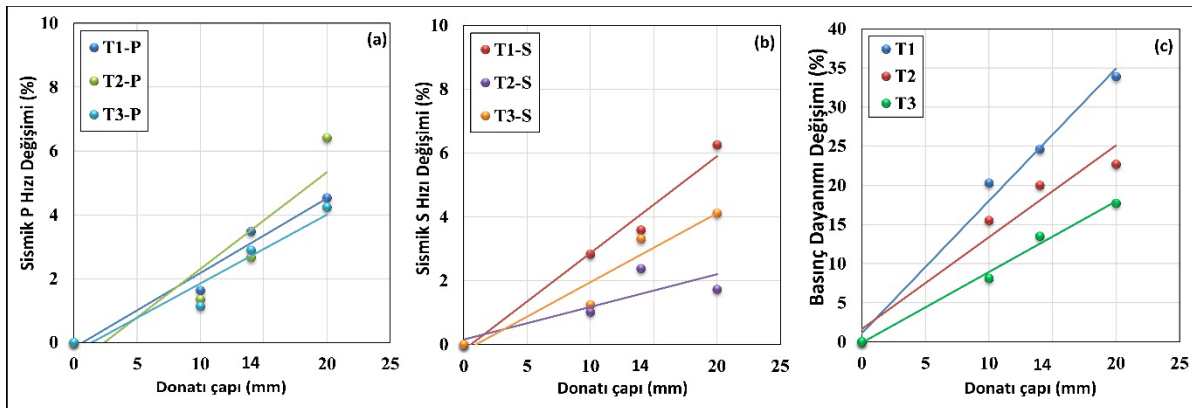
$$D_{14} = 0.124V_S^6 \quad R^2 = 0.85 \quad (8)$$

$$D_{20} = 0.134V_S^6 \quad R^2 = 0.87 \quad (9)$$

Bu ikili ilişkilerde ilişki katsayıları (R^2) ise 0.76-0.89 aralığında elde edilmiştir. Dolayısı ile elde edilen bu eşitlikler yardımı ile düşük dayanımlı betonlarda donatı çapına bağlı olarak ultrasonik yöntemle elde edilen sismik hızlardan betona herhangi bir zarar vermeden dayanımını da güvenilir bir şekilde tahmin etmek mümkün olacaktır. P ve S hızlarının birlikte kullanılması ile beton dayanımının belirlenmesi amacıyla çok parametrelili Eşitlik 10 elde edilmiştir.

$$D = 0.016(V_P V_S)^3 \quad R^2 = 0.76 \quad (10)$$

Bu genel bağıntı yardımıyla donatılı veya donatısız herhangi bir numune üzerinde alınan P ve S dalga ölçümlerinden elde edilen hızlar yardımıyla beton dayanımı hesaplanabilmektedir. Düşük dayanımlı donatısız ve donatılı (10, 14 veya 20 mm çaplı) betonlar arasındaki sismik P ve S dalga hızı ile beton dayanımının yüzde (%) değişimi Şekil 8'de gösterilmiştir. Şekil 8 incelendiğinde beton dayanımı arttıkça yani tasarımın su/çimento oranı azaldıkça donatılı ve donatısız numuneler arasındaki dayanım farkının da azaldığı belirlenmiştir. Örneğin, 20 mm çaplı donatı bulduran numunelerde T1 tasarımındaki dayanım farkı %34 civarında iken, bu fark T3 tasarımında yaklaşık olarak %18'e kadar düşmüştür. Dolayısıyla, betondaki gözenek miktarı azaldıkça donatının dayanıma olan etkisi de azalmıştır. Tablo 1'de verilen P ve S dalga hızları ile beton dayanımı değerlerinin betondaki donatı çapına bağlı olarak değişim bağıntıları yardımıyla donatılı ve donatısız numunelerdeki ölçüm değerleri arasında bir geçiş yapılarak düşük dayanımlı betonlarda donatı etkisinin giderilmesi mümkün olacaktır.



Şekil 8: Düşük dayanımlı 3 tasarıma ait donatısız ve donatılı (10, 14 veya 20 mm çaplı) betonlar arasındaki a) sismik P ve b) S dalga hızı ile c) beton dayanımının yüzde (%) değişimi
Figure 8: Percentage (%) variation of a) seismic P and b) S wave velocity and c) concrete strength between unreinforced and reinforced concrete (10, 14 or 20 mm diameter) of 3 low strength designs

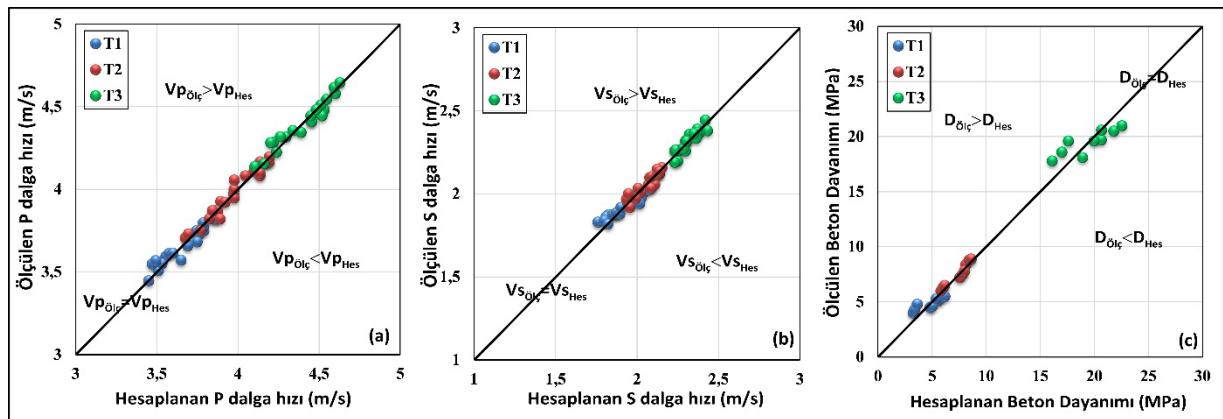
Sismik hızlardaki değişim incelendiğinde ise her 3 tasarımdaki çap artışına bağlı olarak P ve S hızlarındaki değişimin arttığı belirlenmiştir. Ancak bu artış miktarının 3 tasarımda da P ve S dalga hızlarında en fazla %6 civarında olduğu gözlenmiştir. Dolayısıyla tasarımlar arasındaki belirgin bir hız farkı gözlenememiştir. Her 3 tasarımda P hızlarındaki değişim S hızlarına kıyasla birbirine daha yakın bulunmuştur. S hızlarındaki değişimin fazla olması bu hızın betonun içerisindeki malzemelerin özelliklerine daha duyarlı olması nedeniyledir.

Tablo 1: P ve S dalga hızları ile beton dayanımı değerlerinin betondaki donatı çapına bağlı olarak değişimi

Table 1: Variation of P and S wave velocities and concrete strength values depending on reinforcement diameter in concrete

Değişim	Tasarım 1	Tasarım 2	Tasarım 3
D_0 - D_{10}	$D_{10} = 1.2D_0$	$D_{10} = 1.16D_0$	$D_{10} = 1.08D_0$
D_0 - D_{14}	$D_{14} = 1.25D_0$	$D_{14} = 1.20D_0$	$D_{14} = 1.14D_0$
D_0 - D_{20}	$D_{20} = 1.34D_0$	$D_{20} = 1.23D_0$	$D_{20} = 1.18D_0$
V_{P0} - V_{P10}	$V_{P10} = 0.9837V_{P0}$	$V_{P10} = 0.9865V_{P0}$	$V_{P10} = 0.9887V_{P0}$
V_{P0} - V_{P14}	$V_{P14} = 0.9652V_{P0}$	$V_{P14} = 0.9734V_{P0}$	$V_{P14} = 0.9711V_{P0}$
V_{P0} - V_{P20}	$V_{P20} = 0.9547V_{P0}$	$V_{P20} = 0.9359V_{P0}$	$V_{P20} = 0.9576V_{P0}$
V_{S0} - V_{S10}	$V_{S10} = 0.9717V_{S0}$	$V_{S10} = 0.9898V_{S0}$	$V_{S10} = 0.9875V_{S0}$
V_{S0} - V_{S14}	$V_{S14} = 0.9641V_{S0}$	$V_{S14} = 0.9762V_{S0}$	$V_{S14} = 0.9669V_{S0}$
V_{S0} - V_{S20}	$V_{S20} = 0.9374V_{S0}$	$V_{S20} = 0.9827V_{S0}$	$V_{S20} = 0.9588V_{S0}$

Ultrasonik ve tek eksenli basınç dayanımı test cihazları ile ölçülen P ve S dalga hızları ile beton basınç dayanımları ve Tablo 1 yardımıyla hesaplanan P ve S dalga hızları ile beton basınç dayanımları Şekil 9'da karşılaştırılmıştır.



Şekil 9: Ölçülen ve hesaplanan a) P ve b) S dalga hızları ile c) beton basınç dayanımlarının karşılaştırılması

Figure 9: Comparison of measured and calculated a) P and b) S wave velocities and c) concrete compressive strengths

Buna göre, ölçülen ve hesaplanan P ve S dalga hızları ile basınç dayanım değerleri karşılaştırıldığında birbirlerine oldukça yakın sonuçlar bulunmuştur. Böylece Tablo 1’de düşük dayanımlı betonlar için tanımlanan bağıntılar yardımı ile donatısız betonlara uygulanan bir düzeltme katsayısı yardımıyla donatılı P ve S dalga hızları ile beton dayanımını hesaplamak mümkün olacaktır.

4. TARTIŞMA

Betonu oluşturan elemanlardan biri olan agregalar arası bağ kuvvetinin az olması sonucunda zayıf dayanımlı betonlar oluşmaktadır. Dolayısıyla bu tür betonlarda gözeneklilik ya da boşluk fazla oluşmaktadır. Bu tür bir betonun içerisine yerleştirilen donatı ile de agrega arasında bağ kuvvetinin az ve boşlukların çok olması beklenilir. Bu yüzden de boşluklu olan bir betonda sismik hızlarda azalma beklenen bir sonuç olarak düşünülmektedir. Ancak dayanım açısından ise uygulanan yükler sonucunda betondaki gözenekler kapanır ve beton daha dirençli hale geldikten sonra kırılma olayı gerçekleşir. Bu yüzden beton dayanımı donatı çapı arttıkça artmaktadır.

Donatısız betonların sismik hızlarındaki artışa bağlı olarak basınç dayanım değerlerinin de arttığı bilinmektedir. Bu konuda özellikle P hızı ile değişim başta olmak üzere literatürde P ve S dalga hızları ile basınç dayanımları arasında pozitif yönlü doğrusal ya da üstel ilişkiler olduğunu ortaya koyan oldukça fazla çalışma yapılmıştır. Donatılı haldeki betonun (betonarme) basınç dayanımının belirlenmesi esnasında ise donatının etkisi hesaplamalara sonradan katılmaktadır. Donatılı betonda ultrasonik dalganın bir kısmı donatıda bir kısmı ise betonda yol almaktadır. Beton içerisinde yer alan donatının sayısına, çapına, düzenine ve ultrasonik ölçüm yapılan noktanın donatıya olan uzaklığına bağlı olarak ultrasonik dalga hızı değişmektedir (Hannachi ve Guetteche 2014). Düşük dayanımlı betonlar üzerinde yapılan bu çalışmada aynı dayanım değerine sahip betonlarda donatı çapı arttıkça sismik hız değerlerinin azaldığı gözlenmiştir. Bunun nedeni olarak donatı ile betonu oluşturan agrega malzemeleri arasındaki temas yüzeylerinin azalmasından kaynaklı bağ kuvveti olarak adlandırılan aderansın etkisi olduğu düşünülmektedir. Bu durumun kanıtlanması için donatı çapı, sismik hızlar ve aderans deneyleri yapılması gereklidir. Bu çalışmanın devamında aderans deneyi yapılmasının, sonuçların daha net yorumlanmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Düşük dayanımlı betonlar üzerinde yapılan bu çalışmada, donatı betonun yan yüzeyine gelecek şekilde basınç testinin uygulanarak kırma işleminin gerçekleştirilmesi ile donatılı betonun basınç dayanım değerleri doğrudan belirlenmeye çalışılmıştır. Düşük dayanımlı betonlarda, aynı sismik hız değerindeki beton dayanımları karşılaştırıldığında donatı çapı arttıkça beton basınç dayanımlarının da arttığı belirlenmiştir. Basınç dayanımındaki bu durumun en önemli nedeni olarak beton ve donatı arasındaki aderansın (bağ kuvveti) etkisi olduğu düşünülebilir. Gopalaratnam ve Abu-Mathkour (1987) yaptıkları çalışmada, donatı boyu, donatı çapı ve beton kalitelerine bağlı olarak aderansı incelemişlerdir. Donatı çapının artmasının aderansı arttırdığını fakat beton basınç dayanımının aderans ile doğrudan bağlantılı olmadığını savunmuşlardır. Ancak, Yerlici ve Özturan (2002) ise yüksek dayanımlı betonlarda aderans dayanımını belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada aderans dayanımının artmasına bağlı olarak beton basınç dayanımlarının da arttığını belirlemişlerdir. Konca (2006), çimento cinsi, donatı çapı ve tipinin beton-donatı aderansına etkisini ortaya koymak amacıyla yaptığı çalışmasında donatı çapı büyüdükçe aderans dayanımının da arttığını belirlemiştir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada donatılı ve donatısız beton örnekleri üzerinde sismik ultrasonik hızın değişimi incelenmiş ve tek eksenli basınç deneylerinden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Betondaki donatı varlığı ve çapı hem sismik hızı hem de beton dayanımını etkilemektedir. Bu durum düşük dayanımlı betonlarda hız üzerinde ortalama olarak %6 civarında azalma

sağlarken dayanım üzerinde %34 civarında artış sağlamaktadır. Düşük dayanımlı betonlarda beton numune içerisindeki donatı çapı arttıkça (10, 14 ve 20mm) beton ve donatı arasındaki temas yüzeyinin azalmasıyla sismik P dalga hızlarında sırasıyla %1.1-1.6, %2.6-3.6 ve %4.2-6.4 civarında azalma gözlenmiştir. Benzer şekilde donatı çaplarındaki artış ile birlikte S dalga hızlarında sırasıyla %1-2.8, %2.4-3.6 ve %1.7-6.3 civarında azalma gözlenmiştir. Tam tersi şekilde beton numune içerisindeki donatı çapının artmasına bağlı olarak beton dayanım değerlerinde artış gözlenmiştir. 20 mm çaplı betonlar donatısız betonlar ile karşılaştırıldığında bu artış miktarı birinci tasarımda % 34, ikinci tasarımda %23 ve üçüncü tasarımda %18 civarında bulunmuştur. Donatı çapına bağlı olarak sismik P ve S dalga hızları ile beton dayanımları arasında yapılan ilişkilendirmelerde her bir donatı çapına göre değişiklik gösteren yeni eşitlikler ortaya konulmuştur.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, makalenin gelişimine bilimsel görüş ve önerileri ile katkı sağlayan editör ve hakemlere teşekkür eder.

KAYNAKLAR

Benaicha M., Jalbaud O., Alaoui A.H., Burtschell Y., 2015. Correlation Between the Mechanical Behavior and The Ultrasonic Velocity of Fiber-Reinforced Concrete, *Construction and Building Materials*, 101, 702–709.

Bungey J.H., 1980. The Validity of Ultrasonic Pulse Velocity Testing In-place Concrete for Strength, N.D.T. International IPC Press, December pp. 296-300.

Bungey J.H., 1984. The use of ultrasonics for NDT of concrete, *British Journal of NDT* 26(5), 366-369.

Bungey J.H., Millard S.G., Grantham M.G., 2006. Testing of Concrete on Structures, Taylor and Francis., 4th Edition, 352p. CRC Press, London. eBook ISBN: 9780429190957.

Ekin N., 2021a. Concrete Anisotropy Estimated from Ultrasonic Signal Amplitudes, *Materials Testing*, 63(12), 1164-1173.

Ekin N., 2021b. Relationship between Amplitude Anisotropy and Compressive Strength of Reinforced Concrete Depending on Curing Conditions. *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*, 28(3), 286-299.

Ekin N., Uyanik O., 2021a. Comparison of Static and Dynamic Elastic Moduli in Concrete: Effects of Compressive Strength, Curing Conditions and Reinforcement. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Eng.*, 45, 2327–2343.

Ekin N., Uyanik O., 2021b. Anisotropy of Reinforced Concrete from Geophysical Methods. *Science of Sintering*, 53(3), 323-345.

Fodil N., Chemrouk M., Ammar A., 2019. The Influence of Steel Reinforcement on Ultrasonic Pulse Velocity Measurements in Concrete of Different Strength Ranges, IOP Conf. Series: *Materials Science and Engineering* 603, 022049.

Gopalaratnam V.S., Abu-Mathkour H.J., 1987. Investigation of Pull Out Characteristics of Steel Fibers from Mortar Matrices, Proceedings, International Symposium on Fiber Reinforced Concrete, 2. 201-2. 211.

Hannachi S., Guetteche M.N., 2014. Review of The Ultrasonic Pulse Velocity Evaluating Concrete Compressive Strength on Site. Scientific Cooperationsn International Workshops on Engineering Branches 8-9 August 2014, Koc University, ISTANBUL/TURKEY.

İMO, 2020. 30 Ekim 2020 Tarihinde Meydana Gelen İzmir Depremi Raporu, TMMOB İnşaat mühendisleri odası,

Erişim adresi: https://imop.imo.org.tr/resimler/dosya_ekler/10bbe21c635d042_ek.pdf

İMO, 2023. Deprem raporları (İzmir, Elazığ, Kahramanmaraş), TMMOB İnşaat mühendisleri odası, Erişim adresi: <https://www.imo.org.tr>

Karabulut S., 2019. Non-Destructive Methods for Determining Weathering in Historical Monuments: A Case Study from Merv City, Turkmenistan, *Yerbilimleri*, 40(2), 210-233.

Kencanawati N.N., Anshari A.B., Paedullah A.G., Shigeishi M., 2018. The Study of Ultrasonic Pulse Velocity on Plain and Reinforced Damaged Concrete, MATEC Web of Conferences 195, 02026.

Konca C., 2006. Çimento Cinsi, Donatı Çapı ve Tipinin Beton-Donatı Aderansına Etkisi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği ABD, YL Tezi, 53s.

Lencis U., Üdris A., Korjamins A., 2011. Decrease of the Ultrasonic Pulse Velocity in Concrete Caused by Reinforcement, *Journal of Materials Science and Engineering A1*. 1016-1028.

Lotfi H., Moudden A., Faiz B., 2013. Ultrasonic Evaluation of the Depth and the Diameter of the Rods of Reinforced Concrete, *International Journal of Mat. Eng.*, 3(2), 17-27.

Malhotra V.M., Carino N.J., 2004. Hand Book on Non-Destructive Testing in Concrete, CRC Press., 2nd Edition, 384p, Boca Raton, eBook ISBN: 9780429191213.

Öziçer S., Uyanık O., 2017. Beton Dayanımının Yerinde P Dalga Hızından Belirlenmesi ve İzmir Örneği. *SDÜ Uluslararası Teknoloji Bilimler Dergisi*, 9(1), 1-16.

Parihar H.S., Shanker R., Singh V., 2022. Effect of Variation of Steel Reinforcement on Ultrasonic Pulse Velocity Prediction in Concrete Beam, *Materials Today: Proceedings*, 65, 1486–1490

Pucinotti R., Hinterholz L., D'Elia A., Lorenzo R.A.D., 2007. Influence of Steel Reinforcement on Ultrasonic Pulses Velocity, 4th International Conference on NDT.

Reufi E., Marku J., Bier T., 2016. Ultrasonic Pulse Velocity Investigation of Polypropylene and Steel Fiber Reinforced Concrete, World Academy of Science, Engineering and Technology, *International Journal of Civil and Environmental Eng.*, 10(3), 332-335.

Sabbağ N., 2016. Determination of Concrete Quality by Geophysical Methods. Süleyman Demirel University, Institute of Science and Technology, Department of Geophysics Engineering, PhD thesis, 172p (in Turkish).

Sabbağ N., Uyanık O., 2016. Time-Dependent Change of Seismic Velocities on Low Strength Concrete. *The Online Journal of Science and Technology*, 6(4), 49-57.

Sabbağ N., Uyanık O., 2017. Prediction of Reinforced Concrete Strength by Ultrasonic Velocities. *Journal of Applied Geophysics*, 141, 13–23.

Sabbağ N., Uyanık O., 2018. Doygun Betonların Statik ve Dinamik Elastik Parametrelerinin Karşılaştırılması. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18(017201), 1181-1189.

Sagar R.V., Dutta M., 2021. Combined Usage of Acoustic Emission Technique and Ultrasonic Pulse Velocity Test to Study Crack Classification in Reinforced Concrete Structures, *Nondestructive Testing and Evaluation*, 36(1), 62–96.

Shah A.A., Ribakov Y., 2011. Recent trends in steel fibered high-strength concrete, *Mater. Des.*, 32 (8–9), 4122–4151.

TBDY, 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Ek Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Esaslar, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Ankara, Erişim adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/03/20180318M1-2-1.pdf>

THBB, 2020. Elazığ Depremi İnceleme raporu, Türkiye Hazır Beton Birliği, Erişim adresi: <https://www.thbb.org/teknik-bilgiler/deprem-inceleme-raporlari/elazig-depremi/>

TS 500, 2000. Türk Standartları 500, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları.

TS 708, 2010. Türk Standartları 708, Çelik-Betonarme İçin- Donatı Çeliği Standardı.

Uyanık O., 1991. Kaya Mekaniği ve Jeofizik Laboratuar Parametrelerinin İlişkilendirme Açısından Önemi, Dokuz Eylül Üniv. Müh.-Mim. Fak. Jeofizik Müh. Böl., İzmir (Lisans Tezi).

Uyanık O., 1999. Kayaçlarda sismik hızlar ve kayma direncinin incelenmesi, 52. Türkiye Jeoloji Kurultayı, 63-70.

Uyanık O., 2012. Sismik Hızlardan Beton Dayanımının Belirlenmesi. *Jeofizik Bülteni*, 23(70), 25-30.

Uyanık O., Tezcan S., 2012. Determination of concrete strength by ultrasonic method. *Geophysical Bulletin*, 41–45.

Uyanık O., Çatlıoğlu B., Uyanık N.A., Öncü Z., Sabbağ N., 2012a. Determination of concrete quality of reinforced concrete structures from seismic ultrasonic velocities in urban transformation projects. 1st Earth Sciences Symposium, 18-20.

Uyanık O., Çatlıoğlu B., Sabbağ N., Öncü Z., Uyanık N.A., 2012b. Kayaçların Fiziksel Özellikleri ile Sismik Ultrasonik Hızlar Arasındaki İlişkilendirmeler. 1. Yerbilimleri Sempozyumu, 165-169.

Uyanık O., Gülay F.G., Tezcan S., 2012c. Beton Dayanımının Tahribatsız Ultrasonik Yöntemle Tayini. *Hazır Beton Dergisi*, 82-85.

Uyanık O., Sabbağ N., Uyanık N.A., Öncü Z., 2019. Prediction of Mechanical and Physical Properties of Some Sedimentary Rocks from Ultrasonic Velocities. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 78, 6003-6016.

Uyanık O., Şenli G., Çatlıoğlu B., 2013. Binaların Beton Kalitesinin Tahribatsız Jeofizik Yöntemlerle Belirlenmesi, *SDÜ Uluslararası Teknoloji Bil. Dergisi*, 5(2), 156-165.

Xu J., Wei H., 2019. Ultrasonic Testing Analysis of Concrete Structure Based on S Transform, *Shock and Vibration*, 2019, 2693141.

Xu Y., Jin R., 2018. Measurement of Reinforcement Corrosion in Concrete Adopting Ultrasonic Tests and Artificial Neural Network, *Const. and Build. Mat.*, 177, 125-133.

Yerlici V., Ozturan T., 2002. Yüksek Dayanımlı Betonlarda Aderans Dayanımı, *IMO Teknik Dergi*, 171, 2527-2554.

ARAŞTIRMA VERİSİ (*Research Data*)

Çalışma kapsamında kullanılan veriler yazarlar tarafından elde edilmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI / İLİŞKİSİ (*Conflict of Interest / Relationship*)

“Düşük Dayanımlı Donatılı Betonlarda Donatının Sismik Hızlara Etkisi” isimli makalemiz ile ilgili herhangi bir kurum, kuruluş, kişi ile mali çıkar çatışması yoktur ve yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

YAZARLARIN KATKI ORANI BEYANI (*Author Contributions*)

- Çalışmanın tasarlanması (*Designing of the study*): O.U.
- Literatür araştırması (*Literature research*): N.E., N.A.U
- Saha çalışması, veri temini/derleme (*Fieldwork, collection/compilation of data*): N.E., O.U.
- Verilerin işlenmesi/analiz edilmesi (*Processing/analysis of data*): N.E., O.U.
- Şekil/Tablo/Yazılım hazırlanması (*Preparation of figures/tables/software*): N.E., N.A.U.
- Bulguların yorumlanması (*Interpretation of findings*): N.E.,N.A.U., O.U.
- Makale yazımı, düzenleme, kontrol (*Writing, editing and checking of manuscript*): N.E., N.A.U., O.U.



Preliminary Results of Detection and Interpretation of Precursory Magnetic Signals Preceding February 06, 2023 Pazarcik Earthquake Using ESA Swarm Satellite Data

Ilkin Ozsoz¹

¹ General Directorate of Mineral Research and Exploration, Marine Research Department, 06530 Ankara, Türkiye
ORCID: 0000-0001-5907-4176

Keywords

LAIC, Swarm satellite constellation, Precursory earthquake anomalies, Magnetic method, Cumulative number of anomalous tracks

Highlights

- * Lithosphere-Asthenosphere and Ionosphere coupling (LAIC)
- * Time-varying magnetic field data
- * Detection of preparation phase of main shock

Aim

The aim of the article is to examine the time dependent magnetic anomaly changes in the region affected by the 3 major earthquakes ($M_w=6.7$, $M_w=7.5$ and $M_w=7.8$) that occurred on February 6, 2023 and to discuss the preliminary results

Location

Kahramanmaras-Turkey

Methods

Magnetic Swarm Anomaly Detection by Spline Analysis (MASS)

Results

Cumulative number of anomalous tracks plot indicated significant anomaly variations for Y, Z and F components of the magnetic field before the main shock

Supporting Institutions

The author(s) declared that this study has used no support data from other institutions

Financial Disclosure

The author(s) declared that this study has received no financial support

Peer-review

Externally peer-reviewed

Conflict of Interest

The authors have no conflicts of interest to declare

Manuscript

Research Article

Received: 01.03.2023

Revised: 05.05.2023

Accepted: 15.05.2023

Printed: 30.06.2023

DOI

10.46464/tdad.1258315



Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International Non-Commercial License

Corresponding Author

Ilkin Ozsoz

Email: ilkin.ozsoz@mta.gov.tr

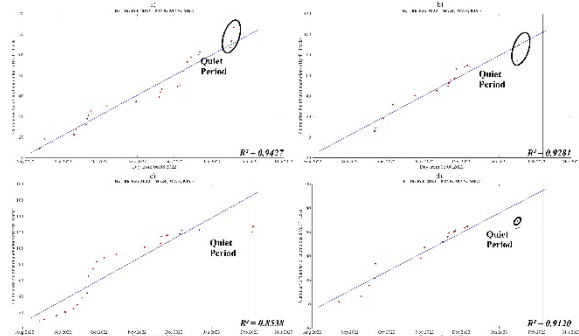


Figure
Cumulative number of anomalous tracks. a) X component, b) Y component, c) Z component and d) F component of the magnetic field. Vertical line indicates day of the earthquake. Linear model is shown by blue line

How to cite:

Ozsoz I., 2023. Preliminary results of Detection and Interpretation of Precursory Magnetic Signals Preceding February 06, 2023 Pazarcik Earthquake using ESA Swarm Satellite Data, Turk Deprem Arastirma Dergisi 5(1), 48-68, <https://doi.org/10.46464/tdad.1258315>



Swarm Uydu Verileri Kullanılarak 06 Şubat 2023 Pazarcık Depreminden Önceki Öncül Manyetik Sinyallerin Tespiti ve Yorumlanmasına Ait İlk Sonuçlar

İlkin Özsoz¹

¹ Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Deniz Araştırmaları Dairesi, 06530 Ankara, Türkiye
ORCID: 0000-0001-5907-4176

ÖZET

06 Şubat 2023'de meydana gelen $M_w=6.7$, $M_w=7.5$ ve $M_w=7.8$ büyüklüğündeki depremler öncesi Litosfer-Astenosfer ve İyonosfer etkileşimi (LAIC) nedeniyle ölçülen manyetik anomalilerde sapmalar meydana gelmiştir. Bu sapmalar ana şokun hazırlık aşamasına ait önemli bilgileri içermektedir. Bu nedenle Dobrovolsky Dairesi içerisindeki Swarm uydularına ait 06 Ağustos 2022 ile 09 Şubat 2023 tarihleri arasındaki manyetik anomaliler dış kaynaklı manyetik etkileri (güneş rüzgarları, manyetik fırtınalar ve atmosferik elektrik akımları) kapsamayacak şekilde filtrelenmiştir. Bir sonraki aşamada verinin zamana göre 1'inci türevi alınmış ardından uzun dalga boylu trend veriden giderilmiştir. Filtrelenen verideki anomali bölgelerini belirlemek için kayan karelerinin ortalama karekökü (RMS) penceresi uygulanmıştır. Son olarak da kümülatif manyetik anomali değişim grafiği çizdirilmiştir. Bu grafik kapsamında depremden önce manyetik alanın X bileşeni için önemli bir anomali değişimi saptanamamış iken Y, Z ve F bileşenlerinde depremin hazırlık aşamasına ait kendisini tekrarlamayan anomaliler tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler

LAIC, Swarm uydu görevi, Öncü deprem anomalileri, Manyetik yöntem, Kümülatif manyetik anomali sayısı

Öne Çıkanlar

- * Litosfer-Astenosfer ve İyonosfer etkileşimi (LAIC)
- * Zamana bağlı değişen manyetik alan verileri
- * Ana şok hazırlık aşamasının tespit edilmesi

Makale

Araştırma Makalesi

Geliş: 01.03.2023
Düzeltilme: 05.05.2023
Kabul: 15.05.2023
Basım: 30.06.2023

DOI

10.46464/tdad.1258315

Sorumlu yazar

İlkin Özsoz
Eposta:
ilkin.ozsoz@mta.gov.tr

Preliminary Results of Detection and Interpretation of Precursory Magnetic Signals Preceding February 06, 2023 Pazarcik Earthquake Using ESA Swarm Satellite Data

Ilkin Ozsoz¹

¹ General Directorate of Mineral Research and Exploration, Marine Research Department, 06530 Ankara, Türkiye
ORCID: 0000-0001-5907-4176

ABSTRACT

On February 06, 2023, there were three earthquakes with magnitudes of $M_w=6.7$, $M_w=7.5$, and $M_w=7.8$, which caused deviations in the magnetic anomalies measured due to Lithosphere-Asthenosphere and Ionosphere Coupling (LAIC) prior to the earthquakes. These deviations contain important information related to the preparation phase of the main shock. Therefore, magnetic anomalies from Swarm satellites within the Dobrovolsky Circle between August 06, 2022, and February 09, 2023, were filtered out to exclude external magnetic effects (solar winds, magnetic storms, and atmospheric electric currents). In the next stage, the first derivative of the data was taken with respect to time and the long wavelength trend was removed from the data. The root-mean-square (RMS) window of moving squares was applied to identify anomaly regions in the filtered data. Finally, a cumulative magnetic anomaly change graph was plotted. According to this graph, a significant anomaly change was not detected in the X component of the magnetic field before the earthquake, while repeating anomalies related to the preparation phase of the earthquake were identified in the Y, Z, and F components.

Keywords

LAIC, Swarm satellite constellation, Precursory earthquake anomalies, Magnetic method, Cumulative number of anomalous tracks

Highlights

- * Lithosphere-Asthenosphere and Ionosphere coupling (LAIC)
- * Time-varying magnetic field data
- * Detection of preparation phase of main shock

Manuscript

Research Article

Received: 01.03.2023
Revised: 05.05.2023
Accepted: 15.05.2023
Printed: 30.06.2023

DOI

10.46464/tdad.1258315

Corresponding Author

Ilkin Ozsoz
Email:
ilkin.ozsoz@mta.gov.tr

1. GİRİŞ

Öncül deprem çalışmalarının ana hedefi, sismik aktivitenin zamana bağımlılık davranışını ortaya koymaktır. Yaygın olarak kullanılan istatistiksel deprem tahmin modelleri sismik aktiviteye ve artçı şokların karakteristiğine ışık tutmaktadır. Ayrıca, bir bölgenin tarihsel depremselliği, uzun vadede deprem beklenen bölgeleri istatistiksel olarak tahmin etmeye yardımcı olabilir. Deprem tahmin modelleri ve tarihsel depremlerin incelenmesi uzun vadede depremselliğin belirlenmesinde yardımcı olsa da son dönemlerde Litosfer-Astenosfer ve İyonosfer etkileşimini (Pulinets ve diğ. 1994) temel alan öncül deprem analizi çalışmaları oldukça popüler olmuştur. Öncül deprem analizi çalışmaları da tıpkı istatistiksel deprem modelleri gibi kısa vadeli depremselliğin tahmini konusunda başarılı sonuçlar üretememektedir. Her ne kadar öncül deprem analizi sonuçları kısa vadede tatmin edici sonuçlar üretemese de, deprem kayıplarını azaltmak için önemli bir potansiyele sahiptir.

Litosfer-Astenosfer ve İyonosfer etkileşimi ilk olarak (Pulinets ve diğ. 1994) tarafından tanımlanmıştır. Bu çalışmada deprem öncesi iyonosferik etkiler incelenmiş ve herhangi bir anomalinin var olup olmadığını araştırılmıştır. Bu araştırmadan sonra çoğu güncel çalışmalar olmak üzere Litosfer-Astenosfer ve İyonosfer etkileşimini baz alan bir çok çalışma yapılmıştır (Sorokin ve diğ. 2001, Freund 2011, Pulinets ve diğ. 2015, Akhoondzadeh ve diğ. 2018, De Santis ve diğ. 2019, Marchetti ve diğ. 2020, Ozsoz ve Pamukcu 2021, Özsoz, 2022). Sorokin ve diğ. (2001) yaptığı çalışmada büyük bir depremden önce yeryüzündeki ve iyonosferdeki elektrik potansiyelinin değiştiğini önermiştir. Freund (2011), Litosfer-Astenosfer ve İyonosfer etkileşimini radyoaktif gaz emisyonu ve metalik iyonlar açısından modellemiştir. De Santis ve diğ. (2019) büyüklüğü 6.1 ve üzeri 12 adet deprem için yaptığı istatistiksel analizler ile uydudan ölçülen manyetik ve elektron yoğunluğu verilerinde deprem öncesi anomaliler tespit etmiştir. Marchetti ve diğ. (2020), yaptığı çalışmada Amatrice-Norcia (Orta İtalya) depreminden 40 gün önce uydu manyetik verilerin kümülatif anomali dağılımında değişiklik tespit etmiştir. Ozsoz ve Pamukcu (2021) 30 Ekim 2020 Samos depremi için yaptığı çalışmada zamana bağlı toplanan uydu manyetik verilerin kümülatif anomali dağılımının depremden yaklaşık 1 ay önce karakteristiğinin değiştiğini ve "S" şeklinde bir dağılım oluşturduğunu göstermiştir. Özsoz (2022) Elazığ-Sivrice depreminden yaklaşık 50 gün önce uydu manyetik verilerinin kümülatif anomali dağılım trendinin değiştiğini ve grafiğin genelinde "S" şeklinde bir dağılımın oluştuğunu tespit etmiştir.

6 Şubat 2023 UTC 01:17:35'de Türkiye'nin güney-orta kısmında Türkiye-Suriye sınırı civarında $M_w=7.8$ büyüklüğünde bir deprem meydana gelmiştir. Depremden yalnızca 11 dakika sonra $M_w=6.7$ büyüklüğünde artçı şok meydana gelmiştir. Meydana gelen $M_w=7.8$ büyüklüğündeki depremden yaklaşık 9 saat sonra (UTC 10:24:49) 95 km kuzeyde $M_w=7.5$ olan bir deprem daha meydana gelmiştir. Bahsedilen depremlerden $M_w=7.8$ olan deprem yerin 17.9 km altında meydana gelmiş olup süresi 115.2 saniyedir. Büyüklüğü $M_w=7.5$ olan deprem yerin 10 km altında meydana gelmiş olup süresi 51 saniye olarak ölçülmüştür. Son olarak büyüklüğü $M_w=6.7$ olan artçı şok yerin 14.5 km altında meydana gelmiş ve süresi 13.2 saniye olarak ölçülmüştür. Ana şoku meydana getiren deprem KD-GB uzanımlı düşey atım bileşeni bulunan sol yönlü-doğrultu atımlı fay tarafından veya KB-GD uzanımlı sağ yönlü-doğrultu atımlı fay tarafından tetiklenmiştir. Depremin lokasyonu ve mekanizması Doğu Anadolu Fay Zonu veya Ölü Deniz Transform Fay Zonu üzerinde gerçekleşmiş olduğuna dair bulgular sunmaktadır. Doğu Anadolu Fay Zonu boyunca Batı'ya doğru ekstrüzyon gözlenirken Ölü Deniz Transform Fay Zonu boyunca ise Kuzey'e doğru ekstrüzyon gözlenir. Yapılan modelleme çalışmaları sonucunda $M_w=7.8$ büyüklüğünde meydana gelen bir depremin yaklaşık olarak 190 km uzunlukta ve 25 km genişlikte bir kırık düzlemine sahip olması beklenirken 06 Şubat 2023'de meydana gelen $M_w=7.8$ olan deprem için üretilen ilksel modellerde kırık düzlemi 100 km uzunluğunda 70 km genişliğinde belirlenmiştir. Yapılan modellemeler göstermektedir ki bu deprem tipik bir 7.8 büyüklüğünde olan depreme göre doğrultu boyunca beklenenden daha kısa ve dalım eksenini boyunca daha derine uzanmaktadır. Aynı şekilde $M_w=7.5$ büyüklüğünde bir depremin 120 km uzunlukta ve 18 km genişlikte bir kırık düzlemi oluşturması beklenirken

yapılan ilksel modellemeler ile 50 km uzunluk ve 30 km genişliğe sahip bir kırık düzlemine sahip olduğu görülmektedir. Yapılan modellemeler sonucunda depremin doğrultu boyunca beklenenden çok daha kompakt olduğu belirlenmiştir (U.S.G.S. 2023a; 2023b).

Aletsel ve tarihsel dönemlerde Doğu Anadolu Fay Zonu üzerinde birçok yıkıcı deprem gerçekleşmiştir. Bu depremler; 1789 (M=7.2), 1874 (M=7.1), 1875 (M=6.7), 2010 (M_w=6.0) ve 2011'de (M_w=5.4) meydana gelen Palu depremleri; 2020 Sivrice Depremi (M_w=6.8); 1795 Pazarcık Depremi (M=7.0); 1893 Erkenek Depremi (M=7.1) ve 1872 Amanos Depremi (M=7.2) olarak sıralanabilir (Guvercin ve diğ. 2022).

Makalenin amacı, 6 Şubat 2023'de meydana gelen 3 büyük depremin (M_w=6.7, M_w=7.5 ve M_w=7.8) etki ettiği bölgedeki zamana bağlı manyetik anomali değişimlerini incelemek ve ilksel sonuçları ve yorumları paylaşmaktır. Bunun yapılabilmesi için Swarm uydularından elde edilen zamana bağlı manyetik bileşenler (X, Y, Z ve F), dış kaynaklı manyetik etkiden arındırılmıştır. Daha sonra türev, uzun dalga boylu bileşen etkisini giderme ve kayan RMS filtresi yardımı ile kümülatif anomali sayısı grafiği elde edilmiştir. Kümülatif anomali sayısı grafiğinde deprem öncesi, deprem sırasında ve hemen sonrasında oluşan değişimler yorumlanmıştır. Ayrıca uygulanan filtrelerin etkisini test etmek için çalışma alanındaki Swarm uydularına ait yörüngeler rastgele seçilmiştir. Daha sonra da tekli yörünge analizi teknikleri ile değerlendirilmiştir.

2. TEKTONİK ORTAM

Doğu Anadolu Fayı, Anadolu Levhası'nın güney sınırı, Bitlis-Zagros Kıvrım Kuşağı ve bindirmesi ile Kafkas Bindirmesi boyunca uzanır. Avrasya ve Arap Levhası arasındaki göreceli hareketi üzerinde barındırır (Şengör ve diğ. 1985). Yapılan jeolojik ve jeodezik çalışmalar sonucu Doğu Anadolu Fayı ve ona paralel bölütlerin kayma oranları tespit edilmiştir. Kayma oranları Karlıova civarında yaklaşık 10 mm/yıl iken Türkoğlu civarında 4 mm/yıl a kadar düşmektedir (Mahmouda ve diğ. 2013). Batı'da bulunan paralel segmentlerde ise kayma oranları 2.5 mm/yıl ile 1 mm/yıl arasında değişmektedir (Duman ve Emre, 2013).

Doğu Anadolu Fayı'nda yapılan odak mekanizması çözümlerinde sol yanal doğrultu atım bileşeni dominant olsa da normal ve bindirme bileşenli odak mekanizması çözümleri de mevcuttur. Ancak doğrultu atım olmayan fay bileşenlerine ait odak mekanizması çözümlerinin azlığı nedeniyle ana fay ile düşey atım bileşeni arasındaki ilişki tam olarak anlaşılammıştır (Guvercin ve diğ. 2022).

Doğu Anadolu Fayı, Orta-Geç Miyosen'de Avrasya ve Arap levhasının çarpışmasının son aşamasının bir sonucu olarak gelişmiştir (Sengor ve Yilmaz 1981). Bindirme ve ters faylanmalı paleotektonik dönemden doğrultu atım faylanmalı neotektonik döneme geçişin zamanlaması hakkında farklı görüşler mevcuttur. Sengor ve diğ. (1985) ters ve bindirme faylanmanın dominant olduğu paleotektonik dönemden doğrultu atım bileşeninin dominant olduğu neotektonik döneme geçişi Geç Serravalian olarak tanımlamıştır. Daha sonra yapılan çalışmalarda Doğu Anadolu Fayı'nın Geç Miyosen-Erken Pliyosen döneminde evrimleştiği ileri sürülmüştür (Faccenna ve diğ. 2006). Yapılan jeodezik ve jeolojik çalışmalar göstermektedir ki Doğu Anadolu Fayı boyunca sol yanal doğrultu atım bileşeninin Geç Pliyosen'den (3 My) daha önce başlamamıştır (Westaway ve Arger 2001). Doğu Anadolu Fayı Orta Miyosen ile Erken Pliyosen arasında birkaç kez tektonik terslenmeye maruz kalmış bu durum tektonik rejiminde ve deformasyon şeklinde değişikliğe yol açmıştır (Kocycigit ve diğ. 2001).

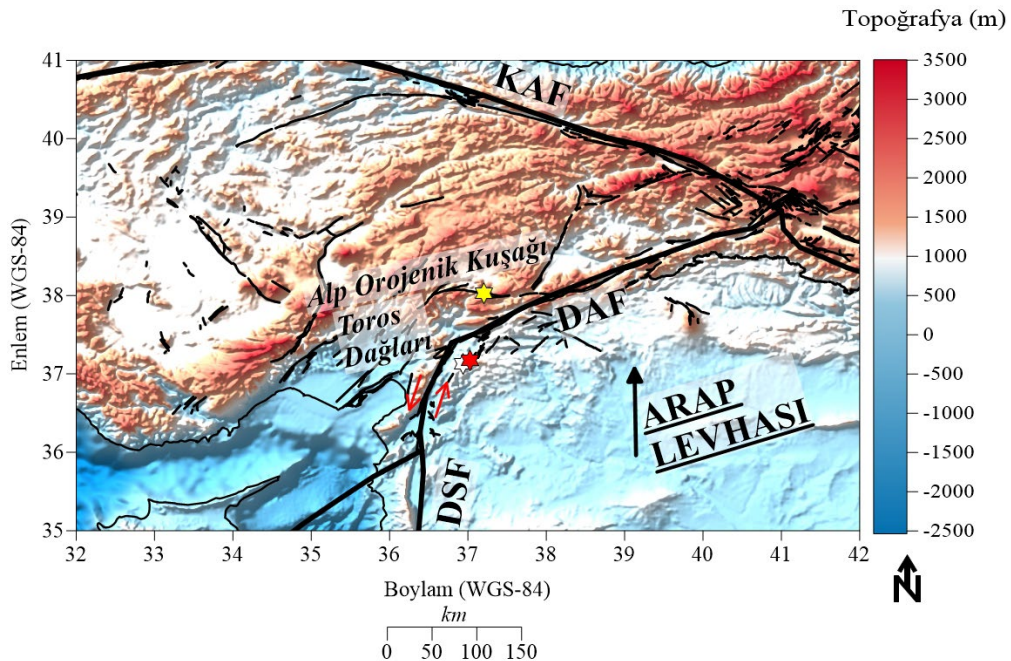
Doğu Anadolu Fayı, Doğu'da Karlıova baseni ile sınırlanmış iken Batı sınırı hakkında tartışmalar devam etmektedir. Doğu Anadolu Fayı'nın devamlılığı konusunda üç farklı görüş mevcuttur. İlk görüşe göre Doğu Anadolu Fayı Kıbrıs Yayı'na kadar devam etmektedir (McKenzie 1972). İkinci görüş Doğu Anadolu Fayı'nın Ölü Deniz Fayı ile Kahramanmaraş üçlü kesişim noktasında birleştiğini savunmaktadır (Jackson ve McKenzie 1984). Son görüşe göre

Doğu Anadolu Fayı ile Ölü Deniz Fayı Hatay-Adana-Kilikya Baseni'nde kesişmektedir (Arpat ve Şaroğlu 1972).

Ölüdeniz Fayı, Kızıl Deniz'in Kuzey'inden Toros Dağları'na kadar yaklaşık 1000 km uzunluğunda bir alana uzanmaktadır. Bölge, Geç Proterozoic Pan Afrika orojenisi ile şekillenmiştir. Daha sonra, Kambriyen ile Erken Senozoyik dönemde sığ denizel ve karasal kökenli sedimanlar depolanmıştır. Kambriyen ile Erken Senozoyik dönem Akdeniz'in kıtasal kenarının şekillenmesi, Erken Kratase intra-vulkanik süreç ve sıkışma rejimini işaret eden faylanma (Geç Kratase'den Erken Miyosen'e kadar) gibi ana tektonik olayları içermektedir (Ben-Avraham ve diğ. 2008).

Günümüzde Ölü Deniz Fayı civarındaki bölgeler jeolojik olarak birbirlerine göre çok belirgin farklılıklar göstermektedir. Bunun nedeni orijinal pozisyonu farklı olan alanların Ölü Deniz Transform Fayı etrafında bir araya gelmesi ile açıklanabilir. Quennell (1958), yaptığı çalışmada yaklaşık 105 km'lik bir sol-yanal atım mesafesi hesaplamıştır. Bu bulgu, bölgede farklı jeolojik özelliğe sahip alanların nasıl bir araya geldiğine dair bir açıklama sunabilmektedir. Daha sonra Levha kinematiklerinin incelenmesi sonucunda Ölü Deniz Transformu'na paralel yatay hareket yaklaşık 100 km olarak hesaplanmıştır (Le Pichon ve Gaulier 1988). Bu çalışmalar sonucunda son 5 milyon yıl için ortalama kayma miktarı 5-7 mm/yıl olarak hesaplanmıştır. Ölü Deniz Fayı sismik olarak aktiftir ve fay üzerinde birçok yıkıcı deprem meydana gelmiştir (Salamon ve diğ. 1996).

Ölü Deniz Fayı rejyonel ölçekli magmatik aktivite ve yükselme ile beraber gelişmiştir. Yükselme, transform fayının her iki tarafı için 10-20 km uzaklığa kadar etkin olmuştur. Bölgede topoğrafya oldukça değişkendir ve sıklıkla deniz seviyesinden itibaren 0.7-1.5 km civarındadır. Magmatik aktivite ise transform fayının Doğu'sunda meydana gelmiş olup ağırlıklı olarak rejyonel ölçekli bazaltik volkanizma şeklinde tanımlanmıştır (Giannerini ve diğ. 1988).



Şekil 1: Basitleştirilmiş tektonik ve diri fay haritası (Yıldızların lokasyonu $M_w=7.8$ (Kırmızı), $M_w=7.5$ (Sarı) ve $M_w=6.7$ (Beyaz)'lik depremlerin episantrlarını göstermektedir. DAF: Doğu Anadolu Fayı, DSF: Ölü Deniz Fayı, KAF: Kuzey Anadolu Fayı)

Figure 1: Simplified tectonic and active fault map (Location of the stars indicate the epicentre of the earthquakes whose magnitude is $M_w=7.8$ (Red), $M_w=7.5$ (Yellow) and $M_w=6.7$ (White). DAF: East Anatolian Fault, DSF: Dead Sea Fault, KAF: North Anatolian Fault.)

Ölü Deniz Fayı'nın doğrultusu boyunca önemli yapısal farklılıklar bulunmaktadır. Yapısal olarak Ölü Deniz Fayı Kuzey ve Güney segment olarak ikiye ayrılabilir (yaklaşık 33.16° K Enlemi). Güney segmenti, altlarında derin basenlerin olduğu süreklilik gösteren vadilerden oluşmaktadır (Garfunkel 1981). Kuzey segmenti ise yapısal olarak Güney'den oldukça farklıdır. Kuzey segmenti K-G uzanımlı değişken karakterli faylar içermektedir. Kuzey segmentinin iki tarafı da transform fayın gelişimi sırasında önemli ölçüde deforme olmuştur (Ben-Avraham ve diğ. 2008).

Şekil 1'de bölgenin genel tektonik yapısı ve diri fayları gösterilmiştir. 6 Şubat 2023'te meydana gelen 3 depremin lokasyonu ($M_w=7.8$, $M_w=7.5$ ve $M_w=6.7$ olan depremler) da harita üzerine işlenmiştir. Diri fay haritası için Emre ve diğ. (2013) kullanılmıştır. Tektonik ana hatlar ise Ben-Avraham ve diğ. (2008)'den kullanılmıştır.

3. VERİ

Swarm uydu görevi 22 Kasım 2013 tarihinde Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından başlatılmıştır. Görevin ana amacı Dünya'nın manyetik alanına ait dinamikleri ve ona etki eden faktörleri araştırmak olarak belirlenmiştir (Friis-Christensen ve diğ. 2008). İkincil amacı ise zamana bağlı gravite ölçümlerinin yapılması ve GRACE ile GRACE-FO uydularının arasındaki veri boşluğunun tamamlanmasıdır (Dahle ve diğ. 2020). Swarm uydu görevi içerisinde üç adet birbirinin aynısı uydu bulunmaktadır. Bu uydular Swarm A, B ve C olarak isimlendirilmektedir. Swarm A ve C uyduları yaklaşık 470 km yükseklikten 87.4° inklinasyon açısı ile veri toplar iken Swarm B uydusu 87.8° inklinasyon açısı ile 520 km yükseklikten veri toplamaktadır. Swarm A ve C uyduları arasındaki yatay uzaklık 50-200 km arasında değişmektedir. Swarm B uydusu Swarm A ve C uydularına göre farklı bir uydu periyoduna sahiptir. Ayrıca, Swarm B uydusunda Swarm A ve C uydularına göre yaklaşık 25°/yıl yörünge kayması gözlenmektedir (Sieg ve Diekmann 2016).

Swarm uyduları araştırma görevini gerçekleştirebilmek için birçok bilimsel ekipman ile donatılmıştır. Bunlar; skaler ve vektörel manyetometre, elektrik alan ekipmanı, ivme ölçer ve yıldız kameraları olarak özetlenebilir. Swarm uyduları konumlarının ve yörüngelerinin doğru saptanabilmesi için RUAG çift frekanslı, yüksek doğruluklu ve 8 kanallı GPS alıcılarına sahiptir. Bu GPS alıcıları sayesinde hem spesifik bir Swarm uydusunun yörüngesi belirlenebilir hem de uydu çiftinin yörüngeleri belirlenebilmektedir. Swarm uyduları fırlatıldıktan sonra GPS alıcılarının performansını arttırmak için bazı modifikasyonlar da yapılmıştır (Jin ve diğ. 2022).

Çalışma kapsamında Swarm uydularına ait veriler 06 Ağustos 2022 ile 09 Şubat 2023 arasında 15.80° ve 58.33° K enlemleri ile 5.22° ile 63.48° D boylamları için <https://vires.services/> sitesinden indirilmiştir. İndirilen veriler arasında Swarm A, B ve C uydularına ait vektörel (X, Y ve Z) ve toplam alan (F) manyetik ölçümleri, bu ölçümlere ait belirsizlik miktarları, uydu yörünge numaraları, uydu potansiyeli (V_s) ve seçilen alan için IGRF-13 (International Geomagnetic Reference Field 13) modeli bulunmaktadır.

İndirilen veri, dış kaynaklı manyetik alan etkisinden arındırılması için Dst ve Kp endeksleri ile filtrelenmiştir. F10.7 endeksi sessiz jeomanyetik zamana ait verileri de filtrelediği için bu çalışmada kullanılmamıştır. Basit olarak Dst verisi uzayın jeomanyetik fırtınalar açısından hava durumunu ölçen bir parametredir ve birimi nanoTesla ("nT") dır. Kp verisi ise jeomanyetik alanın yatay bileşenindeki bozulmaları gösterir ve 0-9 arasında değişir. Kp endeksi 1 değerini alıyor ise jeomanyetik açıdan sessiz, 5 değerinin üzerine çıkar ise jeomanyetik fırtınayı işaret etmektedir. Kp endeksi birimsizdir. F10.7 verisi, koronal plasmanın manyetik alan içerisinde kapanmasından kaynaklı oluşan 10.7 cm dalga boyu güneş kaynaklı emisyonları göstermektedir. Güneş Akı Birimi SFU ile gösterilir ve $1 \text{ SFU} = 10^{-22} \text{ W m}^{-2} \text{ Hz}^{-1}$ olarak verilir.

Uydu potansiyeli (V_s) verilerinin kullanılmasının sebebi, uzay aracının yükü yere iletmek için bağımsız bir yöntemi olmadığından, ortamdaki plazma ve yüzey emisyonu ile etkileşimler

nedeniyle doğal olarak yük biriktirir. Bu yük, uzay aracını çevreleyen bir plazma kılıfı şeklini alan bir elektrik alanı üretir. Bu kılıftan geçen yüklü parçacıklar hem enerji hem de yön olarak değişime uğrar ve böylece ölçülen bilimsel parametreleri etkiler (Barrie ve diğ. 2019).

4. YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında kullanılan yöntem şeması, “*Spline Analizi ile Swarm Manyetik Anomali Belirleme (MASS)*” temel alınarak yapılmıştır. MASS yöntemi, De Santis ve diğ. (2019) tarafından önerilmiştir. MASS yöntemi için zamana bağlı manyetik veriler kullanıldığı için ana depremden 6 ay öncesi ve 1 ay sonrasını kapsayacak veriler kullanılmalıdır. Bu çalışma ilksel sonuçlara odaklandığı için depremden 1 ay sonrasını içeren veriseti bulunmamaktadır. 06 Ağustos 2022 ile 09 Şubat 2023 arasındaki veri seti ile çalışılmıştır. Yöntem şeması 6 aşamaya bölünebilir:

İlk aşamada sismik aktivitenin kapsadığı alan ile manyetik anomali arasında bir ilişki kurmak için Dobrovolsky ve diğ. (1979)'un önerdiği Dobrovolsky Dairesi hesaplanır. Dobrovolsky Dairesi Eşitlik 1 ile hesaplanabilir:

$$R_{DB} = 10^{0.43M} \quad (1)$$

Bu formülünde R_{DB} Dobrovolsky Dairesinin yarı-çapını gösterir iken M depremin büyüklüğünü göstermektedir. Dobrovolsky Dairesi büyüklüğü $M_w=7.8$ olan deprem için 2259.44 km olarak hesaplanmıştır ve Dobrovolsky Dairesi içinde 1250 adet uydu yörüngesi bulunmaktadır. Büyüklüğü $M_w=7.5$ ve $M_w=6.7$ olan depremler için ayrı Dobrovolsky Dairesi hesaplanmamıştır. Bunun nedeni $M_w=7.8$ olan depreme ait Dobrovolsky Dairesi diğer depremlere etki alanlarını da kapsamaktadır.

İkinci aşamada, ilgili tarih aralığı ve ilgili çalışma alanı için manyetik veriler, jeomanyetik endeksler ile filtrelenerek <https://vires.services/> sitesinden indirilir. Bu çalışma kapsamında K_p , Dst ve F10.7 jeomanyetik endeksleri kullanılmıştır. Filtreleme aşamasında Dst endeksi için $-10 \text{ nT} \leq \text{Dst} \leq 10 \text{ nT}$, K_p endeksi için $K_p < 5$ ve F10.7 endeksi için $F10.7 \leq 110 \text{ SFU}$ seçilmiştir. Ancak Fitzmaurice ve diğ. (2017)'nin yaptığı çalışmada F10.7 endeksinin sessiz jeomanyetik zamanlarda dahi 110 SFU üzerinde olduğu gözlemlendiği için veri kaybını önlemek amacıyla F10.7 endeksine ait filtre bu çalışmada dikkate alınmamıştır.

İndirilen manyetik veriler ile birlikte Swarm uydularının konumları (enlem, boylam ve yükseklik bilgileri), yörünge bilgileri (yörünge numarası ve yönü) ve jeomanyetik alan modelleri (bu çalışma için IGRF-13) de indirilir. Daha sonra yer manyetik alanın etkisi, ilgili yüksekliğe ait IGRF-13 modelini kullanarak ölçülen manyetik veriden elimine edilir.

Üçüncü aşamada toplam manyetik alan bileşeni (F) eksik ise vektörel bileşenler (X, Y ve Z) kullanılarak 2 no'lu Eşitlik ile hesaplanır. Daha sonra, coğrafi enlem ve boylam, jeomanyetik enlem ve boylama dönüştürülür.

$$\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} \quad (2)$$

Dördüncü aşamada manyetik alanın X, Y, Z ve F bileşenlerinin zamana bağlı 1'inci türevi alınır ve dX, dY, dZ ve dF elde edilir. Daha sonra dX, dY, dZ ve dF içerisindeki uzun dalga boylu bileşenlerin filtrelenmesi gerekmektedir. Bu işlem için spline interpolasyon yöntemi kullanılır. dX, dY, dZ ve dF bileşenleri daha geniş bir örnekleme aralığı ile yeniden interpolate edilir ve i_dX , i_dY , i_dZ ve i_dF elde edilir. Daha sonra $dX-i_dX$, $dY-i_dY$, $dZ-i_dZ$ ve $dF-i_dF$ işlemleri yapılarak dt_dX , dt_dY , dt_dZ ve dt_dF elde edilir. Elde edilen veriler uzun dalga boylu bileşenlerinden ve dış kaynaklı manyetik alandan arındırılmış rezidüel değişimleri gösteren manyetik alan bileşenleridir.

Beşinci aşamada filtrelenen manyetik alan bileşenleri (dt_dX, dt_dY, dt_dZ ve dt_dF), 1250 adet uydu yörüngesi arasından deprem tarihine yakın (06 Şubat 2023) rastgele birkaç yörüngenin seçilmesi ile analiz edilir. Bu aşamaya “*tekli uydu yörünge analizi*” ismi verilmektedir. Bu analiz, seçilen yörüngelerdeki filtrelenenmiş manyetik alan bileşenlerinin, coğrafi veya jeomanyetik enleme karşı çizdirilmesi olarak tanımlanabilir. Tekli uydu yörünge analizi uygulanan filtrelerin veriye olan etkisini incelemek ve veride olağan dışı bir durumun olup olmadığını teyit etmek için yapılan bir çalışmadır. Seçilen yörüngelerde anomali olup olmadığı sübjektif olarak kontrol edilir.

Son aşamada 1250 adet yörüngedeki dt_dX, dt_dY, dt_dZ ve dt_dF bileşenlerindeki manyetik anomaliler kayan RMS penceresi ile nicel olarak tespit edilir. Bu işlemin yapılabilmesi için RMS penceresinin boyutu ve manyetik anomali tanımlama katsayısı (k_t) belirlenmelidir. Bu çalışma için RMS penceresinin boyu 9 ve k_t parametresi (minimum 1 ve maksimum 3) 3 olarak belirlenmiştir. Kayan RMS penceresi ile manyetik anomali tayini için öncelikle herhangi bir manyetik alan bileşenine ait tek bir yörünge üzerindeki bütün verinin RMS'i ($DATA_{RMS}$) ile yörünge içerisinde seçilen pencere içerisindeki verinin RMS'i ($PENCERE_{RMS}$) karşılaştırılır. Eğer $PENCERE_{RMS} > DATA_{RMS} * k_t$ ise bu bir anomali olarak nitelendirilir. Yöntemin uygulaması 3 no'lu Eşitlik'te formülize edilmiştir:

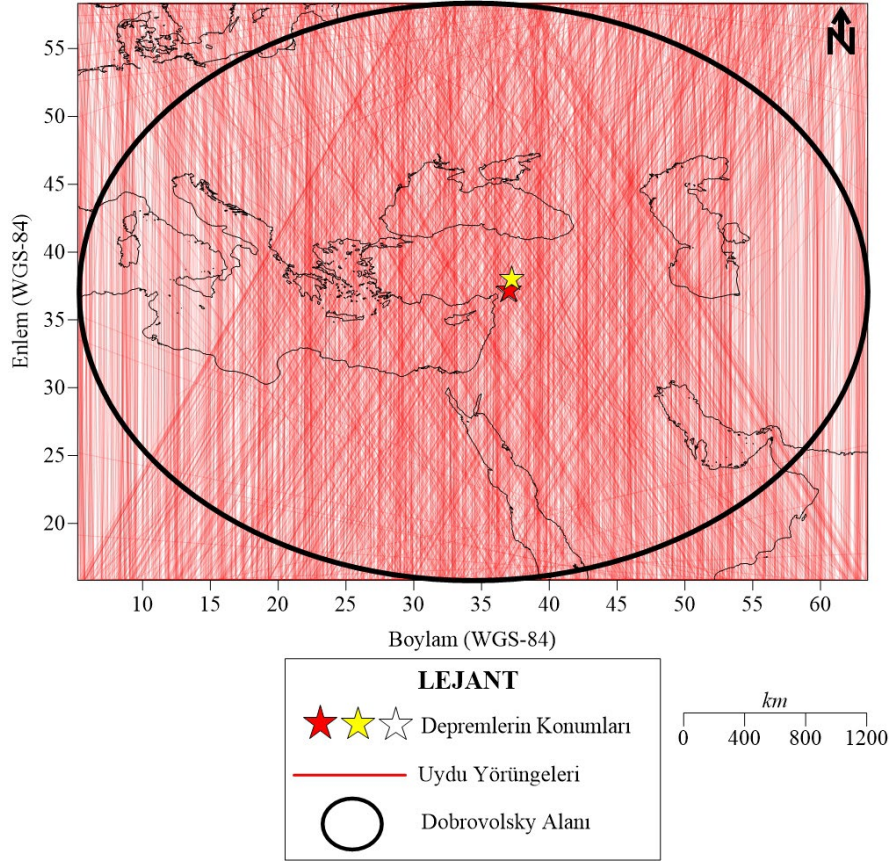
Yörünge boyunca bir manyetik alan bileşenine (dt_dX veya dt_dY veya dt_dZ veya dt_dF) ait pencerenin kapsadığı her x veri seti için;

$$Manyetik\ Anomali\ Sayısı = \begin{cases} 1, & PENCERE_{RMS} > DATA_{RMS} * k_t \\ 0, & PENCERE_{RMS} \leq DATA_{RMS} * k_t \end{cases} \quad (3)$$

Bu formül tek bir yörünge üzerindeki manyetik alan bileşenine uygulandıktan sonra o yörüngeye ait manyetik anomali sayısı kayıt edilir. Daha sonra aynı manyetik alan bileşenine ait kalan 1249 yörünge için de (3) no'lu Eşitlik uygulanır ve kalan 1249 yörünge için de her bir yörüngeye ait manyetik anomali sayısı kayıt edilir. Seçilen manyetik alan bileşeninin 1250 adet yörüngeye ait manyetik anomali sayısı kümülatif olarak çizdirilir. Ortaya çıkan grafik kümülatif olarak çizdirildiği için artan bir trende sahip olacaktır. Buna “kümülatif manyetik anomali sayısı grafiği” denmektedir. Daha sonra diğer manyetik alan bileşenleri için de aynı işlemler yapılır. Bu işlemlerin sonucunda 4 adet (dt_dX, dt_dY, dt_dZ ve dt_dF için) kümülatif manyetik anomali sayısı grafiği elde edilecektir.

5. BULGULAR ve TARTIŞMA

Çalışma alanı içerisinde kalan uydu yörüngelerinin tespit edilebilmesi için 2259.44 km'lik yarıçapa sahip Dobrovolsky Dairesi çizdirilmiştir. Bu alan içerisinde kalan uydu yörüngeleri (1250 adet) “*tekli uydu yörünge analizi*” aşamasında ve “*kümülatif manyetik anomali sayısı grafiği*” aşamasında kullanılmıştır. Şekil 2'de Dobrovolsky Dairesi ve içerisinde kalan uydu yörüngeleri gösterilmiştir.



Şekil 2: Dobrovolsky Alanı ($r=2259.44$ km) ve içerisinde kalan uydu yörüngeleri (1250 adet)
 Figure 2: Dobrovolsky Area ($r=2259.44$ km) and satellite trajectories (1250 units) within Dobrovolsky Area

5.1) Tekli Yörünge Analizi Bulguları

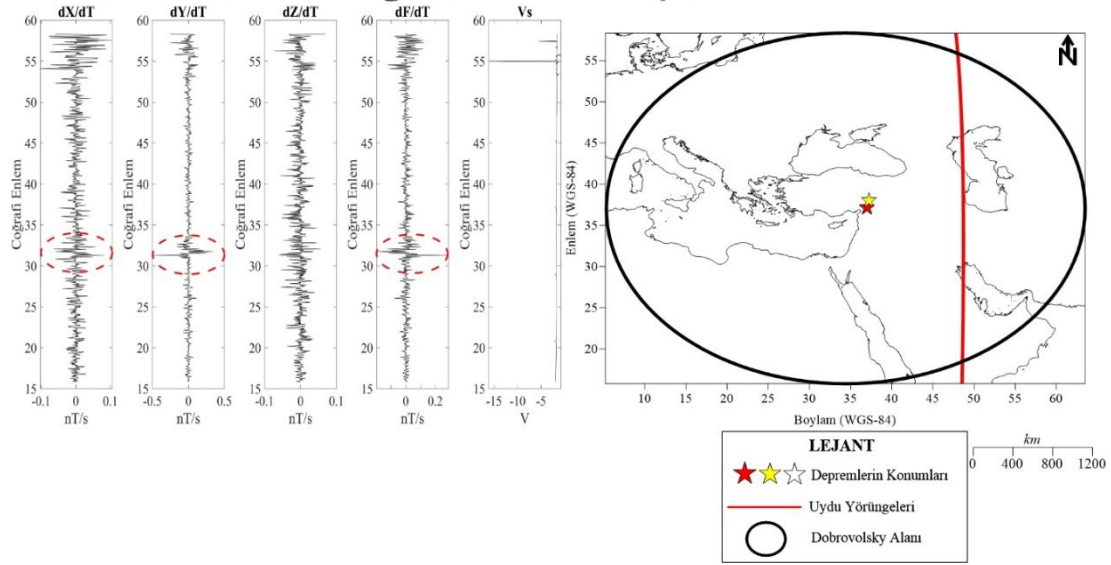
Dobrovolsky Dairesi içerisinde kalan 1250 adet yörüngeden, deprem tarihine (06 Şubat 2023 civarı) yakın yörüngelerden 6 tanesi tekli yörünge analizi aşamasında kullanılmıştır. Daha önce de bahsedildiği üzere tekli yörünge analizi sonuçları nihai sonucu göstermemektedir. Yalnızca uygulanan filtrelerin veriye olan etkisini incelemek için uygulanan bir sağlama yöntemidir. Tekli yörünge analizi için her bir Swarm uydusundan (Swarm A, Swarm B ve Swarm C) ikişer adet rastgele yörünge seçilmiş ve seçilen yörüngelerdeki anomaliler subjektif olarak yorumlanmıştır. Tekli analiz sonuçlarını yorumlama aşamasında, manyetik alanın F bileşeninde gözlenen trendden sapmalar X, Y ve Z bileşenlerinin bileşkelerini içereceği için bağımsız bir değişken olarak değerlendirilmemelidir.

Ayrıca De Santis ve diğ. (2019) ve Özsoz (2022) uzay aracı potansiyelinin ana şokun hazırlık aşamasında öncül bir anomali oluşturabileceğini göstermiştir. Bu nedenle bu çalışma kapsamında da "tekli uydu yörünge analizi" sonuçları uydu potansiyeli (Vs) ile birlikte sunulmuştur. Buna ek olarak uydu potansiyelinde meydana gelen anormal değişimler ile de uzay aracının etrafındaki plazma kılıfının ölçümleri nasıl etkilediği incelenebilecektir.

5.1.1.) Swarm A Uydusu 51737 ve 51746 Numaralı Yörüngeler İçin Elde Edilen Bulgular

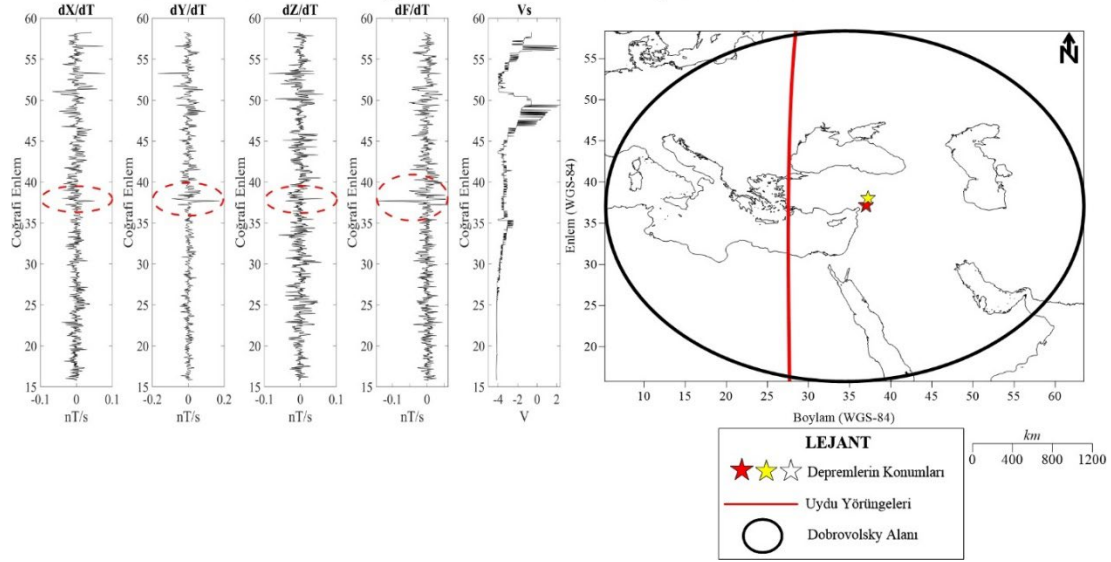
Şekil 3 ve 4'te Swarm A uydusuna ait 51737 ve 51746 numaralı yörüngelerin tekli yörünge analizi sonuçları gösterilmiştir.

Swarm A - Yörünge No: 51737 - 03 Şubat 2023



Şekil 3: Swarm A-51737 numaralı yörüngeye ait tekli yörünge analizi sonuçları
Figure 3: Single track analysis results for Swarm A-Orbit Number: 51737

Swarm A - Yörünge No: 51746 - 03 Şubat 2023



Şekil 4: Swarm A-51746 numaralı yörüngeye ait tekli yörünge analizi sonuçları
Figure 4: Single track analysis results for Swarm A-Orbit Number: 51746

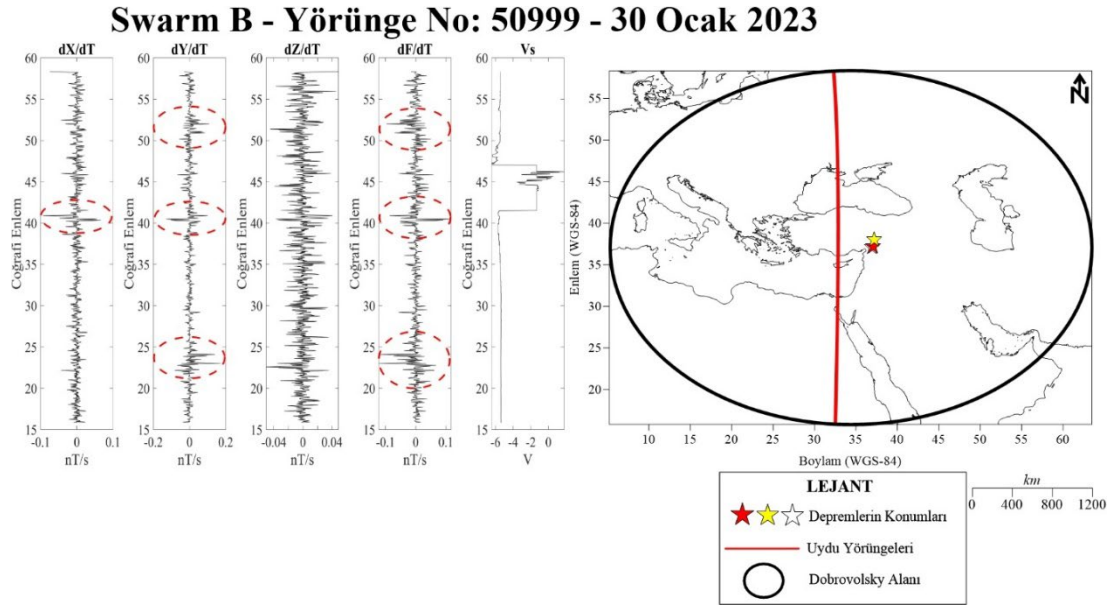
Şekil 3'te Swarm A-51737 numaralı yörünge 3 Şubat 2023 tarihinde $M_w=7.8$ olan depremin boylamsal lokasyonunun (37.032°) yaklaşık 10° doğusundan geçmektedir. Bu yörünge boyunca manyetik alanının X ve Y bileşenlerinin zamana göre türevlerinde $30^\circ-35^\circ$ enlemleri arasında ölçülen manyetik alan bileşeni trendlerinde önemli değişimler gözlenmiştir. Bu değişimler Dobrovolsky Alanı içerisinde yer almaktadır.

Şekil 4'te ise Swarm A-51746 numaralı yörünge 3 Şubat 2023 tarihinde $M_w=7.8$ olan depremin boylamsal lokasyonunun (37.1736°) yaklaşık 9.5° batısından geçmektedir. Bu yörüngede manyetik alanın bütün bileşenlerinin zamana göre türevlerinde bir sapma gözlenmiştir. Bu sapma $35^\circ-40^\circ$ enlemleri arasında gözlenmiştir. Ayrıca, manyetik alanda oluşan bu sapmalar,

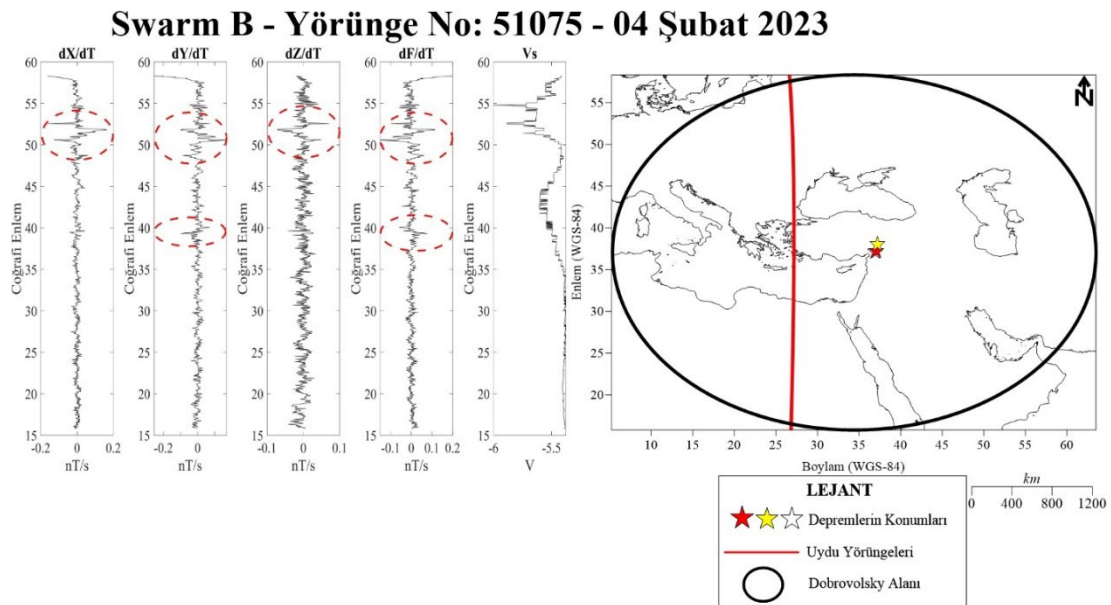
deprem lokasyonunun enlemine (37.174°) oldukça yakın bir noktadadır. Ancak tekli yörünge analizi ile nihai yorum yapmak bilimsel kriterlere uygun olmamaktadır. Bunun nedeni, yorumun subjektif olması ve tek bir bulgudan veya tek bir yörüngeden tümevarım yapılmasıdır. Nihai yorum Kümülatif manyetik anomali sayısı analizi aşamasında yapılacaktır.

5.1.2.) Swarm B Uydusu 50999 ve 51075 Numaralı Yörüngeler İçin Elde Edilen Bulgular

Şekil 5 ve 6'da Swarm B uydusuna ait 50999 ve 51075 numaralı yörüngelerin tekli yörünge analizi sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 5: Swarm B-50999 numaralı yörüngeye ait tekli yörünge analizi sonuçları
Figure 5: Single track analysis results for Swarm B-Orbit Number: 50999



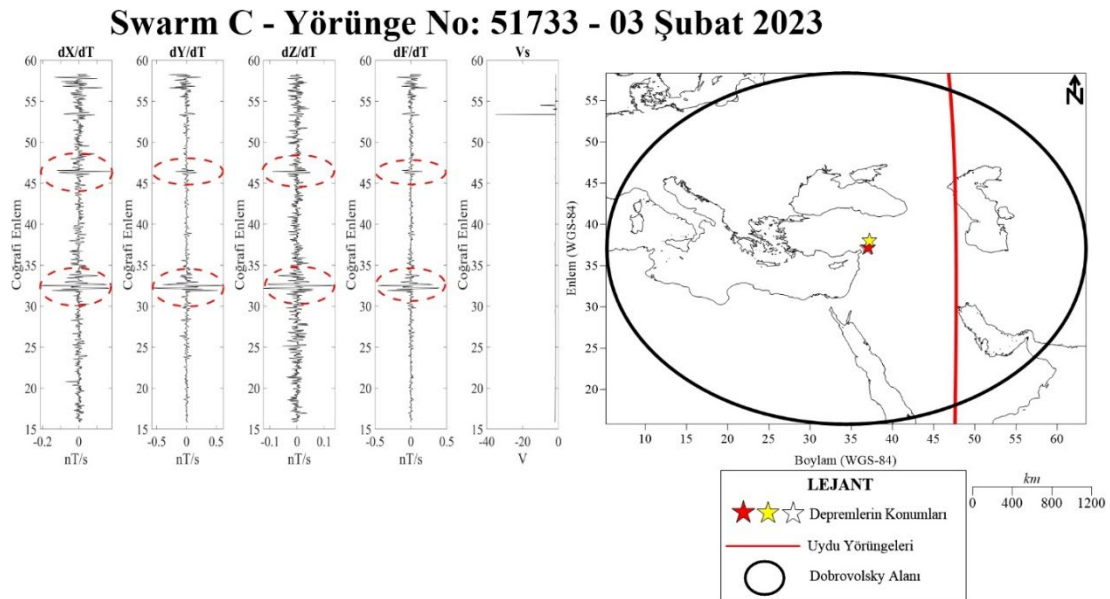
Şekil 6: Swarm B-51075 numaralı yörüngeye ait tekli yörünge analizi sonuçları
Figure 6: Single track analysis results for Swarm B-Orbit Number: 51075

Şekil 5'te Swarm B-50999 numaralı yörünge 30 Ocak 2023 tarihinde $M_w=7.8$ olan depremin boylamsal lokasyonunun (37.032°) yaklaşık 5° batısından geçmektedir. Bu yörünge boyunca manyetik alanının X bileşeninin zamana göre türevinde $38^\circ-41^\circ$ enlemleri arasında önemli sapmalar meydana gelirken, dY/dT bileşeninde 3 önemli sapma gözlenmiştir. Kuzey'den, Güney'e doğru, ilk sapma yaklaşık $50^\circ-55^\circ$ enlemleri arasında; ikinci sapma $38^\circ-41^\circ$ enlemleri arasında ve son sapma da $20^\circ-25^\circ$ enlemleri arasında gözlemlenmiştir. $50^\circ-55^\circ$ enlemleri arasında kalan sapmalar Dobrovolsky Alanı sınırlarına oldukça yakın olduğu için dikkatli yorumlanmalıdır. Ayrıca uydu potansiyeli (V_s), yaklaşık 45° enleminde kısa bir süreliğine $-5.5V$ 'dan $0 V$ 'a veya elektrostatik dengeye ulaşmıştır. dZ/dT bileşeni gürültülüdür ve içerisindeki anomali gösteren alanları gözle tespit etmek oldukça güçtür. Subjektif olarak değerlendirilirse, Swarm B-50999 numaralı yörünge depremden yaklaşık 1 hafta önce neredeyse bütün ölçülen parametrelerde depremin hazırlık aşamasına tepki vermiştir.

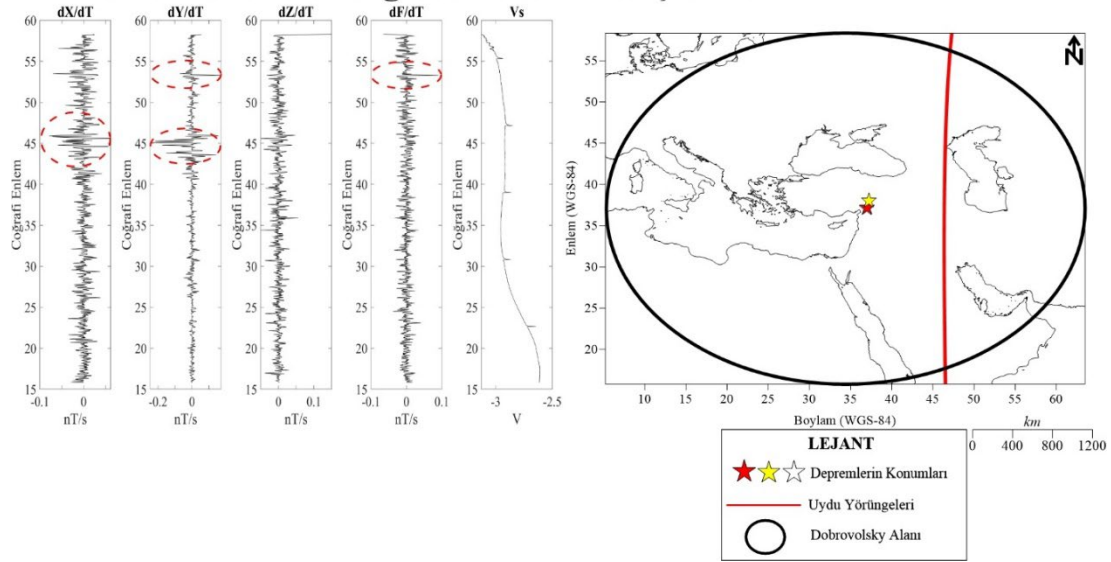
Şekil 6'da Swarm B-51075 numaralı yörünge 04 Şubat 2023 tarihinde $M_w=7.8$ olan depremin boylamsal lokasyonunun (37.032°) yaklaşık 11° batısından geçmektedir. Bu yörünge boyunca manyetik alanın bütün bileşenlerinin zamana göre türevlerinde $50^\circ-55^\circ$ enlemleri arasında sapmalar meydana gelmiştir. Bu alanda meydana gelen sapmalar Dobrovolsky Alanı'nın Kuzey sınırına çok yakındır ve ana şokun hazırlık aşamasına ait bir anomali olarak nitelendirilmeyebilir. dT/dY bileşeninde $36^\circ-40^\circ$ enlemleri arasında gözlenen sapma ise deprem lokasyonunun enlemine (37.174°) oldukça yakın bir noktadadır. Uydu potansiyelinde (V_s) ise 35° enleminden sonra maksimum $-0.5V$ sapmalar meydana gelmiştir. Bu sapma miktarları çok küçük olduğu için ana şokun hazırlık aşamasına ait bir ilişkisi olmadığı düşünülmektedir.

5.1.3.) Swarm C Uydusu 51733 ve 51787 Numaralı Yörüngeler İçin Elde Edilen Bulgular

Şekil 7 ve 8'de Swarm C uydusuna ait 51733 ve 51787 numaralı yörüngelerin tekli yörünge analizi sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 7: Swarm C-51733 numaralı yörüngeye ait tekli yörünge analizi sonuçları.
Figure 7: Single track analysis results for Swarm C-Orbit Number: 51733.

Swarm C - Yörünge No: 51787 - 06 Şubat 2023

Şekil 8: Swarm C-51787 numaralı yörüngeye ait tekli yörünge analizi sonuçları.
Figure 8: Single track analysis results for Swarm C-Orbit Number: 51787.

Şekil 7’de Swarm C-51733 numaralı yörünge 03 Şubat 2023 tarihinde $M_w=7.8$ olan depremin boylamsal lokasyonunun (37.032°) yaklaşık 11° doğusundan geçmektedir. Bu yörünge boyunca manyetik alanının tüm bileşenlerinin zamana göre 1’inci türevlerinde 45° - 50° enlemleri arasında ve 30° - 35° enlemleri arasında çok belirgin anomaliler gözlemlenmiştir. Uydu potansiyeli (Vs) 50° - 55° enlemleri arasında çok büyük bir sapma (yaklaşık $-38V$ kadar) gösterdiği için yorumlanabilir değildir.

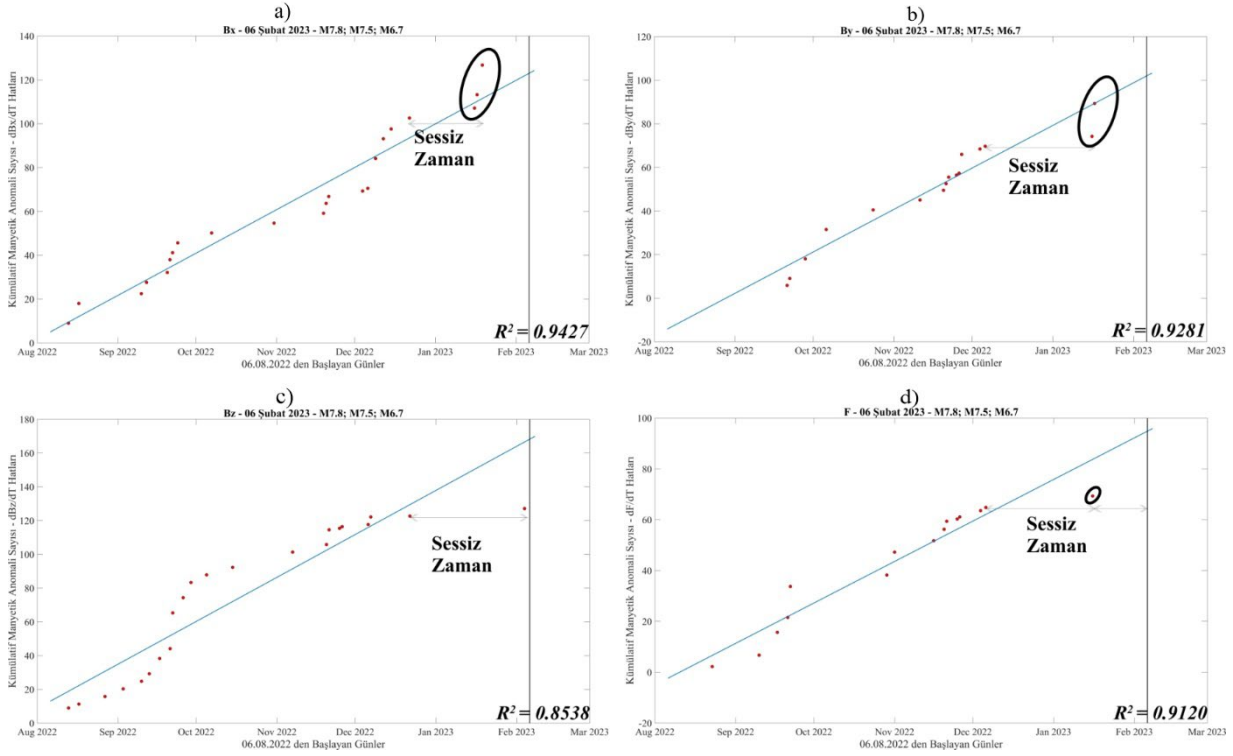
Şekil 8’de Swarm C-51787 numaralı yörünge deprem gününde (06 Şubat 2023) $M_w=7.8$ olan depremin boylamsal lokasyonunun (37.032°) yaklaşık 10° doğusundan geçmektedir. Bu yörünge boyunca en belirgin anomaliler dT/dY bileşeninde 50° - 55° enlemleri arasında ve 45° enlemi civarında gözlemlenmiştir. dX/dT bileşeni çok gürültülü olmasında karşın 45° civarında subjektif olarak yorumlanan bir anomali mevcuttur. Uydu potansiyeli (Vs) verisinde ise önemli bir sapma gözlemlenmemiştir.

5.1) Kümülatif Manyetik Anomali Sayısı Bulguları

Seçilen rastgele yörünge numaralarında yapılan tekli yörünge analizi sonuçları göstermektedir ki veriye uygulanan filtreleme işlemleri sonucu veride olağan dışı bir durum ile karşılaşılmamıştır. Seçilen yörüngelerde subjektif olarak anomali tayini yapılabilmektedir ve anomali gösteren bölgeler genellikle belirgin bir şekilde ayırt edilebilmektedir. Bu nedenle kümülatif manyetik anomali sayısı analizinde kullanılacak olan 1 ve 3 arasında değişen manyetik anomali tanımlama katsayısı (k_i) 3 olarak seçilmiştir. Bu seçimle beraber otomatik anomali tayini daha sıkı koşullar için yapılacaktır. Bir başka deyişle, yalnızca en belirgin sapmalar, anomali olarak nitelendirilecektir.

Kümülatif manyetik anomali sayısı grafikleri daha önce de bahsedildiği gibi manyetik alanın X, Y, Z ve F bileşenleri için tüm yörüngeler hesaba katılarak üretilmektedir. Kümülatif anomali sayısı ile yapılan birçok çalışmada manyetik alanının Y bileşeni depremin hazırlık aşamasına en çok cevap veren bileşen olarak öne çıkmaktadır ve depremin hazırlık aşaması ile deprem sonrası dönemde “S” şeklide bir trend izlemektedir (De Santis ve diğ. 2019, Marchetti ve diğ. 2020, Ozsoz ve Pamukcu 2021, Özsoz 2022). Ancak bu çalışmada ilksel sonuçlar irdelendiği ve deprem sonrası dönem verileri bulunmadığı için, sonuçlarda “S” şeklindeki trendin tamamlanması beklenmeyecektir.

Bütün manyetik alan bileşenlerine (X, Y, Z ve F) ait Dobrovolsky Alanı içerisinde kalan tüm yörüngelerin (1250 adet) analiz edilmesi sonucu elde edilen kümülatif anomali sayısı grafiği Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9: Kümülatif manyetik anomali sayısı grafikleri (Manyetik alanının a) X bileşeni, b) Y bileşeni, c) Z bileşeni ve d) F bileşeni. Düşey çizgi deprem gününü göstermektedir. Lineer model mavi çizgi ile gösterilmektedir.)

Figure 9: Cumulative number of anomalous tracks a) X component, b) Y component, c) Z component and d) F component of the magnetic field. Vertical line indicates day of the earthquake. Lineer model is shown by blue line.)

Şekil 9'da her bir manyetik alan bileşenine ait kümülatif anomali sayısı depremden 6 ay öncesi ve 3 gün sonrasını kapsayan bir periyod için gösterilmiştir. Zamana bağlı manyetik alan ölçümlerinde, eğer dış kaynaklı manyetik alan etkisi filtrelenir ise aynı noktadan farklı zamanlarda alınan manyetik verilerin normal koşullarda yaklaşık aynı miktarda sapmalar meydana getirmesi beklenmektedir. Bu aynı miktardaki sapmalar kümülatif olarak çizdirildiğinde ise doğrusal artan bir trende oturması beklenmektedir. Ancak Litosfer-Astenosfer ve İyonosfer etkileşimi nedeniyle, depremin hazırlık aşamasında aynı noktadan farklı zamanlarda alınan veride lineer modelden uzaklaşmaların gözlemlenmesi beklenmektedir.

Şekil 9a'da manyetik alanın X bileşenine ait kümülatif manyetik anomali sayısı grafiği neredeyse doğrusal olarak artış göstermektedir ($R^2=0.9427$). Depremden yaklaşık 45 gün önce başlayan (22 Aralık 2022) sessiz zamandan (anomali gözlenmeyen zaman) sonra 16 Ocak 2023'de doğrusal artıştan sapmalar meydana gelse bile bu tip bir değişim 17 Ağustos 2022 ile 24 Eylül 2022 tarihleri arasında da gözlemlenmiştir. Küçük sapmalar göz ardı edildiğinde manyetik alanın X bileşenine ait kümülatif manyetik anomali sayısı grafiğinde ana şokun hazırlık aşamasına dair bir öncül sinyal yorumlanamamıştır.

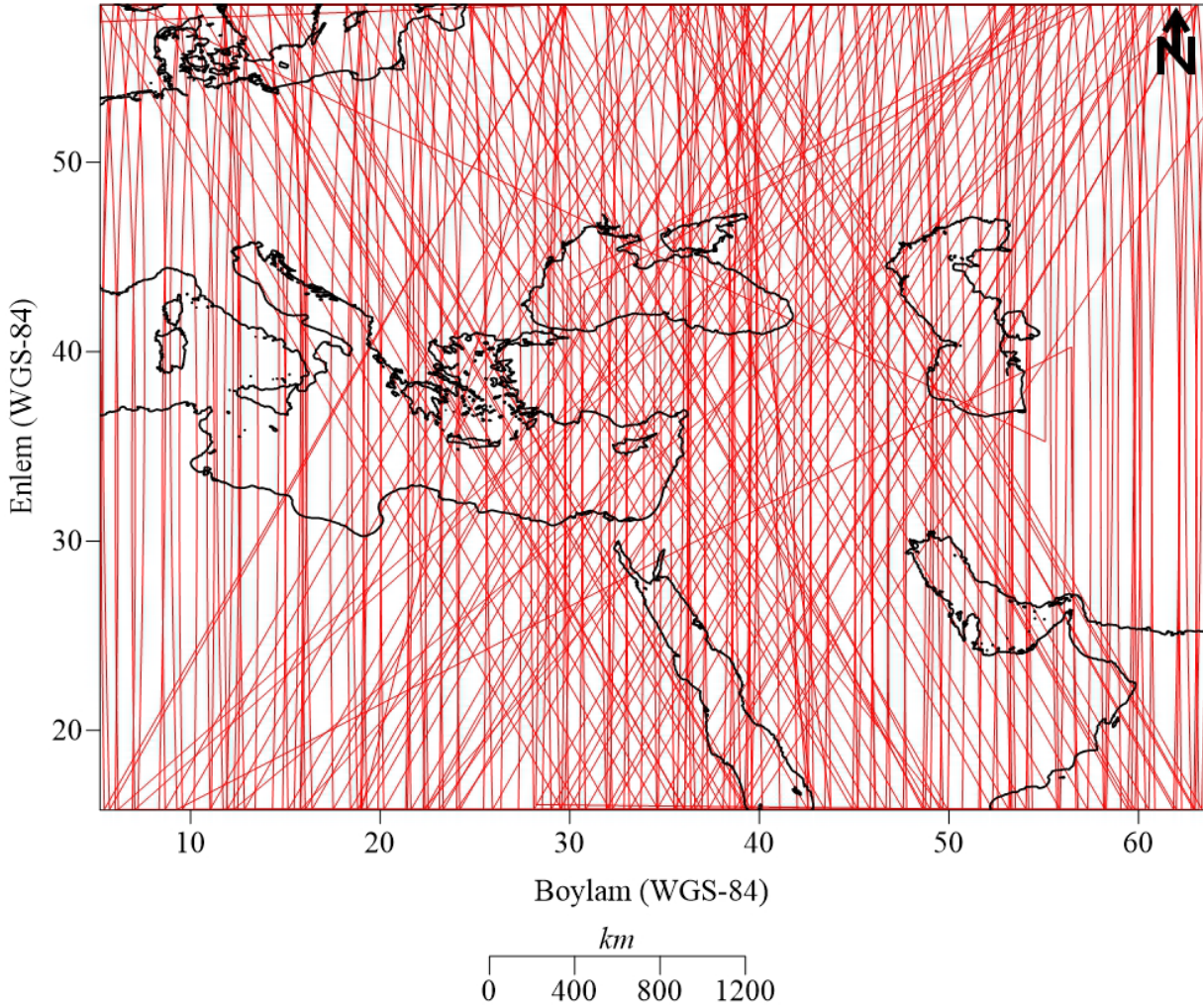
Şekil 9b'de manyetik alanın Y bileşenine ait kümülatif manyetik anomali sayısı grafiği Aralık ayı başına kadar çok az bir sapma ile doğrusal trendi takip etmektedir. Aralık ayı başından (06 Aralık 2022) Ocak ayı ortasına (16 Ocak 2023) kadar yaklaşık 40 gün süren anomali açısından "sessiz zaman" dan sonra oluşan ilk kümülatif anomali değişimi (16 Ocak 2023) lineer modelden oldukça farklı bir konumda oluşmaktadır. Daha sonra 17 Ocak 2023 tarihinde lineer modelin tam üzerinde bir anomali değişimi saptanmıştır. Bu bileşende deprem tarihine yakın meydana gelen bu değişimler depremden önceki 6 ay boyunca hiç oluşmamış ve kendini tekrarlamayan değişimlerdir. Depremden önceki 6 aylık periyotta 40 gün süren bir sessiz zaman süresi de bulunmamaktadır. Bu nedenle manyetik alanın Y bileşenine ait kümülatif manyetik anomali sayısı grafiğinde depremden hemen önce meydana gelen ve kendini tekrarlamayan bu değişimler ana şokun hazırlık aşamasına dair bir öncül sinyal olarak yorumlanabilir.

Şekil 9c'de manyetik alanın Z bileşenine ait kümülatif manyetik anomali sayısı grafiği doğrusal trendden en uzak dağılımı göstermektedir. Nitekim yapılan tekli yörünge analizlerinde ve daha önceki çalışmalarda da manyetik alanın Z bileşeninin gürültüye en duyarlı bileşen olduğu bilinmektedir. Ancak bu manyetik alan bileşeni depremin hazırlık aşamasına cevap verdiği durumlarda en belirgin sonucun gözlemlenebileceği bileşen olarak nitelendirilir. Bu çalışmada manyetik alanın Z bileşeninde sistematik olmayan, rastgele gürültü nedeniyle aynı yerde farklı zamanlarda ölçülen manyetik hatlarda anomali sayıları lineer modelden oldukça uzağa dağılmaktadır. Ancak 22 Aralık 2022 tarihinde başlayan ve 04 Şubat 2023 tarihine kadar süren 44 günlük anomali açısından sessiz zaman gözlemlenmiştir. 04 Şubat 2023'de meydana gelen kümülatif anomali sayısı değişimi lineer modeli takip etmemiştir. Ayrıca, manyetik alanın Z bileşenine ait kümülatif manyetik anomali sayısı grafiğine genel olarak bakıldığında öncül anomali tayini için önceki çalışmalarda da oluşan "S" şeklinde bir trendin olduğu da gözlenmektedir. Bu nedenle manyetik alanın Z bileşeninin ana şokun hazırlık aşamasına dair önemli sinyaller verdiği söylenebilir.

Şekil 9d'de manyetik alanın F bileşenine ait kümülatif manyetik anomali sayısı grafiği, X, Y ve Z bileşenlerinin bileşkesi olduğu için bu bileşendeki değişimler genel hatları irdelemek için kullanılabilir. Manyetik alanın F bileşenine ait kümülatif anomali sayısı grafiğinde sessiz zaman 06 Aralık 2022 tarihinde başlamış ve 16 Ocak 2023 tarihine kadar sürmüştür ve bu tarihten sonra da kümülatif anomali sayısı grafiği değişmemiştir. Buna benzer bir sessiz zaman süresi 22 Eylül 2022 ile 29 Ekim 2022 arasında gözlemlenmiş ancak 29 Ekim 2022'den hemen sonra 1 Kasım 2022'de kümülatif anomali sayısı grafiğinde değişim meydana gelmiştir. 06 Aralık 2022-16 Ocak 2023 arasındaki sessiz zaman ile 22 Eylül 2022-29 Ekim 2022 arasındaki sessiz zaman birbirlerine benzeseler bile 16 Ocak 2023'den hemen sonra kümülatif anomali sayısının değişmemesi 06 Aralık 2022-16 Ocak 2023 ve sonrasında tekrarlanmayan bir trend olduğunu göstermektedir. Bu nedenle manyetik alanın F bileşeninin de ana şokun hazırlık aşamasına ait öncül sinyaller verdiği söylenebilir.

Genel hatları ile sessiz zaman periyodlarına bakılır ise tüm manyetik alan bileşenlerinde 22 Aralık 2022-16 Ocak 2023 tarihleri arasında herhangi bir anomali değişimi bulunmamaktadır. Her bir bileşene ait kümülatif manyetik anomali sayısı grafiğinde bu periyodun sessiz zamana denk gelmesi Swarm uydularının veri toplama işlemini geçici bir arıza nedeniyle kestiği veya o tarihler arasında şiddetli bir manyetik fırtınanın olduğu ve bu periyodun veriden filtrelediği anlamına da gelebilmektedir. Böyle bir arıza veya manyetik fırtınanın olmadığını teyit edebilmek için veri işlem aşamasında kullanılan ve 22 Aralık 2022-16 Ocak 2023 tarihlerini kapsayan uydu yörüngelerinin var olup olmadığı araştırılmalıdır. Şekil 10'da 22 Aralık 2022-16 Ocak 2023 tarihlerini kapsayan periyod için uydu yörüngeleri verilmiştir.

22.12.2022-16.01.2023 Tarihleri Arasındaki Uydu Yörüngeleri



Şekil 10: 22 Aralık 2022-16 Ocak 2023 tarihleri arasındaki uydu yörüngeleri
 Figure 10: Satellite trajectories between 22th December 2022 and 16th January 2023

Şekil 10'da da görüldüğü üzere 22 Aralık 2022-16 Ocak 2023 tarihleri arasında Swarm uydularında herhangi bir arıza meydana gelmemiş veya bu tarihleri kapsayan uzun bir manyetik fırtına yaşanmamıştır. Bu nedenle 22 Aralık 2022-16 Ocak 2023 tarihlerini kapsayan sessiz zaman dönemleri herhangi bir arıza veya manyetik fırtına kaynaklı değildir. Litosfer-Astenosfer ve İyonosfer etkileşiminden kaynaklı kümülatif manyetik anomali sayısındaki değişimler ile ilişkilidir.

Uygulanan kümülatif anomali sayısı yönteminin en önemli limitasyonu ana şokun hazırlık aşamasına ait oluşan anomalinin zamanındaki belirsizliktir. Bu belirsizlik ana şokun 2 ay öncesinden başlayarak 2 hafta öncesine kadar uzanabilmektedir. Bu nedenle yöntemin doğası hala araştırılmakta ve bu belirsizlik minimuma indirgenmeye çalışılmaktadır. Bir diğer limitasyon ise yöntem yalnızca $M \geq 6.0$ depremlerde sonuçlar üretirken $M \geq 7.0$ depremlerde belirgin sonuçlar üretmektedir. Swarm uydularının 2013 yılında fırlatıldığı düşünülür ise uygulanan yöntemin geçerliliğini henüz ispat etmek için yeteri kadar gözlemin olmadığı ve yöntemin şu an geliştirme aşamasında olduğu söylenebilir.

6. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında 6 Şubat 2023'de meydana gelen 3 büyük depremin ($M_w=6.7$, $M_w=7.5$ ve $M_w=7.8$ olan depremler) etki ettiği bölgedeki Litosfer-Astenosfer ve İyonosfer etkileşimi incelenmiş ve ilksel sonuçlar sunulmuştur. Yapılan çalışmada 06 Ağustos 2022 ile 09 Şubat 2023 tarihleri arasında Dobrovolsky Alanı (2259.44 km yarıçaplı) içerisinde kalan dış kaynaklı etkileri filtrelenmiş manyetik alan verilerindeki (1250 yörünge) değişimler kullanılmış ve bu manyetik alan değişimleri tekli yörünge ve kümülatif manyetik anomali analizleri ile yorumlanmıştır. Tekli yörünge analizi kullanılan fitrelerin veriye olan etkisini subjektif olarak incelemek için yapılmıştır ve nihai yorum bu aşamada yapılmamıştır. Daha sonra kümülatif manyetik anomali analizleri tüm yörüngeleri hesaba katarak uygulanmış ve bulgular sunulmuştur.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Tekli yörünge analizi aşamasında rastgele seçilen Swarm A- 51737 ve 51746, Swarm B- 50999 ve 51075, Swarm C- 51733 ve 51787 yörüngelerinde filtreleme aşamasına ait herhangi bir problem gözlemlenmemiş ve yörünge boyunca oluşan anomaliler bütün manyetik alan bileşenlerinde gözlenmiştir.
- Kümülatif manyetik anomali sayısı bulgularında manyetik alanın X bileşeni 19 Ocak 2023, Y bileşeni 17 Ocak 2023, Z bileşeni 04 Şubat 2023 ve F bileşeni ise 16 Ocak 2023 tarihlerinde ana şok öncesi anomali vermiştir.
- Manyetik alanın X bileşenine ait kümülatif manyetik anomali sayısı grafiğinde depremin hazırlık aşamasına ait belirgin bir anomali değişimleri tespit edilememiştir.
- Manyetik alanın Y bileşenine ait kümülatif manyetik anomali sayısı grafiğinde 40 gün süren sessiz zamandan sonra kendini tekrarlamayan anomali değişimleri tespit edilmiştir. Depremin hazırlık aşamasına ait öncül bir sinyal olarak yorumlanmıştır.
- Manyetik alanın Z bileşenine ait kümülatif manyetik anomali sayısı grafiğinde daha önceki çalışmalarda da ortaya çıkan "S" şeklinde bir dağılım ortaya çıkmıştır ve ana şokun hazırlık aşamasına ait güçlü bir sinyal olarak yorumlanmıştır.
- Manyetik alanın F bileşenine ait kümülatif manyetik anomali sayısı grafiğinde 06 Aralık 2022-16 Ocak 2023 arasındaki sessiz zaman ve 16 Ocak 2023'de doğrusal modelden önemli bir sapma ile ortaya çıkan anomali değişimi kendini tekrarlamadığı için ana şokun hazırlık aşamasına ait bilgiler sunduğu düşünülmektedir.
- Uygulanan yöntemin en önemli handikapı depremin hazırlık aşamasını gösteren anomali değişiminin ortaya çıkacağı zamandaki belirsizliktir. Bu zaman ana şoktan 2 hafta veya 2 ay öncesine kadar uzanan zaman diliminde ortaya çıkabilmektedir. Bu belirsizlik bu konuda yapılan çalışmaların artması ve elde edilen bulguların artması ile minimuma indirilebilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yapılabilmesi için gerekli verileri sağlayan ESA'ya (Avrupa Uzay Ajansı) teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

Akhoondzadeh M., De Santis A., Marchetti D., Piscini A., Cianchini G., 2018. Multi precursors analysis associated with the powerful Ecuador (Mw= 7.8) earthquake of 16 April 2016 using Swarm satellites data in conjunction with other multi-platform satellite and ground data, *Advances in Space Research* 61(1), 248–263, <https://doi.org/10.1016/j.asr.2017.07.014>

Arpat E., Şaroğlu F., 1972. Doğu anadolu fayı ile ilgili bazı gözlemler ve düşünceler, *MTA Dergisi*, 78, 44–50.

Barrie A.C., Cipriani F., Escoubet C.P., Toledo-Redondo S., Nakamura R., Torkar K., Sternovsky Z., Elkington S., Gershman D., Giles B., Schiff C., 2019. Characterizing spacecraft potential effects on measured particle trajectories, *Physics of Plasmas*, 26(10), <https://doi.org/10.1063/1.5119344>

Ben-Avraham Z., Garfunkel Z., Lazar M., 2008. Geology and evolution of the Southern Dead Sea fault with emphasis on subsurface structure, *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 36, 357–387, <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.36.031207.124201>

Dahle C., Arnold D., Bezdek A., Doornbos E., Ellmer M., Guo J., Dahle C., Zhang Y., Jäggi A., Klokocník J., Krauss S., Mao X., Mayer-Gürr T., Meyer U., Sebera J., Shum C.K., Zhang C., 2020. Description of the multi-approach gravity field models from Swarm GPS data, *Earth System Science Data*, 12(2), 1385–1417, <https://doi.org/10.5194/essd-12-1385-2020>

De Santis A., Marchetti D., Spogli L., Cianchini G., Javier Pavón-Carrasco F., De Franceschi G., Di Giovambattista R., Perrone L., Qamili E., Cesaroni C., Santis Anna De Ippolito A., Piscini A., Campuzano S.A., Sabbagh D., Amoroso L., Carbone M., Santoro F., Abbattista C., Drimaco D., 2019. Magnetic field and electron density data analysis from Swarm Satellites searching for ionospheric effects by great earthquakes: 12 case studies from 2014 to 2016, *Atmosphere*, 10(7), <https://doi.org/10.3390/atmos10070371>

Dobrovolsky I.P., Zubkov S.I., Miachkin V.I., 1979. Estimation of the size of earthquake preparation zones, *Pure and Applied Geophysics*, 117(5), 1025–1044, <https://doi.org/10.1007/BF00876083>

Duman T.Y., Emre O., 2013. The east anatolian fault: Geometry, segmentation and jog characteristics, *Geological Society Special Publication*, 372(1), 495–529, <https://doi.org/10.1144/SP372.14>

Emre Ö., Duman T.Y., Özalp S., Elmacı H., Olgun Ş. ve Şaroğlu F., 2013. Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası. Ölçek 1:1.250.000, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi-30, Ankara-Türkiye. ISBN: 978-605-5310-56-1

Faccenna C., Bellier O., Martinod J., Piromallo C., Regard V., 2006. Slab detachment beneath eastern Anatolia: A possible cause for the formation of the North Anatolian fault, *Earth and Planetary Science Letters*, 242(1), 85–97, <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2005.11.046>

Fitzmaurice A., Kuznetsova M., Shim J.S. and Uritsky V., 2017. Impact of solar activity on the ionosphere/thermosphere during geomagnetic quiet time for CTIPe and TIE-GCM. arXiv. 1701.06525.

- Freund F., 2011. Pre-earthquake signals: Underlying physical processes, *Journal of Asian Earth Sciences*, 41(4), 383–400, <https://doi.org/10.1016/J.JSEAES.2010.03.009>
- Friis-Christensen E., Lühr H., Knudsen D., Haagmans R., 2008. Swarm - An Earth Observation Mission investigating Geospace, *Advances in Space Research*, 41(1), 210–216, <https://doi.org/10.1016/j.asr.2006.10.008>
- Garfunkel Z., 1981. Internal structure of the Dead Sea leaky transform (rift) in relation to plate kinematics, *Tectonophysics*, 80(1-4), 81–108, [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(81\)90143-8](https://doi.org/10.1016/0040-1951(81)90143-8)
- Giannerini G., Campredon R., Feraud G., Abou Zakhem B., 1988. Deformations intraplaques et volcanisme associe; exemple de la bordure NW de la plaque Arabique au Cenozoique, *Bulletin de la Société Géologique de France*, 4(6), 937–947, <https://doi.org/10.2113/gssgfbull.iv.6.937>
- Guvercin S.E., Karabulut H., Konca A.O., Dogan U., Ergintav S., 2022. Active seismotectonics of the East Anatolian Fault, *Geophysical Journal International*, 230(1), 50–69, <https://doi.org/10.1093/gji/ggac045>
- Jackson J., McKenzie D., 1984. Active tectonics of the Alpine–Himalayan Belt between western Turkey and Pakistan, *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 77(1), 185–264, <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1984.tb01931.x>
- Jin B., Chen S., Li M., Dong Q., Zhao L., 2022. Precise orbit determination and baseline consistency assessment for Swarm constellation, *Advances in Space Research*, 71(6), 2938–2953, <https://doi.org/10.1016/j.asr.2022.11.045>
- Kocyigit A., Yilmaz A., Adamia S., Kuloshvili S., 2001. Neotectonics of east anatolian plateau (turkey) and lesser caucasus: Implication for transition from thrusting to strike-slip faulting, *Geodinamica Acta*, 14(1-3), 177–195, <https://doi.org/10.1080/09853111.2001.11432443>
- Le Pichon X., Gaulier J.M., 1988. The rotation of Arabia and the Levant fault system, *Tectonophysics*, 153(1-4), 271–294, [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(88\)90020-0](https://doi.org/10.1016/0040-1951(88)90020-0)
- Mahmouda Y., Masson F., Meghraoui M., Cakir Z., Alchalbi A., Yavasoglu H., Yonlu O., Daoud M., Ergintav S., Inan S., 2013. Kinematic study at the junction of the east anatolian fault and the dead sea fault from GPS measurements, *Journal of Geodynamics*, 67, 30–39, <https://doi.org/10.1016/j.jog.2012.05.006>
- Marchetti D., De Santis A., D’Arcangelo S., Poggio F., Jin S., Piscini A., Campuzano S.A., 2020. Magnetic Field and Electron Density Anomalies from Swarm Satellites Preceding the Major Earthquakes of the 2016–2017 Amatrice-Norcia (Central Italy) Seismic Sequence, *Pure and Applied Geophysics*, 177(1), 305–319, <https://doi.org/10.1007/s00024-019-02138-y>
- McKenzie D., 1972. Active Tectonics of the Mediterranean Region, *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 30(2), 109–185, <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1972.tb02351.x>
- Ozsoz I., Pamukcu O.A., 2021. Detection and interpretation of precursory magnetic signals preceding october 30, 2020 Samos earthquake, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 30(S1), 748–757, <https://doi.org/10.3906/YER-2107-9>

Özsöz İ., 2022. Detection of Precursory Anomalies of 24 January 2020 Elazığ-Sivrice Earthquake Mw=6.7, 74. Geological Congress of Turkey, 11-15 April 2022, Ankara-TURKEY, Erişim adresi: <http://tjk.jmo.org.tr/index.php?kod=149>

Pulinets S.A., Legen'ka A.D., Alekseev V.A., 1994. Pre-Earthquake Ionospheric Effects and their Possible Mechanisms, (In: Dusty and Dirty Plasmas, Noise, and Chaos in Space and in the Laboratory), *Springer US*, 545–557, https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1829-7_46

Pulinets S.A., Ouzounov D.P., Karelin A.V., Davidenko D.V., 2015. Physical bases of the generation of short-term earthquake precursors: A complex model of ionization-induced geophysical processes in the lithosphere-atmosphere-ionosphere-magnetosphere system, *Geomagnetism and Aeronomy*, 55(4), 521–538, <https://doi.org/10.1134/S0016793215040131>

Quennell A.M., 1958. The structural and geomorphic evolution of the dead sea rift, *Quarterly Journal of the Geological Society of London*, 114(1-4), 1–24, <https://doi.org/10.1144/gsjgs.114.1.0001>

Salamon A., Hofstetter A., Garfunkel Z., Ron H., 1996. Seismicity of the eastern Mediterranean region: Perspective from the Sinai subplate, *Tectonophysics*, 263(1-4), 293–305, [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(96\)00030-3](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(96)00030-3)

Sengor A.M.C., Gorur N., Saroglu F., 1985. Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study, *Strike-slip deformation, basin formation, and sedimentation*, 227–264, <https://doi.org/10.2110/pec.85.37.0227>

Sengor A.M.C., Yilmaz Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach, *Tectonophysics*, 75(3-4), 181–241, [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(81\)90275-4](https://doi.org/10.1016/0040-1951(81)90275-4)

Sieg D., Diekmann F., 2016. Options for the further orbit evolution of the Swarm mission, European Space Agency (Special Publication), SP-740, 278.

Sorokin V.M., Chmyrev V.M., Yaschenko A.K., 2001. Electrodynamic model of the lower atmosphere and the ionosphere coupling, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 63(16), 1681–1691, [https://doi.org/10.1016/s1364-6826\(01\)00047-5](https://doi.org/10.1016/s1364-6826(01)00047-5)

U.S.G.S., 2023a. M7.8-Central Turkey, accessed February 08, 2023. U.S. Geological Survey Earthquake Hazard Program.

Erişim adresi: URL <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us6000jllz/executive>

U.S.G.S., 2023b. M7.5-4 km SSE of Ekinözü, Turkey, accessed February 08, 2023, U.S. Geological Survey Earthquake Hazards Program,

Erişim adresi: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us6000jlqa/executive>

Westaway R., Arger J., 2001. Kinematics of the malatya–ovacik fault zone, *Geodinamica Acta*, 14(1-3), 103–131, <https://doi.org/10.1080/09853111.2001.11432438>

ARAŞTIRMA VERİSİ (*Research Data*) Çalışma kapsamında kullanılan manyetik alan verileri ve Swarm uydularına ait konum ve yörünge bilgileri Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından sağlanmıştır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI / İLİŞKİSİ (*Conflict of Interest / Relationship*)

Bu çalışma kapsamında çıkar çatışması/ilışkisi bulunmamaktadır.

YAZARLARIN KATKI ORANI BEYANI (*Author Contributions*)

- Çalışmanın tasarlanması (*Designing of the study*): İ.Ö.
- Literatür araştırması (*Literature research*): İ.Ö.
- Saha çalışması, veri temini/derleme (*Fieldwork, collection/compilation of data*): İ.Ö.
- Verilerin işlenmesi/analiz edilmesi (*Processing/analysis of data*): İ.Ö.
- Şekil/Tablo/Yazılım hazırlanması (*Preparation of figures/tables/software*): İ.Ö.
- Bulguların yorumlanması (*Interpretation of findings*): İ.Ö.
- Makale yazımı, düzenleme, kontrol (*Writing, editing and checking of manuscript*): İ.Ö.



Assessment of Soil-Structure Interaction in Reinforced Concrete Buildings Based on Structure to Soil Stiffness Ratio

Mehmet Ozgur¹ and Kanat Burak Bozdogan¹

¹ Canakkale Onsekiz Mart University, Engineering Faculty, Department of Civil Engineering, 17020 Canakkale, Türkiye
ORCID: 0000-0003-4158-3962, 0000-0001-7528-2418

Keywords

Soil-structure interaction, Period elongation, Stiffness ratio

Highlights

- * Effects of soil-structure interaction (SSI) on seismic design of buildings are assessed
- * SSI is investigated for different soil conditions
- * SSI is more important for rigid buildings on soft soils

Aim

Aim of the study is to determine if SSI is expected to be significant for different soil conditions

Location

--

Methods

Significance of SSI in design is assessed with the help of the structure to soil stiffness ratio

Results

It is shown that, SSI should be taken into account for buildings founded on site classes ZE, ZD and ZC and can be neglected for site classes ZB and ZA

Supporting Institutions

The authors declare that this study has used no support data from other institutions

Financial Disclosure

The authors declare that this study has received no financial support

Peer-review

Externally peer-reviewed

Conflict of Interest

The authors have no conflicts of interest to declare

Manuscript

Research Article

Received: 05.10.2022

Revised: 17.04.2023

Accepted: 29.05.2023

Printed: 30.06.2023

DOI

10.46464/tdad.1184558



Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International Non-Commercial License

Corresponding Author

Mehmet Ozgur

Email: mehmetozgur@comu.edu.tr

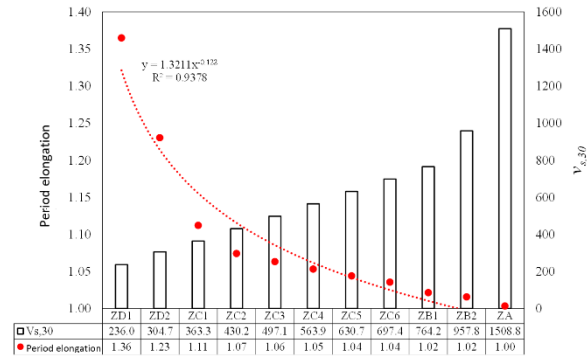


Figure
Period elongation due to SSI for different local soil classes

How to cite:

Ozgur M., Bozdogan K.B., 2023. Assessment of Soil-Structure Interaction in Reinforced Concrete Buildings Based on Structure to Soil Stiffness Ratio, Turk Deprem Arastirma Dergisi 5(1), 69-84, <https://doi.org/10.46464/tdad.1184558>



Betonarme Binalarda Zemin-Yapı Etkileşiminin Yapının Zemine Rijitlik Oranı Yardımıyla Değerlendirilmesi

Mehmet Özgür¹ ve Kanat Burak Bozdoğan¹

¹ Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 17020 Çanakkale, Türkiye
ORCID: 0000-0003-4158-3962, 0000-0001-7528-2418

ÖZET

Zemin-yapı etkileşimi (ZYE) binanın periyodunu uzatırken yapısal sönüm oranını artırır. Binanın dinamik özelliklerindeki söz konusu değişim genellikle dinamik davranış açısından elverişli kabul edildiğinden ZYE tasarım yönetmeliklerinin birçoğunda ihmal edilmektedir. Fakat çok sayıda araştırma ZYE'nin ihmal edilmesinin binanın dönme sünekliği talebinin ve tepe deplasmanının olduğundan az hesaplanması yoluyla güvensiz tasarıma neden olduğunu işaret etmektedir. Bu sebeple ZYE'nin öneminin belirlenmesi güvenli tasarım için gereklidir. Bu çalışmada ZYE'nin tasarımdaki önemi periyot uzamasını kontrol eden en önemli parametre olan yapının zemine rijitlik oranı yardımıyla değerlendirilmiştir. Rijitlik oranı, farklı kat adedine sahip çerçeve taşıyıcı sisteme sahip binalarda farklı zeminler için hesaplanmış ve %5 periyot uzamasına sebep olan 0.1 değeri eşik kabul edilmiştir. ZYE'nin ZE, ZD ve ZC zeminlerde göz önüne alınması gerektiği, ZB ve ZA zeminlerde ihmal edilebileceği gösterilmiştir.

Anahtar kelimeler

Zemin-yapı etkileşimi, Periyot uzaması, Rijitlik oranı

Öne Çıkanlar

- * Binaların sismik tasarımında ZYE'nin sonuçları değerlendirilmiştir
- * ZYE, farklı zemin koşulları için ele alınmıştır
- * ZYE, zayıf zeminler üzerinde bulunan rijit yapılar için daha önemlidir

Makale

Araştırma Makalesi

Geliş: 05.10.2022
Düzeltilme: 17.04.2023
Kabul: 29.05.2023
Basım: 30.06.2023

DOI

10.46464/tdad.1184558

Sorumlu yazar

Mehmet Özgür
Eposta:
mehmetozgur@comu.edu.tr

Assessment of Soil-Structure Interaction in Reinforced Concrete Buildings Based on Structure to Soil Stiffness Ratio

Mehmet Ozgur¹ and Kanat Burak Bozdogan¹

¹ Çanakkale Onsekiz Mart University, Engineering Faculty, Department of Civil Engineering, 17020 Çanakkale, Türkiye
ORCID: 0000-0003-4158-3962, 0000-0001-7528-2418

ABSTRACT

Soil-structure interaction (SSI) results in higher structural damping ratio and elongated fundamental natural period of the building. Generally, these modifications on dynamic properties of the building are regarded to be favorable for dynamic response and SSI is neglected in most of the design codes. However, extensive research points out that neglecting the role of SSI can be a misconception that lead an unsafe design by underestimating the rotational ductility demand and top displacement of the building. Therefore, it is essential to determine if SSI is expected to be significant for safe design of the buildings. In this study, the significance of SSI in design is assessed with the help of the structure to soil stiffness ratio that is considered as the most important parameter controlling the period elongation. Stiffness ratio is determined for buildings with moment-resisting frames and varying number of storeys resting on different soil conditions and a threshold of 0.1 is assumed as the critical value that yields a period elongation of 5%. It is shown that, SSI should be taken into account for buildings founded on site classes ZE, ZD and ZC and can be neglected for site classes ZB and ZA.

Keywords

Soil-structure interaction, Period elongation, Stiffness ratio

Highlights

- * Effects of SSI on seismic design of buildings are assessed
- * SSI is investigated for different soil conditions
- * SSI is more important for rigid buildings on soft soils

Manuscript

Research Article

Received: 05.10.2022
Revised: 17.04.2023
Accepted: 29.05.2023
Printed: 30.06.2023

DOI

10.46464/tdad.1184558

Corresponding Author

Mehmet Ozgur
Email:
mehmetozgur@comu.edu.tr

1. GİRİŞ

Depreme dayanıklı yapı tasarımı için yapıların dinamik özelliklerinin doğru belirlenmesi gerekmektedir. Hakim doğal titreşim periyodu, yapıların dinamik özelliklerini değerlendirirken ele alınan parametrelerin başında gelmektedir. Özellikle davranış spektrumunu esas alan eşdeğer deprem yükü gibi yöntemlerde, deprem kuvvetini temsil eden taban kesme kuvveti ve yer değiştirmenin belirlenmesi için hakim periyot kullanılmaktadır (Xiong ve diğ. 2016).

Yapısal analizlerde genellikle zemin-temel arakesitinde ankastre mesnetlerin kullanılması ile zemin-temel sisteminin rijit olduğu kabulü yapılmaktadır. Buna karşın, zemin-temel sisteminin daha gerçekçi bir yaklaşımla esnek kabul edilmesi ile zemin-yapı etkileşimi (ZYE) yapısal analize dahil edilebilmektedir. ZYE'nin göz önüne alınması halinde (atalet etkileşimi ile) sönüm oranının artması ve periyodun uzaması söz konusudur (Steward ve diğ. 1999, Behnamfar ve Banizadeh 2016, Kara ve diğ. 2020, Forcellini 2021). Periyodun uzaması, genel olarak spektral ivmenin ve beraberinde taban kesme kuvvetinin azalmasına neden olmaktadır. Ayrıca zemin-temel sisteminin rijit veya esnek kabul edildiği birçok çalışmada periyodun uzaması ile elastoplastik davranış içinde süneklik talebinin azaldığı ifade edilmiştir (Newmark ve Hall 1969, Ciampoli ve Pinto 1995, Elnashai ve Mc Clure 1996, Bazaios ve diğ. 2022). Bu nedenlerle, yapıların ZYE'den elverişli yönde etkilendiği düşünülerek güvenli tarafta kalma tercihi nedeniyle ZYE birçok yönetmelikte olduğu gibi Türkiye'de de göz ardı edilmektedir (TBDY 2018).

Bu görüşlerin aksini savunan, bir başka deyişle ZYE'nin yapıları belirli şartlar dahilinde olumsuz yönde etkilediğini öne süren çalışmalar da mevcuttur. De Carlo ve diğ. (2000), köprü ayaklarının sismik analizini Eurocode 8 davranış spektrumu ve 5 farklı yapay ivme kaydıyla gerçekleştirmiştir. Sonuç olarak, özellikle rijit yapıların tasarımında ZYE'nin dikkate alınmaması nedeniyle eğrilik sünekliği talebinin ve tepe yer değiştirmesinin olması gerekenden önemli ölçüde düşük tahmin edildiğini ifade etmişlerdir. Ayrıca, esnek ve narin köprü ayaklarının temel dönmesi nedeniyle büyük tepe yer değiştirmeleri yapabileceği ortaya konmuştur. 1995 Kobe depreminde, Hanshin otoyolunda, köprü tabliyesinin göçmesi bu şekilde açıklanmıştır (Mylonakis ve Gazetas 2000). Aydemir (2013), yumuşak zemine oturan 0.1-3.0 sn periyot aralığında tek serbestlik dereceli bir sistem üzerinde rijitlik azalımının, dayanım azaltma katsayısı ve elastik olmayan deplasman oranını nasıl değiştirdiğini ZYE'yi dahil ederek incelemiştir. Dayanım azaltma katsayısının, gerek rijitlik azalımı (Modifiye Clough davranışı) gerekse rijitlik azalısız (elastoplastik davranış) modellerde ZYE ile azaldığı ortaya konmuştur. Bu sonuç, ZYE'nin özellikle yumuşak zeminlerde göz ardı edilmesinin, taban kesme kuvvetinin olduğundan az kabul edilmesi yoluyla, güvensiz bir tasarıma yol açacağı anlamına gelmektedir. Bir diğer çalışmada, yapısal periyodun, yer hareketi baskın periyodunun 1.2 katından fazla olması durumunda, periyot uzamasının süneklik talebini artıracığı gösterilmiştir (Miranda ve Bertero 1994).

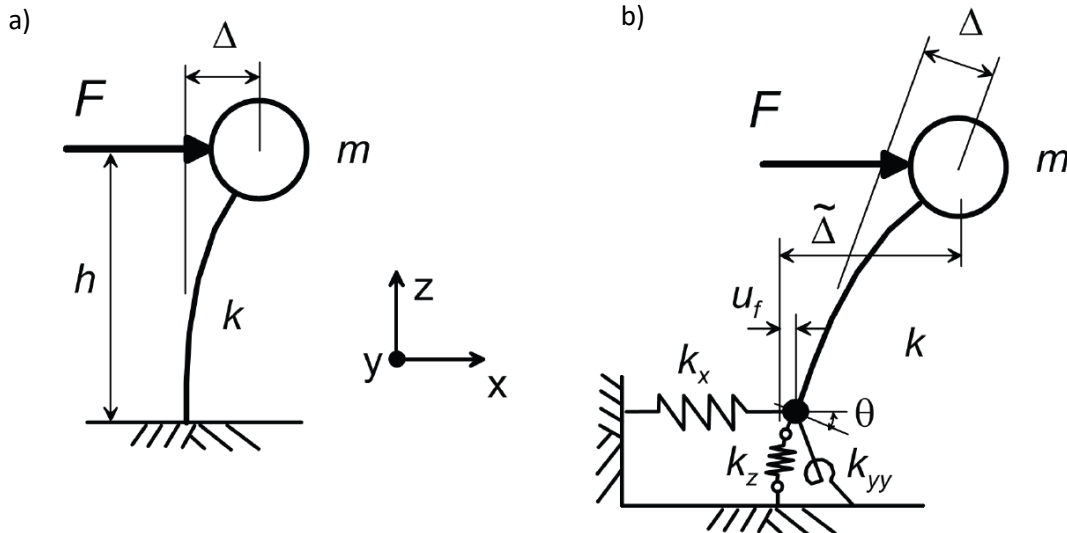
Yukarıda özetlenmeye çalışılan literatür taraması, ZYE'nin yapıları her zaman elverişli yönde etkilediği görüşünün eksik olduğunu işaret etmektedir. Bu durumda, yapıların depreme dayanıklı tasarımını sağlayabilmek için ZYE'nin ne derecede etkin olabileceği tüm saha koşullarında ve her tür yapı için irdelenmelidir. ZYE'nin etkinlik derecesi aslında periyodu ne kadar uzatacağını ifade etmektedir. ZYE ile periyodun ne kadar uzayacağını kontrol eden zemin-yapı ortak sistemine ait bazı boyutsuz parametreler mevcuttur (Veletsos ve Nair 1975, Bielak 1976). Bunların içinde yapının zemine rijitlik oranı (R_s) en önemli parametre olarak değerlendirilmektedir (Ciampoli ve Pinto 1995, NIST 2012). R_s değerinin artmasıyla periyot uzamasının arttığı görülmektedir (NIST 2012). FEMA (2020) söz konusu değer 0.1'i aşması halinde ZYE'nin yapıların sismik tasarımında mutlaka değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Fakat bu değer önerilirken yapının taşıyıcı sistemi ile ilgili herhangi bir ayırım yapılmadığı görülmektedir. Ozgun ve Bozdogan (2022), ZYE'nin betonarme binalarda sismik tasarım parametrelerine etkilerini inceledikleri çalışmalarında, eşik R_s değerinin kayma kırışi davranışı gösteren çerçeve, eğilme kırışi davranışı gösteren perde-çerçeve ve karma

davranış gösteren perde-çerçeve sistemlerde farklılık gösterdiğini ifade etmişlerdir. Bununla birlikte çerçeve sistemlerde FEMA (2020) tarafından önerilen eşik R_s değeri 0.1 için periyodun ZYE ile %5 arttığını göstermişlerdir.

Bu çalışmada betonarme çerçeve taşıyıcı sistemli binalarda ZYE'nin etkin olup olmadığı farklı yerel zemin sınıflarında incelenmiştir. Bunun için kat planı aynı olmakla birlikte kat adedi 10'a kadar olan binaların ZF dışında tüm yerel zemin sınıflarında R_s değerleri hesaplanmıştır. R_s değerinin 0.1'i aşması durumunda periyodun ZYE ile en az %5 artacağı ve sismik tasarımda ZYE'ye yer verilmesi gerektiği kabul edilmiştir. Böylelikle farklı yerel zemin sınıflarında ZYE'nin etkin olması beklenen bina kat adetleri elde edilmiştir.

2. PERİYOT UZAMASI

ZYE, en genel ifadesiyle, zemin ve üzerindeki üstyapının etkileşim içinde olması demektir. Bu etkileşimin iki boyutu olduğu kabul edilmektedir. Bunlardan ilki, temel girdi hareketinin, temeldeki dengelenme (base-slab averaging) ve gömülme etkileri nedeniyle serbest saha hareketinden farklılaşması anlamına gelen kinematik etkileşimdir. Diğeri ise, zemin-yapı ortak sisteminin sönüm oranının artması ve periyodunun uzaması ile sonuçlanan atalet etkileşimidir. Yer hareketi ile zemin üzerinden yapıya aktarılan sismik dalgaların bir kısmının temelden yansması ve bir diğeri kısmının da yapının en üstünden yansıyarak yeniden temel üzerinden zemine aktarılması ortak sistemin sönüm oranında artışa neden olmaktadır. Öte yandan, ZYE ile zemin-temel sisteminin rijit yerine esnek kabul edilmesi, ortak sistem periyodunda artışa neden olmaktadır. Bu artışın boyutunun ne olacağını tek serbestlik dereceli bir sistem üzerinden incelemek mümkündür. Şekil 1a'da zemin-temel sisteminin rijit kabul edildiği ankastre temelli sistem, Şekil 1b'de ise zemin-temel sisteminin esnek kabul edilerek düşey ve yatay ötelenme yaylarına ilaveten dönme yayıyla temsil edildiği esnek temelli sistem görülmektedir. Ankastre temelli sisteme etkiyecek yatay statik kuvvetin (F) neden olacağı ötelenme (Δ), sistemin rijitliği (k) yardımıyla Eşitlik 1 ile hesaplanmaktadır.



Şekil 1: Tek serbestlik dereceli sistem a) Ankastre temel, b) Esnek temel (NIST 2012)
Figure 1: Single degree of freedom system a) Rigid base, b) Flexible base (NIST 2012)

$$\Delta = \frac{F}{k} \quad (1)$$

Ankastre temelli sistemin sönümsüz doğal titreşim periyodu (T), Eşitlik 2 ile hesaplanmaktadır. Burada, m , sistemin kütesidir. Çok serbestlik dereceli sistemler için 1'inci modun etkin kütlesi kullanılmalıdır.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (2)$$

Eşitlik 1 ve Eşitlik 2 beraber değerlendirildiğinde T periyodunun karesi için Eşitlik 3 elde edilmiş olur.

$$T^2 = (2\pi)^2 \frac{m \Delta}{F} \quad (3)$$

Esnek temelli sistemin ötelenmesi ($\bar{\Delta}$) ve sönümsüz doğal titreşim periyodunun (\bar{T}) karesi sırasıyla Eşitlik 4 ve Eşitlik 5 ile elde edilmektedir.

$$\bar{\Delta} = \frac{F}{k} + \frac{F}{k_x} + \left(\frac{F h}{k_{yy}} \right) h \quad (4)$$

$$\bar{T}^2 = (2\pi)^2 \frac{m \bar{\Delta}}{F} = (2\pi)^2 m \left(\frac{1}{k} + \frac{1}{k_x} + \frac{h^2}{k_{yy}} \right) \quad (5)$$

Eşitlik 4 ve Eşitlik 5'te k_x ve k_{yy} sırasıyla yatay yayın ve dönme yayın rijitlikleridir. $2B \times 2L$ boyutlarında ($L > B$) yüzeyde bulunan bir temel için söz konusu rijitlikler zeminin kayma modülü (G) ve Poisson oranı (ν) kullanılarak Eşitlik 6 ve Eşitlik 7 ile hesaplanmaktadır (ASCE 2010, NIST 2012). h ise yapının yüksekliğini ifade etmektedir.

$$k_x = \frac{GB}{2-\nu} \left[6.8 \left(\frac{L}{B} \right)^{0.65} + 2.4 \right] \quad (6)$$

$$k_{yy} = \frac{GB^3}{1-\nu} \left[3.73 \left(\frac{L}{B} \right)^{2.4} + 0.27 \right] \quad (7)$$

G ise, zeminin kayma dalgası hızı (v_s) ve yoğunluğu (ρ_s) yardımıyla Eşitlik 8 ile hesaplanmaktadır.

$$G = \rho_s v_s^2 \quad (8)$$

Eşitlik 8 ile elde edilen G , Eşitlik 6 ve Eşitlik 7'de zeminin kayma birim deformasyonu ile uygun olacak şekilde azaltılmış olarak kullanılır. Poisson oranının zeminler için dar bir aralıkta değiştiği düşünüldüğünde, zemin-temel sisteminin rijitliği belirli bir temel boyutu için büyük oranda G 'ye bağlıdır.

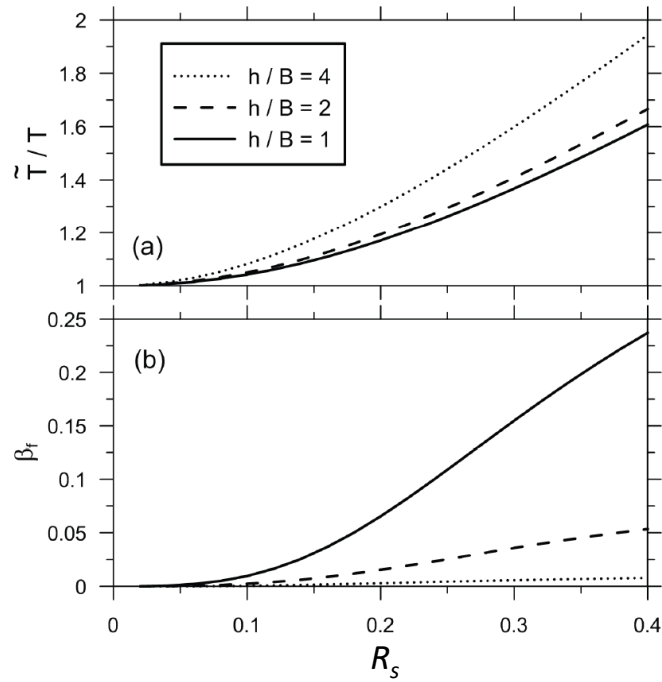
Zemin yoğunluğunun da dar bir aralıkta değiştiği düşünüldüğünde zemin-temel sisteminin rijitliğini belirleyen parametrenin v_s olduğu söylenebilir. Eşitlik 2 ve Eşitlik 5 beraber değerlendirildiğinde periyot uzaması (\bar{T}/T) için Eşitlik 9 elde edilmiş olur.

$$\frac{\bar{T}}{T} = \sqrt{1 + \frac{k}{k_x} + \frac{kh^2}{k_{yy}}} \quad (9)$$

Eşitlik 9, modal yükseklik (h_n , yapı yüksekliğinin 2/3'ü kabul edilebilir) kullanılması şartıyla çok serbestlik dereceli sistemler için de kullanılabilir. Eşitlik 9 irdelendiğinde periyot uzamasının, yapının ve zemin-temel sisteminin rijitliklerine bağlı olduğu görülmektedir. Bu nedenle ZYE ile periyot uzaması üzerinde en etkili parametrenin yapının zemine rijitlik oranı (R_s) olduğu düşünülür. R_s , Eşitlik 10 ile elde edilebilir.

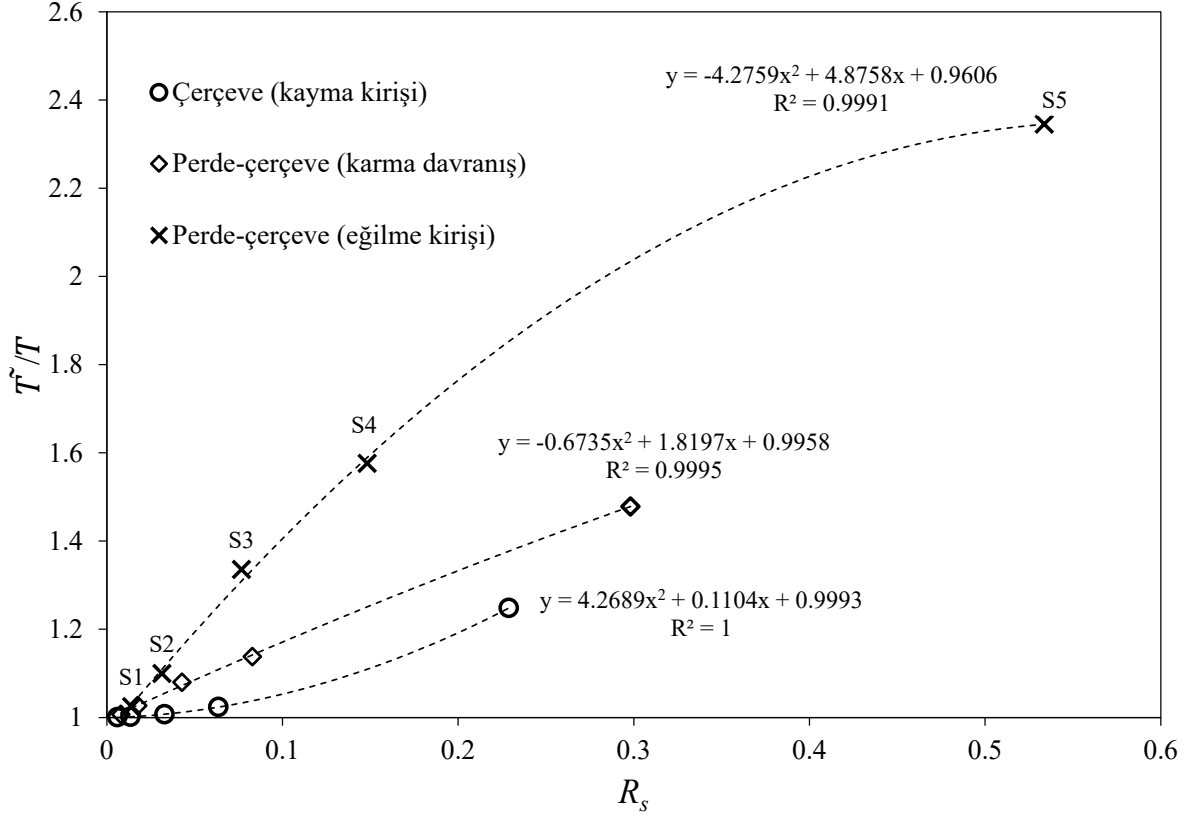
$$R_s = \frac{h_n}{v_s T} \quad (10)$$

Eşitlik 10'da h_n/T yapı rijitliğinin bir göstergesi olarak yer almaktadır. h_n/T değerinin azalmasıyla yapı rijitliğinin de azaldığı bilinmektedir. v_s ise daha önce belirtildiği üzere belirli bir temel boyutu için zemin-temel sisteminin rijitliğini ifade etmektedir. Betonarme çerçeve sistemli binalarda R_s ile \bar{T}/T ve temel sönümü (β_f) arasındaki ilişki Şekil 2'de görülmektedir. Şekil 2'den diğer tüm faktörler eşitken artan h/B oranı ile devrilme momentinin (overturning moment) ve temel dönmesinin (θ) artmasına bağlı olarak yüksek binalarda ZYE'nin daha fazla periyot uzamasına neden olduğu sonucuna varmak mümkündür. Farklı taşıyıcı sistemlere sahip binalarda R_s ile \bar{T}/T arasındaki ilişkinin farklılaştığı görülmektedir. Şekil 3'te kayma kirişi davranışı gösteren çerçeve, eğilme kirişi davranışı gösteren perde-çerçeve ve karma davranış gösteren perde-çerçeve sistemlerde R_s ile \bar{T}/T arasındaki ilişki görülmektedir.



Şekil 2: \bar{T}/T ve β_f 'nin R_s ile değişimi (NIST 2012)

Figure 2: Variation of \bar{T}/T and β_f with R_s (NIST 2012)



Şekil 3: Farklı taşıyıcı sistemler için \tilde{T}/T 'nin R_s ile değişimi (Ozgun ve Bozdogan 2022)
 Figure 3: Variation of \tilde{T}/T with R_s for different structural systems (Ozgun ve Bozdogan 2022)

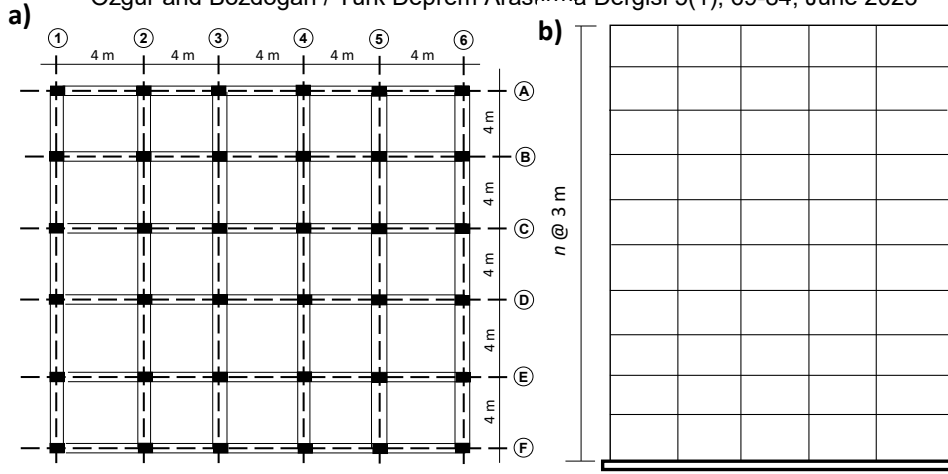
Şekil 3'te görülen taşıyıcı sistemlerin tamamında R_s ile \tilde{T}/T arasında oldukça anlamlı bir ilişki mevcuttur ve söz konusu ilişkinin taşıyıcı sisteme göre şekillendiği anlaşılmaktadır. Periyot uzaması özellikle rijit binalarda R_s 'ye daha fazla duyarlıdır. Başka bir deyişle bina rijitliği arttıkça periyot uzamasının anlamlı bir değere ulaşması için gereken R_s değeri azalmaktadır. Şekil 2 ve Şekil 3 birlikte değerlendirildiğinde betonarme çerçeve sistemli binalarda periyodun ZYE ile %5 uzaması için R_s 'nin 0.1 olması gerektiği görülmektedir.

3. MATERYAL ve METOD

Bu bölümde ZYE'nin değerlendirilmesi için yapılan analizlerde ele alınan binalar ve saha şartlarını ifade eden zemin koşulları hakkında bilgiler verilmiştir.

3.1) Bina Parametreleri

Analizlerde kullanılan binanın kat planı Şekil 4a'da görülmektedir. Her iki yönde de 4 m'lik 5 açıklık yer almaktadır. Kolon ebatları kat adedi (n) ile değişmektedir. Kolon ebatları Tablo 1'de verilmiştir. Kirişler tüm modellerde 25/40 cm boyutunda alınmıştır. Şekil 4b'de binanın karşıdan görünümü yer almaktadır. Kat adedi 1 ile 10 arasında değişmektedir. Kat yüksekliği ve kütlesi tüm katlarda eşit olup sırasıyla 3 m ve 57 t'dur. Beton sınıfı olarak C30 seçilmiştir.



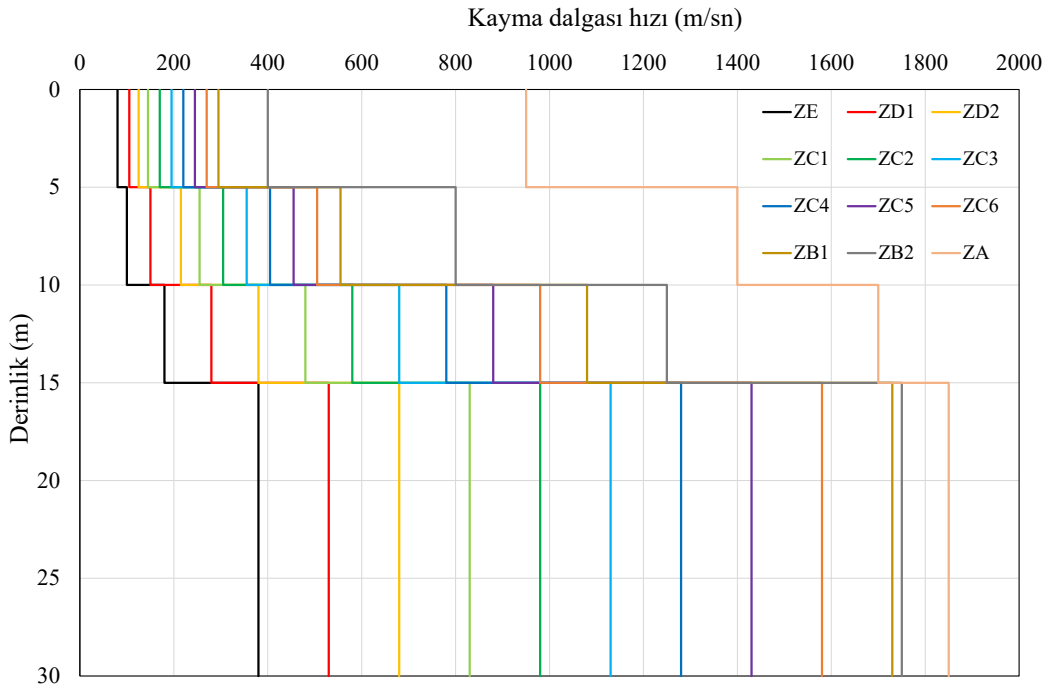
Şekil 4: Bina konfigürasyonu a) Plan, b) Karşıdan görünüm
Figure 4: Building configuration a) Plan, b) Elevation

Tablo 1: Kolon kesitlerinin kat adedi ile değişimi
Table 1: Variation of column cross-section with number of storeys

n	Kolon kesitleri (cm)
1-4	30/30
5-6	35/35
7-8	40/40
9-10	45/45

3.2) Zemin Profilleri

Zeminin periyot uzamasındaki etkisini ortaya koyabilmek için 12 farklı zemin profili oluşturulmuştur. Zemin profilleri 30 m kalınlıkta olup düşük birim deformasyon kayma dalgası hızının (v_s) derinlikle değişimi Şekil 5'te görülmektedir.



Şekil 5: Zemin profillerine ait kayma dalgası hızlarının derinlikle değişimi
Figure 5: Variation of shear wave velocity of soil profiles with depth

Oluşturulan zemin profillerinin yerel zemin sınıflarını belirlemek amacıyla temel alt kotundan itibaren aşağıya doğru en üst 30 m için ortalama kayma dalgası hızı ($v_{s,30}$) Eşitlik 11 ile hesaplanmıştır.

$$v_{s,30} = 30 / \sum(h_i/v_{si}) \quad (11)$$

Eşitlik 11'de h_i en üst 30 m içinde kalan herhangi bir tabakanın kalınlığını ve v_{si} ilgili tabakadaki düşük birim deformasyon kayma dalgası hızını ifade eder. Yerel zemin sınıfı $v_{s,30}$ ile belirlendikten sonra temel dönmesi etkili derinliği boyunca ortalama düşük birim deformasyon kayma dalgası hızı ($v_{s,a}$) hesaplanmıştır. Bunun için izlenen adımlar şu şekildedir:

- Temel gömülme derinliği (e) belirlenir: Tekil temeller ve bağ kirişlerinin toplam alanı binanın taban alanının %75'ini aşıyorsa gömülme derinliği temel alt kotuna, aksi halde temel üst kotuna göre hesaplanır (ASCE 2010). Bu çalışmada e değeri, temel üst kotu esas alınarak 0.2 m kabul edilmiştir.
- Efektif profil derinliği (z_p) temel boyutları yardımıyla hesaplanır (NIST 2012).

$$z_p = (B^3L)^{0.25} \quad (12)$$

B analiz edilen aksa paralel yönde temel uzunluğunun yarısı (10 m) ve L diğer yönde temel uzunluğunun yarısıdır (10 m).

- Temel dönmesi için etkin derinlik (r) hesaplanır:

$$r = e + z_p \quad (13)$$

- Temel dönmesi için etkin derinlik boyunca ortalama yüksek birim deformasyon kayma dalgası hızı hesaplanır (ASCE 2010).

$$v_{s,a} = \sum d_i / \sum(d_i/v_{s,i}) \quad (14)$$

d_i yüzey ile etkili derinlik arasındaki herhangi bir tabakanın kalınlığını ve $v_{s,i}$ ilgili tabakadaki düşük birim deformasyon kayma dalgası hızını ifade eder. Düşük birim deformasyon durumu deprem için geçerli olmadığından yüksek birim deformasyon kayma dalgası hızı ($v_{sy,a}$) geçerli olacaktır. Bu nedenle $v_{sy,a}$ kısa periyot için tasarım spektral ivme katsayısı (S_{DS}) ile belirlenen ve Tablo 2'de görülen azaltma katsayıları ile Eşitlik 15 yardımıyla düzeltilir. Bu çalışmada tüm zeminler için S_{DS} 1 g (9.81 m/sn²) kabul edilmiştir.

$$v_{sy,a} = v_{s,a} \frac{v_{sy,a}}{v_{s,a}} \quad (15)$$

Tablo 3'te zemin profillerinin belirlenen yerel zemin sınıflarına ilaveten R_s değerinin hesaplanmasında kullanılmak üzere hesaplanan $v_{sy,a}$ değerleri görülmektedir. Yüksek birim deformasyon için kayma dalgası hızının zayıf zeminlerde çok daha önemli ölçüde azaldığı görülmektedir.

Tablo 2: Yüksek birim deformasyon için kayma dalgası hızı azalım katsayıları (ASCE 2010)
 Table 2: Reduction factors of shear wave velocity for high level of strain (ASCE 2010)

Yerel zemin sınıfı	v_{sy}/v_s		
	$S_{Ds}/2.5$		
	≤ 0.1	0.4	≥ 0.8
ZA	1.00	1.00	1.00
ZB	1.00	0.97	0.95
ZC	0.97	0.87	0.77
ZD	0.95	0.71	0.32
ZE	0.77	0.22	^a
ZF	^a	^a	^a

^a Sahaya özel zemin tepki analizleri ile belirlenir.

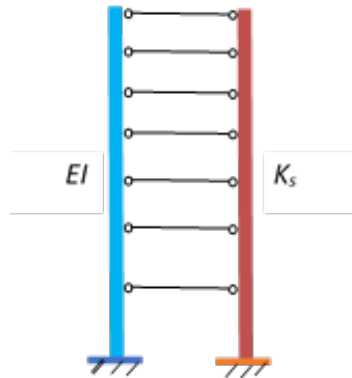
Not: Ara değerler için doğrusal interpolasyon uygulanabilir.

Tablo 3: Zemin profilleri için etkili derinlik boyunca ortalama kayma dalgası hızları
 Table 3: Average shear wave velocities of soil profiles over effective depth

Zemin	ZE	ZD1	ZD2	ZC1	ZC2	ZC3	ZC4	ZC5	ZC6	ZB1	ZB2	ZA
$v_{s,30}$ (m/sn)	166.9	236.0	304.7	363.3	430.2	497.1	563.9	630.7	697.4	764.2	957.8	1508.8
Sınıf	ZE	ZD	ZD	ZC	ZC	ZC	ZC	ZC	ZC	ZB	ZB	ZA
$v_{s,a}$ (m/sn)	88.9	123.5	158.1	184.9	225.0	258.6	292.1	325.5	359.0	392.4	533.3	1131.9
$v_{sy,a}/v_{s,a}$	0.22	0.71	0.71	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.97	0.97	1.00
$v_{sy,a}$ (m/sn)	19.6	87.7	112.3	160.9	195.8	225.0	254.1	283.2	312.3	380.6	517.3	1131.9

3.3) Modal Parametreler

Bu çalışmada ele alınan binaların dinamik parametrelerinin bulunması için literatürden bilinen eğilme-kayma kiriş modeli kullanılmıştır (Miranda ve Reyes 2002, Bozdogan ve diğ. 2005). Bu modele göre binaların yatay yükler altındaki davranışı bir eğilme-kayma kirişi olarak temsil edilebilir. Salt çerçevelerden oluşan binalar eksenel deformasyonlar ihmal edilirse bir kayma kirişi olarak modellenebilirken yalnızca dolu perdelerden oluşan binalar ise bir eğilme kirişi olarak modellenebilir. Perde ve çerçevelerin birlikte kullanıldığı binalar ise eğilme-kayma kirişi olarak modellenebilir. Şekil 6'da eğilme-kayma kirişi modeli görülmektedir. Şekil 6'da görülen iki ucu mafsallı çubuklar döşemeleri temsil etmektedir.



Şekil 6: Eğilme kayma kirişi
 Figure 6: Flexural shear beam

Bu modele göre Eşitlik 16 ile verilen boyutsuz k parametresi binanın davranışını temsil etmektedir.

$$k = h \sqrt{\frac{K_s}{EI}} \quad (16)$$

Eşitlik 16'da h bina yüksekliğini K_s kayma rijitliğini ve EI ise kolon ve perdelerin eğilme rijitliklerinin toplamını göstermektedir. K_s ve EI rijitliklerinin bulunmasına ilişkin ayrıntılar literatürde (Bozdogan ve diğ. 2005) mevcuttur.

$k=0$ değeri salt perdelerden oluşan binaları temsil ederken, $k=1,5-5$ arası perde çerçevelerden oluşan binaları $k=5-20$ arası ise salt çerçevelerden oluşan binaları temsil etmektedir. Eğilme–kayma kiriş modeline göre hakim periyot Eşitlik 17 ile hesaplanmaktadır (Miranda ve Reyes 2002, Bozdogan ve diğ. 2005).

$$T = S_1 h^2 \sqrt{\frac{m}{EI}} \quad (17)$$

Eşitlik 17'de S_1 1. mod katsayısını, m ise yayılı kütle göstermektedir.

Binaları temsil eden eğilme–kayma kiriş modeli için SAP 2000 programı kullanılmıştır (CSI 2022). Analizlerde kat kütlelerinin kat hizalarında ayrı olarak etkidiği ve burulmanın ihmal edildiği kabulleri yapılmıştır. Çalışmada 1 den 10 kata kadar kiriş modelleri kullanılarak analizler gerçekleştirilmiş ve ele alınan binalar için Eşitlik 17'de yer alan S_1 değerleri ile etkin yükseklikler bulunmuştur. S_1 değerlerinin kolay bir şekilde bulunabilmesi için SAP 2000 ile yapılan çözümlemede $S_1=T_1$ olması için h , EI ve m parametreleri Eşitlik 18 ile verilen koşulu sağlayacak şekilde seçilmiştir. Böylece SAP 2000'de bulunan hakim periyot değerleri doğrudan S_1 değerlerini vermiştir.

$$h^2 \sqrt{\frac{m}{EI}} = 1 \quad (18)$$

Yapılan analizler sonucunda S_1 ve etkin yükseklik oranları (α) bulunarak Tablo 4'te verilmiştir. Tablo 4'te yer alan S_1 değerleri ve Eşitlik 17 kullanılarak binaların hakim periyotları hesaplanmıştır. Etkin kesit yükseklikleri ise bina yüksekliği ile etkin kesit yüksekliği oranının çarpımı ile bulunmuştur. Tablo 5'te hesaplanan hakim periyot ve etkin yükseklikler görülmektedir. Çalışmada TBDY (2018) ile uyum sağlamak üzere çatlama kesit kabulü yapılmıştır. Çatlama kesitin rijitliğinin yarıya düştüğü kabulü ile periyotları bulmak için Eşitlik 17'den elde edilen değerler Eşitlik 2'nin gerektirdiği üzere $1.4 (\sqrt{2})$ ile çarpılmıştır.

Tablo 4: Kat adedine bağlı olarak S_1 ve α değerleri
Table 4: S_1 and α values vs. number of storeys

n	S_1	α
1	1.850	1
2	0.777	0.838
3	0.495	0.798
4	0.365	0.738
5	0.318	0.720
6	0.263	0.706
7	0.254	0.699
8	0.222	0.691
9	0.223	0.688
10	0.203	0.683

Tablo 5: Çatlamış kesit kabulüyle hesaplanan T ve h_n değerleri
 Table 5: T and h_n values with cracked section assumption

n	T (sn)	h_n (m)
1	0.115	3.000
2	0.194	5.028
3	0.277	7.182
4	0.364	8.856
5	0.364	10.800
6	0.433	12.708
7	0.436	14.679
8	0.498	16.584
9	0.500	18.576
10	0.562	20.490

4. BULGULAR

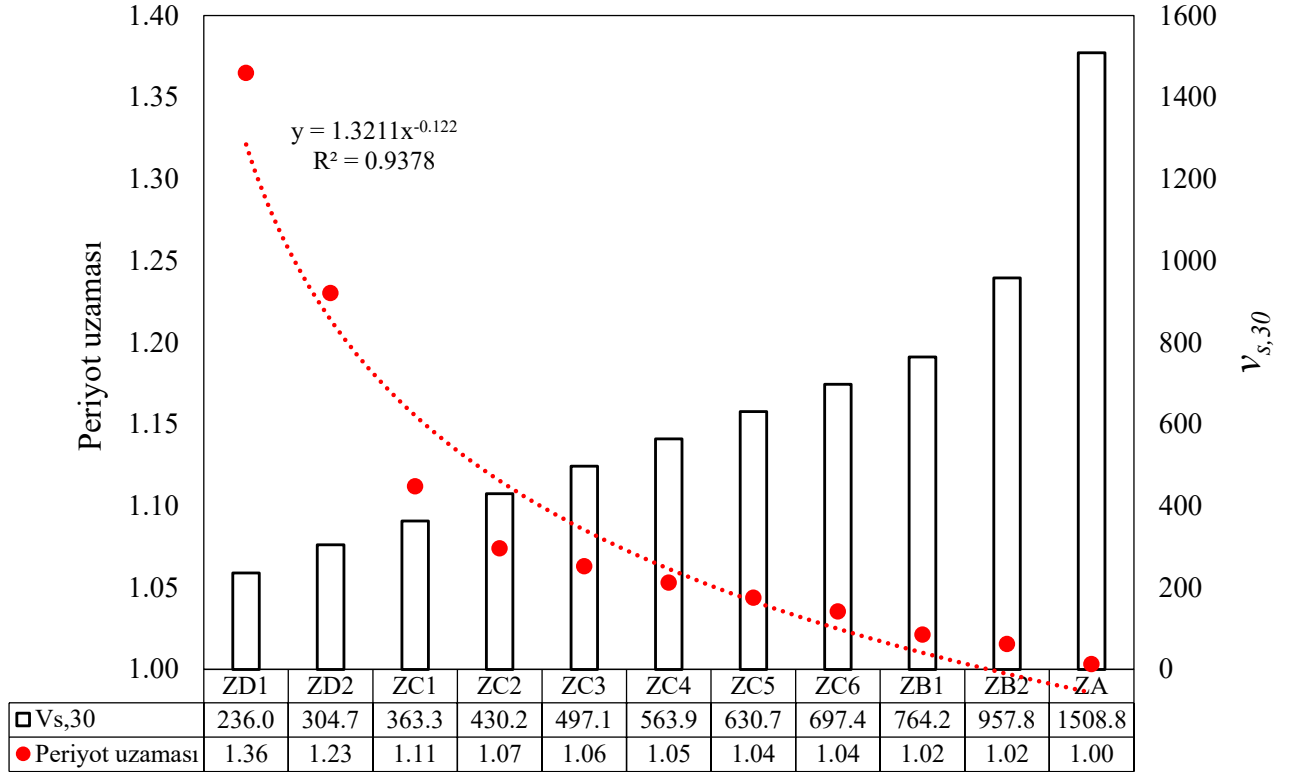
Çalışmada ele alınan zemin profilleri üzerinde yer alan farklı kat adedine sahip binaların R_s değerleri Eşitlik 10 yardımıyla ve Bölüm 3'te elde edilen ilgili parametrelerle hesaplanmıştır. Hesaplanan R_s değerleri Tablo 6'da görülmektedir. Tablo 6'dan görülebileceği üzere kat adedinin ve beraberinde modal yüksekliğin artmasıyla R_s değeri artmaktadır. Bu durumu daha yüksek binalarda kolon kesitlerinin artırılmış olması ile açıklamak mümkündür. Aynı kat adedine sahip binalarda ise yerel zemin sınıfı olarak ZE'den ZA'ya doğru R_s değeri azalmaktadır. Ele alınan zemin profilleri içinde ZE, ZD ve görece zayıf ZC ($v_{s,30} \leq 560$ m/sn) zemin sınıflarında 10 kata kadar tüm binalarda R_s 'nin 0.1 kritik değerini aştığı görülmektedir. Bu durum söz konusu zemin sınıflarında ZYE'nin 10 kata kadar binalarda etkin olacağını işaret etmektedir. Görece sağlam ZC ($v_{s,30} > 560$ m/sn) zemin sınıfında ise ZYE'nin etkin olacağı kat adedinin zemin profiline göre değiştiği görülmektedir. ZYE'nin etkin olacağı kat adedi ZC5 için 5 kat, ZC2 için 7 kat olarak belirlenmiştir. ZC sınırına çok yakın olan görece çok zayıf ZB1'de ($v_{s,30} = 764.2$ m/sn) 9 kat ve üzeri yapılarda ZYE'ni etkin olması beklenirken, ZB ve ZA zeminlerde 10 kata kadar ZYE'nin etkin olmayacağı görülmektedir.

Tablo 6: R_s değerleri
 Table 6: R_s values

n	R_s											
	ZE	ZD1	ZD2	ZC1	ZC2	ZC3	ZC4	ZC5	ZC6	ZB1	ZB2	ZA
1	1.33	0.30	0.23	0.16	0.13	0.12	0.10	0.09	0.08	0.07	0.05	0.02
2	1.33	0.30	0.23	0.16	0.13	0.12	0.10	0.09	0.08	0.07	0.05	0.02
3	1.33	0.30	0.23	0.16	0.13	0.12	0.10	0.09	0.08	0.07	0.05	0.02
4	1.24	0.28	0.22	0.15	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.06	0.05	0.02
5	1.52	0.34	0.26	0.18	0.15	0.13	0.12	0.10	0.09	0.08	0.06	0.03
6	1.50	0.33	0.26	0.18	0.15	0.13	0.12	0.10	0.09	0.08	0.06	0.03
7	1.72	0.38	0.30	0.21	0.17	0.15	0.13	0.12	0.11	0.09	0.07	0.03
8	1.70	0.38	0.30	0.21	0.17	0.15	0.13	0.12	0.11	0.09	0.06	0.03
9	1.90	0.42	0.33	0.23	0.19	0.17	0.15	0.13	0.12	0.10	0.07	0.03
10	1.86	0.42	0.32	0.23	0.19	0.16	0.14	0.13	0.12	0.10	0.07	0.03

Hesaplanan R_s değerleri yardımıyla farklı zemin profilleri üzerinde yer alan ve yüksekliği 10 kata kadar olan binalarda ZYE ile gerçekleşmesi beklenen ortalama periyot uzaması Ozgun ve Bozdogan (2022) tarafından önerilen Eşitlik 19 yardımıyla hesaplanmış ve Şekil 7'de gösterilmiştir. Eşitlik 19, R_s için yaklaşık 0.25'e kadar çalışılmış olduğu için Şekil 7'de ZE zemin sınıfı gösterilmemiştir.

$$\tilde{T}/T = 4.2689 R_s^2 + 0.1104 R_s + 0.9993 \quad (19)$$



Şekil 7: Farklı yerel zemin şartlarında periyot uzaması
Figure 7: Period elongation for different local soil conditions

5. SONUÇLAR

Yapıların depreme dayanıklı tasarımı için deprem etkisinin analiz modeline en doğru şekilde yansıtılması büyük önem taşımaktadır. ZYE'nin tüm yapılarda sönüm oranını ve periyodu artırdığı genel kabul görmektedir. İlk bakışta bu kabullerden hareketle ZYE'nin taban kesme kuvvetini azaltarak yapıları elverişli yönde etkilediği akla gelmektedir. Fakat mevcut literatürde ZYE'nin eğrilik sünekliği talebine ilaveten temel dönmesi nedeniyle tepe yer değiştirmesini önemli ölçüde değiştirmek suretiyle yapıları olumsuz yönde etkileyebileceğini öne süren çalışmalar da vardır. Bu durum göz önüne alındığında ZYE'nin etkin olup olmayacağını tüm saha şartları ve bina konfigürasyonları için değerlendirilmesi gerektiği sonucuna varılabilir.

Söz konusu değerlendirmeyi yaparken kullanılacak en uygun parametre yapının zemine rijitlik oranıdır. Bu oranın 0.1'i aşması halinde ZYE'nin etkin olabileceği ve dinamik analizde yer alması gerektiği düşünülmektedir. Bu çalışmada farklı saha şartlarını temsilen oluşturulan zemin profilleri üzerinde 1 kattan 10 kata kadar betonarme çerçeve sistemli binaların bulunması halinde yapının zemine rijitlik oranı değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen bulgulardan varılan sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

Yerel zemin sınıfından bağımsız olarak kat adedinin artmasıyla bina rijitliği ve beraberinde yapının zemine rijitlik oranı düşey yapı elemanlarındaki kesit artışı nedeniyle artmaktadır. Dolayısıyla ZYE'nin etkin olma potansiyeli artmaktadır. Periyot uzaması, görece çok zayıf ZB zeminde 9 katlı binada 1.05'i bulmaktadır.

Aynı kat adedine sahip binalarda zemin sınıfı olarak ZE'den ZA'ya doğru yapının zemine rijitlik oranı azalmaktadır. Dolayısıyla ZB ve ZA zemin sınıflarında (görece çok zayıf ZB hariç) 10 kata kadar ZYE'nin etkin olması beklenmemelidir.

10 kata kadar tüm binalarda ZE, ZD ve görece zayıf ZC zemin sınıflarında ZYE etkin olmaktadır. Periyot uzaması için kullanılan Eşitlik 19'un yapının zemine rijitlik oranı olarak 0.25'e kadar çalışılmış olmasından dolayı ZE zemin sınıfı periyot uzaması açısından değerlendirme dışında bırakıldığında periyot uzamasının ZD zemin sınıfında 1.80 kata, ZC zemin sınıfında 1.25 kata ulaştığı görülmektedir.

Görece sağlam ZC zemin sınıfında ZYE'nin hangi kat adedinden sonra etkin olacağı zemin profiline başka bir deyişle temel dönmesi için etkili derinlik boyunca ortalama yüksek birim deformasyon kayma dalgası hızına bağlıdır. Kayma dalgası hızının azalmasıyla ZYE'nin etkin olacağı kat adedi azalmaktadır.

Yukarıda sıralanan sonuçların ışığında ZYE'nin özellikle zayıf zemin koşullarında görece rijit yapılar için dinamik analizlerde göz önüne alınması gerektiği değerlendirilmiştir.

KAYNAKLAR

ASCE, 2010. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, ASCE/SEI 7-10, American Society of Civil Engineers, Virginia-USA, Erişim adresi: https://www.waterboards.ca.gov/waterrights/water_issues/programs/bay_delta/california_water_fix/exhibits/docs/dd_jardins/DDJ-148%20ASCE%207-10.pdf

Aydemir M.E., 2013. Soil structure interaction effects on structural parameters for stiffness degrading systems built on soft soil sites, *Structural Engineering and Mechanics* 45(5), 655-676.

Bazaios K., Gerolymos N., Bouckovalas G., Chaloulos Y., 2022. SSI effects on seismic settlements of shallow foundations on sand, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 155, 107025.

Behnamfar F., Banizadeh M., 2016. Effects of soil-structure interaction on distribution of seismic vulnerability in RC structures, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 80, 73-86.

Bielak J., 1976. Modal analysis for building-soil interaction, *Journal of Engineering Mechanics* 102, 771-786.

Bozdogan K.B., Ozturk D., Nuhoglu A., 2005. A practical method for dynamic analysis of multistorey buildings according to continuum approximation model, *Journal of Engineering and Natural Sciences* 4, 65-77.

Ciampoli M., Pinto P.E., 1995. Effects of soil-structure interaction on inelastic seismic response of bridge piers, *Journal of Structural Engineering* 121(5), 806-814.

CSI, 2022. SAP2000 Integrated Software for Structural Analysis and Design, Computers and Structures Inc., Berkeley, California-USA.

De Carlo G., Dolce M., Liberatore D., 2000. Influence of soil-structure interaction on the seismic response of bridge piers, 12th World Conference on Earthquake Engineering, Upper Hut, New Zealand, Erişim adresi: <https://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/0438.pdf>

Elnashai A.S., McClure D.C., 1996. Effect of modelling assumptions and input motion characteristics on seismic design parameters of RC bridge piers, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 25(5), 435-463.

FEMA, 2020. A Practical Guide to Soil-Structure Interaction, FEMA P-2091, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.-USA, Erişim adresi: <https://www.fema.gov/sites/default/files/documents/fema-p-2091-soil-structure-interaction.pdf>

Forcellini D., 2021. A Novel Framework to Assess Soil Structure Interaction (SSI) Effects with Equivalent Fixed-Based Models, *Applied Sciences* 11(21), 10472.

Kara D., Bozdoğan K.B., Keskin E., 2020. ereve sistemlerin yapı zemin etkileşimli serbest titreşim analizi, *Politeknik Dergisi* 23(4), 1347-1355.

Miranda E., Bertero V., 1994. Evaluation of strength reduction factors of earthquake-resistant design, *Earthquake Spectra* 10(2), 357-379.

Miranda E., Reyes C.J., 2002. Approximate lateral drift demands in multistory buildings with nonuniform stiffness, *Journal of Structural Engineering* 128(7), 840-849.

Mylonakis G., Gazetas G., 2000. Seismic soil-structure interaction: beneficial or detrimental?, *Journal of Earthquake Engineering* 4(3), 277-301.

Newmark N.M., Hall W.J., 1969. Seismic design criteria for nuclear reactor facilities, 4th World Conference on Earthquake Engineering, Santiago de Chile, Erişim adresi: https://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/4_vol2_B4-37.pdf

NIST, 2012. Soil-Structure Interaction for Building Structures, NISTGCR - 12-917-21, National Institute of Standards and Technology, Maryland-USA, Erişim adresi: https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=915495

Ozgun M., Bozdogan K.B., 2022. Betonarme Binalarda Zemin-Yapı Etkileşiminin Sismik Tasarım Parametrelerine Etkileri, *El Cezeri* 9(2), 507-521.

Steward J.P., Seed R.B., Fenves G.L., 1999. Seismic soil-structure interaction in buildings. II: Empirical Findings, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 125(1), 38-48.

TBDY, 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Erişim adresi: https://www.afad.gov.tr/kurumlar/afad.gov.tr/2309/files/TBDY_2018.pdf

Veletsos A.S., Nair V.V., 1975. Seismic interaction of structures on hysteretic foundations, *Journal of Structural Engineering* 101, 109-129.

Xiong W., Jiang L.Z., Li Y.Z., 2016. Influence of soil-structure interaction (structure-to-soil relative stiffness and mass ratio) on the fundamental period of buildings: experimental observation and analytical verification, *Bulletin of Earthquake Engineering* 14(1), 139-160.

ARAŞTIRMA VERİSİ (*Research Data*)

Çalışma kapsamında kullanılan zemin profilleri ve bina konfigürasyonları, saha şartlarını ve betonarme çerçeve binaları temsil edecek şekilde yazarlar tarafından oluşturulmuştur.

ÇIKAR ÇATIŞMASI / İLİŞKİSİ (*Conflict of Interest / Relationship*)

Araştırma kapsamında herhangi bir kişiyle ve/veya kurumla çıkar çatışması/ilişkisi bulunmamaktadır.

YAZARLARIN KATKI ORANI BEYANI (*Author Contributions*)

- Çalışmanın tasarlanması (*Designing of the study*): M.Ö., K.B.B.
- Literatür araştırması (*Literature research*): M.Ö.
- Saha çalışması, veri temini/derleme (*Fieldwork, collection/compilation of data*): M.Ö., K.B.B.
- Verilerin işlenmesi/analiz edilmesi (*Processing/analysis of data*): M.Ö., K.B.B.
- Şekil/Tablo/Yazılım hazırlanması (*Preparation of figures/tables/software*): M.Ö., K.B.B.
- Bulguların yorumlanması (*Interpretation of findings*): M.Ö., K.B.B.
- Makale yazımı, düzenleme, kontrol (*Writing, editing and checking of manuscript*): M.Ö., K.B.B.



Effect on the Eastern Anatolian Fault Zone Erkenek and Pazarcik Segments of the 6 February 2023 Pazarcik (Kahramanmaras) Earthquake: Observations from Celikhan-Golbasi (Adiyaman)

Ercan Aksoy¹, Elif Akgun¹, Mustafa Softa^{2,3}, Fikret Kocbulut⁴, Hasan Sozibilir^{2,3}, Orhan Tatar⁵ and Serap Colak Erol¹

¹ Firat University, Engineering Faculty, Department of Geology Engineering 23119 Elazig, Turkiye

² Dokuz Eylul University, Engineering Faculty, Department of Geology Engineering 35390 Izmir, Turkiye

³ Dokuz Eylul University, Earthquake Research and Implementation Center 35390 Izmir, Turkiye

⁴ Cumhuriyet University, Engineering Faculty, Department of Geology Engineering, 58140 Sivas, Turkiye

⁵ Ministry of Interior, Disaster and Emergency Management Presidency, 06800 Ankara, Turkiye

ORCID: 0000-0001-5078-7217, 0000-0002-6556-2413, 0000-0001-5064-9260, 0000-0003-3578-029X, 0000-0002-3777-4830, 0000-0001-9579-1607, 0000-0003-1957-3012

Keywords

East Anatolian Fault Zone, Pazarcik (Kahramanmaras) Earthquake, Surface rupture, Pull-apart basin.

Highlights

- * Effects of the Pazarcik (Kahramanmaras) Earthquake on the Erkenek segment
- * Surface Rupture Mapping
- * Deformation distribution along the East Anatolian Fault Zone

Aim

This study aims to evaluate the surface ruptures related to the 6 February 2023 Pazarcik earthquake on a regional scale.

Location

The study area is located on the Erkenek and Pazarcik segments of East Anatolian Fault Zone between the Celikhan and Golbasi (Adiyaman)

Methods

Field survey, surface rupture mapping, kinematic analysis

Results

The total surface rupture length is 80 km on the Erkenek and Pazarcik segments with the maximum left lateral displacement of 2.90 m and 3.80 m, respectively.

Supporting Institutions

--

Financial Disclosure

The author(s) declared that this study has received financial support from TUBITAK/1002C (Project No: 123D004).

Peer-review

Externally peer-reviewed

Conflict of Interest

The authors have no conflicts of interest to declare

Manuscript

Research Article

Received: 10.04.2023

Revised: 06.06.2023

Accepted: 06.06.2023

Printed: 30.06.2023

DOI

10.46464/tdad.1280408

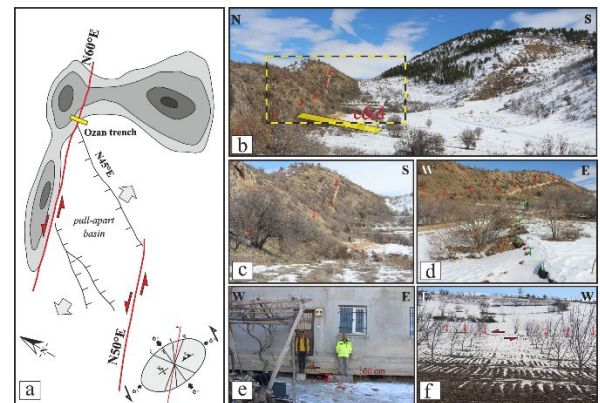


Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International Non-Commercial License

Corresponding Author

Ercan Aksoy

Email: eaksoy@firat.edu.tr



Figure

a) Sketch drawing of the surface rupture developed at the Ozan trench location associated with the deformation ellipsoid, b) trench location and general and (c,d) close-up terrain view of surface rupture, e) the view of 1.70 m left lateral offset and approximately 60 cm vertical displacement developed on the step of the house with a surface rupture in Ozan village, f) the view of the 1.50 m left lateral displacement developed by the surface rupture in the tree lines

How to cite:

Aksoy E., Akgun E., Softa M., Kocbulut F., Sozibilir H., Tatar O., Erol S.C., 2023. Effect on the Eastern Anatolian Fault Zone Erkenek and Pazarcik Segments of the 6 February 2023 Pazarcik (Kahramanmaras) Earthquake: Observations from Celikhan-Golbasi (Adiyaman), Turk Deprem Arastirma Dergisi 5(1), 85-104, <https://doi.org/10.46464/tdad.1280408>



6 Şubat 2023 Pazarcık (Kahramanmaraş) depreminin Doğu Anadolu Fay Zonu Erkenek ve Pazarcık Segmentleri Üzerindeki Etkisi: Çelikhhan-Gölbaşı (Adıyaman) Arasından Gözlemler

Ercan Aksoy¹, Elif Akgün¹, Mustafa Softa^{2,3}, Fikret Koçbulut⁴, Hasan Sözbilir^{2,3}, Orhan Tatar⁵, Serap Çolak Erol¹

¹ Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 23119 Elazığ, Türkiye

² Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 35390 İzmir, Türkiye

³ Dokuz Eylül Üniversitesi, Deprem Araştırma ve Uygulama Merkezi, 35390 İzmir, Türkiye

⁴ Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 58140 Sivas, Türkiye

⁵ Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 06800 Ankara, Türkiye

ORCID: 0000-0001-5078-7217, 0000-0002-6556-2413, 0000-0001-5064-9260, 0000-0003-3578-029X, 0000-0002-3777-4830, 0000-0001-9579-1607, 0000-0003-1957-3012

ÖZET

Bu çalışmada, Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) güney kolunu oluşturan parçalarda 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen $M_w=7.7$ büyüklüğündeki Pazarcık (Kahramanmaraş) depremine bağlı olarak gelişen yüzey kırıklarının, 1/25.000 ölçeğinde haritalanarak belirlenen morfolojisi ve atım miktarları esas alınarak bölgesel ölçekte değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Yüzey kırığı üzerinde gerçekleştirilen çalışmalarda, Çelikhhan'da 2.90 m olarak ölçülen sol yanallı yer değiştirmenin Gölbaşı/Balkar'a doğru 3.80 m'ye ulaştığı, ana şokun olduğu yere yaklaşıldıkça da arttığı görülmektedir. Çelikhhan'da dar bir deformasyon zonu geliştiren yüzey kırığı, Gölbaşı/Balkar mevkiine doğru sola sıçrama yaparak genişlemeli bir deformasyon zonu oluşturmaktadır. Bu duruma bağlı olarak 60 cm'ye varan düşey atımların da ölçüldüğü söz konusu alanda küçük ölçekli çek-ayır havzalarının geliştiği gözlenmiştir.

Anahtar kelimeler

Doğu Anadolu Fay Zonu, Pazarcık (Kahramanmaraş) Depremi, Yüzey kırığı, Çek-ayır havza

Öne Çıkanlar

* Pazarcık (Kahramanmaraş) Depreminin Erkenek segmenti üzerindeki etkileri

* Yüzey kırığı haritalama

* Doğu Anadolu Fay Zonu Boyunca Deformasyon Dağılımı

Makale

Araştırma Makalesi

Geliş: 10.04.2023

Düzeltilme: 06.06.2023

Kabul: 06.06.2023

Basım: 30.06.2023

DOI

10.46464/tdad.1280408

Sorumlu yazar

Ercan Aksoy

Eposta:

eaksoy@firat.edu.tr

Effect on the Eastern Anatolian Fault Zone Erkenek and Pazarcık Segments of the 6 February 2023 Pazarcık (Kahramanmaraş) Earthquake: Observations from Celikhhan-Golbasi (Adıyaman)

Ercan Aksoy¹, Elif Akgün¹, Mustafa Softa^{2,3}, Fikret Koçbulut⁴, Hasan Sozbilir^{2,3}, Orhan Tatar⁵, Serap Colak Erol¹

¹ Fırat University, Engineering Faculty, Department of Geology Engineering 23119 Elazığ, Türkiye

² Dokuz Eylül University, Engineering Faculty, Department of Geology Engineering 35390 İzmir, Türkiye

³ Dokuz Eylül University, Earthquake Research and Implementation Center 35390 İzmir, Türkiye

⁴ Cumhuriyet University, Engineering Faculty, Department of Geology Engineering, 58140 Sivas, Türkiye

⁵ Ministry of Interior, Disaster And Emergency Management Presidency, 06800 Ankara, Türkiye

ORCID: 0000-0001-5078-7217, 0000-0002-6556-2413, 0000-0001-5064-9260, 0000-0003-3578-029X, 0000-0002-3777-4830, 0000-0001-9579-1607, 0000-0003-1957-3012

ABSTRACT

This study aims to evaluate on a regional scale the surface ruptures that developed on the segments forming the southern branch of the Eastern Anatolian Fault Zone (EAFZ), on 2023 February 6, based on the morphology and slip amounts determined by mapping at 1/25,000 scale. It has in sight that the left lateral displacement, which measured 2.90 m at Celikhhan, reached 3.80 m towards Golbasi/Balkar along the surface rupture and increased as close to the location of the main shock. The surface rupture developing a narrow deformation zone in Celikhhan forms an extensional deformation zone by stepping to the left towards Golbasi/Balkar locality. Due to this situation, small-scale pull-apart basins have developed in the area, where vertical offsets up to 60 cm are also measured.

Keywords

East Anatolian Fault Zone, Pazarcık (Kahramanmaraş) Earthquake, Surface rupture, Pull-apart basin

Highlights

- * Effects of the Pazarcık (Kahramanmaraş) Earthquake on the Erkenek segment
- * Surface Rupture Mapping
- * Deformation distribution along the East Anatolian Fault Zone

Manuscript

Research Article

Received: 10.04.2023

Revised: 06.06.2023

Accepted: 06.06.2023

Printed: 30.06.2023

DOI

10.46464/tdad.1280408

Corresponding Author

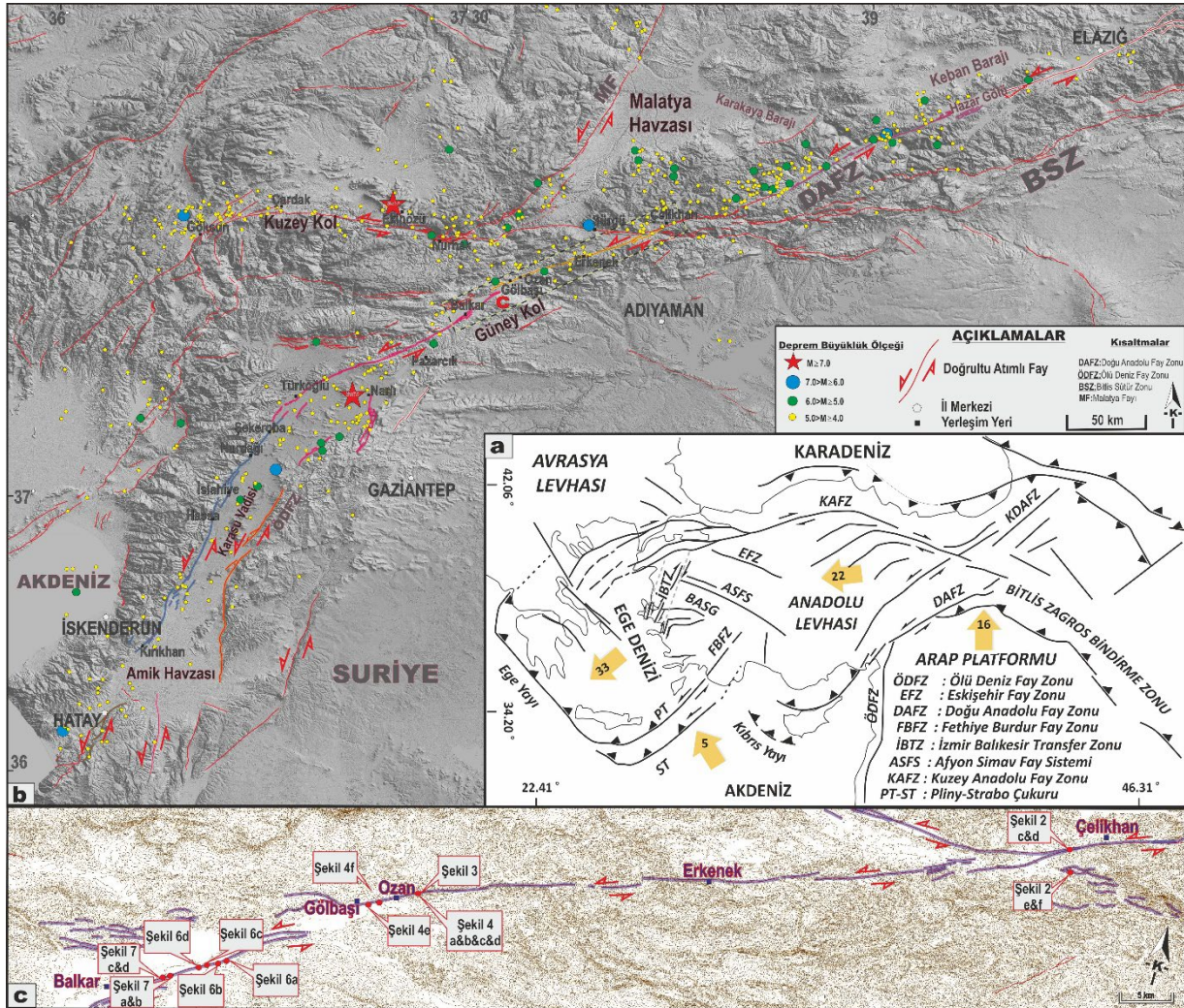
Ercan Aksoy

Email:

eaksoy@firat.edu.tr

1. GİRİŞ

Doğu Anadolu'daki son tektonik rejim değişikliğiyle meydana gelen Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ), Arabistan Levhası ile Anadolu Bloğu arasındaki sınırı oluşturan kıta içi sol yanıl doğrultu atımlı bir fay zonudur (Şengör ve diğ. 1985, Muehlberger ve Gordon 1987). Kuzeydoğuda Karlıova (Bingöl) üçlü eklemünde Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), güneybatıda Amik Havzası'nda ise Ölü Deniz Fay Zonu (ÖDFZ) ile birleşen KD-GB uzanımlı DAFZ, yaklaşık 580 km uzunluğa sahiptir (Şekil 1a) (Şengör ve diğ. 1985, Saroglu ve diğ. 1992). DAFZ, geometrisi esas alınarak araştırmacılar tarafından farklı sayıda segmentlere bölünmüştür (Barka ve Kadinsky-Cade 1988, Saroglu ve diğ. 1992, Herece 2008, Duman ve Emre 2013).



Üzerinde sınırlı sayıda paleosismoloji çalışmaları (Yönlü 2012) bulunan DAFZ'nin, Pütürge segmentinin kuzeydoğu ucunda 24 Ocak 2020 tarihinde meydana gelmiş olan Sivrice-Doğanyol Depreminden ($M_w=6.8$) sonra fay zonu boyunca meydana gelen depremlerin (Şekil 1b) tekrarlanma aralığının tespit edilebilmesi ve deprem davranışının anlaşılabilmesi için fay zonu boyunca paleosismoloji, jeodezi ve sismolojik açıdan çok sayıda çalışma başlatılmıştır. Sivrice-Doğanyol Depremi sonrası yapılan saha çalışmaları ve sismolojik çalışmalar depremin özellikle güney segmentlere enerji transfer ettiğini göstermiştir (Tatar ve diğ. 2020). Aletsel dönemde Kuzey Anadolu Fay Zonu'na oranla daha az sismik aktiviteye sahip olan DAFZ'nin tarihsel kayıtlara göre 19. yy. da çok sayıda yıkıcı deprem ile kırıldığı bilinmektedir (Ambraseys 1989).

Bunun yanında, 06 Şubat 2023 saat 04:17'de $M_w=7.7$ Kahramanmaraş/Pazarcık ve saat 13:24'te $M_w=7.6$ Kahramanmaraş/Elbistan depremleri (AFAD 2023) (Şekil 1b) Türkiye'nin güneydoğusu ve Suriye'de çok sayıda can kaybı ve büyük yıkımlara yol açmıştır. Kahramanmaraş/Pazarcık depremi Doğu Anadolu Fay Zonu'nun sismik boşluk olarak tanımlanan (Yönlü ve diğ. 2017) Pazarcık segmenti üzerinde meydana gelmiştir.

Bir faydan kaynaklanacak orta büyüklük ($M \geq 6$) veya üzerindeki bir deprem sonucunda yer yüzeyinde ortaya çıkabilecek deformasyon olarak tanımlanan yüzey faylanmasının, depremin büyüklüğü, odak derinliği, fay geometrisi, kırılma süreci ve yayılımı, fayın etkilediği ve yüzeye yakın birimlerin içsel özellikleri (reoloji) ile doğrudan ilişkili olduğu bilinmektedir (Gürboğa ve diğ. 2016). Söz konusu depremlerden hemen sonra gerçekleştirilen bu çalışma, (i) yüzey kırığı haritalanması, (ii) kinematik analizler, (iii) atım miktarlarının yerinde ölçülebilmesi ve (iv) Pazarcık depreminin Doğu Anadolu Fay Zonu ve Ölüdeniz Fay Zonu içinde kinematik, sismolojik ve jeolojik açıdan değerlendirilmesi amacıyla Kahramanmaraş/Pazarcık depreminin yüzey kırığının izlendiği Balkar (Gölbaşı, Adıyaman)-Çelikhan (Adıyaman) lokasyonları arasındaki saha gözlemlerini bildirmektedir (Şekil 1c).

1.1) Jeolojik ve Tektonik Özellikler

Doğu Anadolu'da neotektonik rejim başlangıcının günümüzden yaklaşık 12 milyon yıl öncesinde, Serravaliyen (Miyosen) katının son dönemlerinde başladığı kabul edilmektedir (Yılmaz ve diğ. 1987, Kocyigit ve diğ. 2001). Bu araştırmalarda, söz konusu neotektonik rejim değişimine, yaklaşık 12 milyon yıl önce Neotetis Okyanusu tabanının, yitime bağlı olarak tamamen yok olmasıyla, Avrasya ile Arabistan plakalarının çarpışmasının neden olduğu belirtilmektedir. Çarpışmayı takiben gelişen yeni bir tektonik rejim ile eşzamanlı olarak magmatik aktivite de başlamıştır. Doğu Anadolu'da neotektonik dönem boyunca, bölgesel bir yayılım gösteren D-B uzanımlı kıvrımlar ve bindirmeler ile eşlenik doğrultu-atımlı faylar etkin olmaya başlamış; ayrıca volkanların çıkışlarını denetleyen K-G yönlü açılma çatlakları da gelişmiştir. Çarpışma sonrası kıta-kıta birleşmesini takip eden bu dönemdeki etkin deformasyon, kabuk kısılması ve kalınlaşması, dolayısıyla da bölgenin yükselmesine neden olmuştur (Yılmaz ve diğ. 1987). Çarpışmadan sonra da bölgede devam eden K-G doğrultulu sıkışma etkisiyle kalınlaşan kabuk, Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu transform faylarının oluşmasına, sonrasında ise K-G sıkışma tektoniğine uyum sağlamıştır (Yılmaz ve diğ. 1987). Kıta-kıta çarpışmasının olduğu bu bölgede, oluşan Bitlis Sütur Zonu (BSZ) (Şekil 1b) daha doğuda İran sınırına kadar uzanır. Bazı yeni araştırmalarda, Geç Miyosen sonu ile Erken Pliyosen sonu arasındaki dönemde, sıkışma ve kısılma ile temsil edilen tektonik rejimin, ancak Bitlis Kenet Kuşağı boyunca etkin olabileceğinden söz edilmektedir (Kocyigit ve diğ. 2001). Erken Pliyosen sonlarında sağ yönlü Kuzey Anadolu Fay Zonu, sol yönlü Doğu Anadolu Fay Zonu ve ikisi arasında, Afrika okyanusal litosferine doğru kaçmaya başlayan Anadolu Plakacığı olmak üzere başlıca 3 ana yapının meydana geldiği bilinmektedir. Kocyigit ve diğ. (2001), sıkışmalı-daralmalı tektonik rejimin yerini, Geç Pliyosen'de doğrultu atımlı rejime bıraktığını, dolayısıyla da neotektonik dönemin başladığını belirtirler.

1.2) Doğu Anadolu Fay Zonu

Kuzeydoğuda Karlıova (Bingöl) ile güneybatıda Akdeniz arasında uzanan Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ), ülkemizin deprem riski açısından en önemli sismik kaynaklarının başında gelir. Önceki çalışmalarda, ilkin Karlıova-Bingöl arasında Altınlı (1963) ve Ketin (1968) tarafından bir çizgisellik olarak haritalanan DAFZ'nin varlığı, ilk kez Allen (1969) tarafından tanımlanmıştır. Zon, 1971 Bingöl depremi (M=6.8) sonrasında birçok araştırmacının (Arpat ve Şaroğlu 1972, Ambraseys 1989) çalışma konusu olmuş ve "Doğu Anadolu Fay Zonu" olarak isimlendirilerek Amik Havzası'na kadar haritalanmıştır (Arpat ve Şaroğlu 1972). Literatürde fay zonunun başlangıç yerinin Karlıova (Bingöl) olduğu konusunda fikir birliği sağlansa da fayın güneybatıya olan uzanımı hakkında farklı görüşler ileri sürülmüştür. Bu kapsamda, bazı araştırmacılar (Muehlberger ve Gordon 1987) DAFZ'nin Karlıova (Bingöl) ile Türkoğlu (Kahramanmaraş) üçlü eklemeleri arasında bir uzanımına sahip olduğunu belirtirler.

Son yıllarda yapılan çalışmalara bakıldığında; Duman ve Emre (2013), DAFZ'yi kuzey ve güney olmak üzere iki kola ayırarak incelemişlerdir (Şekil 1b). Araştırmacılar, Karlıova (Bingöl) ve Antakya arasındaki yaklaşık 580 km uzunluğa sahip olduğunu belirttikleri güneydeki kolu ana kol olarak kabul etmişler ve Amik (Hatay) üçlü eklemesinde Ölü Deniz Fay Zonu ve Kıbrıs Yayı ile birleştiğini öne sürmüşlerdir. Yaklaşık 350 km uzunluğa sahip ve İskenderun Körfezi'nde Girne-Misis Fay Zonu ile birleştiğini ifade ettikleri kuzey kolu ise Sürgü-Misis Fay Sistemi olarak adlandırmışlar ve dokuz segmentten oluştuğunu ileri sürmüşlerdir (Şekil 1b). Kuzey kolun, çalışma alanındaki en doğu segmenti, aynı yazarlar tarafından Sürgü Fayı (segmenti) olarak adlandırılmıştır. Yaklaşık D-B doğrultusunda uzanan ve Çelikhhan (Adıyaman) yakınlarında DAFZ ile birleşen ya da ondan ayrılan bir görüntü veren Sürgü Segmenti (SS), bazı çalışmalarda da (Arpat ve Saroğlu 1972) DAFZ'nin bir kolu olarak haritalanmıştır. Buna karşın, DAFZ'nin kuzey ve güney kolları arasında transfer görevi gören bu segment üzerine yapılan bazı çalışmalarda (Perinçek ve Kozlu 1984) Çardak-Sürgü Fayı olarak isimlendirilirken, bazı çalışmalarda ise (Saroglu ve diğ. 1992) batı bölümünün ayrı bir fay olduğu belirtilerek bu bölüme Çardak Fayı adı verilmiştir.

DAFZ'nin oluşum yaşı ile ilgili literatürde biri Geç Pliyosen (Arpat ve Saroğlu 1972, Şengör ve diğ. 1985), diğeri ise Geç Pliyosen-Pleyistosen (Herece 2008) olmak üzere iki görüş baskındır.

Fay zonu boyunca gözlenen sıçrama ve büküm noktaları esas alınarak DAFZ'nin geometrisi ve segmentasyonu için 5-16 segment arasında değişen görüşler öne sürülmüştür. Bazı araştırmacılar (Şengör ve diğ. 1985, Muehlberger ve Gordon 1987) DAFZ'yi 5 segmente ayırırken, bazıları (Barka ve Kadinsky-Cade 1988) 14, Saroglu ve diğ. (1992) 6, Herece (2008) ise 11 segmente ayırarak incelemişlerdir. Son yıllarda gerçekleştirilen günümüzde de yaygın olarak kabul gören sınıflamada ise Duman ve Emre (2013), DAFZ'nin kuzey ve güney olmak üzere iki koldan oluştuğunu (Şekil 1b) öne sürmüşler ve bu kolları da 16 segmente ayırarak incelenmişlerdir. Çalışmada, ana kol olarak isimlendirilen güney kolu oluşturan segmentler kuzeydoğudan güneybatıya doğru olmak üzere sırasıyla Karlıova, Ilica, Palu, Pütürge, Erkenek, Pazarcık ve Amanos olarak adlandırılmıştır. Benzer şekilde kuzeyde bulunanlar ise, Savrun, Çardak, Sürgü, Çokak, Toprakkale, Düziçi-İskenderun, Karataş, Yumurtalık ve Misis olarak isimlendirilmiştir. Her ne kadar literatürde Doğanşehir fayı olarak parçalı ayrı bir yapıda KD-GB uzanımında bir fay gösterilse de bu çalışmada, DAFZ'nin kuzey kolunu oluşturan segmentlerden biri şeklinde tanıtılmıştır. 2013 yılında güncellenen diri fay haritasında (Emre ve diğ. 2018), DAFZ'yi oluşturan bütün segmentlerin aktif oldukları belirtilmiştir.

Bu çalışmada yüzey kırığının izlendiği alan DAFZ'ye ait güney kolu oluşturan segmentlerden Erkenek Segmenti ve Pazarcık Segmenti olup sırasıyla Adıyaman ili Çelikhhan ilçesinin doğusundan başlayarak Gölbaşı ilçesi Ozan köyüne kadar 62 km uzunluğunda; diğeri segment ise Gölbaşı ilçesinden başlayarak KD-GB uzanımında Kahramanmaraş ili Pazarcık ilçesine doğru 82 km uzunluğundadır. Söz konusu segmentler için maksimum deprem büyüklüğü sırasıyla 7.2 ve 7.3 olarak önerilmiştir (Emre ve diğ. 2018).

1.3) Aletsel ve Tarihsel Dönem Depremleri

DAFZ üzerinde tarihsel dönemlerden günümüze kadar yüzey kırığı oluşturan, 6.5'ten büyük depremler dikkat çekicidir. Tarihsel ve aletsel dönem deprem kataloglarından (Ambraseys 1989, Guidoboni ve diğ. 1994) derlenen deprem verileri değerlendirildiğinde, MÖ 500'lü yıllardan günümüze kadar ciddi ölçüde can ve mal kaybına neden olmuş ve içinden geçtiği kentlere zarar vermiş 12 deprem göze çarpmaktadır. Bunlar: [524 (<6.5), 1114/1115 (7.8), 1513 (7.4) 1789 (7.0), 1822 (7.4), 1875 (6.7), 1893 (7.1), 1905 (6.8), 1971 (6.8), 2020 (6.8), 2023 (7.7; 7.6) ve 2023 (6.4)] olarak sıralanabilir.

Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığından (AFAD 2023) ve Uluslararası Sismoloji Merkezi'nden (ISC 2023) elde edilen verilerde, Çelikhan ve Gölbaşı ilçelerini içine alan çalışma alanı için 1976-2023 yılları arasına ait 4 ve üzeri büyüklükte meydana gelen 100'ü aşkın deprem bulunmaktadır. Tarihsel döneme ait olanların lokasyonları kesin olmasa da 524 yılından 2023 yılına kadar yaşanan depremlerin DAFZ'nin bütünü üzerinde yoğunlaştığı ve zonun parçalı kırıldığı dikkat çeker. Bununla birlikte 1976-2023 yılları arasında oluşmuş depremlerin özellikle Gölbaşı/Çelikhan'ın kuzeyinde ve doğusunda, Doğu Anadolu Fay Zonu'na ait Çardak Segmenti, Adıyaman Fay Zonu ve Pazarcık Segmenti arasında kalan alanda yoğunlaştığı gözlenmektedir.

Literatürde DAFZ üzerinde yapılmış paleosismolojik çalışmalar oldukça kısıtlıdır. Bu çalışmalar kuzey kolda Çardak Segmenti ve Sürgü Segmentinde, güney kolda ise Toprakkale, Yumurtalık, Düziçi-İskenderun, Karataş ve Pazarcık segmentinde yoğunlaşmıştır (Yönlü 2012, Duman ve diğ. 2020, Balkaya ve diğ. 2023).

Balkaya ve diğ. (2023) tarafından yapılan çalışmada Sürgü Segmenti üzerinde kazılan 3 hendekte, fayın, Holosen döneminde biri MÖ 3350 civarında, biri de MÖ 790 ±20 ile MÖ 2085 ±65 arasında olmak üzere en az iki yüzey kırığı oluşturmuş deprem ürettiği saptanmıştır. Ayrıca bu fayın yaklaşık son 500 yılda yüzey kırığı oluşturmuş bir deprem üretmediği de tespit edilmiştir. Aynı çalışmacı tarafından Çardak Segmenti üzerinde yapılan 3 hendek çalışmasına göre fayın, MÖ 10580 ±95 ile MÖ 5780 ±65 arasında en az bir adet, MÖ 3215 ±12 ile MS 825 ±55 arasında da bir adet yüzey kırığı oluşturmuş deprem ürettiği öne sürülmüştür.

Pazarcık Segmenti üzerinde Yönlü (2012), 5 adet hendek kazısı çalışmaları sonucunda 9 farklı olay ayırt etmiş ve en genç olayı MS 1630 ile 1440 yılları arasında tarihlendirmiştir. Tarihsel kaynaklarda bu zaman aralığında meydana gelmiş ve Maraş ile civarını etkileyen 1513 depremi görülmektedir. Daha kuzeyde Gölbaşı yakınlarında açılan hendeklerde son yüzey kırığı yaratan olaylar sırasıyla, MS 1482-1646 öncesi ile MS 70-224 sonrasına, MS 425-677 sonrasına, MS 992 sonrasına, MS 1030-1290 öncesine ve MS 1153 öncesine yaşılandırılmıştır. Elde edilen yaşlar tarihsel kaynaklarla karşılaştırıldığında, 1114 depreminin bu hendeklerde görülen son olay olduğunu göstermektedir. Bu veriler ışığında 1513 depreminin Türkoğlu yakınlarında, 1114 depreminin ise Gölbaşı yakınlarında yüzey kırığı meydana getirdiği ileri sürülmüştür.

Duman ve diğ. (2020) DAFZ'nin daha güneydeki segmentlerinde yaptıkları çalışmalarda, Yumurtalık segmenti üzerinde en az 3 yüzey kırığı oluşturmuş olay tanımlamış ve son olayın 242 depremi ile ilişkili olabileceğini öne sürmüşlerdir. Benzer şekilde Toprakkale Segmenti üzerindeki hendek kazısı çalışmalarında en az 2 olay tanımlamış ancak olayları tarihleyememişlerdir. Düziçi-İskenderun segmentinde ise en az 3 olay tanımlamış ve olayların 12-15. yy. sırasında gerçekleşmiş olabileceğini, 242 depremi ve 1115 depremlerine karşılık gelebileceğini ifade etmişlerdir. Karataş segmentinin son 9900 yılda en az 2 farklı deprem ürettiğini ve son olayın ise MS 3. ve 7. yy. arasında olduğunu öne sürmüşlerdir.

2. VERİ VE YÖNTEM

06 Şubat 2023 tarihinde saat 04:17'de meydana gelen Kahramanmaraş/Pazarcık ($M_w=7,7$) depremi hemen sonrasında saha verilerini toplamak için arazi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Saha çalışması öncesinde çalışma alanına ait hava fotoğrafları, Harita Genel Müdürlüğü'nün açık erişim (<https://www.harita.gov.tr/>) olarak sunduğu yüksek çözünürlüklü ortofotolar detaylı incelenmiş ve Adıyaman ili Çelikhan ilçesi doğusundan Adıyaman ili Gölbaşı ilçesi batısına kadar yüzey kırığı 1:25.000 ölçekli topoğrafik harita üzerine işlenmiştir. Ölçümler için gerçekleştirilen saha çalışmaları kapsamında, söz konusu depreme kaynaklık eden zonun karakterinin anlaşılabilmesi için, gelişen yüzey kırıklarının haritalanması, kırıkların konumunun belirlenmesi ve gelişen atımların ölçülmesi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca fay segmentleri boyunca fay kayma verileri ölçülerek, Win TENSOR 5.9.2. yazılımı (Delvaux ve Sperner 2003) ile segmentlerin geçmişten günümüze deformasyon evrimi ve kinematik davranışı analiz edilmiştir.

3. BULGULAR

Kahramanmaraş depremlerinin hemen sonrasında gerçekleştirilen saha çalışmaları sonucu Pazarcık Segmenti üzerinde gelişmiş $M_w= 7.7$ büyüklüğündeki depremin Erkenek Segmenti üzerindeki etkisi detaylı bir şekilde incelenmiştir. Saha çalışmaları yanında ortofoto görüntüleri de kullanılarak, deprem sırasında gelişmiş yer değiştirmeler ve yüzey kırıkları KD-GB uzanımında Çelikhan doğusundan Balkar batısına kadar toplam 75 km boyunca izlenmiştir.

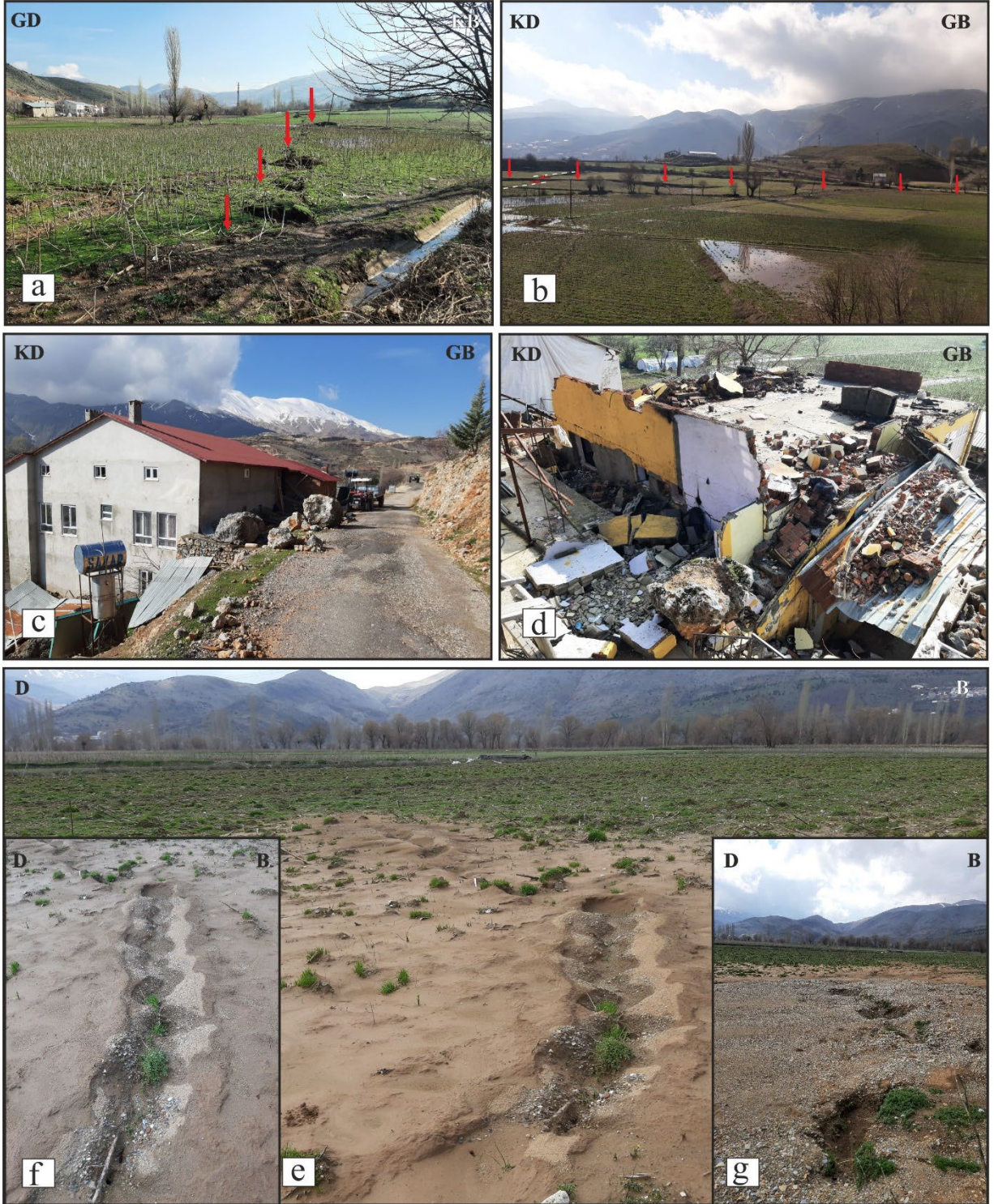
Çelikhan-Adıyaman karayolu üzerinde $K55^\circ D$ gidişli yüzey kırığı yolu kesmiş ve yolda 2,20 m sol yanıl yer değiştirme geliştirmiştir (Şekil 2d). Ayrıca yüzey kırığının deforme ettiği ve yanıl yayılmaların da gözlemlendiği yol üzerinde (Şekil 2c) yaklaşık D-B ve $K80^\circ D$ uzanlımlı tansiyon çatlakları gelişmiştir. Yolun her iki yanında devam eden yüzey kırığı ve sol yanıl yer değiştirmeler uydu görüntülerinden kar örtüsü üzerinde de net bir şekilde izlenmektedir (Şekil 2a,b).

Çelikhan-Adıyaman yolunun güney kesimlerinde, $M_w=7.7$ büyüklüğündeki ana şok ardından Bulam 2 ve Bulam 3 köprüleri yıkılmış ve Adıyaman ile ulaşım bir süreliğine kesilmiştir. Bulam 3 köprüsünde yapılan gözlemlerde, $K10^\circ B$ ve yaklaşık K-G gidişli kırıkların oluşturduğu deformasyonlar ve yanıl yayılmalar görülmüştür. Ayrıca yaklaşık 35 cm sol yanıl atım ve batı blokta düşme tespit edilmiştir (Şekil 2e). Ayrıca Çelikhan İlçesine içme suyu sağlayan boru hattında çelik su borusunda yaklaşık 2.90 m sol yanıl ötelenme gelişmiştir (Şekil 2f). Erkenek (Doğanşehir/Malatya) yerleşim yerinde de büyük yıkımlara yol açan Pazarcık depremi Erkenek Tüneli'nin bir süre ulaşımına kapanmasına neden olmuş, daha sonra ulaşım tek tüpten sağlanmaya başlamıştır. Erkenek tünelinin kuzeyinde Karanlıkdere'de dağ yamaçlarında depreme bağlı heyelanlar ve su çıkışları gelişmiştir. Gölbaşı (Adıyaman) yerleşim yerine kadar dağ yamaçlarında heyelanlar ve su çıkışları gözlemlenmiştir. Yol boyunca farklı doğrultularda gelişmiş ikincil kırıklar yanıl deformasyonlara ve düşey yer değiştirmelere neden olmuştur.



Şekil 2: a,b)Çelikhhan-Adıyaman karayolu üzerinde gelişmiş yüzey kırığının ve ötelenmelerin uydu görünümü üzerinde işlenmiş görünümü, c) yüzey kırığının yolda geliştirdiği deformasyon ve tansiyon çatlakları, d) yol şeridinde ölçülen 2.20 m sol yanar atımın ve ana kırığın gidişi, e) Bulam-3 köprüsünde yol şeridinde 35 cm sol yanar ötelenme, f) çelik su borusundaki 2.90 m sol yanar atımın görünümü
 Figure 2: a,b) The view on the processed satellite photo of the surface rupture and offsets developed on the Çelikhhan-Adıyaman road, c) deformation and tension cracks formed by the surface rupture on the road, d) 2.20 m left lateral offset measured on the road strip and track major rupture, e) 35 cm left lateral offset in the road lane at Bulam-3 bridge, f) the view of the 2.90 m left lateral offset in the steel water pipe

Mestan/Balıkburnu civarında yüzey kırığı, tarla içerisinde köstebek izi yapısı oluşturarak KD-GB doğrultusunda net bir şekilde izlenmektedir (Şekil 3a). Ayrıca tarla sınırlarında birkaç metrelik sol yanar atımlar geliştirerek, morfolojik olarak oldukça belirgin basınç sırtlarının kenarlarını denetleyerek ilerlemiştir (Şekil 3b). Bazı alanlarda kaya düşmesine ve sarsıntıya bağlı (Şekil 3c,d) yıkımlar meydana gelmiştir. Yeraltı su seviyesindeki yükselmeye bağlı olarak bütün tarlaları su altında kalmış (Şekil 3b), zemin sıvılaşmasına bağlı olarak da kum (Şekil 3e,f) ve çakıl konilerinin yüzey kırığının doğrultusuna paralel olarak geliştiği gözlenmiştir (Şekil 3g).

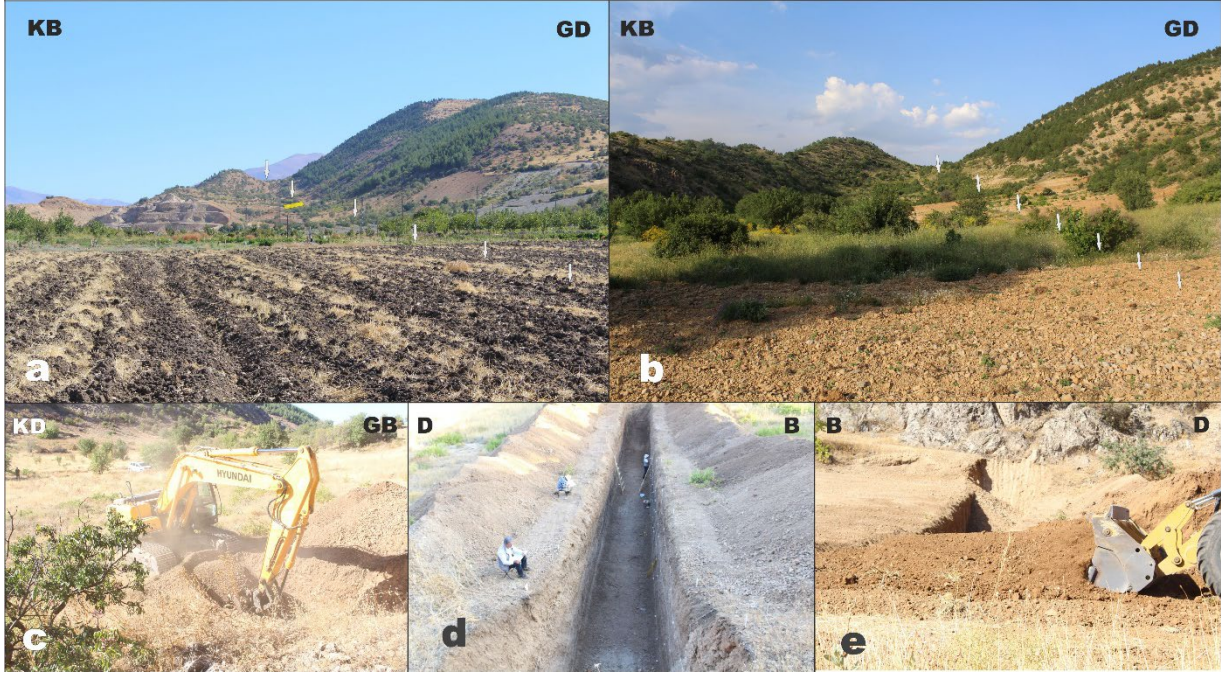


Şekil 3: a) Mestan/Balıkburnu civarındaki yüzey kırığı, b) tarla sınırlarındaki sol yanıl atım, c,d) yüzey kırığına bağıli gelişen kaya düşmelerine ve sarsıntıya bağıli gelişmiş yıkımlar, e,f,g) zemin sıvılaşmasına bağıli gelişmiş kum birikmeleri ve çakıl konileri

Figure 3: a) Surface rupture around Mestan/Balıkburnu, b) left lateral slip at field boundaries, c,d) surface rupture-related destruction and rockfalls, e,f,g) liquefaction-related sand accumulations and gravel cones

Adıyaman ili Gölbaşı ilçesine bağıli Ozan köyü yerleşim yerinde de büyük hasara yol açan Pazarcık depreminin yüzey kırığı ve yer değıştirmeler net bir şekilde gözlenmiştir. Bununla birlikte Pazarcık depreminden yaklaşık 5 ay önce, makalenin yazarlarının da aralarında olduğı bir ekip tarafından yürütölen 121Y410 numaralı TÜBİTAK projesi kapsamında 2022 yılı Ekim

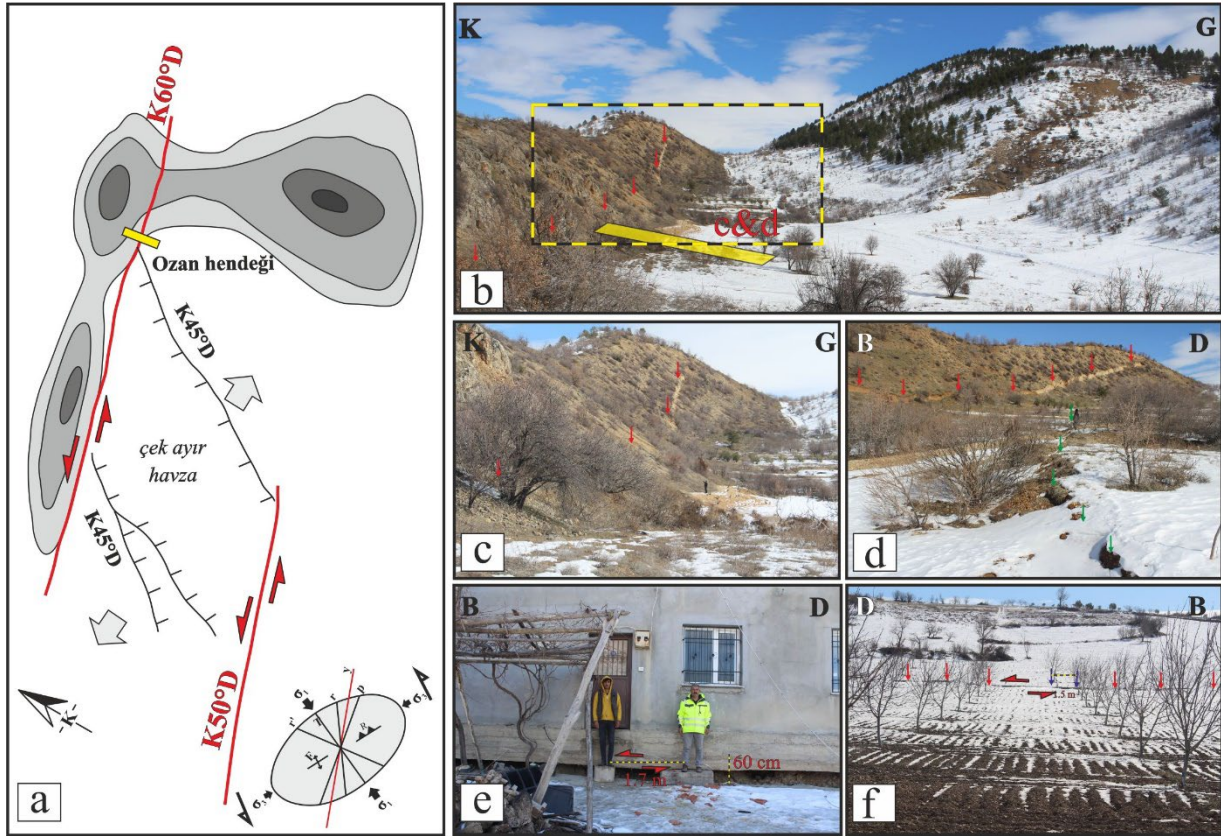
ayında gerçekleştirilen paleosismoloji çalışmalarında (Şekil 4) DAFZ Erkenek Segmenti üzerinde, Ozan köyü yerleşimi yakınlarında Ozan-1 rumuzlu hendek kazı çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Hendek çalışmalarında yüzey kırığı oluşturan en az 2 deprem saptanmış ve olayı sınırlayan seviyelerden alınan radyokarbon ve lüminesans tarihlendirme örnekleri ilgili laboratuvarlara gönderilmiştir.



Şekil 4: Ozan hendeği paleosismoloji çalışmaları, a,b) boynu denetleyen fayın arazi görünümü, c,d,e) faya dik olarak gerçekleştirilen hendek kazı çalışmaları
Figure 4: Paleoseismology studies of the Ozan trench, a,b) terrain view of the fault controlling the neck, c,d,e) the fault-perpendicular trench excavation works

Pazarcık depremine ait yüzey kırığı haritalama çalışmalarında, söz konusu Ozan-1 hendek kazısı içerisinde ilerleyen yüzey kırığı gözlenmiştir (Şekil 5b,c,d). Yüzey kırığı morfolojik olarak uzamış sırtı denetleyen faya dik olarak açılmış Ozan-1 hendeğini sol yanıl öteleyerek; bu alanda sola sıçrama yaparak iki kol şeklinde ilerlemiştir. Bunun sonucunda iki kol arasında küçük ölçekli bir çek-ayır havza geliştirmiştir. K60°D ve K50°D uzanımlı iki ana kırık ve deformasyon elipsoidinde tansiyon kırıklarına (T) karşılık gelen K45°D gidişli kırıklar boyunca yaklaşık 60 cm düşey atım ölçülmüştür (Şekil 5a,d).

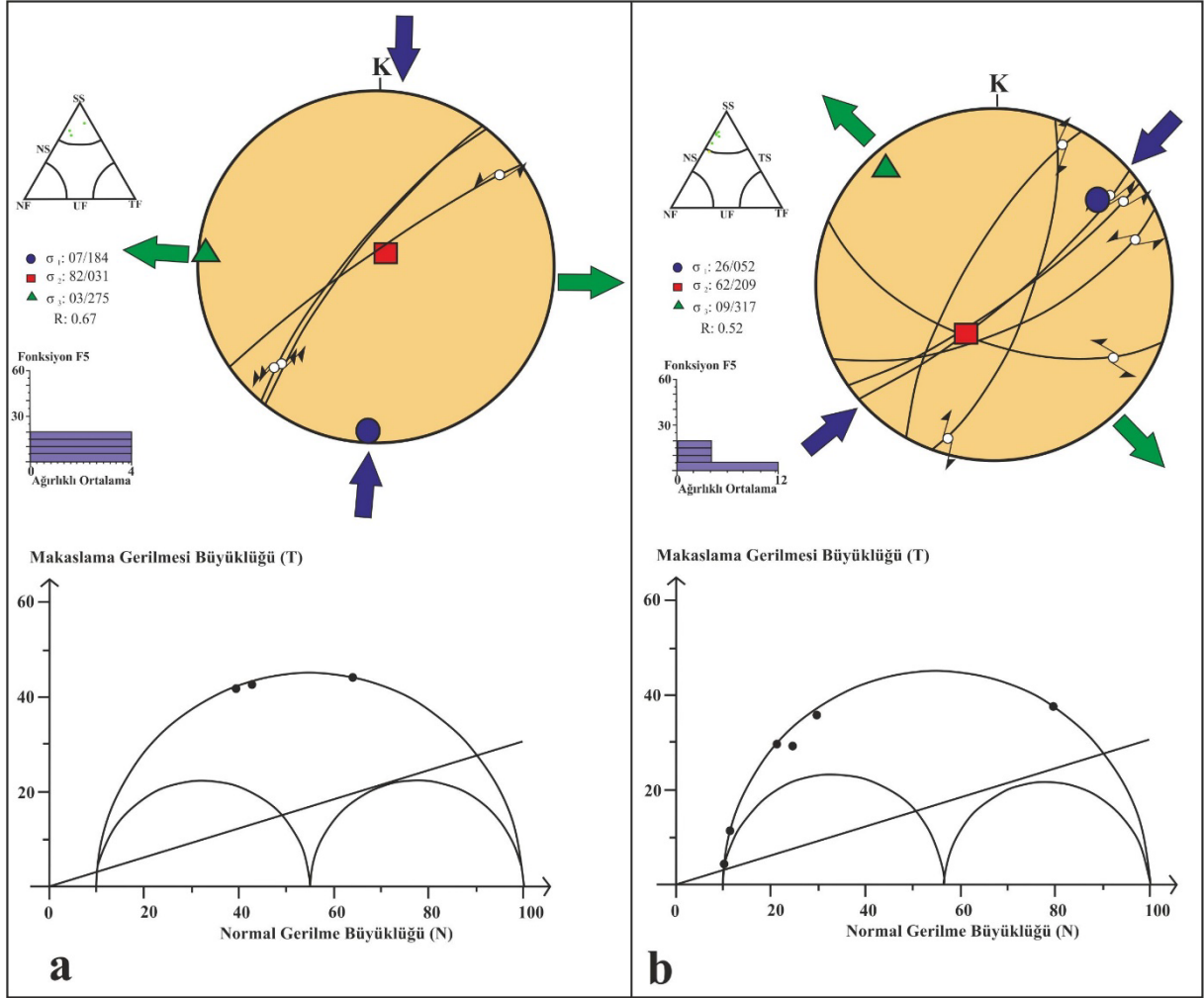
Yüzey kırığı, hendek lokasyonunda sola sıçrama yaptıktan sonra batıya, Ozan köyüne doğru ilerlemektedir. K85°D doğrultulu yüzey kırığı Ozan köyündeki bir evin taş merdivenini 1.70 m sol yanıl olarak ötelemiştir. Ayrıca evin temelinde yaklaşık 60 cm düşey yer değiştirme ölçülmüştür (Şekil 5e). Ceviz bahçesi içerisinde net bir şekilde izlenen yaklaşık D-B uzanımlı yüzey kırığı boyunca, ağaç sıralarında 1.50 m sol yanıl atım gelişmiştir (Şekil 5f). Ozan ve Gölbaşı arasında yüzey kırığının ve zemin sıvılaşmasının etkisi ile yollarda deformasyonlara, yanıl yayılma ve çökmelere; binalarda ise yıkımlara ve deformasyona neden olmuştur.



Şekil 5: a) Ozan hendeki lokasyonunda gelişmiş yüzey kırığının deformasyon elipsoidi ile ilişkilendirilmiş skeç çizimi, b) hendek lokasyonu ve yüzey kırığının genel ve (c,d) yakından arazi görünümü, e) Ozan köyü içerisinde yüzey kırığı ile evin basamağında gelişmiş 1.70 m sol yanıl atım ve yaklaşık 60 cm düşey yer değıştirmenin görünümü, f) yüzey kırığının bahçedeki ağaç sıralarında geliştirdiği 1.50 m sol yanıl atımın görünümü

Figure 5: a) Sketch drawing of the surface rupture developed at the Ozan trench location associated with the deformation ellipsoid, b) trench location and general and (c,d) close-up terrain view of surface rupture, e) the view of 1.70 m left lateral offset and approximately 60 cm vertical displacement developed on the step of the house with a surface rupture in Ozan village, f) the view of the 1.50 m left lateral displacement developed by the surface rupture in the tree lines in the garden

Adıyaman ili Gölbaşı ilçesine bağlı Balkar köyü civarında yüzey kırığı gelişimi sırasında hem kaya hem de gevşek çimentolu zemin üzerinde fay düzlemlerinin geliştiği gözlemlenmiştir. Genellikle pekleşmemiş birimler içerisinde fayın hareketini veren kinematik göstergeler pusula yardımı ile ölçülmüştür. Ozan köyü girişinde daha önceki depremler sırasında gelişmiş fay düzlemleri ölçülmüştür. Hem yeni gelişmiş fay düzlemleri hem de eski fay düzlemleri üzerinde düşük yan yatım açıları ile baskın rejim doğrultu atımlı faylanmayı göstermektedir. Her iki veri seti de kendi içerisinde Win TENSOR 5.9.2 yazılımı (Delvaux ve Sperner 2003) ile değerlendirilmiş ve fay düzlemlerinin kinematik analiz hesaplamaları yapılmıştır (Şekil 6). Sıkışma yönü ise yüzey kırığına bağlı gelişmiş fay düzlemi kinematik çözümlerine göre KKD-GGB doğrultulu σ_1 yönü (Şekil 6a); eski fay düzlemlerinde ise KD-GB doğrultulu σ_1 yönü (Şekil 6b) hesaplanmıştır. Gerilme oranı R ve gerilme rejimi indeksi R' saf doğrultu atımlı tektonik rejimi yansıtmaktadır.



Şekil 6: a) Yüzey kırığına bağlı gelişmiş yeni fay düzlemleri ve b) eski fay düzlemlerine ait fay kayma verilerinin kinematik analiz sonuçları

Figure 6: Kinematic analysis results of a) the surface rupture-related new fault planes and b) fault slip data of former fault planes

Gölbaşı ilçesi çıkışında ve Balkar köyü arasında topoğrafyada kar örtüsünde kabartılar oluşturmuş K35°D uzanımlı yüzey kırığı tarla sınırını oluşturan çitte 2.80 m sol yanal atım geliştirmiştir (Şekil 7a). Yüzey kırığı güneybatıda yaklaşık K45°D uzanımı ile parke yolda kabarmaya, deformasyona ve 3.30 m sol yanal atıma neden olmuştur (Şekil 7b). Balkar köyü Asfalt Mahallesi'nde K40°D uzanımlı yüzey kırığı aynı hizadaki evler arasında 3.30 m sol yanal atım geliştirmiş ve yüzey kırığının etkisi ile evin duvarında yıkım meydana gelmiştir (Şekil 7c). Aynı mahallede Azaplı Gölü'nün güneyinde K45°D uzanımlı yüzey kırığı stabilize yolda 3.80 m sol yanal atım geliştirmiştir (Şekil 7d).



Şekil 7: Gölbaşı-Balkar arasında izlenen yüzey kırığının görünüşleri, a) Tarla sınırındaki çitte gelişmiş 2.80 m sol yanıl ötelenme ve yüzey kırığı, b) yolu 3.30 m sol yanıl atıma uğratan ve yolu deforme eden yüzey kırığı, c) evler arasında 3.30 m sol yanıl yer değışimine neden olan yüzey kırığı, d) Azaplı Gölü güneyinde stabilize yolda gelişmiş 3.80 m sol yanıl ötelenme

Figure 7: The views of the surface rupture observed between Gölbaşı and Balkar, a) 2.80 m left lateral displacement and surface rupture developed at the field border, b) surface rupture caused 3.30 m left lateral offset on the road and deform the road, c) a left lateral displacement of 3.30 m between the houses, d) 3.80 m left lateral offset developed on the stabilized road south of Lake Azaplı

Azaplı Gölü güneyinde morfolojik olarak kabartı oluşturan yaklaşık $K50^{\circ}D$ uzanımlı yüzey kırığı derede 2.50 m sol yanıl atım geliştirmiştir (Şekil 8a). Ayrıca tutturulmamış ince kırıntılı birim üzerinde fayın hareket mekanizmasını yansıtan kinematik belirteçler gelişmiştir. $K38^{\circ}D/80^{\circ}KB$ ve 25° güneye doğru yan yatım açısı ile doğrultu atımın baskın olduğu sol yanıl normal karakteri yansıtan bir fay düzlemi ölçülmüştür (Şekil 8b). Ayrıca patika yolda 2.80 m sol yanıl atım (Şekil 8c) geliştirmiş olan $K50^{\circ}D$ uzanımlı yüzey kırığı, tarla içerisinde geliştirdiği köstebek izi yapılarıyla net bir şekilde izlenmektedir (Şekil 8d).



Şekil 8: AzaplıGölü'nün güneyinde izlenen yüzey kırığının görünümleri, a) derede 2.50 m sol yanıl ötelenme, b) yüzey kırığının oluşturduğu fay düzlemi, c) yolu 2.80 m sol yanıl atıma uğratan ve yolu deforme eden yüzey kırığı, d) tarla içerisinde köstebek izi oluşturarak ilerleyen yüzey kırığı
 Figure 8: The views of the surface rupture observed in the south of Azaplı Lake, a) 2.50 m left lateral offset in the stream, b) the fault plane formed by the surface rupture, c) the surface rupture that causes the road to slip 2.80 m to the left lateral offset and deforms the road, d) the surface rupture of progress by forming a mole-track in the field

4. TARTIŞMA

Kuzey ve güney olmak üzere iki koldan oluşan Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ), 13 farklı segmentten oluşan karmaşık bir fay geometrisi sergilemektedir. 24 Ocak 2020'de Pütürge Segmenti üzerinde meydana gelen $M_w=6.8$ büyüklüğündeki Sivrice-Doğanyol depremi, bölgedeki gerilimi güney ve kuzey koldaki segmentlere aktarmış ve sismik boşluk olarak bilinen segmentlere dikkat çekmiştir. Her ne kadar söz konusu depremle ilgili olarak Pütürge Segmenti üzerindeki saha çalışmalarında sismo-gravitasyonel yapılar haricinde yüzey kırığı olarak haritalanabilecek bir veri elde edilemese de jeodezik veriler, ilgili segmentin 30 km uzunluğunda kırıldığını ortaya koymuştur (Tatar ve diğ. 2020). Literatürdeki çalışmalara göre sismik boşluk tanımında yer alan hem kuzey hem güney koldaki segmentlerden Pazarcık, Amanos, Erkenek ve Çardak segmentleri, 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen deprem serileri ile kırılmıştır. Güney kolda meydana gelen $M_w=7.7$ büyüklüğündeki ilk depremin ardından 9 saat sonra kuzey kolda meydana gelen $M_w=7.6$ büyüklüğündeki deprem, fay segmentlerinin birbirini tetiklediğini işaret etmektedir.

Yapılan çalışmalarda ilk depremde Amanos, Narlı, Pazarcık, Erkenek segmentlerinin kırıldığı ve gözlenen yüzey kırığının 270 km olduğu, ikinci depremde ise Çardak Segmenti ve daha doğudaki Doğanşehir Fayı boyunca 130 km yüzey kırığı meydana geldiği saptanmıştır (Karabacak ve diğ. 2023, Aksoy ve diğ. 2023, Softa ve diğ. 2023).

Çelikhan'ın doğusundan Gölbaşı batısına kadar 80 km uzunluğunda yüzey kırığının izlendiği bu çalışmada, sol yanal doğrultu atımlı faylanmaya uygun olarak 35 cm ile 3.80 metre arasında değişen sol yanal atımlarla birlikte 60 cm'ye ulaşan düşey atımlar ve küçük ölçekli çek-ayır havza oluşumu gözlenmiştir. Doğrultu atımlı faylanma tipine uygun olarak fay parçalarının sağa ya da sola sıçramaları neticesinde oluşan bu tür çek-ayır havza ya da basınç sırtı gibi karakteristik yapılar fay boyunca farklı boyutlarda oluşabilmektedir (Örn. Niksar havzası). Tablo 1'de doğrultu atımlı faylara bağlı olarak ülkemizde yüzey kırığı oluşturmuş depremler verilmiştir. Bu depremlerin büyük bir bölümünün, aletsel dönemde Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde meydana gelmiş olduğu gözlenirken, 24 Ocak 2020 ve 6 Şubat 2023 tarihlerinde meydana gelen depremler, DAFZ'nin aletsel dönem içerisindeki suskunluğunu bozarak üzerindeki sismik boşlukları ortadan kaldırmaya başladığının işaretleri olarak değerlendirilmektedir.

Tablo 1: Türkiye'de doğrultu atımlı faylar üzerinde yüzey kırığı oluşturmuş $M > 7.0$ depremler
Table 1: Earthquakes with a $M > 7.0$ have formed a surface rupture on strike-slip faults in Türkiye

Tarih	Lokasyon	Büyüklik (M_w)	Fay Adı-Hareket	Ölçülen Maksimum Atım (m)	Yüzey Kırığı Uzunluğu (km)	Yararlanılan Kaynaklar
09.08.1912	Tekirdağ	7.3	Ganos-Sağ	5.5	?	1
27.12.1939	Erzincan	7.9	KAFZ-Sağ	10.5	350	2
20.12.1942	Niksar	7	KAFZ-Sağ	2	50	3
26.11.1943	Tosya	7.2	KAFZ-Sağ	1.5	65	4
01.02.1944	Bolu	7.2	KAFZ-Sağ	6	180	5
18.03.1953	Yenice	7.4	KAFZ-Sağ	4.2	70	6
26.05.1957	Bolu	7.1	KAFZ-Sağ	1.6	40	4
22.07.1967	Adapazarı	7.2	KAFZ-Sağ	2.6	60	4
24.11.1976	Van	7.2	Çaldıran-Sağ	2.8	50	7
17.08.1999	Kocaeli	7.4	KAFZ-Sağ	6.3	120	8
12.11.1999	Düzce	7.2	KAFZ-Sağ	5	45	8
06.02.2023	K.Maraş	7.7	DAFZ-Sol	7.3	270	9
06.02.2023	K.Maraş	7.6	DAFZ-Sol	6.3	140	10,11

1: Altınok ve diğ. (2003), 2: Gursoy ve diğ. (2013), 3: Tatar ve diğ. (2006), 4: Ketin (1969), 5: Kondo ve diğ. (2010), 6: Kürçer ve diğ. (2019), 7: Arpat ve diğ. (1977), 8: Aydın ve Kalafat (2002), 9: Karabacak ve diğ. (2023), 10: Aksoy ve diğ. (2023), 11: Softa ve diğ. (2023).

Depremler sırasındaki en uzun yüzey kırılması 350 km olup 27 Aralık 1939 tarihinde Kuzey Anadolu Fay Zonu'nda meydana gelen $M_w=7.9$ büyüklüğündeki Erzincan depreminde gelişmiştir (Gursoy ve diğ. 2013). 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremlerinde ($M_w=7.7$ ve $M_w=7.6$) ise DAFZ boyunca toplamda 400 km'lik yüzey kırılması ortaya çıkmıştır.

Üzerinde hendek açılan fayın, paleosismolojik amaçlı hendek kazılarının ardından, yüzey kırığı üretebilecek büyüklükte deprem ürettiği bilinmektedir. Yeni Zelanda'daki diri faylardan Kekerangu Fayı'nın paleosismolojik özelliklerini saptamak için yapılan paleosismolojik hendek çalışmasından (Morris ve diğ. 2021) 9 ay sonra meydana gelen $M_w=7.8$ büyüklüğünde depreme ait yüzey kırığı, açılan hendek kazısının üzerinden geçerek hendek içerisinde yapısal veri sağlanmasına olanak sağlamıştır. Benzer şekilde, Erkenek Segmenti üzerinde, Adıyaman ili Gölbaşı ilçesi Ozan köyü yakınlarında en iyi izlenebilen yüzey kırığı, ana şoktan 4 ay evvel paleosismoloji amaçlı yapılan hendek kazısı alanını kesmektedir. DAFZ Erkenek Segmenti'nin deprem döngüsünün araştırıldığı Ozan-1 hendek kazısında saptanan 2 deprem olayından daha genç olanı, son yüzey kırığından evvelki olay olmalıdır. 2023 depremi esas alındığında Erkenek Segmenti'nin son deprem olayından itibaren geçen süre bilindiğine göre, fayın ve ilgili segmentin deprem tekrarlanma aralığına ulaşabilmek için saptanan deprem olaylarının başarı ile tarihlendirilmesi ve çapraz kalibrasyonu büyük önem taşımaktadır.

Sismolojik verilere göre, bir fayın uzunluğu, türü, üretebileceği maksimum moment büyüklüğü ile yüzey kırığı uzunluğu arasında bir logaritmik ilişki bulunmaktadır. Eşitlik 1'e göre hesaplanan değerler, Wells ve Coppersmith (1994) çalışmasındaki a ve b değerleri birlikte hesaplandığında, moment büyüklüğü 7.7 olan bir depremin oluşturabileceği maksimum yüzey kırığı uzunluğu 141 km olarak hesaplanmaktadır.

$$\text{Log (SRL)} = -3.55 + 0.74M \quad (1)$$

(SRL: Gözlenebilecek maksimum yüzey kırığı uzunluğu)

Ampirik eşitlikleri baz alan bu değerler, doğada ölçülen değerle tam olarak uyuşmamaktadır. Bu uyuşmazlığın, eşitliklerle belirlenen bağıntıları baz almasından kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. Dahası, 6 Şubat 2023 $M_w=7.7$ depremi sırasında, toplam uzunluğu 273 km olan Amanos, Pazarcık ve Erkenek segmentlerinin birlikte kırıldığı düşüldüğünde (Karabacak ve diğ. 2023), Wells ve Coppersmith (1994) bağıntısında fayın üreteceği maksimum moment büyüklüğü 8'e varmaktadır. Bu durum, yine sismolojik bağıntılar baz alındığında, ana şok ardından araziden toplanan veriler, ampirik verilerle hesaplanan sismolojik eşitliklerle karşılaştırıldığında, sahadan toplanan verilerle tam olarak örtüşmediği kısımların olabileceği sonucunu ortaya koymaktadır.

Bununla birlikte jeodezi temelli çalışmalar, arazi verileriyle birlikte değerlendirildiğinde yine önemli sonuçları ortaya koymaktadır. Aktug ve diğ. (2016) DAFZ boyunca GPS çalışmaları yaparak ve bölgede daha önce yapılmış çalışmaların verilerini derleyerek fay zonu için güncellenmiş bir veri seti oluşturmuştur. Elde edilen bu sonuçlar, DAFZ'nin kayma hızının kuzeyde neredeyse sabit (~10 mm/yıl) iken, güneyde ise 4.5 mm/yıl'a indiğini göstermektedir. Ölü Deniz Fay Sistemi'nin (ÖDFZ) kuzey kısmındaki kayma oranı da önceki çalışmalarla uyumlu olarak $4.2 \pm 1,3$ mm/yıl olarak bulunmuştur. Yazarlara göre, DAFZ'deki sıkışma oranları 5 mm/yıl'ın altındadır; en kuzeyde, Karlıova bölümünde ise maksimum $6.3 \pm 1,0$ mm/yıl değerine ulaşır. Elde edilen bu sonuçlar, DAFZ'nin en iyi bilinen segmentlerinden olan Erkenek-Pazarcık segmentlerinde biriken kayma miktarının 5.2 m olduğunu ve bunun da $M_w=7.7-7.8$ büyüklüğünde deprem üretme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. 6 Şubat 2023 depreminin açığa çıkardığı büyüklük dikkate alındığında, jeodezik çalışmaların doğruluğu dikkat çekmektedir.

5. SONUÇLAR

Sonuç olarak, 6 Şubat 2023 $M_w=7.7$ büyüklüğündeki depremde Adıyaman iline bağlı Çelikhhan ve Gölbaşı ilçeleri arasındaki yüzey kırığı üzerinde toplanan ve değerlendirilen gözlemler;

- Erkenek ve Pazarcık segmenti üzerinde toplam 80 km uzunluğunda yüzey kırılması meydana geldiğini ve Erkenek segmentinde maksimum sol yanal atımın 2.90 m, Pazarcık Segmenti'nde ise 3.80 m olduğunu,
- Erkenek Segmenti üzerinde küçük ölçekli bir çek-ayır havzası olduğu ve havzayı oluşturan diri segmentlerin daha önce paleosismolojik amaçlı açılan Ozan-1 hendeğini kestiğini,
- Pazarcık Segmenti üzerinde, Balkar köyü yakınlarındaki yüzey kırığının üzerinde saf doğrultu hareket mekanizmasını taşıyan yeni fay düzlemleri oluşturduğunu ortaya koymaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK 1002-C Doğal Afetler Odaklı Saha Çalışması Acil Destek Programı ve 121Y410 numaralı TÜBİTAK Araştırma Projesi kapsamında desteklenmiştir. Yazarlar, bu afet döneminde inkâr edilemez destekleri için AFAD ve TÜBİTAK'a, 6 Şubat 2023 depremleri sonrasında yansıtılan yüksek çözünürlüklü ortofotoların temininden dolayı Harita Genel Müdürlüğü'ne ve konaklama konusundaki yardımları için Çelikhhan (Adıyaman) Öğretmenevi Müdürü Mustafa Yücel'e teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

AFAD, 2023. AFAD Deprem ve Risk Azaltma Genel Müdürlüğü-Deprem Dairesi Başkanlığı Deprem Kataloğu, Erişim adresi: <https://deprem.afad.gov.tr/event-catalog>.

Aksoy E., Koçbulut F., Akgün E., Softa M., Sözbilir H., 2023. Elbistan (Kahramanmaraş) Depreminin (Mw: 7.6) Yüzey Kırığı Ön Bulguları, Uluslararası Katılımlı 75. Türkiye Jeoloji Kurultayı, 10-14 Nisan 2023, Ankara, Türkiye.

Aktug B., Ozener H., Dogru A., Sabuncu A., Turgut B., Halicioglu K., Yılmaz O., Havazli E., 2016. Slip rates and seismic potential on the East Anatolian Fault System using an improved GPS velocity field, *Journal of Geodynamics*, 94, 1-12.

Allen C.R., 1969. Active faulting in northern Turkey, Contr.1577, Division of Geology Sciences, California Institute of Technology, 32 s.

Altınlı İ.E., 1963. Explanatory text of the Geological Map of Turkey of 1:500000 scale, Erzurum sheet, Institute of Mineral Research and Exploration Report, Ankara.

Altınok Y., Alpar S.B., Yaltırak C., 2003. Sarkoy Murefte 1912 Earthquake's Tsunami extension of the associated faulting in the Marmara Sea Turkey, *Journal of Seismology*, Vol. 7(3), 329-346.

Ambraseys N.N., 1989. Temporary seismic, quiescence: SE Turkey, *Geophysical Journal*, 96, 311-331.

Arpat E., Şaroğlu F., 1972. Doğu Anadolu Fayı ile ilgili bazı gözlem ve düşünceler, *MTA Bülteni*, 73, 1-9.

Arpat E., Saroğlu F., İz H.B., 1977. Çaldıran Depremi, *Yeryuvarı ve İnsan*, 2, 29-41.

Aydin A., Kalafat D., 2002. Surface ruptures of the 17 August and 12 November 1999 Izmit and Duzce earthquakes in northwestern Anatolia, Turkey: their tectonic and kinematic significance and the associated damage, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 92(1), 95-106.

Balkaya M., Akyuz H.S., Ozden S. 2023. Paleoseismology of the Sürgü and Çardak faults-splays of the Eastern Anatolian Fault Zone, Türkiye, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 32(3), 402-420.

Barka A.A., Kadinsky-Cade K., 1988. Strike-slip fault geometry and its influence on earthquake activity, *Tectonics*, 7(3), 663-684.

Delvaux D., Sperner B., 2003. New aspects of tectonic stress inversion with reference to the TENSOR program, *Geological Society of London*, Special Publications, 212(1), 75-100.

Duman T.Y., Emre O., 2013. The East Anatolian Fault: geometry, segmentation and jog characteristics, *Geological Society of London*, Special Publications, 372.

Duman T.Y., Elmaci H., Ozalp S., Kurcer A., Kara M., Ozdemir E., Yavuzoglu A., Guldogan C.U., 2020. Paleoseismology of the western Sürgü-Misis fault system: East Anatolian Fault, Turkey, *Mediterranean Geoscience Reviews*, 2(3), 411-437.

Emre O., Duman T.Y., Ozalp S., Saroglu F., Olgun S., Elmaci H., Can T., 2018. Active fault database of Turkey, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16(8), 3229-3275.

EMSC, 2023. Avrupa-Akdeniz Sismoloji Merkezi Deprem Kataloğu, Erişim adresi: <https://www.emsc-csem.org/#2>.

Guidoboni E., Comastri A., Traina G., 1994. Catalogue of Ancient Earthquakes in the Mediterranean Area up to the 10th Century, Istituto nazionale di geofisica, Rome, 504 p.

Gürboğa Ő., Gökçe O., Tüfekçi M.K., 2016. Türkiye'de Yüzey Faylanması Tehlikesinin Değerlendirilmesi ve Fay Sakınım Bantlarının Oluşturulması. *MTA Doğal Kay. ve Eko. Bült.*, 21, 29-45.

Gurer A., Bayrak M., Gurer O.F., 2004. Magnetotelluric images of the crust and mantle in the southwestern Taurides, Turkey, *Tectonophysics*, 391(1):109–120.

Gursoy H., Tatar O., Akpınar Z., Polat A., Mesci L., Tuncer D., 2013. New observations on the 1939 Erzincan Earthquake surface rupture on the Kelkit Valley segment of the North Anatolian Fault Zone, Turkey, *Journal of Geodynamics*, 65, 259-271.

Herece E., 2008. Doğu Anadolu Fayı (DAF) Atlası, MTA Özel Yayın Serisi-13, 359 s.

ISC, 2023. Uluslararası Sismoloji Merkezi Deprem Kataloğu, Erişim adresi: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/catalogue/>.

Karabacak V., Ozkaymak C., Sozibilir H., Tatar O., Aktug B., Ozdag O.C., Cakir R., Aksoy E., Kocbulut F., Softa M., Akgun E., Demir A., Arslan G., 2023. The 2023 Pazarcık (Kahramanmaraş, Türkiye) Earthquake (Mw: 7.7): Implications for surface rupture dynamics along the East Anatolian Fault Zone, *Journal of the Geological Society*, jgs2023-020.

Ketin İ., 1968. Relations between general tectonic features and the main earthquake regions of Turkey, *MTA Bulteni*, Ankara.

Ketin İ., 1969. Kuzey Anadolu Fayı hakkında. *MTA Dergisi*, 72, 1-27.

Kocyigit A., Yilmaz A., Adamia S., Kuloshvili S., 2001. Neotectonics of East Anatolian Plateau (Turkey) and Lesser Caucasus: Implication for transition from thrusting to strike-slip faulting, *Geodinamica Acta*, 14, 177-195.

Kondo H., Ozaksoy V., Yıldırım C., 2010. Slip history of the 1944 Bolu-Gerede earthquake rupture along the North Anatolian fault system: Implications for recurrence behavior of multisegment earthquakes, *Journal of Geophysical Research*, 115, 1-16.

Kürçer A., Özalp S., Özdemir E., Göldoğan Ç.U., Duman T.Y., 2019. 18 Mart 1953 Yenice-Gönen Depremi (M_s= 7.2) ışığında Yenice-Gönen Fayı'nın aktif tektonik ve paleosismolojik özellikleri, *KB Türkiye, Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 159, 29-63.

Morris P., Little T., Van Dissen R., Hill M., Hemphill-Haley M., Kears J., Norton K., 2021. Evaluating 9 m of near-surface transpressional displacement during the Mw7.82016 Kaikōura earthquake: re-excavation of a pre-earthquake paleoseismictrench, Kekerengu Fault, New Zealand, *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 1-19.

Muehlberger W.R., Gordon M.B., 1987. Observation on the complexity of The East Anatolian Fault, Turkey, *Jour. Structural Geology*, 9(7), 899-903.

Perinçek D., Kozlu H., 1984. Stratigraphy and structural relations of the units in the Afşin-Elbistan-Doğanşehir region (Eastern Taurus), In *Geology of the Taurus belt*, International symposium, 181-198.

Reillinger R., McClusky S., Vernant P., Lawrence S., Ergintav S., Cakmak R., Ozener H., Kadirov F., Guliev I., Stepanyan R., Nadariya M., Hahubia G., Mahmoud S., Sakr L., ArRajehi A., Paradissis D., Al-Aydrus A., Prilepin M., Guseva T., Evren E., Dmitrotsa A., Filikov S.V., Gomez F., Al-Ghazzi R., Karam G., 2006. GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 111(B5).

Saroglu F., Emre O., Kuscu I., 1992. The East Anatolian fault zones of Turkey, *Annales Tectonicae*, 6, 99-125.

Softa M., Kocbulut F., Akgun E., Aksoy E., Sozbilir H., Tatar O., Karabacak V., Ozkaymak C., Utku M., Ozdag O.C., Cakir R., Demir A., Arslan G., 2023. Surface rupture during the 6th of February 2023 M_w 7.6 Elbistan-Ekinözü (Kahramanmaraş) earthquake: Implications for fault rupture dynamics along the northern branch of East Anatolian Fault Zone, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 32(S1), In Press.

Sengor A.M.C., Gorur N., Saroglu F., 1985. Strike-slip faulting and related basin formation in zone of tectonic escape: Turkey as a case study. In: *Strike-slip deformation, basin deformation and sedimentation*, *Soc. Econ. Paleont. and Min. Spec. Publ.*, 37, 227-264.

Tatar O., Gürsoy H., Koçbulut F., Kavak K.Ş., Sezen T.F., Polat A., Akpınar Z., Mesci B.L., 2006. Kuzey Anadolu Fay Zonu-1942 Erbaa-Niksar Depremi Yüzey Kırığı: Yeni Gözlemler, Aktif Tektonik Araştırma Grubu 10. Toplantısı, İzmir: 02-04 Kasım 2006, Dokuz Eylül Üniversitesi.

Tatar O., Sozbilir H., Kocbulut F., Bozkurt E., Aksoy E., Eski S., Ozmen B., Alan H., Metin Y., 2020. Surface deformations of 24 January 2020 Sivrice (Elazığ)–Doğanyol (Malatya) earthquake (M_w = 6.8) along the Pütürge segment of the East Anatolian Fault Zone and its comparison with Turkey's 100-year-surface ruptures, *Mediterranean Geoscience Reviews*, 2, 385-410.

Uzel B., Langereis C.G., Kaymakci N., Sozbilir H., Ozkaymak C., Ozkaptan M., 2015. Paleomagnetic evidence for an inverse rotation history of western Anatolia during the exhumation of Menderes core complex, *Earth and Planetary Science Letters*, 414: 108-125.

Wells D.L., Coppersmith K.J., 1994. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement, *Bulletin of the seismological Society of America*, 84(4), 974-1002.

Yilmaz Y., Saroglu F., Guner Y., 1987. Initiation of neomagmatism in East Anatolia, *Tectonophysics*, 134, 177-199.

Yonlu O., Altunel E., Karabacak V., 2017. Geological and geomorphological evidence for the southwestern extension of the East Anatolian Fault Zone, Turkey, *Earth and Planetary Science Letters*, 469, 1-14.

Yönlü Ö., 2012. Doğu Anadolu Fay Zonu'nun Gölbaşı (Adıyaman) İle Karataş (Adana) Arasındaki Kesiminin Geç Kuvaterner Aktivitesi, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 438 s. (yayımlanmamış).

ARAŞTIRMA VERİSİ (*Research Data*)

Çalışma kapsamında kullanılan deprem verileri Avrupa-Akdeniz Sismoloji Merkezi-EMSC (European-Mediterranean Seismological Centre) ve Uluslararası Sismoloji Merkezi-ISC (International Seismological Centre)'den temin edilmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI / İLİŞKİSİ (*Conflict of Interest / Relationship*)

Araştırma kapsamında yer alan bilgiler; herhangi bir kişiye, kuruma, ekipmana çıkar sağlamayı veya kişisel/kurumsal menfaat kazandırmayı amaçlamamaktadır. Aynı şekilde çalışmada yer alan hususlar objektif değerlendirme sınırları dışına çıkarak herhangi bir şekilde kişi, kurum, kuruluş nezdinde zarara, kastı aşan kötü niyetli yoruma ya da itibar kaybına yol açmamaktadır.

YAZARLARIN KATKI ORANI BEYANI (*Author Contributions*)

- Çalışmanın tasarlanması (*Designing of the study*): E.A.*, E.A., M.S., F.K., H.S.
- Literatür araştırması (*Literature research*): E.A., M.S.
- Saha çalışması, veri temini/derleme (*Fieldwork, collection/compilation of data*): E.A.*, E.A., M.S., F.K., H.S., O.T., S.Ç.E.
- Verilerin işlenmesi/analiz edilmesi (*Processing/analysis of data*): E.A., M.S.
- Şekil/Tablo/Yazılım hazırlanması (*Preparation of figures/tables/software*): E.A., M.S., S.Ç.E.
- Bulguların yorumlanması (*Interpretation of findings*): E.A., E.A., M.S., F.K., H.S., O.T., S.Ç.E.
- Makale yazımı, düzenleme, kontrol (*Writing, editing and checking of manuscript*): E.A.*, E.A., M.S.