



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

AFAD

TÜRK DEPREM ARAŞTIRMA DERGİSİ

Haziran
June

2021

Cilt
Volume

3

Sayı
Number

1

TURKISH
JOURNAL OF
EARTHQUAKE
RESEARCH



TUSAK
Türkiye Ulusal
Sismoloji ve Araştırma
Fizik Komisyonu
Ankara / TÜRKİYE

e-ISSN: 2687-301X

Türk Deprem Araştırma Dergisi (TDAD)

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

(c) 2021

Cilt 3 - Sayı 1

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

30.06.2021

Sıra	İÇİNDEKİLER	Sayfa No
1	Ulubat Fayı'nın Paleosismisitesi: Kuzey Anadolu Fay Zonu Güney Kolunun Deprem Davranışı Üzerine Çıkarımlar, Güney Marmara <i>Volkan Karabacak, Taylan Sançar, Azad Sağlam Selçuk ve Yusuf Büyükdeniz</i>	1
2	Farklı Konfigürasyonlarda Çelik Metamalzemeler Kullanarak Sismik Etkilerin Azaltılması <i>Selçuk Kaçın, Umur Korkut Sevim, Murat Öztürk, Muharrem Karaaslan, Mustafa Demirci, Oğuzhan Akgöl, Emin Ünal, Zafer Özer, Mustafa Tunahan Başar, Bayram Ali Mert, Şeyda Gülsüm Kaya, Maide Erdoğan Alkurt ve Fatih Özkan Alkurt</i>	20
3	Basınçlı Tankların Sismik Kırılgenlıklarının Gözlemsel ve Sayısal Olarak İncelenmesi <i>Sezer Öztürk, Kayahan Akgöl ve Ali Sarı</i>	33
4	Tek Boyutlu Zemin Büyütme Analizlerinde Transfer Fonksiyonunun Değiştirilmiş Sonlu Elemanlar Taşıma Matrisi Yöntemi ile Elde Edilmesi <i>Öznur Bilican, Kanat Burak Bozdoğan ve Erdiç Keskin</i>	53
5	Sancak-Uzunpazar Fay Zonu'nun Genç Tektonik Konumu ve Paleosismitesi <i>Azad Sağlam Selçuk, Mehmet Korhan Erturaç, Volkan Karabacak, Taylan Sançar, Ahmet Özkan Kul ve Mehmet Ali Yavuz</i>	75
6	Mevcut Yapıların Depreme Hazırlık Değerlendirmesi: Bingöl İli Örneği <i>Ömer Faruk Nemutlu, Bilal Balun ve Ali Sarı</i>	92



Paleoseismicity of the Ulubat Fault: Inferences on Seismic Behaviour of the Southern Branch of the North Anatolian Fault Zone, South Marmara

Volkan Karabacak ¹, Taylan Sancar ², Azad Saglam Selcuk ³ and Yusuf Buyukdeniz ²

¹ Eskisehir Osmangazi University, Department of Geological Engineering, Eskisehir, Turkey

² Munzur University, Department of Geography, Tunceli, Turkey

³ Yuzuncu Yil University, Department of Geological Engineering, Van, Turkey

ORCID: 0000-0003-2581-7984, 0000-0002-2500-9787, 0000-0003-4943-3870, 0000-0001-7078-7281

Keywords

North Anatolian Fault Zone, Ulubat Fault, Paleoseismology, Bursa, Southern Marmara

Highlights

* Ulubat Fault is one of the members of the multi-fragment geometry presented by the NAFZ in the South Marmara region

* Paleoseismological fault studies show that the Ulubat Fault has produced 6 surface ruptures in the last 16 thousand years

* Segments of the Ulubat Fault do not present characteristic earthquake behaviour

Acknowledgements

Disaster and Emergency Management Authority (AFAD) and Beta Analytic, Inc.

Aim

This study presents the results of the first paleoseismological studies conducted along the Ulubat Fault and their inferences on the earthquake behavior of the south branch of the North Anatolian Fault Zone.

Location

The study is carried out west of the city of Bursa in southern Marmara (NW Turkey)

Methods

Geological-geomorphological field observations and paleoseismological trenching studies.

Results

The paleoseismological data presented in this study proves that the southernmost members of the North Anatolian Fault Zone do not present characteristic earthquake behavior in terms of recurrence period and this irregularity may be due to the multi-fragment geometry of the fault zone in the southern Marmara.

Supporting Institutions

This study is supported by the Disaster and Emergency Management Authority (AFAD) (UDAP-G-18-01)

Manuscript

Research Article

Received: 04.04.2021

Revised: 16.04.2021

Accepted: 23.04.2021

Printed: 30.06.2021

DOI

10.46464/tdad.909358

Corresponding Author

Volkan Karabacak

Email: karabacak@ogu.edu.tr



Figure

This study focuses on paleoseismological excavations along the Ulubat Fault, one of the southernmost members of the North Anatolian Fault strike-slip regime

How to cite

Karabacak V., Sancar T., Selcuk A.S., Buyukdeniz Y., 2021. Paleoseismicity of the Ulubat Fault: Inferences on Seismic Behaviour of the Southern Branch of the North Anatolian Fault Zone, South Marmara, Turk. J. Earthq. Res. 3 (1), 1-19, <https://doi.org/10.46464/tdad.909358>



Ulubat Fayı'nın Paleosismisitesi: Kuzey Anadolu Fay Zonu Güney Kolunun Deprem Davranışı Üzerine Çıkarımlar, Güney Marmara

Volkan Karabacak ¹, Taylan Sançar ², Azad Sağlam Selçuk ³ ve Yusuf Büyükdeniz ²

¹ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye

² Munzur Üniversitesi, Coğrafya Bölümü, Tunceli, Türkiye

³ Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Van, Türkiye

ORCID: 0000-0003-2581-7984, 0000-0002-2500-9787, 0000-0003-4943-3870, 0000-0001-7078-7281

ÖZET

Bu makale, Ulubat Fayı boyunca yapılan ilk paleosismolojik çalışmaların sonuçlarını ve Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) güney kolunun deprem davranışına ilişkin çıkarımları sunmaktadır. Ulubat Fayı geometrik karakteristik ve paleosismolojik davranışına göre 3 segmente ayrılmıştır. Paleosismolojik fay kazıları ile fay segmentlerinde son 16 bin yılda en az 6 eski deprem izi ayırt edilmiştir. Tarihsel kayıtlarla ilişkilendirilen yaş sonuçları Ulubat Fayı boyunca en son yüzey kırıklarının sırasıyla MS <161/170 (I=IX), MS 1143 (M=6.0) ve MS 1855 (M=7.3) depremleri ile oluştuğunu ve batıya göç ettiğini göstermektedir. Yeterli istatistiksel değerlendirme şansı sunmamakla birlikte, bu çalışmada ortaya konulan paleosismolojik veriler KAFZ güney kolunu oluşturan segmentlerin tekrarlanma periyodu anlamında karakteristik deprem davranışı sunmadığını ve bu düzensizliğin fay zonunun bölgedeki çok parçalı geometrisinden kaynaklı olabileceğini kanıtlamaktadır.

Anahtar kelimeler

Kuzey Anadolu Fay Zonu, Ulubat Fayı, Paleosismoloji, Bursa, Güney Marmara

Öne Çıkanlar

- * Ulubat Fayı KAFZ'nin Güney Marmara bölgesinde sergilediği çok parçalı geometrinin üyelerinden biridir
- * Paleosismolojik fay kazıları Ulubat Fayı'nın son 16 bin yılda en az 6 yüzey kırığı ürettiğini göstermektedir
- * Ulubat Fayı segmentleri karakteristik deprem davranışı sergilememektedir

Makale

Araştırma Makalesi

Geliş: 04.04.2021

Düzeltilme: 16.04.2021

Kabul: 23.04.2021

Basım: 30.06.2021

DOI

10.46464/tdad.909358

Sorumlu yazar

Volkan Karabacak

Eposta:

karabacak@ogu.edu.tr

Paleoseismicity of the Ulubat Fault: Inferences on Seismic Behaviour of the Southern Branch of the North Anatolian Fault Zone, South Marmara

Volkan Karabacak ¹, Taylan Sancar ², Azad Saglam Selcuk ³ and Yusuf Buyukdeniz ²

¹ Eskişehir Osmangazi University, Department of Geological Engineering, Eskişehir, Turkey

² Munzur University, Department of Geography, Tunceli, Turkey

³ Yuzuncu Yil University, Department of Geological Engineering, Van, Turkey

ORCID: 0000-0003-2581-7984, 0000-0002-2500-9787, 0000-0003-4943-3870, 0000-0001-7078-7281

ABSTRACT

This article presents the results of the first paleoseismological studies conducted along the Ulubat Fault and their inferences on the earthquake behavior of the south branch of the North Anatolian Fault Zone (NAFZ). The Ulubat Fault is divided into 3 segments according to its geometric characteristics and paleoseismological behavior. Along the fault segments, at least 6 paleo-earthquake event have been distinguished in the last 16 thousand years with paleoseismologic fault excavations. The dating results correlated with the historical records show that the latest surface ruptures along the Ulubat Fault occurred with the earthquakes of <161/170 AD (I=IX), 1143 AD (M=6.0) and 1855 AD (M=7.3), respectively, and migrated to the west. Although it does not provide sufficient statistical evaluation opportunity, the paleoseismological data presented in this study proves that the segments of the NAFZ south branch do not present characteristic earthquake behavior in terms of recurrence period and this irregularity may be due to the multi-fragment geometry of the fault zone in the region.

Keywords

North Anatolian Fault Zone, Ulubat Fault, Paleoseismology, Bursa, Southern Marmara

Highlights

- * Ulubat Fault is one of the members of the multi-fragment geometry presented by the NAFZ in the South Marmara region
- * Paleoseismological fault studies show that the Ulubat Fault has produced 6 surface ruptures in the last 16 thousand years
- * Segments of the Ulubat Fault do not present characteristic earthquake behaviour

Manuscript

Research Article

Received: 04.04.2021

Revised: 16.04.2021

Accepted: 23.04.2021

Printed: 30.06.2021

DOI

10.46464/tdad.909358

Corresponding Author

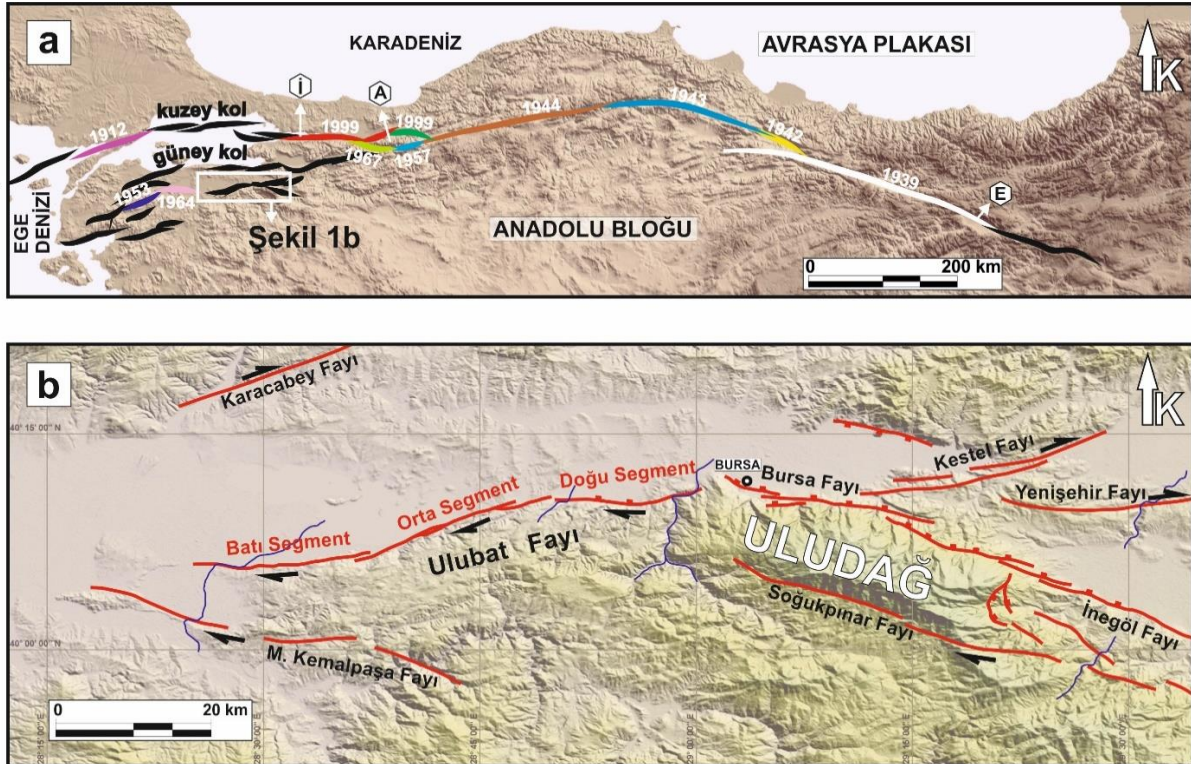
Volkan Karabacak

Email:

karabacak@ogu.edu.tr

1. GİRİŞ

Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), Anadolu Bloku ve Avrasya Plakası arasındaki sınırı oluşturan yaklaşık D-B uzanımlı, sağ yanal karakterde kıtasal ölçekli bir deformasyon kuşağıdır. Genel geometrisi doğu ve orta kesimlerinde nispeten basit bir görünüm sunan ve dar bir zona sıkışan KAFZ, Almacık Yükselimi batısında güneybatı yönünde ayrılan kolları ile bu özelliğini kaybetmektedir (Şekil 1a). 20'nci yy.'da art arda meydana gelen büyük depremlerle ün kazanmış fay zonu en doğuda Erzincan yakınlarından batıda İzmit Körfezi (Marmara Denizi) içlerine kadar ürettiği yüzey kırıkları ile kendini göstermiştir (Şekil 1a). Söz konusu uzanım, kendisine doğal bir laboratuvar niteliği kazandıran bu yüzey kırıkları ile aktif fay çalışmalarının odak noktası olmuştur. Bununla birlikte, Erzincan ile İzmit Körfezi arasındaki uzanımı ile karşılaştırıldığında, batıda Marmara Denizi güneyine doğru saçılan kolların karakteristik özellikleri ve deprem üretme potansiyelleri bilinmezliklerini korumaktadır.



Şekil 1: a) Kuzey Anadolu Fay Zonu genel geometrisi ve üzerinde 20'nci yy.'da oluşan yüzey kırıkları (İ: İzmit Körfezi, A: Almacık Yükselimi, E: Erzincan) b) Çalışma alanı Kuvaterner fayları. Faylar Emre ve diğ. (2011a,b ve c), Ozalp ve diğ. (2013), Selim ve diğ. (2013), Selim ve Tuysuz (2013), Seyitoglu ve diğ. (2016), Ozaksoy (2018), Ozaksoy ve diğ. (2018)'den faydalanılarak yeniden haritalanmıştır (Taban yükseklik modeli SRTM-3arc-second dijital verisi kullanılarak üretilmiştir.)

Almacık Yükselimi batısında KAFZ ana uzanımından güneybatı yönünde ayrılan kollar Marmara Denizi güneyine geçmekte, Batı Anadolu Genişleme Bölgesi (BAGB) kuzey kesimi boyunca Ege Denizi'ne uzanmaktadır. Güney Marmara'da yer alan Uludağ Yükselimi, BAGB ile KAFZ doğrultu atımlı hareket alanı arasında özel bir konuma sahiptir ve KAFZ güney kollarını en güneyden sınırlamaktadır (Sengor ve diğ. 2005, Okay ve diğ. 2008, Ozalp ve diğ. 2013, Selim ve Tuysuz 2013) (Şekil 1). Ulubat, Bursa ve İnegöl fayları batıdan doğuya bir yay geometrisi ile bu yükseliminin kuzeyini sınırlamaktadır (Barka ve Kadinsky-Cade 1988, Ozalp ve diğ. 2013) (Şekil 1b). Yakın geçmişte Ulubat Fayı batı ucunda (27 Şubat 1855, $M=7.3$) ve Bursa Fayı boyunca (11 Nisan 1855, $M=6.3$) meydana geldiği öne sürülen 2 büyük depremin varlığı (Sieberg 1932, Ambraseys ve Finkel 1991, Barka 1997, Eyidogan ve diğ. 1997), bu

zondaki fay segmentlerinin yüzey kırığı üretme potansiyellerini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, Uludağ Yükselimi kuzeyindeki fayların deprem davranışları üzerine net bilgiler bulunmamaktadır.

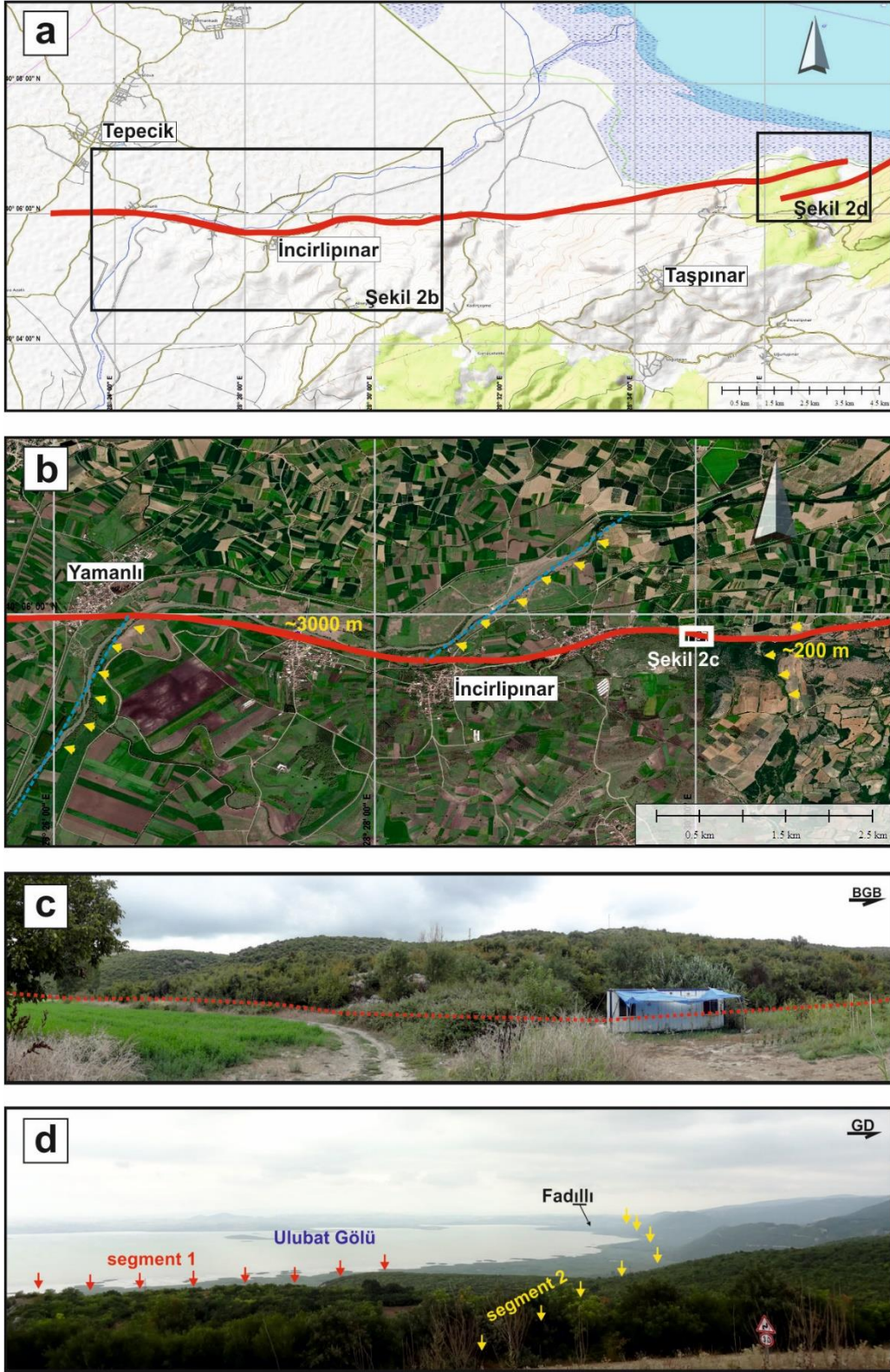
Bu çalışmada, Uludağ Yükselimi'ni kuzeybatısından sınırlayan alanda, KAFZ güney kollarının en güneydeki üyelerinden, Ulubat Fayı'nın bazı karakteristik özelliklerinin (geometrisi ve deprem davranışı) ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu kapsamda Ulubat Fayı fizyografik yer değiştirme özellikleri ve jeolojik/morfolojik belirteçlerden yararlanılarak arazide haritalanmıştır. Yaklaşık DKD-BGB uzanımlı Ulubat Fayı geometrik karakteristiklerine göre 3 segmente ayrılmıştır. Ulubat Fayı boyunca ilk paleosismolojik hendek çalışmaları yürütülmüş, orta ve doğu segmentlerde son 16 bin yılda en az 6 eski deprem izi ayırt edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar Ulubat Fayı'nın Uludağ Yükselimi kuzeyinde önemli bir aktivite üstlendiğini göstermektedir.

2. FAYLANMAYA İLİŞKİN ARAZİ GÖZLEMLERİ

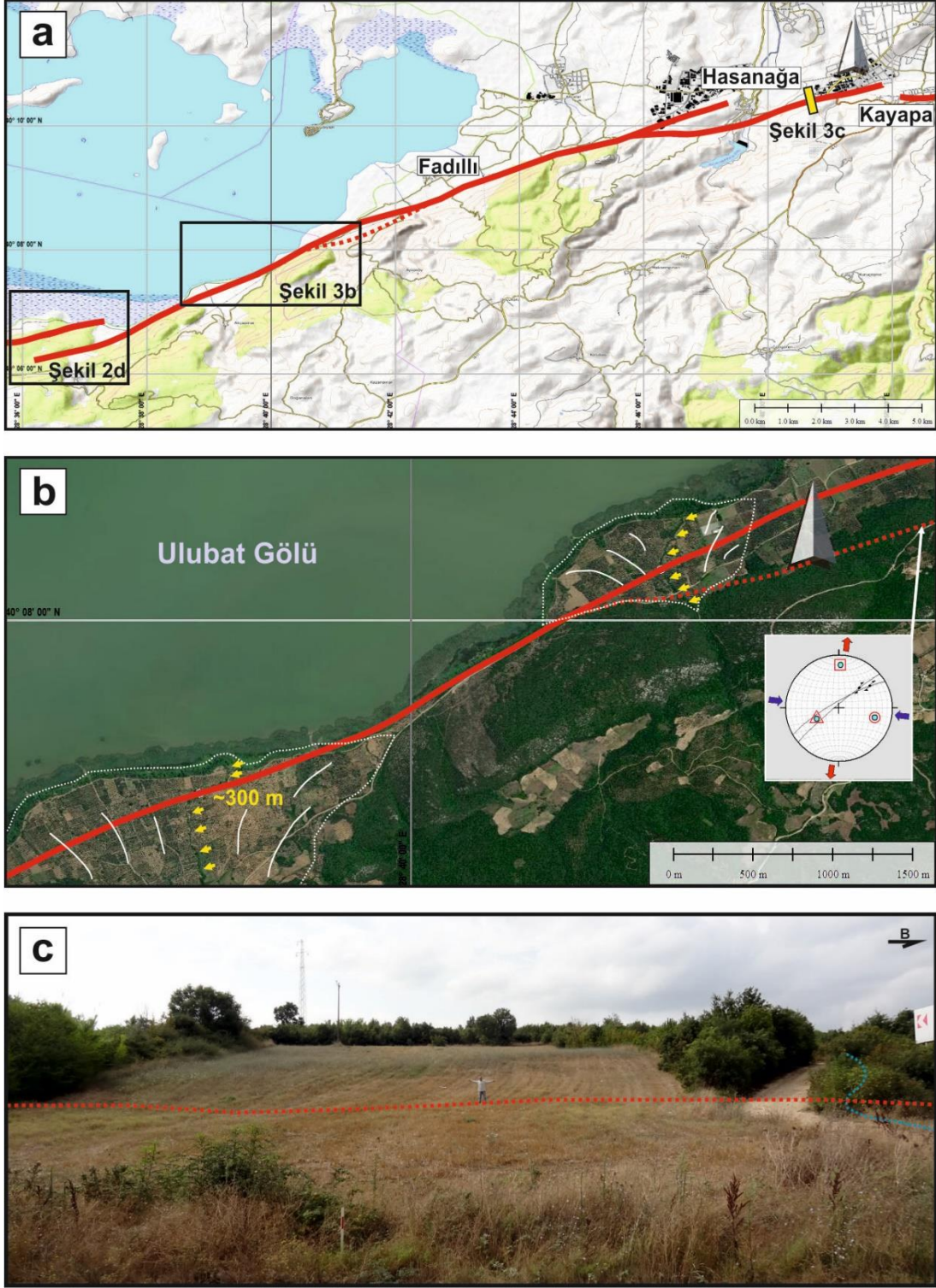
Ulubat Fayı, Ulubat Gölü güneybatısından başlayarak Bursa İli batısına (Nilüfer İlçesi) kadar uzanmaktadır (Şekil 1b). Doğan ve diğ. (2005) yaptıkları çalışmada 45 km uzunluğunda haritaladıkları fayı batıdan doğuya Doğancı, Fadıllı ve Çalı olmak üzere 3 alt geometrik segmente ayırmışlardır. Selim ve Tuysuz (2013) ise bu segmentlerden batı ve orta segmentleri Ulubat Fayı'na dâhil ederek, batıdaki segmenti Yumurcaklı segmenti olarak adlandırmışlardır. Aynı çalışmada, Doğan ve diğ. (2005) tarafından Çalı olarak adlandırılan en doğu segmenti ise Kayapa-Çalı ve Misiköy şeklinde iki segmente ayırarak Bursa Fayı'na dâhil etmişlerdir. Emre ve diğ. (2011b) Ulubat Fayı'nı Doğan ve diğ. (2005) çalışmasına benzer şekilde haritalamıştır. Son olarak Ozaksoy (2018) yaptığı haritalamada benzer segmentasyonu benimsemiş, bununla birlikte en doğu segmenti Selim ve Tuysuz (2013)'ün Bursa Fayı'na dâhil ettiği fay parçaları ile daha doğuya uzatmıştır.

Bu çalışmada, literatürde bulunan farklı yorumlar göz önünde bulundurularak, Ulubat Fayı tarafımızdan detaylı arazi verileri ile yeniden haritalanmıştır. Buna göre 54 km uzunluğunda olan DKD-BGB doğrultulu fay uzanımı, genişlemeli sıçrama alanları ile birbirinden ayrılan ve ayırt edici geometrik ve kinematik özellikler sunan 3 farklı segmentten oluşmaktadır. Literatürdeki kargaşayı arttırmamak adına bu segmentler Batı, Orta ve Doğu uzanım şeklinde adlandırılmıştır. Segmentlerin uzunluğu sırasıyla 18, 21 ve 15 km'dir (Şekil 1b).

Batı segmenti Ulubat Gölü güney-güneybatısında doğrusal olarak yaklaşık D-B doğrultusunda uzanmaktadır (Şekil 2a). Fay boyunca sağ yanal hareketin izleri genç dere yataklarında belirgindir. Örneğin; segmentin batı kesiminde Mustafa Kemalpaşa Deresi fay boyunca Yamanlı ve İncirlişınar Köyleri arasında $3\pm 0,1$ km sağ yanal olarak ötelenmektedir (Şekil 2b). Güney bloğun birkaç yüz metre yükseldiği morfoloji, segmentin bir miktar düşey bileşene de sahip olabileceğine işaret etmektedir (Şekil 2c). Segment en doğu ucunda Ulubat Gölü'ne kadar ulaşmaktadır (Şekil 2a). Bu uzanım boyunca kesintisiz tek bir kol olarak devam eden segment en doğusunda göl kenarında yaklaşık 500 metre güneye sıçramaktadır (Şekil 2d). Bu sıçrama alanı, doğu yönünde fay gidişindeki dikkat çekici değişim nedeniyle segment sınırı olarak değerlendirilmiştir. Sıçrama alanının her iki tarafındaki segmentler (Batı ve Orta segment) arasında yaklaşık 20° 'lik açı farkı bulunmaktadır (Şekil 1b).

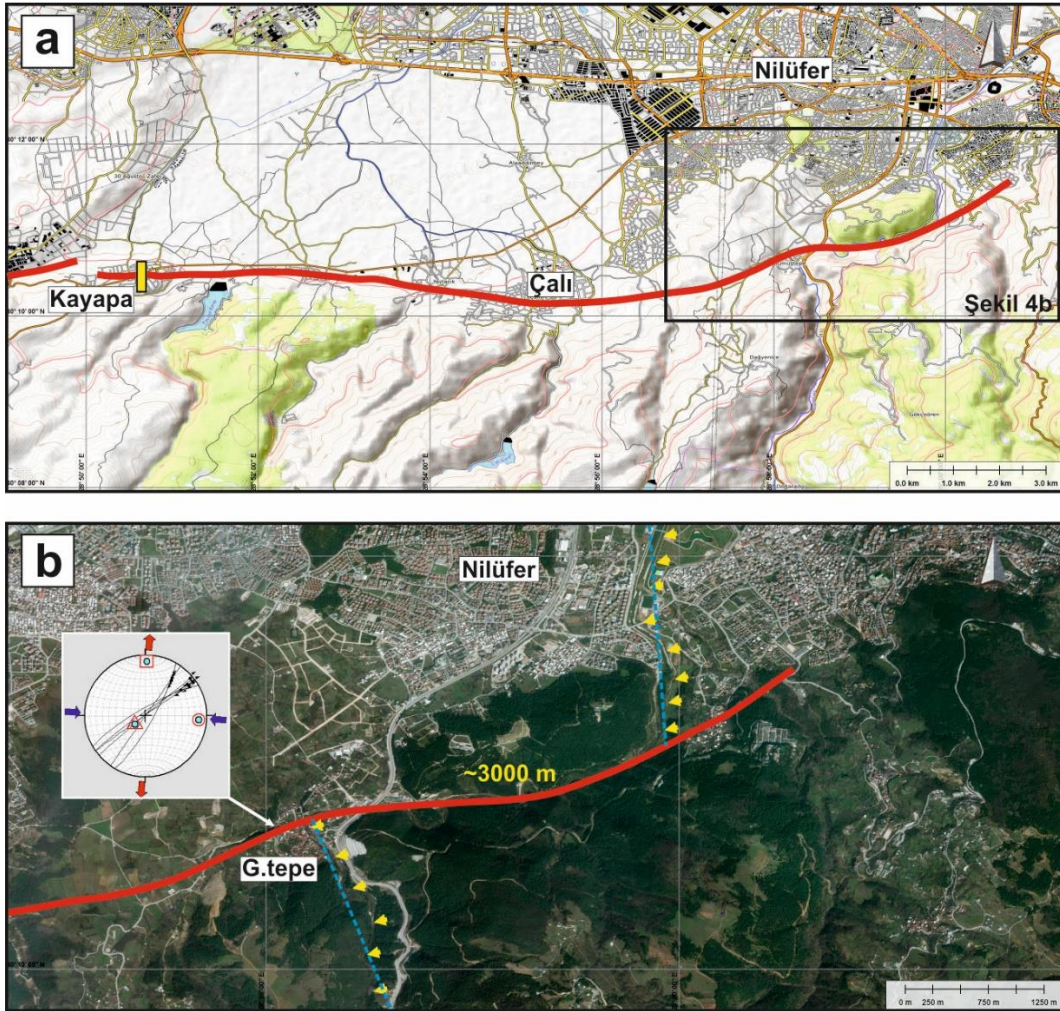


Şekil 2: a) Ulubat Fayı Batı segmentinin genel uzanımı (Tabanlık Open Topo Map veri tabanından alınmıştır.) b) Segmentin batı ucunda sağ yanal faylanmaya işaret eden dere yatağı ötelenmeleri (Tabanlık için World Imagery görüntüsü kullanılmıştır.) (Sarı oklar dere yatağını, mavi kesikli çizgi ise ötelenme ölçümünde kullanılan dere yatağı genel gidişini göstermektedir.) c) Batı segment üzerinde İncirliçınar Köyü doğusunda fay morfolojisi (Kırmızı kesikli çizgi olası fay uzanımını göstermektedir.) d) Batı (1) ve Orta (2) segmentlerin sıçrama alanı (oklar fay uzanımlarına işaret etmektedir.)



Şekil 3: a) Ulubat Fayı Orta segmentinin genel uzanımı (Tabanlık Open Topo Map veri tabanından alınmıştır.) (Sarı dikdörtgen Hasanağa Hendeği konumunu göstermektedir.) b) Segment boyunca güncel dere yatağı ötelenmeleri (Tabanlık için World Imagery görüntüsü kullanılmıştır.) c) Hasanağa Sanayi bölgesinde hendek alanı fay morfolojisi (Kırmızı kesikli çizgi Hasanağa hendek kazısında kesilen fay uzanımını, mavi kesikli çizgi ise fay uzanımı üzerinde sağ yanal olarak yerdeğiştiren bir dere yatağını göstermektedir.)

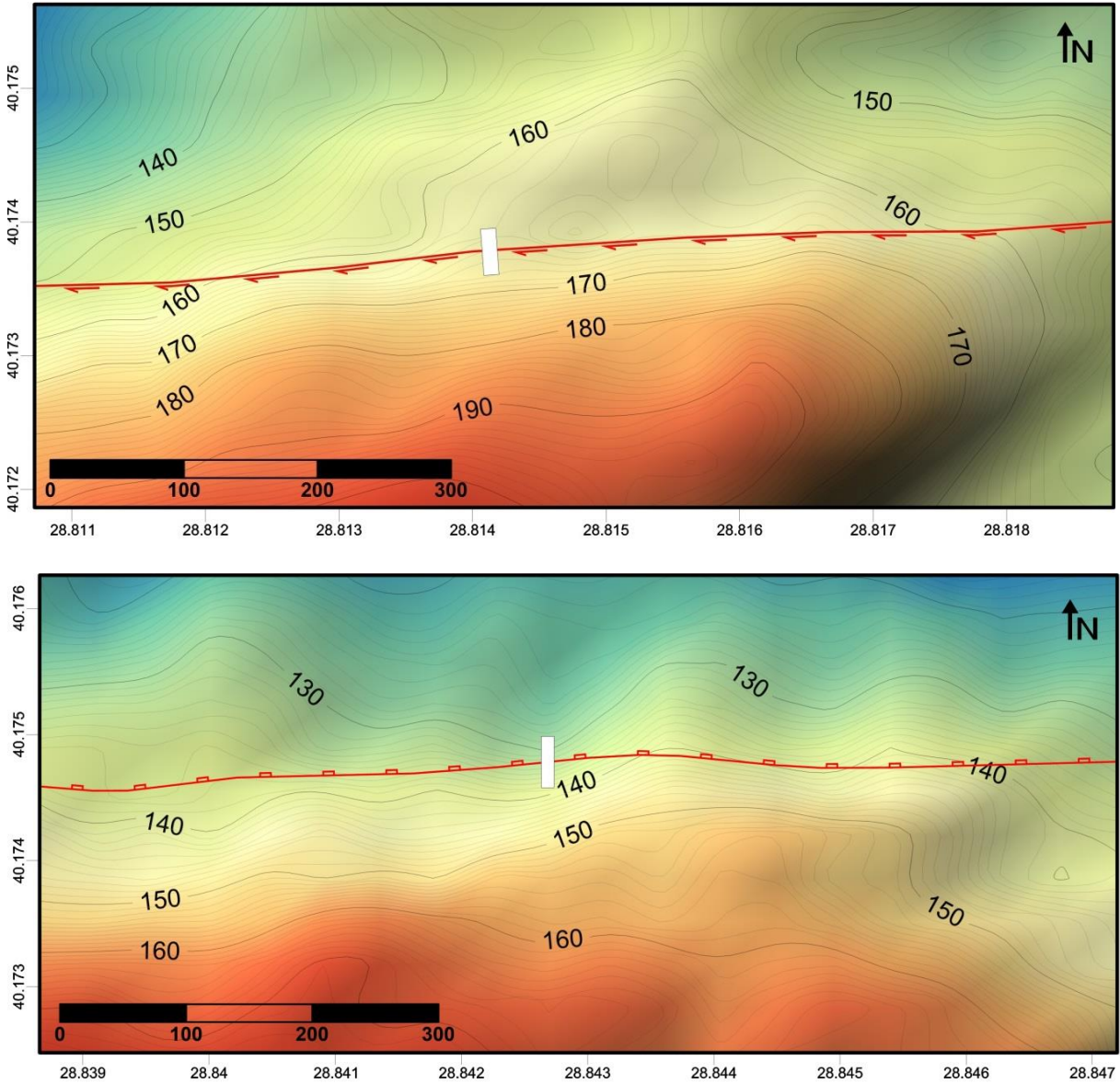
Orta segment KD-GB doğrultusunda yaklaşık 21 km uzunluğa sahiptir (Şekil 3a). Batı segmentten güneye sıçrama ile ayrılan uzanım KD yönünde yaklaşık 6 km boyunca Ulubat Gölü kenarını sınırlamakta ve doğrusal olarak Hasanağa Köyü yakınlarına kadar devam etmektedir (Şekil 3a). Segment, çökelişi devam eden alüvyal fanları kesmektedir (Şekil 3b). Uzanımı boyunca gözlemlenen güncel dere yatağı ötelenmeleri ve fay düzlemi kinematik verileri segment üzerindeki hareketin baskın şekilde doğru yönünde olduğunu ispatlamaktadır (Şekil 3b, c). KD kesiminde çatallanan Orta segmentin güneyde kalan kolu, Ulubat baseni ile Nilüfer baseni arasında bariyer görevi gören topografik yükselme alanına kadar uzanmaktadır (Şekil 1b). Bu alanda güneydoğuya sıçrayan fay uzanımı tekrar D-B gidiş kazanmaktadır. Kayapa yakınlarındaki sıçrama alanı her iki tarafındaki uzanımların gidişindeki yaklaşık 20°'lik ve fayın daha doğuda oblik karakter kazanması nedeniyle segment sınırı olarak değerlendirilmiştir. Doğu segment Nilüfer baseni güneyinde D-B yönünde güneye doğru yay şekilli geometriye sahiptir (Şekil 4a). Arazide yaklaşık 15 km takip edilebilen uzanımın düşey yönlü hareket bileşenine işaret eden fay sarplığı morfolojisi oldukça belirgindir. Bununla birlikte segment doğu ucunda sağ yan hareketin baskın olduğu bir geometri kazanmaktadır. Bu alanda Nilüfer Deresi fay tarafından kesilerek $3\pm 0,1$ km sağ yan ötelenmektedir (Şekil 4b).



Şekil 4: a) Ulubat Fayı Doğu segmentinin genel uzanımı (Tabanlı Open Topo Map veri tabanından alınmıştır.) Sarı dikdörtgen Kayapa Hendeği konumunu göstermektedir. b) Segmentin doğu ucunda sağ yan faylanmaya işaret eden Nilüfer Deresi üzerindeki ötelenme (Tabanlı için World Imagery görüntüsü kullanılmıştır.) (Sarı oklar dere yatağını, mavi kesikli çizgi ise ötelenme ölçümünde kullanılan dere yatağı genel gidişini göstermektedir.)

3. PALEOSİSMOLOJİK FAY KAZILARI

Ulubat Fayı aktivitesinin delillendirilmesi ve eski deprem kronolojisinin analitik sonuçlarla belgelenmesi amacıyla Orta ve Doğu segmentler boyunca paleosismolojik fay kazıları yapılmıştır. Geleneksel paleosismolojik hendek çalışmaları, çok sayıda deprem kaydına ulaşabilecek ölçekte ince ve/fakat her bir depremi ayırt edebilecek ölçekte kalın sedimaner çökel arşivine odaklanmaktadır. Bu anlamda uygun olabileceği öngörülen ve morfolojik olarak faylanmanın uzun dönemli tercih ettiği düşünülen iki alan belirlenmiştir (Şekil 5a, b). Orta segment üzerinde gerçekleştirilen Hasanağa hendek çalışması ve Doğu segment üzerinde gerçekleştirilen Kayapa hendek çalışması aşağıda anlatılmıştır.



Şekil 5: a) Hasanağa ve b) Kayapa hendek alanlarının topoğrafik haritaları (AsterGDEM v2 dijital verisi kullanılarak üretilmiştir.)

3.1) Hasanağa Hendeği

3.1.1) Stratigrafi

Hasanağa hendeği kuzeye bakan bir yamaç üzerinde, birkaç metrelik ani sarplığı kesecek şekilde açılmıştır (Şekil 3c, Şekil 5a). Olası fay uzanımına dik olarak K-G yönelimli kazılan hendek yaklaşık 16 metre uzunluğa sahiptir. Derinliği ortalama 3 metredir. Hendek duvarlarında tane boyu, renk ve içerik bakımından yapılan değerlendirmelerle toplam 11 farklı birim ayırt edilmiştir (Şekil 6, Tablo 1). Stratigrafik olarak ayırtılan birimlerden en güneyde yer alanlar anakaya ve buna ait ayrışma zonu olarak tanımlanırken (p, q ve r birimleri), daha genç birimler sedimanter çökel özelliği taşımaktadır (a-g). Sedimanter paketler yamaç eğimine uygun şekilde kuzeye düşük eğimli olarak çökelmiştir.

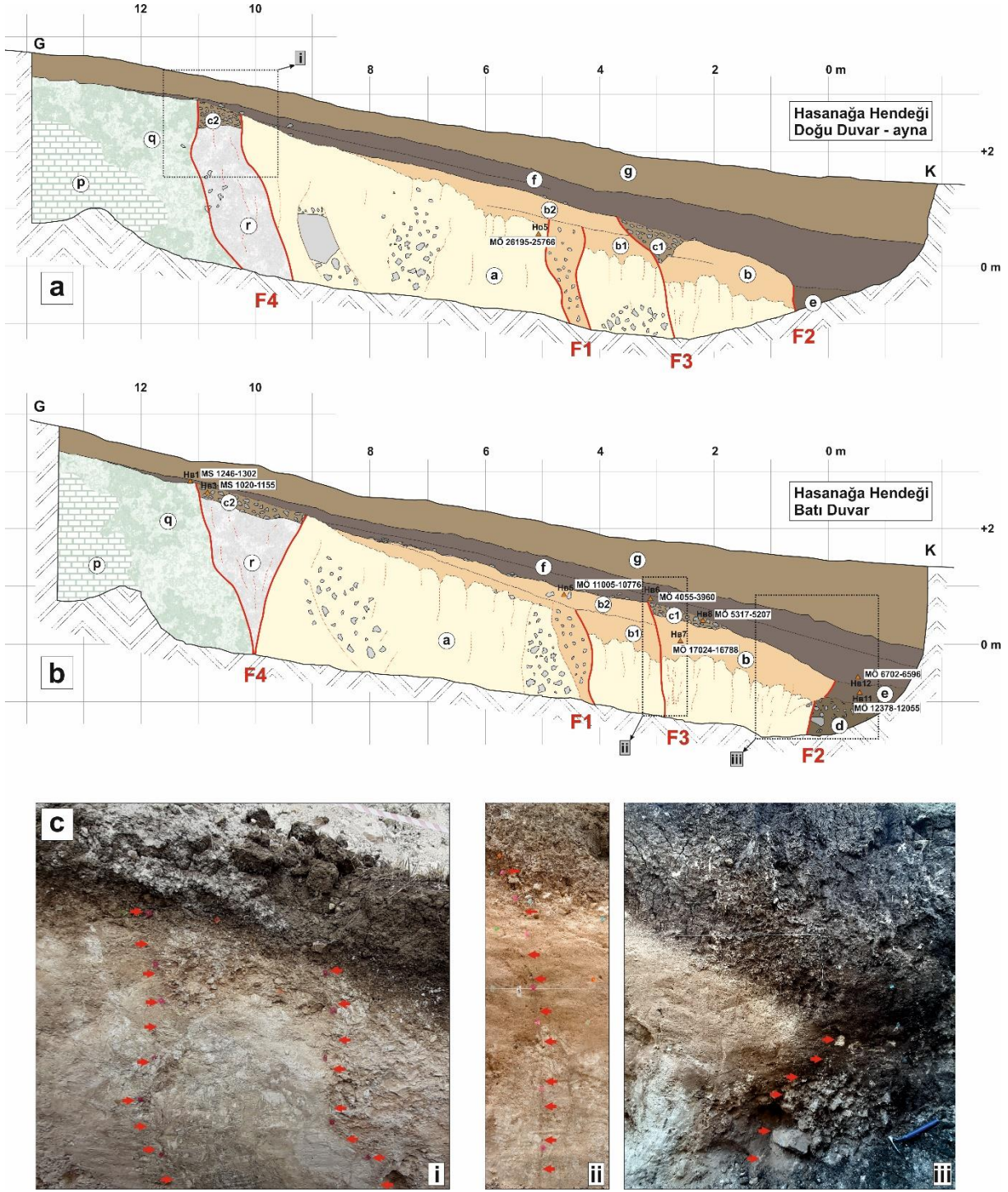
3.1.2) Yapısal ilişki

Hasanağa hendeğinde 0 ve 11'inci metreler arasında 4 ayrı kırık zonu varlığı dikkati çekmektedir (Şekil 6). Yüzeje yakınlığı ve stratigrafik olarak genç birimlerle olan kesme ilişkilerine göre bu zonlar F4, F3, F2 ve F1 şeklinde adlandırılmışlardır. 9 ile 11'inci metreler arasında konumlanan F4 zonu dike yakın iki ana kırık kolundan oluşmakta ve en güneydeki ana kaya birimleri ile daha kuzeydeki sedimanter paketlerin dokanağını kontrol etmektedir. İki kol hendek batı duvarında tabanda birleşmektedir. F4 zonu yüzeje en yakın kırıkları içermekte ve yüzeyin yaklaşık 50 cm altına kadar ulaşmaktadır. Alt kesimlerde *q*, *r* ve *a* birimlerini sınırlayan zon en üstte olasılıkla kolüvyal bir çökeli tanımlayan *c2* birimini sınırlamakta ve *f* birimi tarafından örtülmektedir. Zon içerisinde kalan *r* biriminin iç yapısı deformasyon izleri barındırmaktadır.

F3 zonu tek bir kırıktan oluşmaktadır. *a* ve *b* birimlerini kesen kol 65-80 derece kuzeye eğimli bir geometri sunmaktadır. *b* birimi üst yüzeyinde kuzey blok yaklaşık 20 cm düşey yönde yer değiştirmiş bir görünüme sahiptir. Bu alanda fay önünde kolüvyal çökeller birikmiştir (*c1*). Bu çökeller hendek doğu duvarında dolgusu görünümü sunmaktadır. F3 zonu yüzeyden yaklaşık 1 metre aşağıda F4 zonuna benzer şekilde *f* birimi tarafından örtülmektedir.

F2 zonu en kuzeyde görece daha yaşlı sedimanter birimler (*a* ve *b*) ile genç birimlerin (*d* ve *e*) sınırını oluşturmaktadır. Ana kol bu birimleri sınırlayan tek bir fay kırığından oluşmaktadır. Bununla birlikte bu kolun güneyinde kalan yakın kesimlerinde yaşlı birimler içerisinde yoğun deformasyon zonları (*a* ve *b* birimlerinde kılcal kırıklar) dikkati çekmektedir. Geometrik olarak dike yakın konumlanan zon, batı duvarda özellikle *b* birimini sınırladığı kesimde kuzeye eğimli bir görünüm kazanmaktadır. Bu geometri, fayın aktivitesi ile güney bloğun bir miktar yükselmiş olduğunu göstermektedir. Faylanma sırasında yükselen *b* birimi ise olasılıkla ön tarafında oluşan sarplık yönünde deforme olarak bir miktar hareket etmiştir. Fayın kuzey kısmında ise görece daha genç bir çökel olan *d* ve *e* birimleri bulunmaktadır. Bir senaryoya göre daha genç birimlerden en az bir tanesi (*e* birimi) kolüvyal çökel olarak çökelmiş olma ihtimaline sahiptir. Diğer yandan, genç birimler daha yaşlı olanlar ile önceki fay aktiviteleri ile yanyana getirilmiş ve F2 üzerindeki son depremde bir kez daha hareket etmiş olabilirler. Her iki durumda da F2 zonundaki son kırılma *e* birimi ile yaşıt veya daha genç olmalıdır. Bu zon *f* birimi tarafından örtülmektedir.

F1 zonu *a* birimini kesmekte ve *b* birimi içerisinde sonlanmaktadır. Doğu ve batı duvarda bu fayın sonlandığı seviye ayırt edilmiş ve büyük oranda benzer özellikler taşıyan *b1* ve *b2* birimleri tanımlanmıştır. Bu durum F1 zonu üzerindeki hareketin *b* birimi çökeli sırasında gerçekleşmiş olduğunu göstermektedir. F1 zonu genel anlamda dike yakınbir geometri sunmaktadır. Benzer özellikli 2 koldan oluşan zon içerisinde breşimsi dolgular mevcuttur. Zon üst kesimlerinde yüzeyden 1,5 metre aşağıda sonlanmaktadır.



Şekil 6: Hasanağa Hendeği a) Doğu duvar yorumlanmış logu (ayna görünümü) b) Batı duvar yorumlanmış logu c) Batı duvar karelejlanmış hendek fotoğrafları (Fotoğraf yerleri log üzerinde belirtilmiştir.)

Tablo 1: Hasanağa ve Kayapa hendekleri stratigrafik birim tanımlamaları (Birimler stratigrafik ilişkiler göz önünde bulundurularak her bir hendek için en altta yaşlıdan üstte gence doğru sıralanmıştır.)

Hendek	Stratigrafik birim	Açıklama
HASANAĞA	g	Bitkisel toprak
	f	Yer yer orta çakıl içeren koyu kahve renkli kil
	c2	Olası kolüvyal çökel (silt matriksli, orta boy, köşeli çakıl)
	c1	Kolüvyal çökel (silt matriksli, orta boy, köşeli çakıl)
	e	Kalışılı kil
	d	Yarı/tam yuvarlanmış orta/iri çakıl
	b2	Yer yer ince çakıl içeren kaba kumlu kahve renkli silt
	b1	Kaba kumlu açık kahve renkli silt
	a	Yer yer ince kumlu kesimlere sahip sarımtırak-beyaz karbonatlı kil, silt
	r	Yer yer karbonat yumruları içeren krem-beyaz kil
	q	Ana kaya ayrışma/bozunma zonu (yer yer beyazımsı karbonat yumruları içeren yeşilimsi kil)
	p	Ana kaya (kireçtaşı)
KAYAPA	d	Bitkisel toprak
	c	İnce çakıllı kahve renkli silt
	b2	Yoğun karbonat yumruları içeren ince çakıllı açık kahve renkli silt
	b1	Karbonatlı kızılsımsı kahve renkli killi silt
	a	Üst kesimlerinde yarı/tam yuvarlanmış orta/iri çakıl içeren, sarımtırak karbonatlı kil, silt, ince kum

3.1.3) Olay kronolojisi

Hasanağa hendeği duvarlarında ayırt edilen yapısal ilişkileri tarihlendirmek amacıyla stratigrafik seviyelerden 9 ayrı örnekleme yapılmıştır (Tablo 2). *a*, *b*, *b2*, *c1*, *c2*, *e*, *f* birimlerinden yapılan yaş analizleri stratigrafik gözlemleri ve olası yaş ilişkilerini doğrular niteliktedir. Bu yaş sonuçlarına göre F4 zonundaki kolüvyal çökel MS 1020-1155 (HB-3) yıllarına tarihlenmiştir. F4 kırığını örten *f* biriminden alınan yaş sonucu (MS 1246-1302, HB-1), bu zonun günümüzden yaklaşık 900 yıl önce meydana gelmiş bir depremle kırılmış olabileceğini göstermektedir. Bu olay tarihsel kaynaklarda aktarılan 26 Kasım 1143 Bursa (M=6.0) depremi (Ergin ve diğ. 1967, Ambraseys ve Finkel 1991) ile örtüşmektedir.

F3 kırığı önünde çökelen kolüvyal çökel MÖ 5317-5207 (HB-8) yıllarına tarihlenmiştir. Bu kırığı örten *f* biriminden alınan yaş sonucu (MÖ 4055-3960, HB-6), F3 fayının günümüzden yaklaşık 7 bin yıl önce meydana gelmiş bir depremle kırılmış olabileceğini göstermektedir.

F2 fayı *b2* biriminden genç (MÖ 11005-10776'dan sonra, HB-5), *e* birimi ile yaşıit veya daha genç niteliktedir (MÖ 12378-12055'den sonra, HB-11) ve *f* birimi tarafından örtülmektedir. HB-12 örneği (MÖ 6702-6596) fayın üst sınırını örten çökelleri tarihlemektedir. Bu durum F2 fayının günümüzden yaklaşık 9-12 bin yıl önceki aralıkta kırılmış olma ihtimalini göstermektedir. Bununla birlikte, F2 ve F3 fayları arasındaki kronolojik sıralama açık şekilde ayırt edilemediğinden bu iki kırığın aynı olay esnasında gelişmiş olma ihtimali az da olsa bulunmaktadır.

F1 fayı ise *a* biriminden gençtir ve *b* birimi ile eş yaşlıdır. *b1-b2* sınırında üstten HB-5 (MÖ 11005-10776) ve aynı zamanda, alttan HB-7 (MÖ 17024-16788) örneği ile sınırlandırılabilir. HB-5 örneği (MÖ 26195-25766) ile alt sınır yaşı doğrulanabilir. Dolayısıyla günümüzden yaklaşık 16 bin yıl önce bir depremle ilişkilendirilebilir. Bununla birlikte yaş sonuçları arasındaki geniş zaman aralığı, bu tarihlendirmenin hata payını arttırmaktadır.

Eldeki veriler Hasanağa hendek alanı yakınlarında fay zonu üzerinde tekrarlanan depremlerin varlığını göstermektedir. Fay geometrisi bir miktar düşey bileşene sahip (kuzey bloğun düştüğü) doğrultu atımlı faylanmaya işaret etmektedir. En az 4 ayrı depreme ait tarihler bu zonda yaklaşık 3-6 bin yıl aralığında tekrarlanan yüzey kırığı oluştuğunu göstermektedir.

Tablo 2: Hasanağa ve Kayapa hendekleri radyokarbon yaş analiz sonuçları (Elde edilen "geleneksel radyokarbon yaşları" (conventional), toplam izotop dağılımları göz önünde alınarak düzeltilmiş ve Reimer ve diğ. (2013) kalibrasyon veri tabanlarına göre kalibre edilmiştir. Radyokarbon yaşı Takvim yaşına OxCal formatında dönüştürülmüş ve Ramsey (2009)'da verilen olasılık yöntemi kullanılarak en yüksek ihtimalli yaş aralıkları (INTCAL13) belirlenmiştir.)

Hendek	Stratigrafik birim	Örnek No	Geleneksel	Takvim yılına kalibre edilmiş	
			radyokarbon yaşı	radyokarbon yaşı	
			Yaş (GÖ)	Olasılık (%)	Tarih (MÖ/MS)
HASANAĞA	a	HD-5	23890±80	95.4	MÖ 26195-25766
	f	HB-1	720±30	90.3	MS 1246-1302
	c2	HB-3	960±30	95.4	MS 1020-1155
	b2	HB-5	10980±30	95.4	MÖ 11005-10776
	f	HB-6	5210±30	94.4	MÖ 4055-3960
	b	HB-7	15610±50	95.4	MÖ 17024-16788
	c1	HB-8	6260±30	93.5	MÖ 5317-5207
	e	HB-11	12250±40	95.4	MÖ 12378-12055
	f	HB-12	7830±30	92.2	MÖ 6702-6596
KAYAPA	b2	K-0	2420±30	74.9	MÖ 556-402
	c	K-1	1540±30	95.4	MS 426-588
	b2	K-2	2120±30	91.2	MÖ 206-50
	c	K-3	1600±30	95.4	MS 398-539
	b2	K-4	5210±30	94.4	MÖ 4055-3960

3.2) Kayapa Hendeği

3.2.1) Stratigrafi

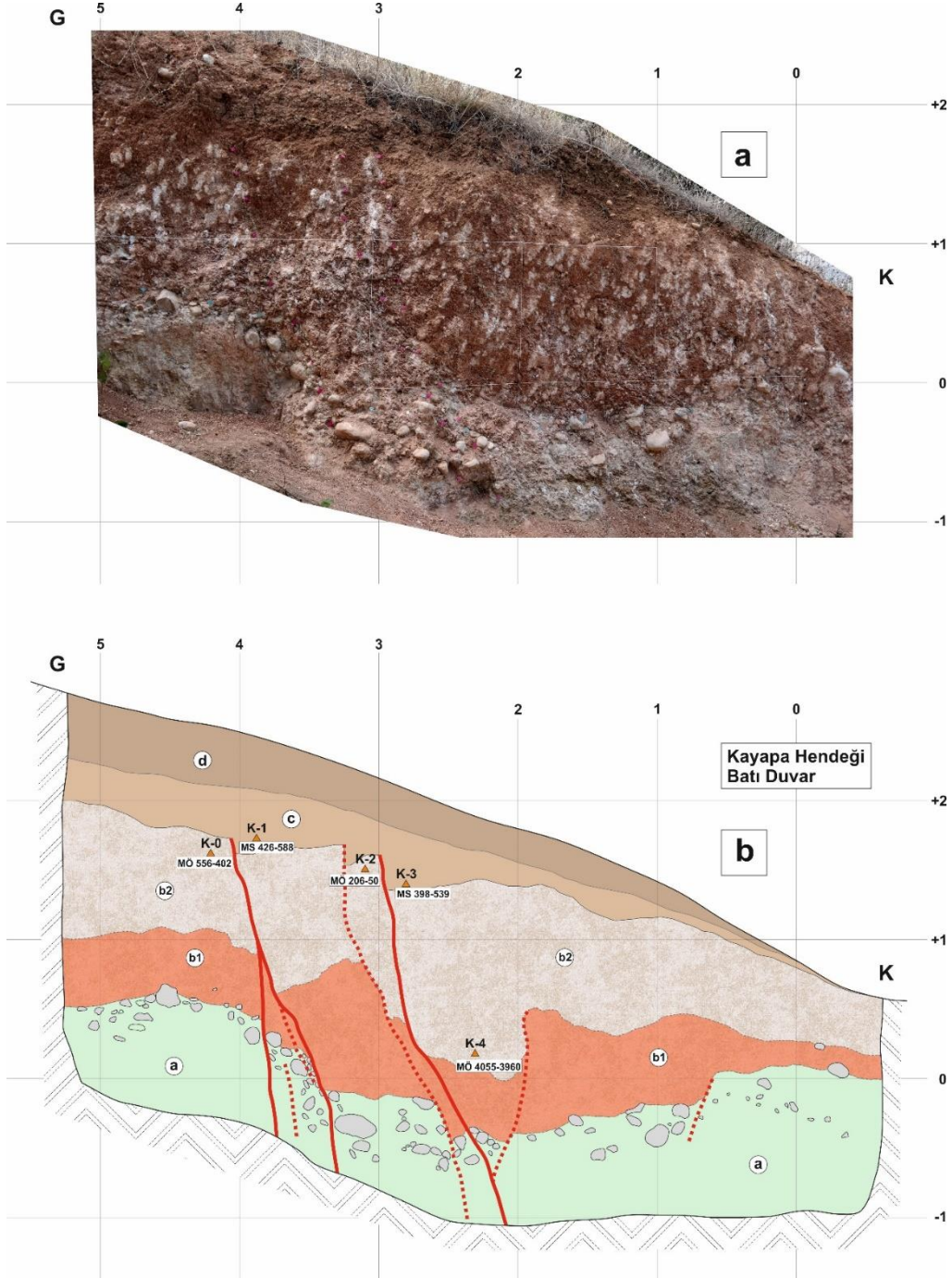
Kayapa hendeği kuzeye bakan düşük eğimli bir yamaç üzerinde, yaklaşık 1 metrelik ani bir sarplığı kesecek şekilde açılmıştır (Şekil 4a, Şekil 5b). Olası fay uzanımına dik olarak K-G yönelimli kazılan hendek yaklaşık 7 metre uzunluğa sahiptir. Derinliği 2 ile 3 metre arasında değişmektedir. Kayapa hendeği batı duvarında tane boyu, renk ve içerik bakımından yapılan değerlendirmelerle toplam 5 farklı birim ayırt edilmiştir (Şekil 6, Tablo 1). Stratigrafik olarak ayırtılan tüm birimler silt ağırlıklı sedimenter çökel niteliği taşımaktadır. Tamamı yamaç eğimine uygun şekilde kuzeye düşük eğimli olarak çökelmiştir.

3.2.2) Yapısal ilişki

Kayapa hendeğinde 2 ve 4'üncü metreler arasında kırık zonu varlığı dikkati çekmektedir (Şekil 7a). Zondaki kırıklar sırasıyla, yaşlıdan gence, *a-b1-b2* birimlerini kesmekte ve yüzeyden yaklaşık 60-70 cm derinde sonlanmaktadır. *c* birimi kırıkları örtmektedir. Kırıklar geometrik olarak benzer özellikler taşımakta ve sentetik olarak konumlanmaktadır. Tamamı yaklaşık 70 derece kuzeye eğimlidir. En kuzeyde ise *b1-b2* sınırında sonlanan bir kırık kuzeye eğimli kollardan en kuzeyde bulunan kırığa antitetik olarak yerleşmiştir. *a* birimi üst seviyelerinde gözlemlenen iyi yuvarlanmış çakılların kırıklar ile temas halinde olduğu kesimlerde uzun eksenleri bunlara paralel şekilde yönlenmektedir. Stratigrafik birimlerde kesme ve yerdeğiştirme özellikleri bir arada değerlendirildiğinde fayların eğim atım bileşenine sahip oldukları söylenebilir.

Tüm kırıklar bir arada değerlendirildiğinde *b2-c* birimleri sınırında kuzey blokta toplam ortalama 40 cm düşey yerdeğiştirme dikkati çekmektedir (Şekil 7b). *b1-b2* birim sınırı ve daha alt sınırlarda (*a-b1* sınırı) ise kuzey blokta toplam düşey yerdeğiştirme ortalama 70-80 cm'ye

ulaşmaktadır (Şekil 7b). *b1-b2* birimleri sınırını geçmeyen antitetik kırık varlığı ve derinlikle artan yerdeğiştirme bu sınır altında mevcut kırıkların birden çok kez kırılmış olabileceğini göstermektedir. Dolayısıyla *b2-c* sınırında gözlemlenen 40 cm'lik yerdeğiştirme bir depreme ilişkili ise, aynı zonda *b1-b2* ve *a-b1* sınırlarında gözlemlenen 70-80 cm'lik yerdeğiştirme en az 2 depreme işaret etmektedir.



Şekil 7: Kayapa Hendeği Batı duvarı logu a) Karelejanmış hendek duvarı fotoğrafını, b) yorumlanmış hendek logunu göstermektedir

3.2.3) Olay kronolojisi

Kayapa hendeği batı duvarında varlığından şüphelenilen 2 olayın tarihlendirilebilmesi amacıyla uygun olduğu düşünülen kesimlerde 5 adet örnek toplanmıştır (K-0, 1, 2, 3, 4 örnekleri; Şekil 7b, Tablo 2). En genç olayı temsil ettiği düşünülen faylanma *b2-c* birimi sınırında 2 farklı kesimde toplam 4 yaş analizi ile sınırlandırılmıştır. K-0 ve K-1 örnekleri ile sınırlanan faylanma yaklaşık MÖ 400 - MS 426 aralığında bir olayı işaret ederken, aynı sınıra kadar ulaşan güneydeki kol K-2 ve K-3 örnekleri ile tarihlendirilmiştir. Olasılıkla aynı olayı temsil eden bu kırılma ise MÖ 50 ile MS 398 yılları arasında gerçekleşmiştir. Bu analizler, hendekte tarihlenen en genç olayın günümüzden yaklaşık 1800 yıl önce meydana gelmiş bir depremle ilişkilendirilebileceğini göstermektedir. Bu olay tarihsel kaynaklarda aktarılan 03 Mayıs 170 (I=IX) depremi (Soysal ve diğ. 1981) ile örtüşmektedir. Bununla birlikte Soysal ve diğ. (1981) 3 Mayıs 170 olarak katalogladığı depremi Ergin ve diğ. (1967) gibi daha önceki kaynaklardan alıntılamıştır. Kataloglama sırasında araştırmacıların Kyzikos (Güney Marmara) depreminin makrosismik verisi ile 3 Mayıs 181 tarihli iyi bilinen Nikomedeia (İzmit) depremini birleştirerek, hatalı bir olay kaydı ortaya çıkartmış olma ihtimalleri de tartışmalar arasındadır (Cenk Erkmen ile sözlü görüşme). Kyzikos Güney Marmara depreminin ise MS 161 yılının hemen öncesinde (<161) meydana geldiği ve bölgede birçok kentin ciddi hasar gördüğünü veya tamamen yıkıldığı kaydedilmiştir (Guidoboni ve diğ. 1994, Ambraseys 2009). Her iki durumda da hendekte yaş analizleri ile MÖ 50 – MS 398 aralığına sınırlanan olayın MS 170 veya daha büyük olasılıkla MS<161 Güney Marmara depremi ile eşleşme ihtimali oldukça yüksektir.

Bir önceki olay ise *b1-b2* birim sınırının tarihlendirilmesi ile ortaya çıkarılabilir niteliktedir. Bu amaçla söz konusu sınıra en yakın kesimden *b2* birimi tabanını tarihleyen bir örnekleme yapılabilmektedir (K-4 örneği). Bu örnek MÖ 4055-3960 yıllarına tarihlenmiştir. Alınan yaş analizi sonucuna göre günümüzden yaklaşık 6-7 bin yıl öncesinde bir diğer depremin varlığından söz edilebilir.

Yeterli istatistiksel değerlendirme şansı sunmamakla birlikte, elde edilen sonuçlar Ulubat fay uzanımının bu kesimlerinde yaklaşık 4-5 bin yıl ara ile tekrarlanan ve yaklaşık 40 cm düşey yerdeğiştirme meydana getiren depremlerin varlığını ortaya koymaktadır.

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Ortaya konulan çalışmalar sonucunda (jeolojik-jeomorfolojik arazi gözlemleri, kinematik değerlendirmeler ve paleosismolojik çalışmalar), Ulubat Fayı baskın olarak sağ yanal doğrultu atımlı özellik sunan bir Holosen Fayı olarak tanımlanmıştır. Arazide yaklaşık 54 km takip edilebilen uzanım boyunca Batı, Orta ve Doğu olarak adlandırılan 3 segment tanımlanmıştır. Orta ve Doğu segmentlerde yürütülen paleosismolojik çalışmalar ile son 16 bin yılda en az 6 eski deprem izi ayırt edilmiştir. Geometrik segmentasyon ile uyumlu olan paleosismik davranış her bir segmentte bağımsız kırık gelişimine işaret etmektedir. Tarihsel kayıtlarla ilişkilendirilen yaş sonuçları Ulubat Fayı Doğu ve Orta segmentleri boyunca en son yüzey kırıklarının sırasıyla <161 (veya 170) (I=IX) ve 1143 (M=6.0) depremleri ile oluştuğunu göstermektedir. Batı segmentte henüz paleosismolojik kayıt elde edilememiş olmakla birlikte, tarihsel kayıtlarda 28 Şubat 1855 (M=7.3)'de meydana gelen büyük deprem sırasında bu uzanımın kırılmış olabileceği şeklinde bir görüş birliği bulunmaktadır (örneğin; Öztin ve Bayülke 1990, Ambraseys ve Finkel 1991, Barka 1997). Bu durum Ulubat Fayı boyunca deprem aktivitesinin, son iki bin yılda, KAFZ genel karakterine uygun şekilde batıya göç ettiğini göstermektedir. Dolayısıyla, Bursa yerleşim yerine (Nilüfer İlçesi) en yakın şekilde konumlanan Doğu segment üzerinde yaklaşık 1850 yıllık bir suskunluk bulunmaktadır.

Marmara Bölgesi'nde yapılan Küresel Konumlama Sistemi (KKS) hız ölçümleri ve modellemeleri Uludağ Yükselimi kuzeybatısı boyunca KAFZ güney kolu üzerinde 2,9 - 9,6 mm/yıl sağ yanal faylanma hareketi ve 4,2 - 8,8 mm/yıl normal faylanma hareketinin varlığını ortaya koymaktadır (Meade ve diğ. 2002, Reilinger ve diğ. 2006, Aktuğ ve diğ. 2009). Bu deformasyonun Balıkesir ve Gemlik yakınlarında konumlanan paralel kollar ile paylaşıldığı göz önünde bulundurulduğunda (Şekil 1a), Ulubat Fayı payına göz ardı edilemeyecek ölçekte bir güncel deformasyon varlığı düşmektedir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar Ulubat Fayı'nın Uludağ Yükselimi kuzeyinde önemli bir aktivite üstlendiğini göstermektedir. Yürütülen çalışmalarla elde edilen veriler ışığında Ulubat Fayı segmentlerinin karakteristik özellikleri Tablo 3'te özetlenmiştir.

Doğu segmentte her depremde yaklaşık 40 cm düşey yer değiştirme meydana geldiği tespit edilmiştir. Yaklaşık 1mm/yıllık düşey kayma hızı ile bu yer değiştirme 4 bin yıllık periyotlarda deformasyon birikimi gerektirmektedir. Bu durum paleosismolojik gözlemlerin ve çıkarımların bölgedeki güncel KKS hız verileri ile (Gemlik, Gençali, Zeytinbağ, Karacabey gibi en az 3-4 paralel kol üzerine dağılan 1-2 mm/yıl sağ yanal ve normal kayma hızı) tutarlı olduğunu ortaya koymaktadır.

KAFZ ana uzanımı boyunca deprem tekrarlanma aralığı 100-1200 yıl aralığında önerilmekle birlikte, bu periyot bazı kesimlerinde 100-300 yıl aralığına kadar düşmektedir (örneğin, Fraser 2009, Fraser ve diğ. 2010, Hartleb ve diğ. 2006, Klinger ve diğ. 2003, Kozacı 2008, Rockwell ve diğ. 2009, Karabacak ve diğ. 2019). Dahası Hartleb ve diğ. (2006) ve Kozacı (2008) bu tekrarlanmanın aynı periyotlarda gerçekleşmediğini öne sürerken, Fraser (2009) bu periyodun iki farklı döngüde gerçekleşmiş olabileceğini belirtmiştir. Bununla birlikte, Güney Marmara'da uzanan KAFZ güney kolları üzerindeki deprem davranışı KAFZ'nun diğer kesimleri ile karşılaştırıldığında belirsizliğini korumaktadır. Bu kollar boyunca son yıllarda artan sayıda paleosismolojik çalışmalarda farklı deprem davranış tipleri ortaya konulmuştur. Örneğin; Yenice-Gönen Fayı (Kurçer ve diğ. 2008) üzerinde 660 yıl ve Havran-Balıkesir Fayı (Sozbilir ve diğ. 2016a) üzerinde 1000-2000 yıl deprem tekrarlanma aralığı önerilmiştir. Manyas Fayı (Kurçer ve diğ. 2017) ve Orhaneli Fayı (Ozaksoy ve diğ. 2018) üzerinde deprem tekrarlanma aralığı önerilememiştir. Edremit Fayı (Sozbilir ve diğ. 2016b), Mustafa Kemalpaşa Fayı (Kop ve diğ. 2016) ve Bekten Fayı (Ozalp ve diğ. 2016) üzerinde ise sistematik bir deprem tekrarlanma aralığının önerilemeyeceği bildirilmiştir. Ozalp ve diğ. (2013) tarafından Gemlik Fayı'nda üretilen paleosismolojik veriler, Geyve ve İznik Fayları ile birlikte tartışılmış ve bu fayların tekrarlanma periyodu düzenli olmayan büyük depremler ürettiği şeklinde yorumlanmıştır.

Bu çalışmada ortaya konulan arazi delilleri Ulubat Fayı'nın geometrik özellikleri ile birbirinden ayrılan 3 farklı segmentten oluştuğunu göstermektedir. Yeterli istatistiksel değerlendirme şansı sunmamakla birlikte, son 16 bin yıllık paleosismik kayıtlar, Ulubat Fayı'nın bağımsız segmentlerinde tekrarlanma periyodu farklılıklarının varlığını ortaya koymuştur. Orta segmentde yaklaşık 3-6 bin yıl ara ile tekrarlanan depremler, Doğu segmentte 4-5 bin yıllık bir periyotta tekrarlanmaktadır. Bununla birlikte, ulaşılan kayıtlarda günümüzden yaklaşık 7 bin yıl önce en az iki segmentin (Orta ve Doğu) bir arada kırılmış olabileceğine yönelik deliller de elde edilmiştir. Bu durum, KAFZ güney kollarının birçoğunda (Geyve, İznik, Gemlik, Edremit, Mustafa Kemalpaşa, Bekten, Manyas ve Orhaneli Fayları) tartışma konusu olarak ön plana çıkan paleosismolojik davranış modeli ile benzerlik göstermektedir ve Ulubat Fayı segmentlerinin deprem davranışının düzenli olmadığı şeklinde yorumlanabilir. Sonuç olarak bu çalışmada ortaya konulan paleosismolojik veriler, Güney Marmara'da KAFZ kolları boyunca yayınlanmış veriler ile birlikte değerlendirildiğinde; (1) KAFZ güney kolunu oluşturan segmentlerin karakteristik deprem davranışı sunmadığını, (2) bu düzensizliğin fay zonunun bölgedeki çok parçalı geometrisinden kaynaklı olabileceğini kanıtlamaktadır.

Tablo 3: Ulubat Fayı segmentlerinin karakteristik özellikleri (Segmentlerin üretebileceği deprem büyüklüğü, yerdeğiştirme ve fay uzunlukları kullanılarak Wells ve Coppersmith (1994) tarafından önerilen diyagramlar temelinde hesaplanmıştır.)

Segment	Haritalanan uzunluk (km)	Geometrik özellikleri			Deprem tekrarlanma aralığı (binyıl)	Son büyük deprem (yüzeysel kırığı faylanması)		Her bir depremde yer değiştirme miktarı (cm)	Üretebileceği deprem büyüklüğü (M)	
		jeolojik-jeomorfolojik gözlemler	kinematik değerlendirmeler	paleosismolojik çalışmalar		tarihsel kayıt	paleosismolojik çalışmalar		tek segment	birarada kırılma
Batı	18	sağ yanal	---	---	---	1855 (M=7.3)*	---	---	6.5	7.1
Orta	21	sağ yanal	sağ yanal	doğrultu atımlı	3 - 6	1143 (M=6.0)**	MS 1020-MS 1155	---	6.7	
Doğu	15	oblik	sağ yanal	eğim atımlı normal	4 - 5	<161*** veya 170 (I ₀ =IX)****	MÖ 50 - MS 398	40	6.4	

* (Öztin ve Bayülke 1990, Ambraseys ve Finkel 1991, Barka 1997), ** (Ergin ve diğ. 1967, Ambraseys ve Finkel 1991), *** (Guidoboni ve diğ. 1994, Ambraseys 2009), **** (Soysal ve diğ. 1981)

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Ulusal Deprem Araştırma Programı (UDAP) tarafından UDAP-G-18-01 kodlu proje kapsamında desteklenmiştir. Çalışma sırasında toplanan organik çökeller Beta Analytic, Inc., laboratuvarlarında tarihlendirilmiştir. Yazarlar hakem sürecinde yapıcı değerlendirmelerinden dolayı Selim Özalp ve ismi bilinmeyen diğer hakeme teşekkür eder. Ayrıca, basım öncesi halinde makaledeki tarihsel deprem verilerine yönelik görüşlerini paylaşan Cenk Erkmen'e teşekkür eder.

KAYNAKLAR

Aktug B., Nocquet, J.M., Cingoz A., Parsons A., Erkan Y., England P., Lenk O., Gurdal M.A., Kilicoglu A., Akdeniz H., Tekgul A., 2009. Deformation of western Turkey from a combination of permanent and campaign GPS data: limits to block-like behaviour, *J Geophys Res.* 114, 1-22.

Ambraseys N.N., 2009. Earthquakes in the Mediterranean and middle East (A Multidisciplinary Study of Seismicity up to 1900). Cambridge University Press Cambridge 2009.

Ambraseys N.N., Finkel C.F., 1991. Long-term seismicity of Istanbul and the Marmara Sea region, *Terra Nova* 3, 527-39.

Barka A.A., 1997. Neotectonics of the Marmara Region, Active Tectonics of the northernwestern Anotolia-the Marmara poly-project, ETH, Zurich, 55-87.

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

Doğan A., Emre Ö., Yıldırım C., 2005. Uluabat Fayı: Kuzeybatı Anadolu'nun güncel kinematikliğinde sıkışmalı bir doğrultu atımlı fay örneği. Eskişehir Fay Zonu ve İlişkili Sistemlerin Depremselliği Çalıştayı, Osmangazi Üniversitesi, 28-30 Nisan 2005, Eskişehir.

Emre Ö., Doğan A., Duman T.Y., Özalp S., 2011a. 1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, Bursa (NK 35-12) Paftası. Seri No: 9, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara-Türkiye.

Emre Ö., Doğan A., Özalp S., Yıldırım C., 2011b. 1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Bandırma (NK 35-11b) Paftası. MTA 1:250.000 Ölçekli Diri Fay Haritaları Serisi, Seri No: 3, 55 s., Ankara-Türkiye.

Emre Ö., Duman T.Y., Özalp S., 2011c. 1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, Kütahya (NJ 35-4) Paftası. Seri No: 10, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara-Türkiye.

Ergin K., Güçlü U., Uz Z., 1967. Earthquake Catalogue of Turkey and Nearby Regions (from 11 AD to 1964 BC). ITU Mine Faculty Press, İstanbul.

Eyidoğan H., Akinci A., Polat O., 1997. The characteristics of site, source and regional attenuation in the vicinity of Bursa city, northwestern Turkey. In: Cakmak A.S., Erdik M., Durukal E. (eds) Proceedings of 8th international conference on soil dynamics and earthquake engineering, İstanbul, 32-33.

Fraser J.G., 2009. Four new paleoseismic investigations on the North Anatolian Fault, Turkey, in the context of existing data, PhD thesis. Belgium, Brussels: Univ. Libre de Bruxelles. 284 pp.

Fraser J.G., Vanneste K., Hubert-Ferrari A., 2010. Recent behavior of the North Anatolian Fault: Insights from an integrated paleoseismological data set, *Journal of Geophysical Research* 115, B09316.

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 1994.

Hartleb R.D., Dolan J.F., Kozacı O., Akyuz H.S., Seitz G.G., 2006. A 2500-yr-long paleoseismologic record of large, infrequent earthquakes on the North Anatolian fault at Cukurcimen, Turkey, *Bulletin of the Seismological Society of America* 118(7-8), 823-840.

Karabacak V., Uysal I.T., Mutlu H., Unal-Imer E., Dirik R.K., Feng Y.-X., Akiska S., Aydogdu I., Zhao J.-X., 2019. Are U-Th dates correlated with historical records of earthquakes? Constraints from co-seismic carbonate veins within the North Anatolian Fault Zone, *Tectonics* 38 (7), 2431-2448.

Klinger Y., Sieh K., Altunel E., Akoglu A., Barka A.A., Dawson T., 2003. Paleoseismic evidence of characteristic slip on the western segment of the North Anatolian Fault, Turkey, *Bulletin of the Seismological Society of America* 93(6), 2317-2332.

Kop A., Ozalp S., Elmaci H., Kara M., Duman T.Y., 2016. Active Tectonic and Paleoseismological Features of the Western Section of Mustafakemalpaşa Fault; Bursa, NW Anatolia, *Geodinamica Acta* 28 (4), 363-378.

Kozacı Ö., 2008. Constancy of strain release rates along the North Anatolian Fault, PhD thesis, 174 pp. Los Angeles: Univ. of South. Calif.

Kurçer A., Chatzipetros A., Tutkun S.Z., Pavlides S., Ates O., Valkaniotis, S., 2008. The Yenice-Gönen active fault (NW Turkey): Active tectonics and palaeoseismology, *Tectonophysics* 453, 263-275.

Kurcer A., Ozaksoy V., Ozalp S., Uygun-Guldoğan C., Ozdemir E., Duman T.Y., 2017. The Manyas Fault Zone (Southern Marmara Region, NW Turkey): Active Tectonics and Paleoseismology, *Geodinamica Acta* 29 (1), 42-61.

Meade B.J., Hager B.H., McClusky S.C., Reilinger R.E., Ergintav S., Lenk O., Barka A., Ozener H., 2002. Estimates of seismic potential in the Marmara region from block models of secular deformation constrained by GPS measurements, *Bull Seismol Soc Am.* 92(1), 208-215.

Okay A.I., Satir M., Zattin M., Cavazza W., Topuz G., 2008. An Oligocene ductile strike-slip shear zone: The Uludağ Massif, northwest Turkey—Implications for the westward translation of Anatolia, *GSA Bulletin* 120, 893-911.

Ozaksoy V., 2018. On the distinction of tectonic and nontectonic faulting in palaeoseismological research: a case study from the southern Marmara region of Turkey, *International Journal of Earth Sciences* 107, 1777-1788.

Ozaksoy V., Elmaci H., Ozalp S., Kara M., Duman T.Y., 2018. Holocene activity of the Orhaneli Fault based on palaeoseismological data, Bursa, NW Anatolia. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration* 156, 1-16.

Ozalp S., Emre O., Dogan, A., 2013. The segment structure of Southern Branch of the North Anatolian Fault and paleoseismological behaviour of the Gemlik Fault, NW Anatolia. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration* 147, 1-17.

Ozalp S., Kurcer A., Ozdemir E., Duman T.Y., 2016. The Bekten Fault: The paleoseismic behaviour and kinematic characteristics of an intervening segment of the North Anatolian Fault Zone, Southern Marmara Region, Turkey, *Geodinamica Acta* 28 (4), 347-362.

Öztiñ F., Bayülke N., 1990. Historical earthquakes of İstanbul, Kayseri and Elazığ, Earthquake Research Department, General Directorate of Disaster Affairs, Ministry of Public Works and Settlement Report, Ankara, 22 s.

Ramsey B.C., 2009. Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon*, 51(1), 337-360.

Reilinger 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 K., 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, *J. Geophys. Res.* 111, B5, B05411.

Reimer P.J., Bard E., Bayliss A., Beck J.W., Blackwell P.G., Ramsey B.C., Buck C.E., Cheng H., Edwards R.L., Friedrich M., Grootes P.M., Guilderson T.P., Hafliðason H., Hajdas I., Hatté C., Heaton T.J., Hoffmann D.L., Hogg A.G., Hughen K.A., Kaiser K.F., Kromer B., Manning S.W., Niu M., Reimer R.W., Richards D.A., Scott E.M., Southon J.R., Staff R.A., Turney C.S.M., van der Plicht J., 2013. IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0-50,000 years cal BP, *Radiocarbon* 55(4), 1869-1887.

Rockwell T., Ragona D., Seitz G., Langridge R., Aksoy M. E., Uçarkus G., 2009. Palaeoseismology of the North Anatolian Fault near the Marmara Sea: Implications for fault segmentation and seismic hazard. In K. Reicherter, A.M. Michetti, & P.G. Silva (Eds.), *Palaeoseismology: Historical and prehistorical records of earthquake ground effects for seismic hazard assessment*, *Geol. Soc. Spec. Publ.* 316, 31-54.

Selim H.H., Tuysuz O., 2013. The Bursa-Göñen Depression, NW Turkey: a complex basin developed on the North Anatolian Fault, *Geological Magazine* 150 (5), 801-821.

Selim H.H., Tuysuz O., Karakas A., Tas K.O., 2013. Morphotectonic evidence from the southern branch of the North Anatolian Fault (NAF) and basins of the south Marmara sub-region, NW Turkey, *Quaternary International* 292, 176-192.

Sengor A.M.C., Tuysuz O., Imren C., Sakıncı M., Eyidoğan H., Gorur N., Le Pichon X., Rangin C., 2005. The North Anatolian Fault: A New Look. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 33, 37-112.

Seyitoglu G., Kaypak B., Aktug B., Gurbuz E., Esat K., Gurbuz A., 2016. An alternative route for the southern branch of the North Anatolian Fault Zone, NW Turkey. *Geological Bulletin of Turkey* 59 (2), 115- 130.

Sieberg A., 1932. Untersuchungen über Erdbeben und Bruchschollenbau im östlichen Mittelmeer, G. Fischer Verlag, Jena.

Soysal H., Sipahioğlu S., Kolçak D., Altınok Y., 1981. Türkiye ve çevresinin deprem katalogu, MÖ 2100-MS 1900 (Earthquake catalogue of Turkey and surroundings, 2100 BC-1900 AD). TUBITAK Yayınları (TBAG 341), 99 s.

Sozibilir H., Ozkaymak C., Uzel B., Sumer O., Eski S., Tepe C., 2016a. Palaeoseismology of the Havran-Balıkesir Fault Zone: evidence for past earthquakes in the strike-slip-dominated contractional deformation along the southern branches of the North Anatolian fault in northwest Turkey, *Geodinamica Acta* 28, 4, 254-272.

Sozibilir H., Sumer O., Ozkaymak C., Uzel B., Guler T., Eski S., 2016b. Kinematic analysis and palaeoseismology of the Edremit Fault Zone: evidence for past earthquakes in the southern branch of the North Anatolian Fault Zone, Biga Peninsula, NW Turkey, *Geodinamica Acta* 28, 4, 273-294.

Wells D., Coppersmith K., 1994. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area and surface displacement, *Bull. Seism. Soc. Am.* 84, 974-1002.



Reducing Seismic Effects by Using Steel Metamaterials in Different Configurations

Selcuk Kacin ¹, Umur Korkut Sevim ¹, Murat Ozturk ¹, Muharrem Karaaslan ², Mustafa Demirci ¹, Oguzhan Akgol ², Emin Unal ², Zafer Ozer ³, Mustafa Tunahan Basar ⁴, Bayram Ali Mert ⁵, Seyda Gulsum Kaya ¹, Maide Erdogan Alkurt ² and Fatih Ozkan Alkurt ²

¹ Iskenderun Technical University, Department of Civil Engineering, Hatay, 31200, Turkey

² Iskenderun Technical University, Department of Electrical and Electronics Engineering, Hatay, 31200, Turkey

³ Mersin University, Department of Electrical and Electronics Engineering, Mersin, Turkey

⁴ Iskenderun Technical University, Department of Mechanical Engineering, Hatay, 31200, Turkey

⁵ Iskenderun Technical University, Department of Petroleum Civil Engineering, Hatay, 31200, Turkey

ORCID: 0000-0001-5406-5756, 0000-0002-6268-4909, 0000-0003-3389-4883, 0000-0003-0923-1959, 0000-0002-3249-2586, 0000-0002-1423-1569, 0000-0002-4088-8353, 0000-0001-7118-938X, 0002-3108-8995, 0000-0002-3492-9817, 0000-0002-7018-9377, 0000-0003-1858-510X, 0000-0002-9940-0658

Keywords

Metamaterial, Earthquake, Steel materials, Surface waves

Highlights

- * Seismic effects on the soil were analysed using steel piles
- * Different sequences such as sine, square, triangle and circle were carried out on the ground
- * Similar results in common frequency values were examined and interpreted

Acknowledgements

This study was carried out within the framework of the UDAP-Ç-19-21 project supported by the Disaster and Emergency Management Presidency (AFAD). The authors (AFAD) would like to thank.

Aim

To demonstrate that seismic effects can be attenuated using steel piles in various field applications.

Methods

Simulation studies are carried out to determine the seismic behavior of steel piles in field applications with different field configurations.

Results

It is thought that steel piles can show effective performance in seismic metamaterial applications. Effective results were obtained in all field applications, especially between 5.8 Hz and 8.5 Hz frequency values. It is seen that the most successful results are obtained in the triangular field arrangement. Effective results can be obtained in triangular array field applications in wide band gaps.

Supporting Institutions

Iskenderun Technical University,
Disaster and Emergency Management (AFAD)

How to cite

Kacin S., Sevim U.K., Ozturk M., Karaaslan M., Demirci M., Akgol O., Unal E., Ozer Z., Basar M.T., Mert B.A., Kaya S.G., Alkurt M.E., Alkurt F.O., 2021. Reducing Seismic Effects by Using Steel Metamaterials in Different Configurations, Turk. J. Earthq. Res. 3 (1), 20-32, <https://doi.org/10.46464/tdad.911133>

Manuscript

Research Article

Received: 26.04.2021

Revised: 18.05.2021

Accepted: 28.05.2021

Printed: 30.06.2021

DOI

10.46464/tdad.911133

Corresponding Author

Selcuk Kacin

Email: selcuk.kacin@iste.edu.tr

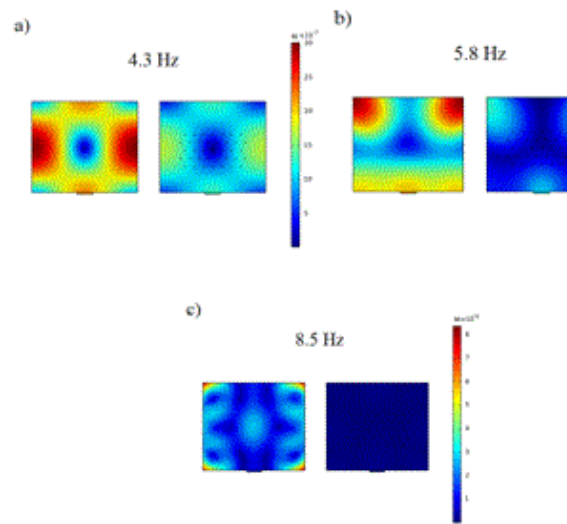


Figure 11. Displacement differences between field applications with triangular piles and field applications without metamaterials a) 4.3 Hz, b) 5.8 Hz, c) 8.5 Hz



Farklı Konfigürasyonlarda Çelik Metamalzemeler Kullanarak Sismik Etkilerin Azaltılması

Selçuk Kaçın¹, Umur Korkut Sevim¹, Murat Öztürk¹, Muharrem Karaaslan², Mustafa Demirci¹, Oğuzhan Akgöl², Emin Ünal², Zafer Özer³, Mustafa Tunahan Başar⁴, Bayram Ali Mert⁵, Şeyda Gülsüm Kaya¹, Maide Erdoğan Alkurt² ve Fatih Özkan Alkurt²

¹ İskenderun Teknik Üniversitesi, İnşaat Müh. Bölümü, İskenderun 31200, Türkiye,

² İskenderun Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü, İskenderun 31200, Türkiye

³ Mersin Üniversitesi, Mersin Meslek Yüksekokulu, Elektronik Bölümü, Mersin, 31200, Türkiye

⁴ İskenderun Teknik Üniversitesi, Makina Müh. Bölümü, Hatay, 31200, Türkiye

⁵ İskenderun Teknik Üniversitesi, Petrol ve Doğal gaz Müh. Bölümü, Hatay, 31200, Türkiye

ORCID: 0000-0001-5406-5756, 0000-0002-6268-4909, 0000-0003-3389-4883, 0000-0003-0923-1959, 0000-0002-3249-2586, 0000-0002-1423-1569, 0000-0002-4088-8353, 0000-0001-7118-938X, 0002-3108-8995, 0000-0002-3492-9817, 0000-0002-7018-9377, 0000-0003-1858-510X, 0000-0002-9940-0658

ÖZET

Depremlerin yıkıcı etkilerini azaltmak için yapılan çalışmalar, son zamanlarda üzerinde durulan araştırma konuları arasındadır. Bu çalışmada, kare, üçgen, sinüs ve daire olmak üzere dört farklı saha dizisinde çelik metamalzemeler kullanılarak titreşim etkilerini azaltmak için bir dizi simülasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Oluşan iletim kayıpları sonlu elamanlar yöntemi (FEM) kullanılarak belirlenmiştir. Simülasyon çalışmasında, çelik yapıların çap ve malzeme özellikleri ile zemin yapısı ve boyutları sabit tutulurken parametrik tanımlamalar yapılmış, kazıkların dizilişleri geometrik olarak birbirinden farklı tutulmuştur. Çalışmanın amacı, çelik için en uygun saha uygulamasını belirlemek ve saha dizilimleri sonucunda ortaya çıkan farklılıkları incelemektir. Simülasyonlar sonucunda bütün uygulamalarda yüzey titreşimlerinin 5.8 ve 8.5 Hz frekans değerlerinde önemli ölçüde kısıtlandığı görülmüştür. Ancak uygulanan saha yapıları karşılaştırıldığında, üçgen dizilimindeki sahanın diğer saha uygulamalarına göre yüzey dalgalarını daha fazla engellediği sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler

Metamalzeme, Deprem, Çelik malzeme, Yüzey dalgaları

Öne Çıkanlar

- * Çelik kazıklar kullanılarak toprak zeminde sismik etkilerin analiz edildi
- * Zemin üzerine sinüs, kare, üçgen ve daire olmak üzere farklı dizilimin gerçekleştirildi
- * Ortak frekans değerlerinde benzer sonuçların irdelenerek yorumlandı

Makale

Araştırma Makalesi

Geliş: 26.04.2021

Düzeltilme: 18.05.2021

Kabul: 28.05.2021

Basım: 30.06.2021

DOI

10.46464/tdad.911133

Sorumlu yazar

Selçuk Kaçın

Eposta:

selcuk.kacin@iste.edu.tr

Reducing Seismic Effects by Using Steel Metamaterials in Different Configurations

Selcuk Kacin¹, Umur Korkut Sevim¹, Murat Ozturk¹, Muharrem Karaaslan², Mustafa Demirci¹, Oğuzhan Akgöl², Emin Unal², Zafer Ozer³, Mustafa Tunahan Basar⁴, Bayram Ali Mert⁵, Seyda Gulsum Kaya¹, Maide Erdogan Alkurt² and Fatih Ozkan Alkurt²

¹ İskenderun Technical University, Department of Civil Engineering, Hatay, 31200, Turkey

² İskenderun Technical University, Department of Electrical and Electronics Engineering, Hatay, 31200, Turkey

³ Mersin University, Department of Electrical and Electronics Engineering, Mersin, Turkey

⁴ İskenderun Technical University, Department of Mechanical Engineering, Hatay, 31200, Turkey

⁵ İskenderun Technical University, Department of Petroleum Civil Engineering, Hatay, 31200, Turkey

ORCID: 0000-0001-5406-5756, 0000-0002-6268-4909, 0000-0003-3389-4883, 0000-0003-0923-1959, 0000-0002-3249-2586, 0000-0002-1423-1569, 0000-0002-4088-8353, 0000-0001-7118-938X, 0002-3108-8995, 0000-0002-3492-9817, 0000-0002-7018-9377, 0000-0003-1858-510X, 0000-0002-9940-0658

ABSTRACT

Studies conducted to reduce the destructive effects of earthquakes are among the research topics that have been focused on recently. In this study, a series of simulation studies were carried out to reduce vibration effects by using steel metamaterials in four different field sequences: square, triangle, sine and circle. The resulting transmission losses are determined using the finite integration method (FEM). In the simulation study, parametric definitions were made while keeping the steel structures and ground constant, and the arrangement of the piles were kept geometrically different from each other. The aim of the study is to determine the most appropriate field application for steel and to examine the differences that arise as a result of the field alignments. As a result of the simulations, it has been observed that the surface vibrations are significantly restricted at 5.8 and 8.5 Hz frequency values in all applications. However, when the applied field structures were compared, it was concluded that the field in the triangular arrangement prevented surface waves more than other field applications.

Keywords

Metamaterial, Earthquake, Steel materials, Surface waves

Highlights

- * Seismic effects on the soil were analysed using steel piles
- * Different sequences such as sine, square, triangle and circle were carried out on the ground
- * Similar results in common frequency values were examined and interpreted

Manuscript

Research Article

Received: 26.04.2021

Revised: 18.05.2021

Accepted: 28.05.2021

Printed: 30.06.2021

DOI

10.46464/tdad.911133

Corresponding Author

Selcuk Kacin

Email:

selcuk.kacin@iste.edu.tr

1. GİRİŞ

Depremler, yer kabuğunda titreşimler yaratan dalgaların kaynağı olarak tanımlanabilir. Bu titreşimler arasında Love ve Rayleigh dalgaları yüzeyde en yoğun şekilde hissedilen dalga türleri olarak kabul edilir. Bu iki tür dalga, yer kabuğunda titremelere neden olur ve yıkıcı etkiler yaratabilir (Dudchenko vd. 2021). Geçmişten günümüze kaçınılmaz doğal afetlerde büyük yıkıcı etkilere sahip olan depremler, bir mühendislik sorunu haline gelmiştir. Genel olarak depremlerin oluşumunu önlemek mümkün olmamakla birlikte, meydana geldikten sonra etkilerini absorbe etmek için birçok çalışma yapılmıştır (Achaoui vd. 2017, Casablanca vd. 2018, Mandal ve Somala 2020).

Depremlerin çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri göz önünde bulundurulduğunda yapıların güçlendirilmesi, uygulama alanı olarak seçilen arazinin zemin yapısı, inşaat sektöründe kullanılan malzeme özellikleri gibi birçok parametre üzerinde çalışmalar yapılması büyük önem arz etmektedir (Du vd. 2017, Shelar ve Thaker 2019). Bu bağlamda sismik metamateryallerin kullanımının avantajlı olabileceği düşünülmektedir (Kikuchi vd. 2008, Yamamoto vd. 2009, Kacin vd. 2021). Metamateryaller, üstün fiziksel özelliklere sahip olan ve çeşitli amaçlarla kullanılabilen yapay materyaller olarak adlandırılabilir. Ek olarak, sismik etkilerin hafifletilmesi için gerekli koşullar yaratılırsa bu materyaller oldukça işlevsel olarak çalışabileceği ileri sürülmektedir (Shelby vd. 2001, Prati 2006, Mu vd. 2020, Geng vd. 2018, Mendhe ve Kosta 2011). Ayrıca metamateryaller, korunması planlanan yapıdan ayrı konumlandırılarak yapıya müdahale etmeden titreşim etkilerini kontrol etme gibi büyük avantajlara sahiptir (Kim 2014). Metamateryaller ilk olarak elektromanyetik dalgaları kontrol etmek için tanımlanmıştır. Bununla birlikte, elektromanyetik dalgaların ve deprem dalgalarının benzer davranışları nedeniyle, sismik metamateryaller yaratma fikri ortaya çıkmıştır (Veselago 2009, Mu vd. 2020). Literatürde sismik etkilerin azaltılmasında metamateryallerin kullanılmasını öneren birçok çalışma bulunmaktadır. Bunlar arasında genel kabul gören inanç, toprak zeminde bulunan çeşitli yapıların yüzey dalgaları olarak adlandırılan Rayleigh dalgalarını önemli ölçüde kısıtlayabileceğini öngörmektedir (Wagner vd. 2018). Sismik dalgaların yüzey üzerindeki etkilerinin sönümlenmesinin temel amacı, dalgaların sahadaki yayılma alanlarının daralması veya ortaya çıkan titreşim etkilerinin toprak yoğunluğuna bağlı olarak dağılımına dayanmaktadır. Burada, zemindeki silindirik rezonatör yapıların belirli bir alana konumlandırılarak oluşabilecek sismik etkilerin dağıtılması ve alan etkilerinin azaltılması amaçlanmaktadır (Brule vd. 2012). Du vd. (2018) yaptıkları çalışmada metamateryalleri kullanarak yapılarda titreşimleri azaltmada yaşanan zorluklardan bahsetmektedirler. Sismik dalgaların elektromanyetik dalgalardan daha karmaşık olduğunu, dolayısıyla sönümlenmelerinde problemler olduğunu iddia etmişlerdir. Ancak, bu sorunu çözmek için, geometrik şekilli H profil yapılarının sismik metamateryaller olarak geniş bir bantta kullanımını araştırmışlardır. Chen vd. (2019) tarafından yapılan bir çalışmada sismik etkileri 10 Hz'nin altına düşürmek için bir materyal geliştirmeye odaklanılmıştır. Beton kazıkların periyodik olarak belirlenen bir zemin yapısına yerleştirilmesine dayanan sayısal ve deneysel çalışmalarında, 7.2 Hz'e kadar bant boşluklarının oluştuğundan ve düşük frekanslı yüzey dalgalarının belirledikleri metodoloji ile sınırlandırabileceğinden bahsetmişlerdir (Chen vd. 2019). Lott vd. (2020) tarafından yapılan metafor net deneyinde akustik ve optik gibi uygulama alanlarında görülen karmaşık dalga oluşumlarının jeofizik uygulamalarda da geçerli olduğu kabul edilmiştir. Ancak yoğun orman yapıları ile boş arazi arasındaki sismik etkilerin ölçülmesine bağlı olarak ağaç yapılarının doğal bir rezonatör materyal olarak işlev gördüğünü ve yüzey dalgalarını bir ölçüde zayıflattığını belirtmişlerdir (Lott vd. 2020). Sonuç olarak, metamateryallerin sismik dalgaları sönümlenmede bir miktar etkiye sahip olduğu açıkça belirtilmiştir. Ancak sismik metamateryallerin geliştirilmesi ve araştırılması için çalışmaların sürdürülmesi gerekmektedir (Wagner vd. 2016).

Bu çalışmada, çelik materyallerin farklı saha dizilerindeki etkilerini araştırmak için bir simülasyon çalışması yapılmıştır. Kare, üçgen, sinüs ve dairesel dizilerde COMSOL multifizik uygulamalarında bir düzlem üzerine çelik kazıklar yerleştirilmiş ve bu dört yapıya 10 Hz'e kadar

uygulanan sismik etkilerin davranışı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, yapılar kendi aralarında karşılaştırılmış ve çalışma kapsamında optimum dizilim formu belirlenmeye çalışılmıştır.

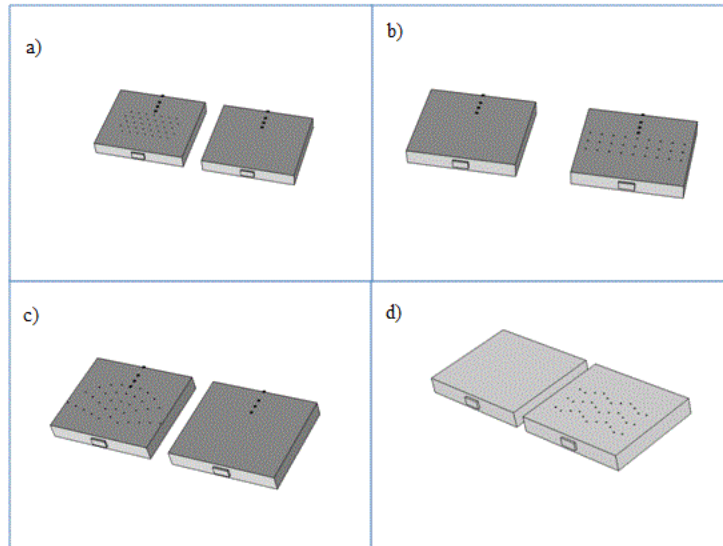
2. YÖNTEM

Bu çalışmada, COMSOL çoklu fizik programları kullanılarak simülasyonlar yapılmıştır. İlk adım, programdaki parametreleri tanımlamak ve alan ve kazık yapılarını geometrik olarak bir düzlem üzerinde oluşturmaktır. İkinci olarak çalışmada kullanılacak malzemelerin fiziksel özellikleri belirlenir. Son olarak, sonuçlar (1-10) Hz frekans değeri ve 1N test darbesi ve yer değiştirme parametreleri altında iletim grafikleri olmak üzere iki yerde elde edilir. Çalışma kapsamında kullanılan çelik malzemenin özellikleri sabit tutularak saha dizileri arasındaki fark belirlenmeye çalışılır. Tüm uygulamalar için yerleştirilen çelik kazıkların çapları 15 cm ve uzunlukları 2 m olarak girilmiştir. Ayrıca çalışmalarda kullanılan malzeme özellikleri Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1. Simülasyon çalışmalarında kullanılan malzeme özellikleri (Miniaci vd. 2016)

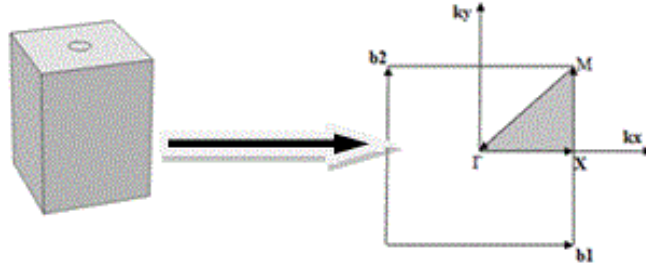
Toprağın Özellikleri	Değişken	Değerler	Birimler
Elastisite modülü	E	30e ⁶	Pa
Poisson oranı	ν	0.3	1
Yoğunluk	ρ	1800	kg/m ³
Çeliğin Özellikleri	Değişken	Değerler	Birimler
Elastisite modülü	E	207e ⁹	Pa
Poisson oranı	ν	0.3	1
Yoğunluk	ρ	7784	kg/m ³

Tablo 1'de görüldüğü gibi COMSOL multifizik uygulamalarında sistem için malzeme olarak 3 farklı fiziksel özelliğe dayalı malzemeler tanımlanmıştır. Bu özellikler sırasıyla elastisite modülü, poisson oranı ve yoğunluktur.



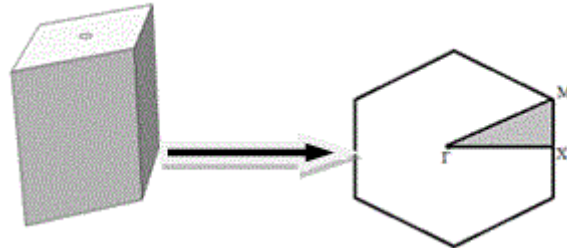
Şekil 1: COMSOL uygulamalarında belirlenen geometrik saha yapıları; a) üçgen, b) kare, c) dairesel, d) sinüs

Şekil 1'de görüldüğü gibi uygulama alanları olarak seçilen geometride kare yapılar zemin olarak seçilmiştir. Her kare yapı üzerindeki desenler ise sahanın örgü yapısını göstermektedir. Ayrıca kare şeklinde oluşturulan saha yapıları; boyları 14 m, genişlikleri 12 m ve derinlikleri 2 m olan toprak saha yapılar şeklinde oluşturulmuştur. Burada simüle edilen yapılar arasında kare ve üçgen kafes yapılar düzenli (simetrik) yapılar olduklarından birim hücre yapılarına sahiptirler. Ancak sinüs ve dairesel dizimli yapılarda çelik kazıklar doğrusal olmayan bir dağılım içerisine yerleştirildiği için birim hücre yapısı oluşmamaktadır. Bu sebeple kare ve üçgen dizilerin yapıldığı saha uygulamalarında bant boşluklarını görmek mümkündür, sinüs ve dairesel dizimlerin uygulandığı saha uygulamalarında bant boşluklarını belirlemek mümkün değildir.



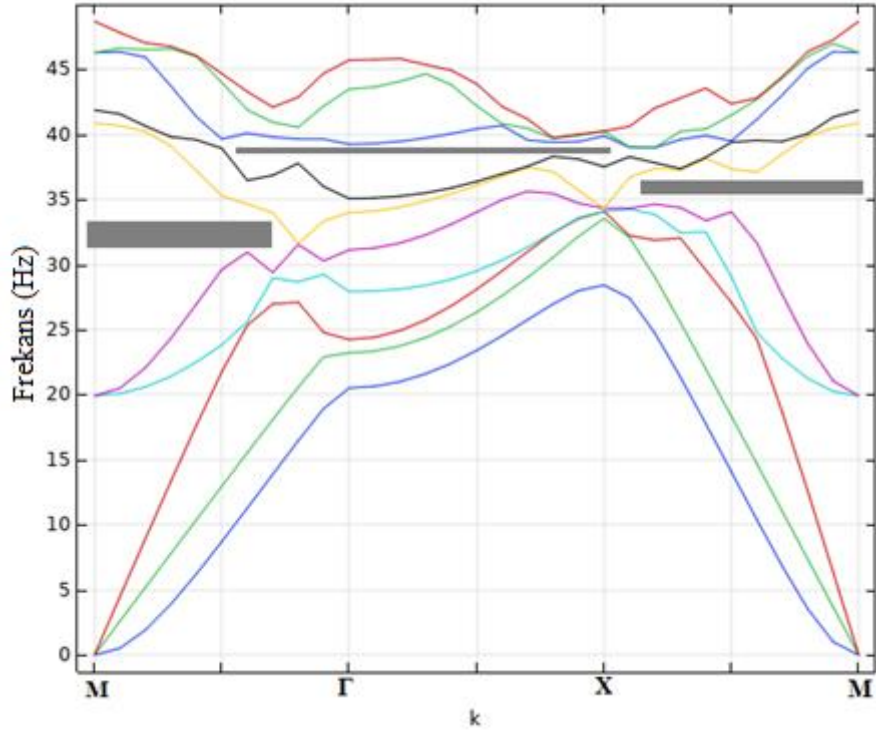
Şekil 2: Kare dizilim için oluşturulan birim hücre yapısı

Şekil 2'de olduğu gibi, kare kafes dizisi için dalga vektörleri, indirgenmiş Brillouin bölgesinin en yüksek simetrisinin M-Γ-X-M yönleri boyunca değerlendirilir. Standart dalga denklemleri, yerçekimini ihmal ederek sismik dalga boylarında çözülebilir.



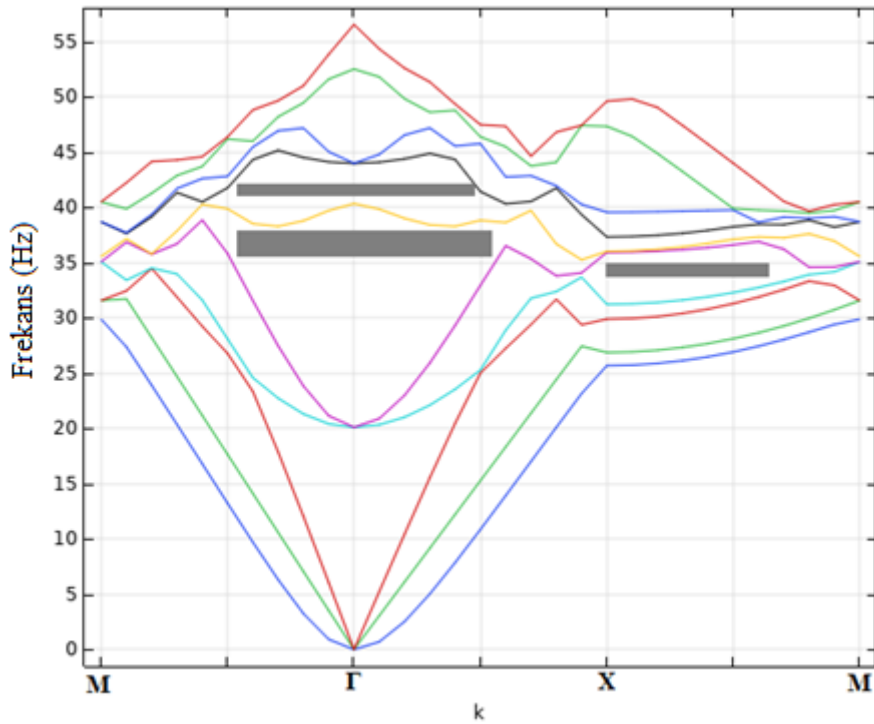
Şekil 3: Üçgen dizilim için oluşturulan birim hücre yapısı

Şekil 3'te oluşturulan yapıda vektör yönleri M-Γ-X-M şeklinde ilerlemektedir. Burada COMSOL multifizik programında tanımlanan parametrelere bağlı olarak sinyallerin dağılım yönleri fiziksel olarak hesaplanmakta ve birim hücrelerin analizi sonucunda bant boşlukları görülebilmektedir.



Şekil 4. Kare dizilimde birim hücre yapısı için ortaya çıkan bant boşlukları

Şekil 4'te görüldüğü gibi kare kafes dizili çelik yapılar toprak bir alana yerleştirildiğinde, M- Γ , Γ -X ve X-M yönlerinde tam bant boşluğu olmamasına rağmen, kısmi ve sürekli bant boşlukları oluşmaktadır.

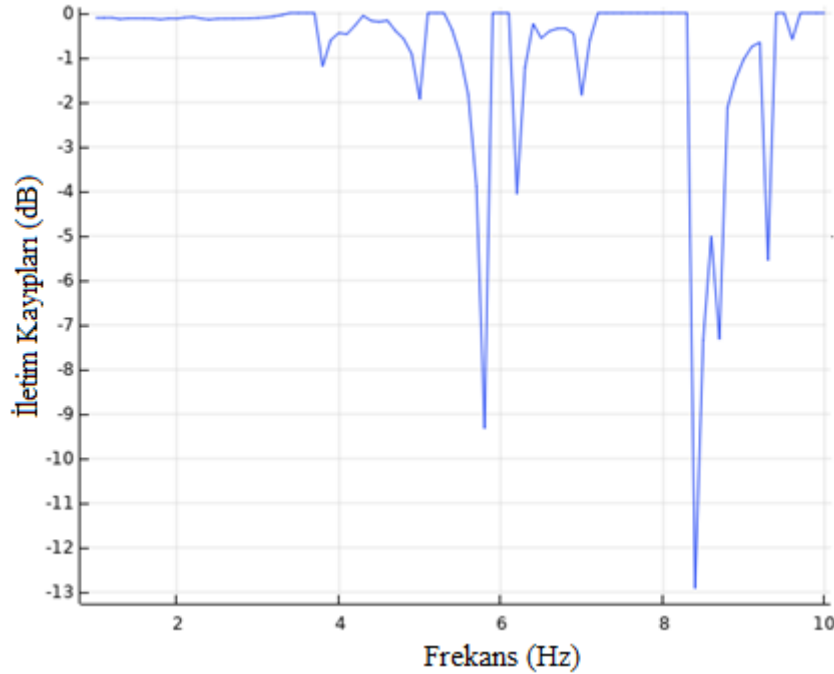


Şekil 5: Üçgen dizilimde birim hücre yapısı için ortaya çıkan bant boşlukları

Şekil 5'te gösterilen üçgen diziliminde çelik kazıkların yerleştirildiği alanda tam bir bant boşluğu olmadığı, ancak R-X ve X-M yönlerinde kısmi bant boşlukları olduğu görülmektedir. Bant yapısı üzerinde oluşan çizgilerin birbiriyle kesişmemesi bu boşlukları oluşturan unsurdur. Burada boşlukların oluşması, yüzey dalgalarının boşlukların olduğu yönlerde ilerleyemeyeceğini gösterir. Buradaki bant boşluklarının kısmi oluşumu, yüzey titreşimlerinin belirli frekans bölgelerinde sönmülenebileceğini göstermektedir.

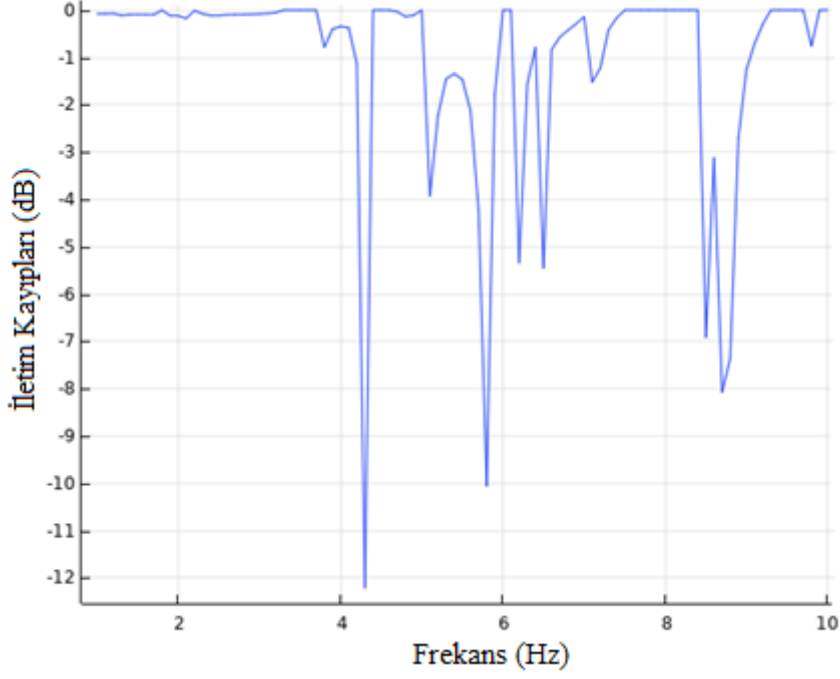
3. BULGULAR ve TARTIŞMA

Simülasyon çalışmalarının sonuçlarına göre bir ön değerlendirme yapıldığında, uygulanan saha yapılarının yüzey hareketliliğine karşı benzer davranışlar sergilediği görülmektedir. Ayrıca kare ve üçgen örgü dizilişleri ile saha uygulamalarının bant diyagramlarına baktığımızda, kısmi bant boşluklarının oluşması, yüzey dalgalarının belirli yönlerde yayılmasının kısıtlandığını ve sismik etkilerin azaltılabileceğini ortaya koymaktadır.



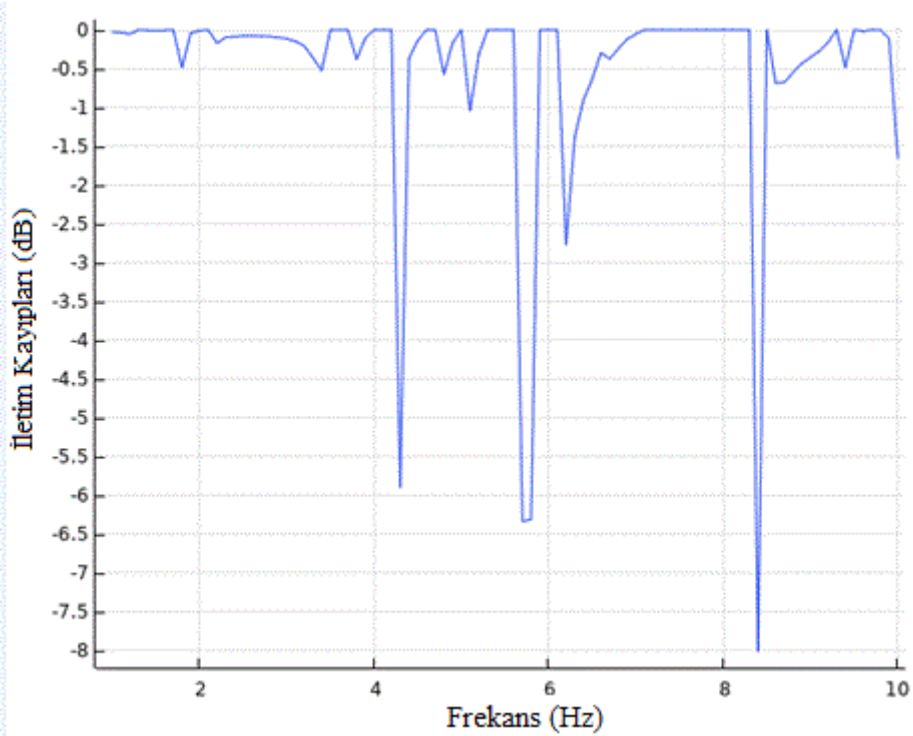
Şekil 6: Kare dizimli saha uygulamasında meydana gelen iletim kayıpları

Şekil 6'da gösterilen iletim grafiğine bakıldığında 5.8 Hz, 6.2 Hz ve 8.5 Hz değerlerinde iletim kayıplarının olduğu görülmektedir. Sismik iletimlerin bazı frekans noktalarında neredeyse tamamen engellendiği saptanmıştır.



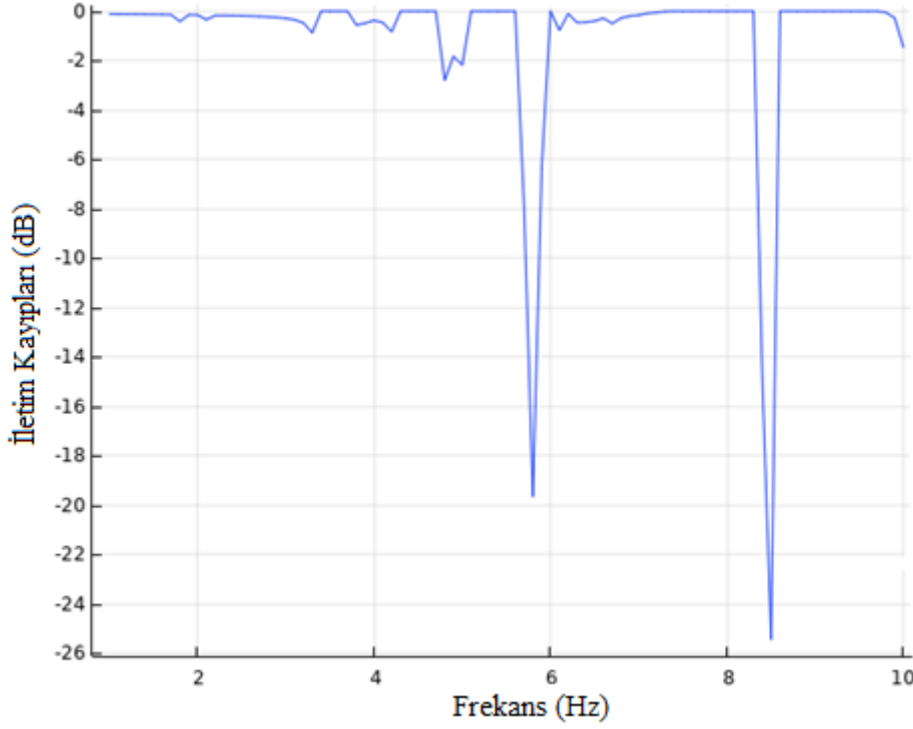
Şekil 7: Üçgen dizimli saha uygulamasında meydana gelen iletim kayıpları

Şekil 7'de gösterildiği gibi üçgen diziliminde meydana gelen iletim kayıpları dikkate alındığında, sismik iletimlerin önemli frekans noktalarında kısıtlandığı görülmektedir. Ancak 4.3 Hz, 5.8 Hz ve 8.5 Hz frekans değerlerinde iletimin büyük ölçüde azaldığı tespit edilmiştir. Kare dizim ile karşılaştırıldığında daha çok noktada iletim kayıplarının meydana geldiği görülmektedir. Bu durum, sismik etkilere karşı üçgen dizilimin daha iyi olduğu fikrini ortaya çıkarmaktadır.



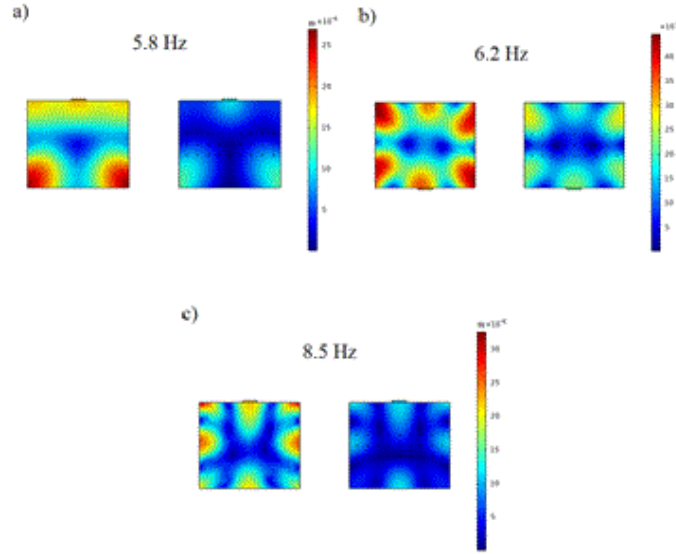
Şekil 8: Sinüs dizimli saha uygulamasında meydana gelen iletim kayıpları

Şekil 8'de gösterilen iletim kayıpları değerlendirildiğinde sinüs diziliminde 4.3 Hz, 5.8 Hz, 6.2 Hz ve 8.5 Hz değerlerinde iletim kayıplarının meydana geldiği görülmektedir. Ancak frekans değeri arttıkça iletimde meydana gelen kısıtlamaların arttığı görülmektedir. Kare ve üçgen kafes yapılarla karşılaştırıldığında, iletim kayıplarının frekansa bağlı olarak düzenli bir artış göstermesi dikkat çekicidir. Ancak iletim kayıplarının kare ve üçgen dizilimlerine göre daha düşük desibel değerlerinde olduğu görülmektedir. Bu durumda, üçgen dizilim tipi şimdiye kadar yapılan ölçümlerde en iyi sonuçları sağlamaktadır.



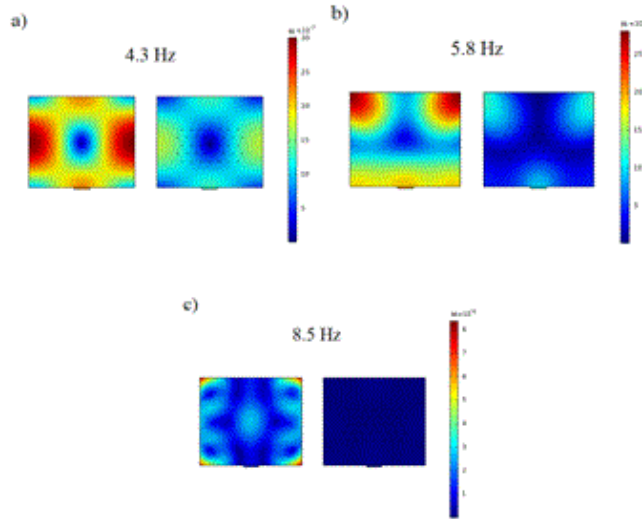
Şekil 9: Dairesel dizimli saha uygulamasında meydana gelen iletim kayıpları

Son olarak Şekil 9'da meydana gelen iletim kayıpları incelendiğinde 5.8 Hz ve 8.3 Hz değerlerinde iletim kayıplarının meydana geldiği görülmektedir. Tüm iletim grafikleri dikkate alındığında 5.8 Hz ve 8.5 Hz frekans değerlerinde çelik kazıkların kullanılması nedeniyle tüm alan dizilimlerinde iletimde kısıtlamalar meydana gelmektedir. Sabit özellikli çelik kazıklar kullanıldığında, tüm saha uygulamalarında ortak frekans noktalarında iletim kayıplarının meydana gelmesi dikkat çekicidir. Öte yandan, her dizilimde küçük farklılıklar olduğu ve sismik iletimin kesintiye uğratmak için en uygun alan diziliminin üçgen dizilim olduğu görülmektedir. Bundan dolayı dairesele dizilimde belirgin desibel kayıpları meydana gelse de sadece iki frekans değeri için bu düşüşlerin meydana gelmesi, üçgen dizilimli saha uygulamalarını daha ön plana çıkarmaktadır.



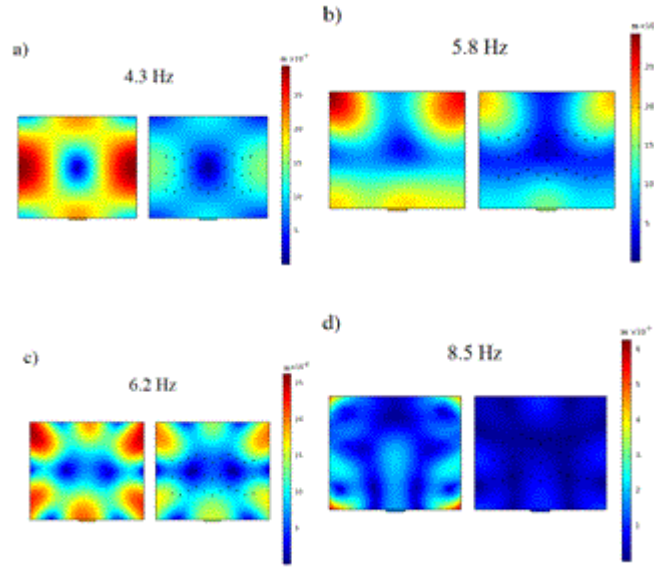
Şekil 10: Kare dizimli kazık yerleştirilmiş saha uygulamaları ile metalmalzemesiz saha uygulamaları arasındaki yer değiştirme farklılıkları a) 5.8 Hz, b) 6.2 Hz, c) 8.5 Hz

İletim grafiklerinde meydana gelen kayıplara bağlı olarak deplasman miktarı incelendiğinde, Şekil 10'da gösterildiği gibi, boş alan ile kazıkların yerleştirildiği alanlar arasında büyük farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Ek olarak, sismik etkiler bu üç frekans değerinde büyük ölçüde sınırlandırılmıştır.



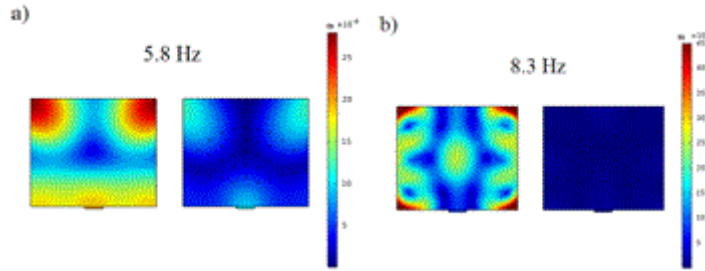
Şekil 11: Üçgen dizimli kazık yerleştirilmiş saha uygulamaları ile metalmalzemesiz saha uygulamaları arasındaki yer değiştirme farklılıkları a) 4.3 Hz, b) 5.8 Hz, c) 8.5 Hz

Şekil 11'de gösterilen deplasman miktarlarına bakıldığında, sinyallerin boş alanda önemli bir ilerleme gösterdiği ancak çelik çubuklarla desteklenen yapılarda kısıtlamalara maruz kaldığı görülmektedir. Burada değişim miktarının genel olarak boş alana göre 5.8 Hz ve 8.5 Hz değerlerinde azaldığı ve ayrıca 4.3 Hz gibi düşük bir frekans değerinde de yüzey dalgalarının ilerlemelerinin engellendiği söylenebilir.



Şekil 12: Sinüs dizimli kazık yerleştirilmiş saha uygulamaları ile metamazemesiz saha uygulamaları arasındaki yer değiştirme farklılıkları a) 4.3 Hz, b) 5.8 Hz, c) 6.2 Hz, d) 8.5 Hz

Şekil 12'de gösterilen deplasman miktarlarına bağlı olarak sinüs yapısının diğer yapılar göre daha fazla noktada iletimi sınırladığı görülmektedir. Ancak 4.3 Hz ve 8.5 Hz değerlerinde sismik yüzey dalgalarını tamamen emmeye yakın davrandığı tespit edilmiştir. Ancak iletim grafiklerinde görüldüğü gibi birçok noktada yüzey dalgalarının sınırlandırılmasına rağmen iletim kayıplarının miktarı desibel olarak düşük bulunmuştur.



Şekil 13: Dairesel dizimli kazık yerleştirilmiş saha uygulamaları ile metamazemesiz saha uygulamaları arasındaki yer değiştirme farklılıkları a) 5.8 Hz, b) 8.5 Hz

Şekil 13'te görüldüğü gibi, boş alan ile çelik kazıkların dairesel diziler halinde yerleştirildiği alanlar arasındaki geçişte bazı kısıtlamalar meydana geldiği söylenebilir. Ancak 5.8 Hz ve 8.5 Hz frekans değerlerinde elde edilen en iyi sonuçlar, bu frekanslardaki çelik kazıkların dört saha uygulamasının hepsinde sismik etkilerin önlenmesinde faydalı olabileceğini göstermektedir. Genel olarak, dairesel kafes dizisindeki iki frekans değerinde önemli düşüşler vardır. Ayrıca iletim kayıplarını içeren grafikler göz önüne alındığında, bu iki frekans değerinde diğer saha uygulamalarına göre daha büyük desibel kayıplarının olması önemli bir çıktıdır.

5. SONUÇ

Yapılan simülasyon çalışmaları sonucunda çelik malzemelerle üretilecek kazıklı yapıların sismik etkilerin azaltılmasında etkili olabileceği sonucuna varılmıştır. Ancak 5.8 Hz ve 8.5 Hz gibi frekans değerlerinde önerilen çelik yapının saha yapıları farklı dizilerde olmasına rağmen fonksiyonel olarak çalışabileceği tahmin edilmektedir.

Genel olarak çelik malzemelerin yüksek maliyet ve zor işçilik uygulamaları getirdiği düşünüldüğünde, uygulanması zor olan bu tasarımları iyileştirme ihtiyacının gerektiği çalışmanın en bariz çıktısıdır. Öte yandan, alan hizalamaları açısından çok küçük farklılıklar, malzeme özelliklerinde de iyileştirmeler yapılması gerektiğini düşündürmektedir. Bu iyileştirmeler, çelik kazıkların geometrik şekil ve çap faktörlerinin artırılması yönünde veya kullanılan çelik malzemelerin fiziksel özellikleri bağlamında olmalıdır.

Nihai bir değerlendirme yapıldığında, çelik kazıkların sismik metamalzeme olarak kullanılmalarının en avantajlı sonuçları üçgen dizilimli sahada gösterdikleri belirlenmiştir. Burada üçgen dizilimin 5.8 Hz ve 8.5 Hz değerlerinde desibel kayıplarının dairesel örgü dışında diğer saha uygulamalarına göre daha fazla iletim kayıplarını meydana getirmesi ve yüzey yayılımlarına bakıldığında da dairesel örgü ve diğer uygulamalara göre daha fazla gerileme sağlaması çalışmanın en dikkat çekici unsurudur. Bu öncüller ışığında geniş frekans aralıklarında üçgen saha dizilimi tercih edilmesi sismik etkilerin azaltılmasına katkı sağlayabilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) tarafından desteklenen UDAP-Ç-19-21 kodlu proje çerçevesinde gerçekleştirilmiştir. Yazarlar AFAD'a teşekkürü bir borç bilirler.

KAYNAKLAR

Achaoui Y., Antonakakis T., Brule S., Craster R.V., Enoch S., Guenneau S., 2017. Clamped seismic metamaterials: ultra-low frequency stop bands, *New Journal of Physics* 19 (6), 063022

Brule S., Javelaud E., Guenneau S., Enoch S., Komatitsch, D., 2012. Seismic metamaterials, ETOPIM9 book abstract, S. Guenneau, S. Enoch, Sep 2012, Marseille, France. fhal-01343908

Casablanca O., Ventura G., Garesci F., Azzerboni B., Chiaia B., Chiappini M., Finocchio G., 2018. Seismic isolation of buildings using composite foundations based on metamaterials, *Journal of Applied Physics* 123 (17), 174903

Chen Y., Qian F., Scarpa F., Zuo L., Zhuang X., 2019. Harnessing multi-layered soil to design seismic metamaterials with ultralow frequency band gaps, *Materials and Design* 175, 107813

Du Q., Zeng Y., Huang G., Yang, H., 2017. Elastic metamaterial-based seismic shield for both Lamb and surface waves, *AIP Advances* 7 (7), 075015

Du Q., Zeng Y., Xu Y., Yang H., Zeng Z., 2018. H-fractal seismic metamaterial with broadband low-frequency bandgaps, *Journal of Physics D: Applied Physics* 51 (10), 105104

Dudchenko, A.V., Dias, D., Kuznetsov, S.V. 2021. Vertical wave barriers for vibration reduction. *Archive of Applied Mechanics*, 91(1), 257-276 doi 10.1007/s00419-020-01768-2

Geng Q., Zhu S., Chong K.P., 2018. Issues in design of one-dimensional metamaterials for seismic protection, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 107, 264-278

Kacin S., Ozturk M., Sevim U.K., et al., 2021. Seismic metamaterials for low-frequency mechanical wave attenuation, *Natural Hazards* 107, 213-229 doi 10.1007/s11069-021-04580-5

Kikuchi M., Black C.J., Aiken I.D., 2008. On the response of yielding seismically isolated structures, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 37 (5), 659-679

Kim, S., 2014. U.S. Patent Application No. 14/359, 338

Lott M., Roux P., Garambois S., Gueguen P., Colombi, A., 2020. Evidence of metamaterial physics at the geophysics scale: the METAFORÉ experiment, *Geophysical Journal International* 220 (2), 1330-1339

Mandal P., Somala S.N., 2020. Periodic pile-soil system as a barrier for seismic surface waves, *SN Applied Sciences* 2, 1-8

Mendhe S.E., Kosta Y.P., 2011. Metamaterial properties and applications, *International Journal of Information Technology and Knowledge Management* 4 (1), 85-89

Miniaci M., Krushynska A., Bosia F., Pugno N.M., 2016. Large scale mechanical metamaterials as seismic shields, *New Journal of Physics* 18 (8), 083041

Mu D., Shu H., Zhao L., An S., 2020. A Review of Research on Seismic Metamaterials, *Advanced Engineering Materials* 22 (4), 1901148

Prati E., 2006. Microwave propagation in round guiding structures based on double negative metamaterials, *International Journal of Infrared and Millimeter Waves* 27 (9), 1227

Shelar A., Thaker, M. 2019. Earthquake resisting structure using seismic cloaked foundation, *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 06 (02), 2280-2285

Shelby R.A., Smith D.R., Schultz S., 2001. Experimental verification of a negative index of refraction, *Science* 292 (5514), 77-79

Veselago V.G., 2009. Energy, linear momentum and mass transfer by an electromagnetic wave in a negative-refraction medium, *Physics-Uspekhi* 52 (6), 649

Wagner P.R., Dertimanis V.K., Chatzi E.N., Antoniadis I.A., 2016. Design of metamaterials for seismic isolation, *In Dynamics of Civil Structures* 2, 275-287

Wagner P.R., Dertimanis V.K., Chatzi E.N., Beck J.L., 2018. Robust-to-uncertainties optimal design of seismic metamaterials, *Journal of Engineering Mechanics* 144 (3), 04017181

Yamamoto S., Kikuchi M., Ueda M., Aiken I.D., 2009. A mechanical model for elastomeric seismic isolation bearings including the influence of axial load, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 38 (2), 157-180



Observational and Numerical Investigation of Seismic Fragility of Pressurized Tanks

Sezer Ozturk¹, Kayahan Akgul² and Ali Sari³

¹ Fatih Sultan Mehmet Vakıf University, Department of Civil Engineering, 34445, Istanbul, Turkey

² Istanbul University-Cerrahpaşa, Department of Civil Engineering, 34320, Istanbul, Turkey

³ Istanbul Technical University, Department of Civil Engineering, 34469, Istanbul, Turkey
ORCID: 0000-0003-2165-3687, 0000-0001-7116-529X, 0000-0002-6888-1276

Keywords

Fragility curves, Spherical tank, Horizontal cylindrical tank, Dynamic analysis, Finite element analysis

Highlights

- * Collecting damage data of tanks from past earthquakes
- * Expanding data with numerical studies due to the relatively inadequacy of observational data
- * Derivation of fragility curves by using numerical studies and observational data

Acknowledgements

--

Aim

To collect seismic damage data for pressurized tanks and derive fragility curves for spherical tanks.

Location

All the world for observational damage data and Turkey for numerical study.

Methods

Logistic regression method for curve fitting, nonlinear dynamic time history analysis for numerical studies.

Results

Observational data is insufficient for horizontal and spherical tanks. Obtained fragility curves are logical for spherical tanks. Main damage is that failure of the brace members placed between the columns. Performing more numerical studies will develop the curves.

Supporting Institutions

--

Manuscript

Research Article

Received: 28.04.2021

Revised: 24.05.2021

Accepted: 28.05.2021

Printed: 30.06.2021

DOI

10.46464/tdad.928967

Corresponding Author

Sezer Ozturk

Email: sezer.ozturk@fsm.edu.tr

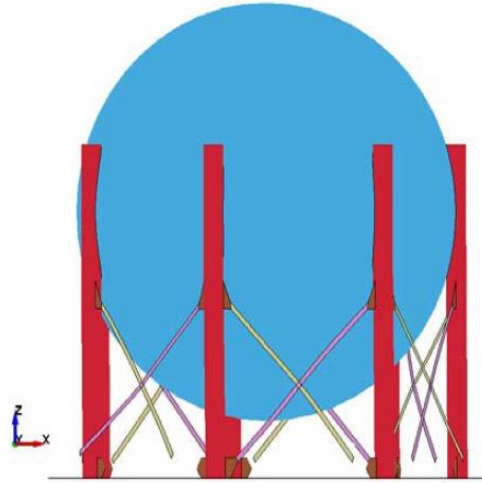


Figure
Tank damage mechanism

How to cite

Ozturk S., Akgul K., Sari A., 2021. Observational and Numerical Investigation of Seismic Fragility of Pressurized Tanks, South Marmara, Turk. J. Earthq. Res. 3 (1), 33-52, <https://doi.org/10.46464/tdad.928967>



Basınçlı Tankların Sismik Kırılgenliklerinin Gözlemsel ve Sayısal Olarak İncelenmesi

Sezer Öztürk¹, Kayahan Akgül² ve Ali Sarı³

¹ Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34445, İstanbul, Türkiye

² İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34320, İstanbul, Türkiye

³ İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34469, İstanbul, Türkiye
ORCID: 0000-0003-2165-3687, 0000-0001-7116-529X, 0000-0002-6888-1276

ÖZET

Bu çalışmada, küresel tanklar için zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilerek elde edilen sonuçlar ile geçmiş depremlerde gözlemlenen hasar verileri birleştirilerek kırılgenlik eğrileri oluşturulmuştur. Ayrıca yatay silindirik tankların hasar verileri de derlenmiştir. Bu araştırmalar sonucunda küresel ve yatay silindirik basınçlı tanklar ile ilgili geçmiş depremlerden elde edilen gözleme dayalı hasar verilerinin atmosferik silindirik tanklara göre oldukça az sayıda olduğu görülmüştür. Bu sebeple özellikle küresel tanklar için veriler sayısal çalışmalarla desteklenmiş, gerçekleştirilen sayısal analizler sonucunda küresel tanklarda genel olarak çapraz elemanlarda gerilme yığılmalarının meydana geldiği ve bu elemanların kolonlarla bağlantı noktalarından koptukları gözlenmiştir. Analizlerden elde edilen hasar verilerinin de mevcut verilere eklenmesiyle küresel tanklar için geçerli kırılgenlik eğrileri oluşturulmuştur. Yer hareketi şiddet ölçütü ile küresel tanklarda olası depremlerde meydana gelebilecek hasarların gerçekleşme olasılığı değerleri arasındaki bağlantının sunulduğu kırılgenlik eğrilerinin gelecek çalışmaların geliştirilmesinde olumlu etkisinin olacağı düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler

Kırılgenlik eğrileri, Küresel tank, Yatay silindirik tank, Dinamik analiz, Sonlu eleman analizi

Öne Çıkanlar

- * Tankların geçmiş yıllardaki depremlerden hasar verilerinin toplanması
- * Gözleme dayalı verilerin nispeten yetersiz olmasından dolayı verilerin nümerik çalışmalarla desteklenmesi
- * Sayısal çalışmalar ve gözlemsel verilerin kullanılmasıyla kırılgenlik eğrilerinin türetilmesi

Makale

Araştırma Makalesi

Geliş: 28.04.2021

Düzeltilme: 24.05.2021

Kabul: 28.05.2021

Basım: 30.06.2021

DOI

10.46464/tdad.928967

Sorumlu yazar

Sezer Öztürk

Eposta:

sezer.ozturk@fsm.edu.tr

Observational and Numerical Investigation of Seismic Fragility of Pressurized Tanks

Sezer Ozturk¹, Kayahan Akgul² and Ali Sari³

¹ Fatih Sultan Mehmet Vakıf University, Department of Civil Engineering, 34445, İstanbul, Turkey

² İstanbul University-Cerrahpaşa, Department of Civil Engineering, 34320, İstanbul, Turkey

³ İstanbul Technical University, Department of Civil Engineering, 34469, İstanbul, Turkey

ORCID: 0000-0003-2165-3687, 0000-0001-7116-529X, 0000-0002-6888-1276

ABSTRACT

In this study, fragility curves were derived by combining the results obtained in nonlinear time history analyzes and damage data observed in past earthquakes for spherical tanks. In addition, damage data of horizontal cylindrical tanks were collected. As a result of these studies, it has been observed that the observational damage data obtained from past earthquakes related to spherical and horizontal cylindrical pressure tanks are quite low compared to atmospheric cylindrical tanks. For this reason, data for spherical tanks have been supported by numerical studies. As a result of the numerical analysis, it was observed that in spherical tanks, stress concentrations occurred in the braced members and these elements ruptured at the connection points with the columns. By adding the damage data obtained from the analyzes to the existing data, the fragility curves for spherical tanks were created. It is thought that the fragility curves, which present the relationship between the ground motion intensity measure and the probability values of damages that may occur in possible earthquakes, will also have a positive effect on the development of future studies.

Keywords

Fragility curves, Spherical tank, Horizontal cylindrical tank, Dynamic analysis, Finite element analysis

Highlights

- * Collecting damage data of tanks from past earthquakes
- * Expanding data with numerical studies due to the relatively inadequacy of observational data
- * Derivation of fragility curves by using numerical studies and observational data

Manuscript

Research Article

Received: 28.04.2021

Revised: 24.05.2021

Accepted: 28.05.2021

Printed: 30.06.2021

DOI

10.46464/tdad.928967

Corresponding Author

Sezer Ozturk

Email:

sezer.ozturk@fsm.edu.tr

1. GİRİŞ

Basınçlı kaplar, dış ortamdan önemli ölçüde farklı bir basınçta gaz veya sıvı içermek üzere tasarlanmış kapalı kaplardır. Büyük hacimlerde sıvı veya gazın basınç altında depolanması ihtiyacı, küresel ve yatay tankların kullanılmasına yol açar. Bu tanklar özellikle petrokimya endüstrisi, gübre üretimi, sıvılaştırılmış gaz üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Depremler her yapıda olduğu gibi bu tür kaplarda da önemli tehlike oluşturmaktadır. Aşırı basınç ve sıcaklık farkı, tehlikeli ve birçok ölümcül kazaya neden olacak patlamalara neden olabilir. 2011 yılında Japonya'nın Chiba şehrinde, Tohoku depremi nedeniyle sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG; liquified petroleum gas) içeren küresel depolama tanklarında patlama ve yangınlar meydana gelmiştir. Küresel bir tankın kolonlarının desteklenmesi amacıyla kullanılan çapraz elemanlar, sismik atalet kuvveti nedeniyle kırılmıştır (Zama ve diğ. 2012). Daha sonra artçı sarsıntılarla kolonlarda burkulma meydana gelmiştir. Küresel tanklarda sismik etkiler tarafından tetiklenen yangın ve patlamalar (domino etkisi) kesintisiz 10 gün sürmüştür (Şekil 1). Günümüzde de dünyada herhangi bir petrol rafinerisinde deprem veya başka bir sebepten meydana gelebilen yangın, patlama gibi kazalar sonucunda büyük felaketler ortaya çıkabilmektedir. İçinde bulunduğumuz 2021 yılının mart ayının son günlerinde Endonezya'nın en büyük petrol rafinerilerinden biri olan, günde 125.000 varil petrolün işlendiği belirtilen Balongan rafinerisinde sebebi henüz belirlenememiş bir patlama sonucunda büyük bir yangın meydana gelmiştir (Şekil 2). Rafinerinin konum olarak yerleşim bölgelerine yakın olması sebebiyle yaşanan patlama ve yangından bölge halkı da etkilenmiştir. Yetkililer olay sırasında bir kişinin kalp krizinden hayatını kaybettiğini, en az 5 kişinin ağır, 15 kişinin hafif yaralandığını ve bölge yakınındaki yaklaşık 1000 kişinin tahliye edildiğini ifade etmiştir (The Guardian 2021, BBC 2021). Bu olaylardan da anlaşılacağı üzere petrol, kimyasal vb. depolama tankı tesislerinde yapılabilecek en ufak bir hatanın büyük felaketlere, can ve mal kayıplarına yol açabileceği görülmektedir ve bu sorunlar güncelliğini korumaktadır. Depremler de geçmişte görüldüğü gibi, bu tür olayların yaşanmasında büyük tehditlerdir. Bu sebeple bu tür yapıların olası deprem senaryolarına karşı risk analizlerinin detaylı bir şekilde gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Bu sebeplerle, bu kaplar domino etkileri olarak adlandırılan kazalara karşı yeterli güvenliğe sahip olmalıdır. Bu çalışmada, farklı endüstriyel sektörlerde yaygın olarak kullanılan küresel basınçlı tankların sismik performansı ve sismik kırılabilirliği deprem yer hareketleri altında incelenmiştir. Ayrıca yatay basınçlı kapların sismik hasar verileri incelenmiştir. Bu amaçla, küresel ve yatay tanklar için geçmiş depremlerden elde edilen hasar verileri toplanmıştır. Bu verilerin uygun bir kırılabilirlik analizi için nispeten yetersiz olduğu anlaşılmaktadır. Çalışma için küresel bir sonlu eleman modeli geliştirilmiştir. Genel amaçlı bir sonlu eleman analiz yazılımı kullanılarak oluşturulan küresel tank modelinin zaman tanım alanında dinamik analizleri gerçekleştirilerek sonuçları yorumlanmıştır. Gerçekçi tank hasarlarının elde edilebilmesi için sonlu eleman modeline doğrusal olmayan malzeme ve geometrik etkiler ilave edilmiştir. Çalışma sonunda sayısal çalışmalarda elde edilen sismik performans yorumlanmış ve hem gözlemsel verilerden hem de sayısal çalışmalardan elde edilen verilerle, küresel tanklar için kırılabilirlik eğrileri türetilmiştir.

Literatürde atmosferik düşey silindirik tankların sismik performansının ve kırılabilirliklerinin incelendiği birçok çalışma bulunmaktadır. Phan ve diğ. (2018a) çalışmasında, tankların kırılabilirlik eğrilerinin analitik olarak türetilmesi için uygun bir prosedürün sunulması amaçlanmıştır. Geçmiş depremlerde çelik depolama tanklarının kritik hasar durumlarının bir analizi sunulmuştur. Deprem etkisindeki tanklar için sayısal modeller kurularak gerçekleştirilen analizlerle sonuçlar tartışılmıştır. Ayrıca, tanklar için sismik kırılabilirlik metodolojilerine genel bir bakış sunulmuştur. Kritik hasar durumları için elde edilen kırılabilirlik eğrilerinden, tanklarda yüksek sismik kırılabilirliğin gözlemlendiği anlaşılmıştır. Phan ve diğ. (2017) çalışmasında betonarme kolonlar üzerine yerleştirilen yükseltilmiş çelik depolama tanklarının sismik kırılabilirliklerinin olasılıksal değerlendirme yaklaşımı ile incelenmesi amaçlanmıştır. Bu bağlamda, depremler sırasında tank bileşenlerinin deprem performansının değerlendirilmesi

için, üç boyutlu sonlu eleman çubuk modeli üzerinde doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler yapılmıştır. Tank bileşenlerinin en olası hasar koşullarını gösteren ilgili kırılma eğrileri hem "cloud" hem de artımlı dinamik analiz yöntemleri kullanılarak elde edilmiştir. O'Rourke ve So (2000), Salzano ve diğ. (2003), Paolacci ve diğ. (2015), Phan ve Paolacci (2016), Phan ve diğ. (2016), D'Amico ve Buratti (2019), Phan ve diğ. (2018b) yayınları da düşey silindirik sıvı depolama tankları için yürütülen kırılma ve sismik analizlerin yer aldığı çalışmalardan bazı örneklerdir.



Şekil 1: Deprem ve yangından hasar görmüş küresel tanklar (Zama ve diğ. 2012)



Şekil 2: Endonezya'da petrol rafinerisinde meydana gelen patlama ve yangın (BBC 2021)

Yukarıda açıklandığı gibi, silindirik atmosferik depolama tankları için kırılma eğrilerinin elde edildiği çalışmaların sayısı literatürde oldukça fazladır. Ancak literatürde küresel basınçlı tanklar için kırılma analizlerinin yapıldığı çok fazla çalışma bulunmamaktadır. Dawood (2019)'un çalışmasında, küresel LPG tankları için statik ve zaman tanım alanında analizler gerçekleştirilmiştir. Küre duvarı/kolon bağlantısı dışında, kolonların ve duvarın gerilmeleri izin

verilen sınırlar içindedir. Curadelli (2011)'in yayınında, orijinal ve güncellenmiş haliyle küresel bir depolama tankın güvenilirliği gerçekleştirilen simülasyon ile değerlendirilmiştir. Enerji sönmülme sisteminin etkisi, sıvı-yapı etkileşiminin dikkate alındığı ayrıntılı bir modele dayalı olarak küresel bir tank üzerinde bir dizi doğrusal olmayan dinamik analiz gerçekleştirilerek ölçülmüştür. Wieschollek ve diğ. (2011; 2013a; 2013b), küresel tankların sismik tasarımı için Avrupa ve Amerikan yönetmeliklerinin uygulanması konusunda karşılaştırmalar yapmış ve benzer sonuçların elde edildiğini bildirmişlerdir. Moschonas ve diğ. (2014) basınçlı kapların sismik duyarlılığı üzerine bir çalışma yapmıştır. Bu doğrultuda statik doğrusal olmayan itme analizi yapılmış ve tank yer değiştirme değerlerine göre tank kırılabilirliği ifade edilmiştir. Kolonlar arasında çapraz elemanların kullanılmasıyla tank kırılabilirliğinin azaldığı vurgulanmıştır. Sivy ve Musil (2018) çalışmasında, sismik etki altında tank-sıvı etkileşiminin durumu sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Başka bir çalışmada Fiore ve diğ. (2018), küresel tanklarda çalkalanma etkisi ve zemin-yapı etkileşimini dikkate alarak tankın deprem davranışını incelemişlerdir. Ohno ve diğ. (2015) çalışmasında, küresel bir tankın destek çerçevesinin çapraz boru kesitli elemanlarının hasar mekanizmalarının açıklanabilmesi için elastik ve elasto-plastik sonlu eleman analizleri yapılmıştır. Ayrıca Yang ve diğ. (2014) yayınında, gerilmelerin yoğunlaştığı kısımların belirlenmesi için sonlu eleman yazılımı kullanılarak küresel tank modeli oluşturulmuş ve sismik etki altında zaman tanım alanında dinamik analiz yoluyla farklı tiplerde küresel tankların sismik performansı belirlenmiştir. Verilen örneklerden de görülebileceği gibi, küresel tankların deprem performansı ile ilgili çok sayıda çalışma mevcutken kırılabilirlik analizi konusunda çok sayıda çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada, küresel tanklar için bir araya getirilen gözlemsel verilerden ve nümerik sonuçlardan kırılabilirlik eğrilerinin çıkarılması amaçlanmıştır.

Literatürde küresel ve yatay tanklar için geçmiş depremlerden elde edilmiş hasar verileri, atmosferik düşey silindirik tanklara kıyasla çok daha az sayıdadır. Bu çalışma doğrultusunda, küresel basınçlı tanklar için hasar verileri 1952 Kern County, 1978 Miyagi-Ken-Oki, 1985 Şili, 1991 Kosta Rika, 1995 Kobe, 1999 Kocaeli, 2001 Bhuj, 2007 Kashiwazaki, 2010 Şili, 2011 Tohoku depremlerinden elde edilmiştir. Kürelerin mesnetlendiği kolonlarda burkulma, kolonlar arası bağlantıyı sağlayan aksel kuvvet taşıyan çapraz çubuk elemanlarının zarar görmesi, boru hatlarının hasar görmesi, ankraj civatalarının ve ankraj sisteminin hasar görmesi, tank ayaklarının kayması küresel tanklarda görülen başlıca hasar türleridir. Yukarıda belirtilen depremlerde küresel basınçlı kaplarda bu tür hasarlara rastlanmıştır. Örneğin 1991 Kosta Rika depreminde 19.8 metre çapında küresel bir sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG; liquified natural gas) tankı göçmüştür (Mitchell ve Tinawi 1992). Ayrıca yukarıda da bahsedildiği üzere 2011 Tohoku depreminde, küresel bir tankın kolonlarında burkulma meydana geldiği ve çıkan yangınlarla birlikte tankın göçtüğü bildirilmiştir (Zama ve diğ. 2012). Benzer şekilde, 2001 Bhuj, Hindistan depreminde, bazı tanklarda bağlantı çubukları göçmüştür (Malhotra ve diğ. 2002). Görüldüğü gibi atmosferik silindirik tanklarda olduğu gibi farklı zamanlarda ve depremlerde küresel tanklarda da çeşitli hasarlar meydana gelmiştir. Bu nedenle, bu tür tanklar için de detaylı şekilde sismik risk analizleri gerçekleştirilmelidir. Bu verilerin dışında küresel tanklar için 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne (TBDY 2018) göre doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler yapılmıştır. Bu kapsamda yönetmelikteki tanıma uygun olarak 11 deprem kaydı seçilmiş ve analizler gerçekleştirilmiştir. Diğer yandan, tasarlanacak yapıların talep ve kapasite durumlarının sismik güvenlik açısından her ülkede farklılık gösterdiğini vurgulamak gerekmektedir.

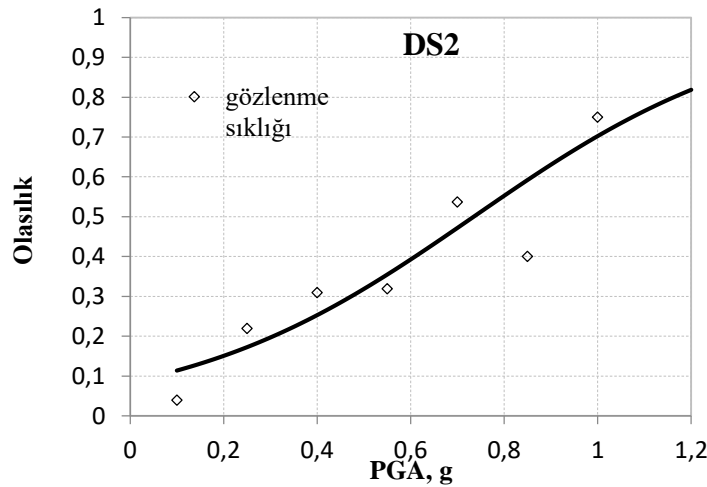
Yatay basınçlı tanklar için hasar verileri ise 1952 Kern County, 1983 Coalinga, 1984 Morgan Hill, 1985 Şili, 1989 Loma Prieta, 1991 Limon, Kosta Rika, 1994 Northridge, 1999 Kocaeli depremlerinden derlenmiştir. Tankın kayması, tabanda çatlama, boru hasarı, kaynak hasarı, ankraj civatalarının hasar görmesi, ayakların hasar görmesi yatay basınçlı tanklarda görülen başlıca hasar türleridir. Özetle bu çalışmada, küresel ve yatay silindirik basınçlı tanklar için geçmiş yıllarda meydana gelmiş depremlerden hasar verileri toplanmıştır. Bu hasar verilerinin atmosferik silindirik tanklara kıyasla oldukça az sayıda olduğu görülmüştür. Olası depremlerde çalkalanma etkileri ve sıvı sızıntısı nedeniyle yangın ve patlamaların meydana gelmesi büyük

felakete yol açabilmektedir. Bu nedenle endüstriyel tesislerde yaygın olarak kullanılan depolama tankları için deprem risk analizlerinin gerçekçi bir şekilde yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada, küresel depolama tankları için mevcut hasar verilerine ek olarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizler yapılmış ve elde edilen sonuçlar kırılma eğrilerinin türetilmesinde kullanılmıştır.

2. YÖNTEM

Kırılma eğrileri, yapılarda yer hareketi parametrelerinin (burada PGA; en büyük yer ivmesi) bir fonksiyonu olarak depremlerden kaynaklanan hasar olasılıklarını ifade eder. Deprem etkisi altında belirli bir hasar sınırına ulaşılma veya bu sınırın aşılma olasılığını belirten eğrilerdir. Kırılma eğrileri, herhangi bir deprem sırasında olası hasarın tahmininin sağlanması amacıyla geliştirilmektedir. Bu eğriler, sismik risk değerlendirmesini temsil eder ve en güçlü ana sarsıntı durumunda fiziksel hasarın belirlenmesi için bir gösterge olarak kullanılmaktadır. Bir yapının deprem sonrasında yeniden kullanım durumuna karar verilmesi için ana sarsıntının yanı sıra, artçı sarsıntı olasılığı da araştırılmalıdır. Kırılma analizleri, sismik bir olay sırasında ekonomik etkileri ve can kaybını azaltmak için de doğrudan kullanılır. Bu nedenle kırılma eğrileri hem deprem öncesi hem de deprem sonrası durumlar için karar verme araçları olarak kullanılabilir. Ek olarak, bu eğriler gelecekteki sismik yönetmelik koşullarının iyileştirilmesine yardımcı olabilir. Bu eğriler genellikle farklı şekillerde elde edilir. Gözleme, analitik çalışmalara ve uzman görüşüne dayalı yöntemler bulunmaktadır. Ayrıca bu yöntemlerden bazılarının bir arada dikkate alınmasıyla hibrit yöntemler de kullanılmaktadır. Bu çalışmada kırılma eğrileri gözlemsel veriler ve sayısal çalışmalardan elde edilen veriler kullanılarak türetilmiştir.

Öncelikle ele alınan tanklarla ilgili geçmiş depremlerden elde edilmiş hasar verileri toplanmıştır. Bu verilerin atmosferik silindirik tank verilerine göre oldukça yetersiz olduğu gözlenmiştir. Daha sonra sayısal analizlerle desteklenen hasar verileri kullanılarak kırılma eğrileri türetilmiştir. Burada veriler, hasarların elde edildiği depremlerin en büyük yer ivmesi (PGA) değerlerine göre gruplara ayrıştırılmıştır. İvme değerleri 0.2g aralıklara bölünmüş ve her bir aralığa denk gelen hasar verileri incelenmiştir. Göz önüne alınan hasar sınıfları tablosu kullanılarak söz konusu hasar verileri bir hasar sınıfına atanır. Her bir hasar sınıfı için, her PGA aralığındaki tank sayısının, o aralıktaki tüm tank sayısına bölünmesiyle gözlenme sıklığı değerleri elde edilir. Bu gözlenme sıklığı değerlerine uygun olarak farklı istatistiksel yöntemlerle kırılma eğrileri türetilir. Bu çalışmada lojistik regresyon yöntemi kullanılarak eğriler oluşturulmuştur. Şekil 3'te küresel tanklardan bağımsız olarak örnek bir kırılma eğrisi gösterilmiştir.



Şekil 3: Gözlenme sıklığı değerleri ve kırılma eğrisi örneği (Öztürk ve diğ. 2021)

Çalışma kapsamında sayısal analizler için küresel tank sonlu eleman modeli kurulmuş ve sıvı-yapı etkileşimi de göz önüne alınarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilmiştir.

3. VERİ

Çalışmada kırılma eğrilerinin türetilmesinde hem gözleme dayalı hem de nümerik çalışmalardan elde edilmiş veriler kullanılmıştır.

3.1) Gözlemsel Veriler

Küresel ve yatay basınçlı tankların geçmiş depremlerde meydana gelmiş, çeşitli kaynaklardan elde edilmiş hasar verileri ile ilgili bazı bilgiler burada sunulmaktadır. Küresel tanklar ile ilgili bilgiler Tablo 1'de, yatay silindirik tanklar ile ilgili bilgiler ise Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1: Küresel depolama tankları için elde edilen hasar verilerinin bulunduğu depremlerle ilgili veriler

Deprem Adı	Yıl	PGA (g)	Tank Sayısı
Kern County	1952	0.2	2
Miyagi-Ken-Okii	1978	0.3	1
Chile	1985	0.332	4
Costa Rica	1991	0.2	1
Kobe	1995	0.5	1
Kocaeli	1999	0.23; 0.32	2
Bhuj	2001	0.236	5
Kashiwazaki	2007	0.2	1
Chile	2010	0.56	2
Tohoku	2011	0.114	1

Tablo 2: Yatay silindirik tanklar için elde edilen hasar verilerinin bulunduğu depremlerle ilgili veriler

Deprem Adı	Yıl	PGA (g)	Tank Sayısı
Kern County	1952	0.15; 0.2	5
Coalinga	1983	0.43	1
Morgan Hill	1984	0.32	1
Chile	1985	0.24-0.332	12
Loma Prieta	1989	0.5	1
Costa Rica	1991	0.24	4
Northridge	1994	0.61	5
Kocaeli	1999	0.23	1

Bu verilerden görüldüğü gibi küresel ve yatay silindirik basınçlı tanklar için geçmiş depremlerden derlenebilecek hasar verisi sayısı atmosferik düşey silindirik tanklara kıyasla çok daha az sayıdadır. Bu verilerin sayısal çalışmalarla desteklenip kapsamlı bir risk analizinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

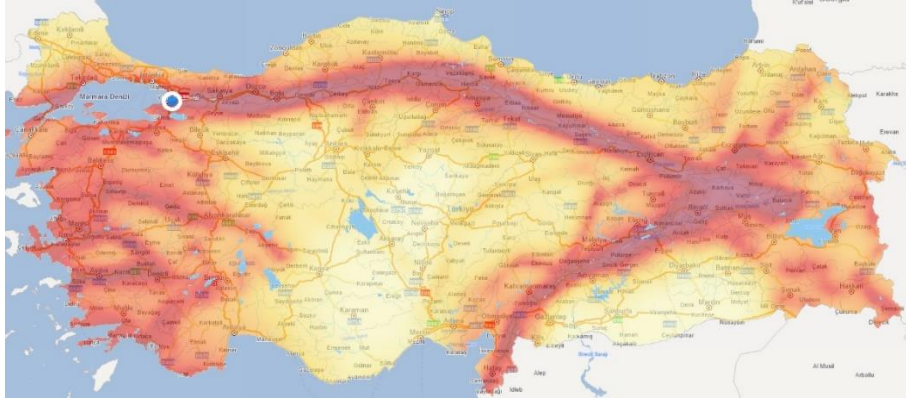
3.2) Sayısal Veriler

Çalışmada genel amaçlı sonlu elemanlar analiz yazılımı LS-DYNA (LS-DYNA R11.0 2017) kullanılarak küresel tank modelinin dinamik davranışı zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz ile gözlemlenmiştir. Tankın sismik tepkisinin değerlendirilmesi için sonlu elemanlar analizine sıvı-yapı etkileşimi algoritmaları dâhil edilmiştir. Doğrusal olmayan malzeme ve geometrik etkiler, tank kabuğunun burkulması ve sıvının doğrusal olmayan çalkalanma davranışı analize dâhil edilmiştir. Çalışmada Lagrangian yöntemlerine göre malzeme sınırları ve karmaşık temas etkileşimlerinin daha gerçekçi tanımlanabildiği ve büyük deformasyon problemlerinin modellenenebildiği keyfi Lagrangian-Eulerian (Arbitrary Lagrangian Eulerian, ALE) formülasyonu kullanılmıştır.

Modellenen küresel tank asetik asit içermekte olup 12.105 m çapında, merkezinden 7.73 m yüksekliğindedir ve 7 adet kolon üzerine oturtulmuştur. Tankın yer aldığı konum ve bölgeyi tehdit eden faylar sırasıyla Şekil 4 ve 5'te sunulmuştur. Kolonlar birbirine çapraz elemanlarla bağlanmıştır ve tankın doluluk oranı %90'dır. Kolonlar, tank duvarı, çelik çaprazlar ve plakalar gibi kabuk elemanlar için doğrusal olmayan malzeme modeli kullanılmıştır. Sistemde A516 Grade 70 ve A500 Grade B olmak üzere farklı mekanik özelliklere sahip iki malzeme modeli kullanılmıştır (Şekil 6). Kolon ve tank duvarı için A516 Grade 70 kullanılırken, çapraz elemanlar ve plakalar için A500 Grade B kullanılmıştır. Malzeme özellikleri Tablo 3'te verildiği gibidir.

Analizde toplam on bir yer hareketi ivme kaydı seçilmiştir (her kayıt için birbirine dik iki yatay bileşen ve düşey bileşen). Yer hareketi ivme kayıtları TBDY(2018)'e göre seçilmiş ve ölçeklenmiştir. Zaman tanım alanında analizlerde deprem yer hareketi seviyesine göre depremlerin büyüklükleri, fay mesafeleri, kaynak mekanizmaları ve yerel zemin koşulları dikkate alınarak sismik hesaplamada kullanılacak kayıtların seçimi yapılır. Tankın bulunduğu bölgede, deprem yer hareket seviyesi ile uyumlu tasarıma esas geçmiş deprem kayıtları kullanılmaktadır. Seçilen kayıtlarla ilgili özellikler Tablo 4'te verilmiştir. Bölge için elde edilen yatay ve düşey tasarım spektrum grafikleri Şekil 7'de verilmiştir. Bölge için elde edilen tasarım spektrum parametreleri ise Tablo 5'te verilmiştir. Bu veriler ile seçilen ölçekli deprem kaydı ivme spektrumları Şekil 8 ve 9'da verilmiştir. Analizlerdeki ölçeklendirilmiş PGA değerleri 0.7g ila 1g arasında değişmektedir. PGA değerleri, tankın bulunduğu konum için azalım ilişkileri ile tahmin edilmiştir. Bu şekilde PGA değerleri dikkate alınarak hem ampirik hem de sayısal çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

LS-DYNA programı ile oluşturulan sonlu eleman modeli Şekil 10'da sunulmuştur. Duvar, kolon ve çaprazların modellenmesinde eleman formülasyonu 16 olan kabuk elemanlar kullanılmıştır. Ek olarak, akışkan alanı, eleman formülasyonu 11 olan katı (solid) elemanlar ile modellenirken temel ise rijit taban olarak modellenmiştir.



Şekil 4: Göz önüne alınan bölgenin konumu



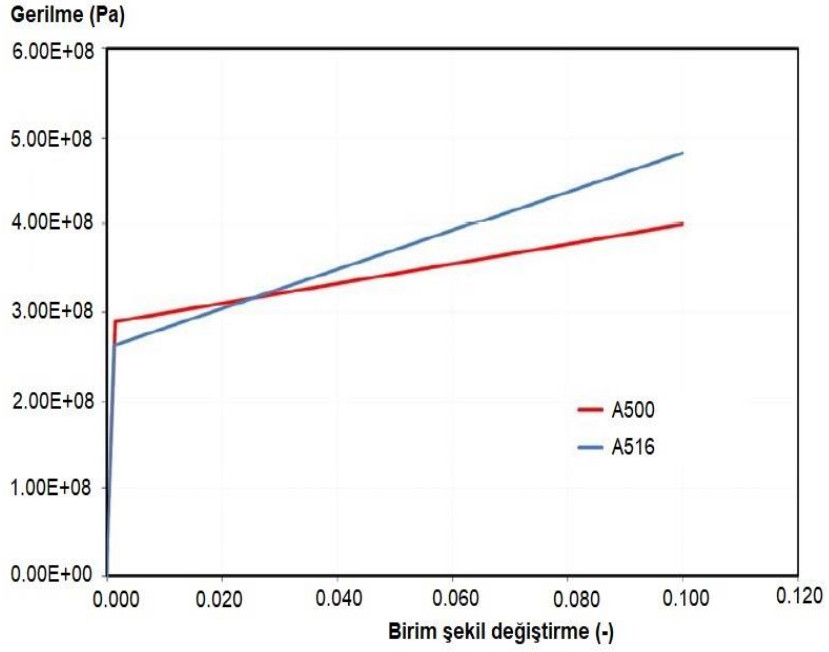
Şekil 5: Bölgeyi tehdit eden faylar (CNNTÜRK 2018)

Tablo 3: Malzeme özellikleri

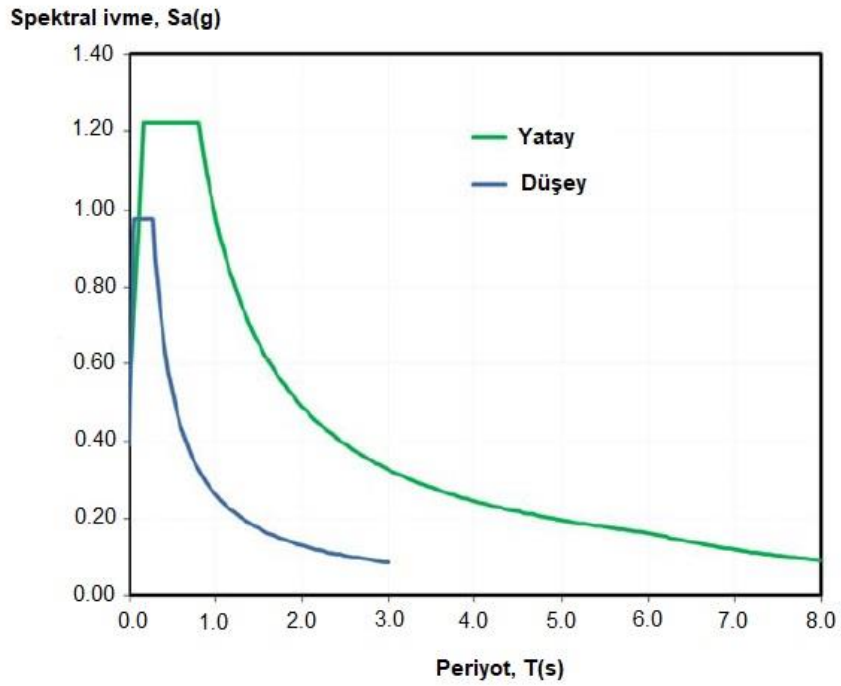
Malzeme adı	Akma day. (MPa)	Çekme day. (MPa)
A516 Grade 70	260	500
A500 Grade B	290	400

Tablo 4: Seçilen deprem kayıtlarına ait özellikler

İsmlendirme	Deprem Adı	Yıl	İstasyon	Mw	PGA(g)
EQ01	Imperial Valley	1940	El Centro Array	7.0	0.1973
EQ02	Parkfield	1966	Cholame-Shandon Array	6.2	0.3728
EQ03	Managua	1972	Managua ESSO	6.2	0.3325
EQ04	Imperial Valley	1979	EC Meloland Overpass	6.5	0.3776
EQ05	Victoria	1980	Victoria Hospital Sotano	6.3	0.0363
EQ06	Superstition Hills	1987	Parachute Test Site	6.5	0.3826
EQ07	Erzincan	1992	Erzincan	6.7	0.4837
EQ08	Kobe	1995	Takatori	6.9	0.6155
EQ09	Düzce	1999	Düzce	7.1	0.5353
EQ10	El Mayor-Cucapah	2010	Cerro Prieto Geothermal	7.2	0.288
EQ11	Darfield	2010	Lincoln School	7.1	0.46



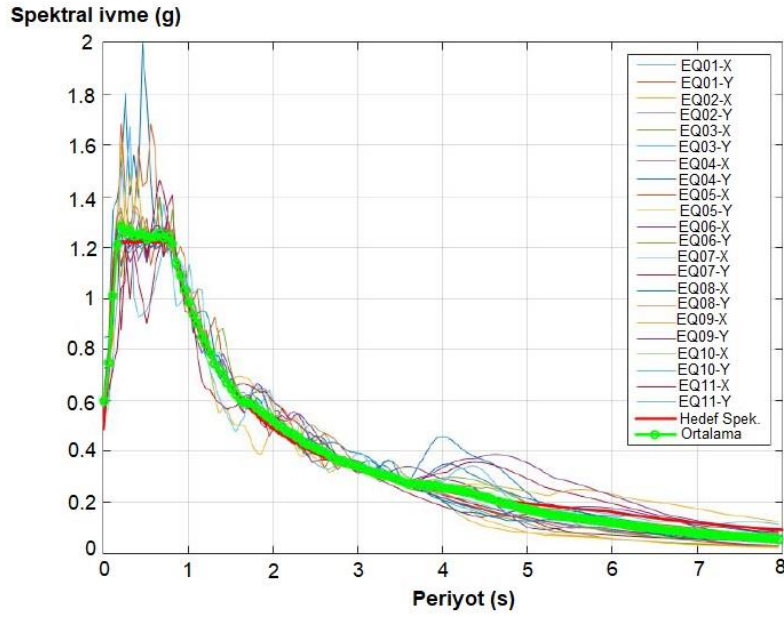
Şekil 6: Malzemelerin gerilme-şekil değiştirme ilişkileri



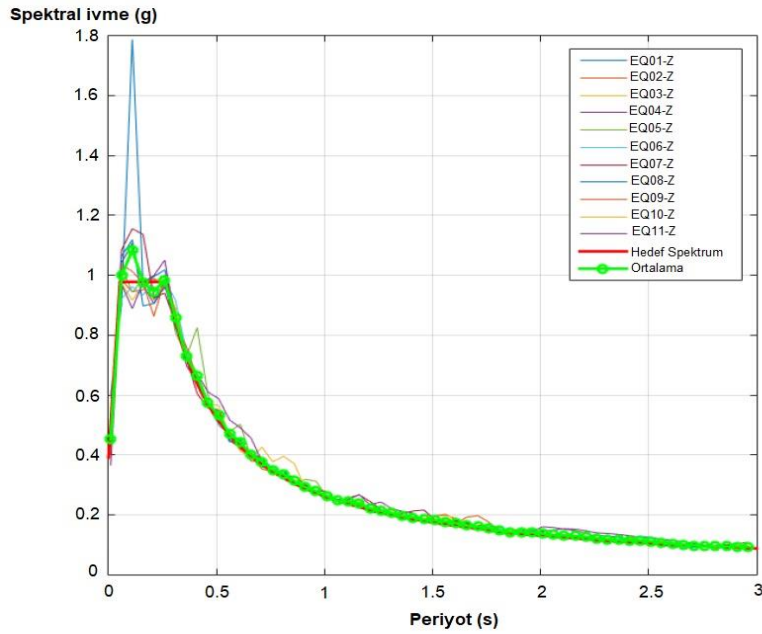
Şekil 7: TBKY (2018)'e göre tasarım spektrumu

Tablo 3: Bölgede tasarıma esas spektrum parametreleri

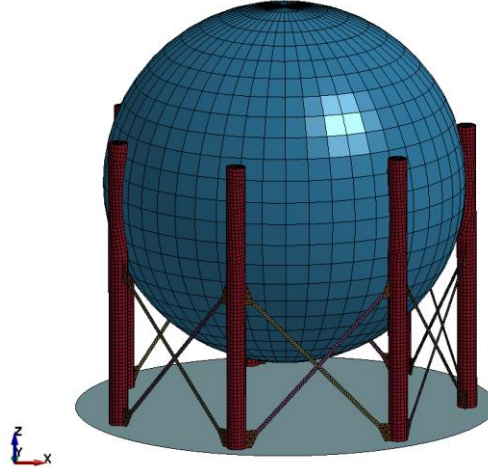
Zemin sınıfı	ZE
Deprem yer hareketi düzeyi	DD2
S_s	1.528
S_1	0.412
PGA (g)	0.624
PGV (cm/sec)	46.777
F_s	0.8
F_1	2.376
S_{DS}	1.222
S_{D1}	0.979



Şekil 8: Tasarım spektrumuna göre yatay olarak ölçeklendirilmiş deprem kaydı ivme spektrumu



Şekil 9: Tasarım spektrumuna göre düşey olarak ölçeklendirilmiş deprem kaydı ivme spektrumu



Şekil 10: Küresel tankın sonlu eleman modeli

3.3) Kırılgenlik Analizi

Kırılgenlik eğrileri, yer hareketi parametrelerinin bir fonksiyonu olarak depremlerden kaynaklanan yapısal hasar olasılıklarını ifade eder. Deprem etkisi altında belirli bir hasar durumuna ulaşılma veya bu durumun aşılma olasılıklarını tanımlar. Kırılgenlik eğrileri, bir deprem sırasında olası hasarın tahminini sağlamak için geliştirilmiştir. Bu eğriler, sismik risk değerlendirmesini temsil etmektedir ve en güçlü, ana sarsıntı durumunda fiziksel hasarı belirlemek için bir gösterge olarak kullanılır. Ana sarsıntının yanı sıra, bir yapının yeniden kullanılıp kullanılmayacağına karar vermek için artçı sarsıntıların olasılığının da araştırılması gerekir. Kırılgenlik fonksiyonu, sismik bir olay sırasında ekonomik etkilerin ve can kayıplarının azaltılabilmesi için de doğrudan kullanılır. Bu nedenle kırılgenlik eğrileri hem deprem öncesi hem de deprem sonrası durumlar için karar verme araçları olarak kullanılabilir. Ek olarak, bu eğriler gelecekteki sismik şartname koşullarının iyileştirilmesine yardımcı olabilir.

Kırılgenlik eğrilerinin türetilmesi için ampirik verilere, analitik çalışmalara ve uzman görüşüne dayalı farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. Ayrıca bu yaklaşımlardan bazılarının birleştirildiği hibrit yöntemler de kullanılmaktadır. Örneğin, HAZUS-MH'deki kırılgenlik eğrilerinin çoğu hibrit yaklaşımla elde edilmiştir (D'Amico ve Buratti 2018). Bu çalışmada analizler, gözlemsel verilerin sayısal çalışmalardan elde edilen verilerle birleştirilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Kırılgenlik eğrilerinin türetilmesinde istatistiksel yaklaşımlar olduğu için veri sayısının artırılması eğrilerin hassasiyetini artırmaktadır.

Şiddet ölçütü (IM; intensity measure), bir sınır durumuna ulaşılma veya bu durumun aşılma olasılığının hesabında dikkate alınan yer hareketi parametresidir. Tanklar için yer hareketi yoğunluğunun bir ölçüsü olarak genellikle en büyük yer ivmesi (PGA) kullanılır. Sismik risk değerlendirmesinde, bir yapının performans seviyeleri sınır durumlar aracılığıyla tanımlanabilir. Sınır durum kavramı, farklı hasar durumları arasındaki geçişi tanımlar. Sismik kırılgenlik eğrilerinin oluşturulması için farklı hasar ölçütleri kullanılabilir. Hasar ölçütleri olarak dikkate alınacak parametreler yapılar arasında farklılık göstermektedir. Örneğin, betonarme eleman uçlarında en büyük dönme talebi ve en büyük kesme kuvveti talebi gibi parametreler hasar ölçütleri olarak kabul edilir. Küresel kaplar için hasar koşulları genel olarak küre kütlelerinin mesnetlendiği kolonlarda burkulmaya, aksel kuvvet taşıyan ve kolonlar arası bağlantıyı sağlayan çapraz çubuk elemanların hasar görmesine, boru hatlarının hasar görmesine, ankraj civatalarının, ankraj sisteminin hasar görmesine, tank ayaklarının kaymasına bağlı olarak tanımlanır. Bu çalışmada ele alınan hasar durumları Tablo 6'da sunulmuştur.

Tablo 6: Küresel tanklar için hasar sınıfları

DS1	Belirgin bir hasarın olmaması durumu.
DS2	Küre, kolonlar, çapraz elemanlar, ankraj ve borularda düşük seviyede hasarın meydana gelmesi
DS3	Küre, kolonlar, çapraz elemanlar, ankraj ve borularda orta seviyede hasarın meydana gelmesi
DS4	Küre, kolonlar, çapraz elemanlar, ankraj ve borularda şiddetli biçimde hasarın meydana gelmesi
DS5	Küre, kolonlar, çapraz elemanlar, ankraj ve borularda aşırı hasarın meydana gelmesi veya tankın göçmesi.

Hasar sınıfları tablosu oluşturulurken hasar mekanizmalarının şiddetlerine göre sıralandığı düşünülmektedir. Tabloda örnek olarak belirtilen farklı elemanlar için hasarın şiddeti önemlidir. Örneğin, boru sisteminde sızıntı meydana gelmesi tehlikeli bir durum oluşturur veya sızıntı meydana gelmeden boruların hasar görmesi durumu daha düşük bir hasar sınıfına atanabilir. Aynı şekilde kolonlardaki ve çapraz çubuk elemanlardaki hasarın şiddeti de önemlidir. Gözlemsel veriler ve analizlerden elde edilen sonuçlara göre tanklar hasar durumlarına göre sınıflandırılmıştır. Burada elde edilen kırılma eğrileri, PGA parametresine bağlı bir fonksiyon olarak belirli bir hasar durumunun elde edilmesi veya bu durumun aşılması olasılığını ifade etmektedir. Bu kırılma ilişkileri, hasar matrisi ve lojistik regresyon analizi kullanılarak elde edilmiştir. Çalışmada ampirik ve nümerik çalışmalara bağlı olarak her bir hasar sınıfına atanan tank sayıları Tablo 7'de gösterilmiştir.

Tablo 7: Tank sayıları

DS1	31
DS2	21
DS3	16
DS4	12
DS5	4

Tablo 6 ve 7'de DS1'den DS5'e kadar verilen tanımlar hasar sınıflarını (damage state) temsil etmektedir. Kırılma analizinde, değerlendirilen veri setindeki tankların her biri, meydana gelen hasarlara bağlı olarak ilgili hasar durumlarına atanmıştır. Her tank ilgili hasar durumuna atandıktan sonra, her bir hasar sınıfı için tanklarda bu durumun gözlenip gözlenmediği incelenmiştir. Bu veriler dikkate alınarak her bir hasar sınıfında belirli PGA değerleri için "gözlenme sıklığı" değerleri elde edilmiş ve bu verileri temsil edecek en uygun eğrinin oluşturulması amaçlanmıştır. Kırılma eğrilerinde gözlenme sıklığı değerlerinin hesaplanmasında Tablo 6'daki sınıflandırmalardan yararlanılır. Literatürde eğrilerin oluşturulması için farklı yöntemler (eğri uydurma teknikleri) mevcuttur. Çalışma kapsamında uygun eğrilerin oluşturulması için lojistik regresyon yöntemi kullanılmıştır. Bu model Denklem 1'de verildiği gibi ifade edilir.

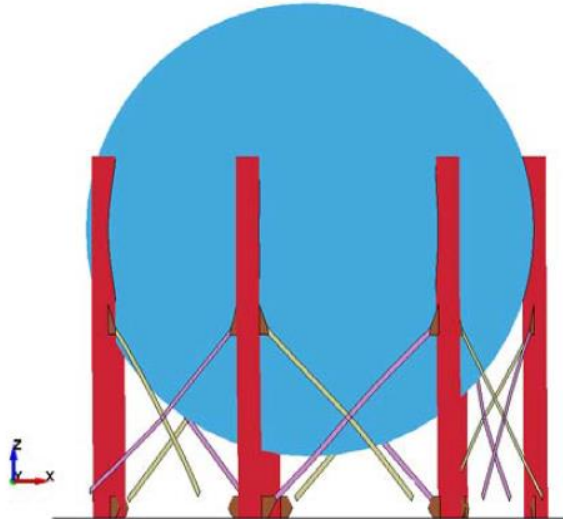
$$\pi(x) = \frac{e^{\beta_0 + \beta_1 x}}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 x}} \quad (1)$$

Denklem 1'de $\pi(x)$ olasılığı temsil etmektedir ve verilen lojistik regresyon modelinin bir veri kümesine uygun hale getirilmesi için bilinmeyenler β_0 ve β_1 parametrelerinin tahmin edilmesi gerekmektedir. Doğrusal regresyonda, bilinmeyen parametreleri hesaplamak için kullanılan yöntem, en küçük kareler yöntemidir. Bu yöntemde bilinmeyen parametreler için modele göre tahmin edilen değerler ile gözlemlenen sonuç değişken değerleri arasındaki farkların karelerinin toplamını minimize eden değerler seçilir. Bununla birlikte, bu yöntem ikili sonuçlara sahip bir modele uygulandığında iyi sonuç vermez (Hosmer ve Lemeshow 1989). Lojistik regresyon modelinde bilinmeyenlerin hesaplanmasında maksimum olabilirlik yöntemi kullanılmaktadır.

4. BULGULAR

Çalışmada, küresel basınçlı kapların geçmiş depremlerden derlenen hasar verileri ve kurulan sonlu elemanlar modeli ile gerçekleştirilen zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerin sonuçları kullanılarak kırılma analizleri gerçekleştirilmiştir. Yatay silindirik basınçlı kaplar için de geçmiş depremlerden elde edilen hasar verileri toplanmıştır. Sayısal çalışmalarda, kolonların mesnetlendiği çelik çapraz elemanlar ana hasar merkezi olarak gözlemlenmiştir. Kolonların taban plakalarına birleşim noktalarında yüksek gerilmeler meydana gelmiştir. Çelik çapraz elemanlar, yüksek gerilmelerden dolayı kolonlarla bağlantı noktalarında kırılmıştır. Örnek olarak bir deprem etkisinde meydana gelen hasar mekanizması Şekil 11'de verilmiştir.

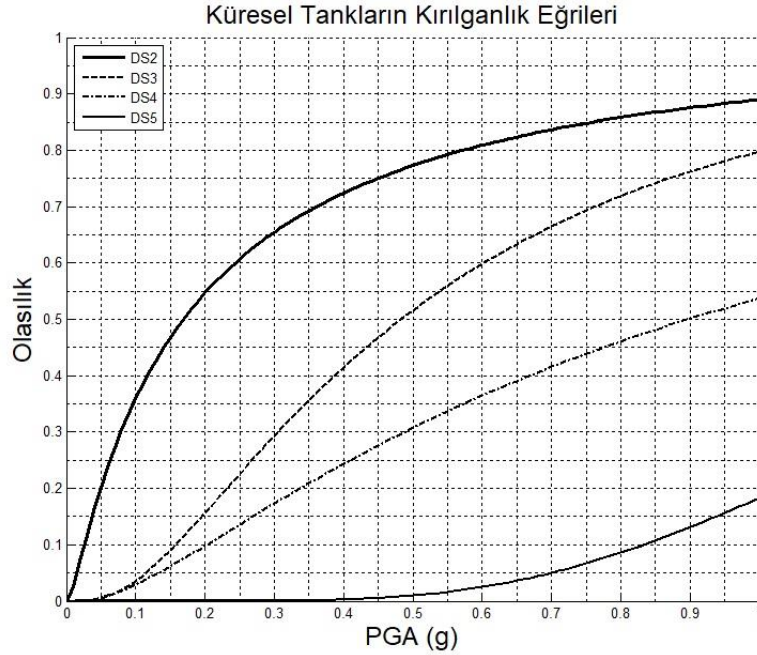
Şekil 11'de görüldüğü gibi destek sağlanması amacıyla kolonlar arasına yerleştirilen çapraz elemanlar taban plakalarından kırılmıştır. Ampirik ve sayısal çalışmalarla elde edilen hasar verileri ile oluşturulan kırılma eğrilerinin yatay eksenini en yüksek yer ivmesidir. Lojistik regresyon yöntemi kullanılarak gözlenme sıklığı değerlerine uygun olacak şekilde kırılma eğrileri elde edilmiştir. Gözlenme sıklığı değerleri hasar matrisi kullanılarak elde edilmiştir. PGA değerleri burada 0.2g aralıklara bölünmüştür. Örneğin 0.2g-0.4g aralığında 6 adet tankta $DS \geq 2$ durumu gözlemlenmiştir. Bu aralıkta toplam tank sayısı 13 olarak elde edilmiştir. $DS2$ gözlenme sıklığı değeri $6/13 = 0.46$ olarak hesaplanmıştır ve bu değer Şekil 13'te görülmektedir. Diğer noktalar da bu şekilde hesaplanmıştır (O'Rourke ve So 2000).



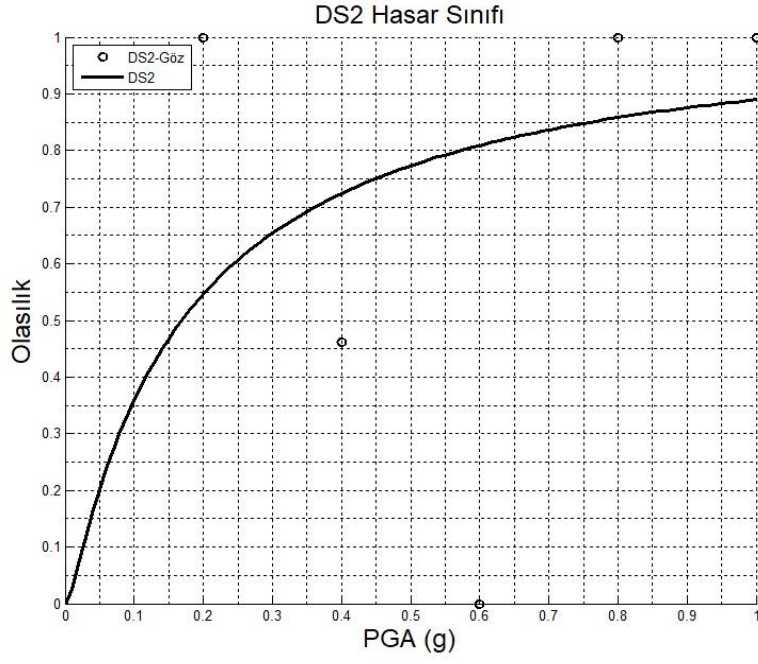
Şekil 11: Örnek tank hasar mekanizması

Elde edilen tüm sayısal ve gözlemsel veriler kullanılarak gerçekleştirilen kırılma analizlerinden çıkarılan kırılma eğrileri Şekil 12'de gösterilmektedir. Ayrıca Şekil 13, 14, 15 ve 16 her hasar durumu için kırılma eğrileri ile gözlenme sıklığı değerleri arasındaki ilişkileri göstermektedir.

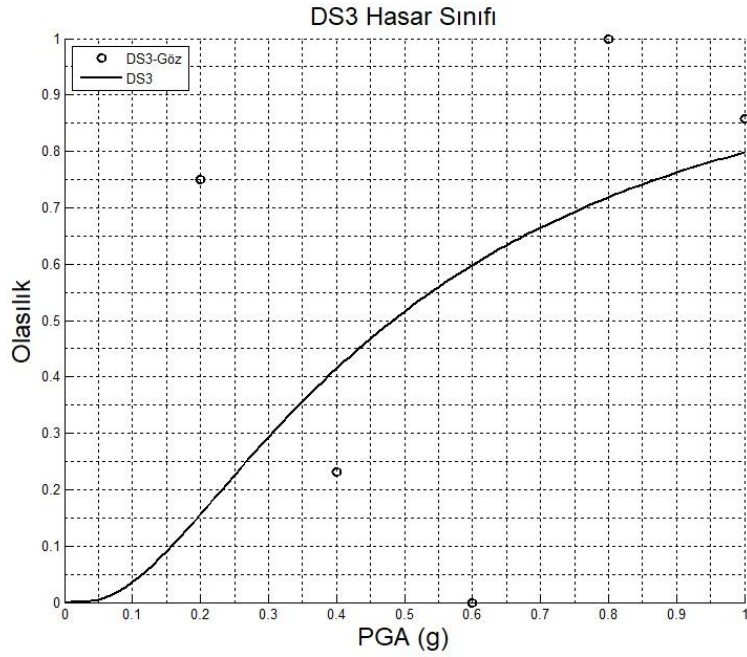
Atmosferik silindirik tanklar için geçmiş depremlerden elde edilmiş gözlemlere dayalı hasar verileriyle türetilen kırılma eğrileri ile ilgili literatürde birçok çalışma mevcuttur. Bu durumun aksine küresel basınçlı tanklar için literatürde kırılma eğrileriyle ilgili çok fazla çalışma bulunmamaktadır. Bu açıdan çalışma kapsamında gerçekleştirilen analizler ve sonucunda elde edilen kırılma eğrilerinin basınçlı tankların deprem riskleri açısından araştırmacılara fikirler sunabileceği görülmüştür. Şekil 13'ten Şekil 16'ya kadar sunulan grafiklere bakıldığında gözlemsel hasar verilerinin ve sayısal çalışmalar sonucu elde edilen verilerin birleştirilmesiyle türetilen kırılma eğrilerinden, basınçlı küresel tankların deprem risklerinin tutarlı şekilde ortaya çıkarıldığı anlaşılmıştır. Grafiklerde verilen gözlenme sıklığı değerlerinde sayısal analiz sayısının artırılmasıyla değişiklikler görülebilir ve bu değişiklikler kırılma eğrilerine de yansıtılabilir. Bu sebeple özellikle basınçlı tanklar için gözlemsel hasar verilerinin atmosferik silindirik tanklara göre göreceli olarak yetersiz olduğu düşünülürse sayısal çalışmaların nitelik ve sayısının artırılmasının çalışmaları olumlu yönde etkileyeceği düşünülmektedir.



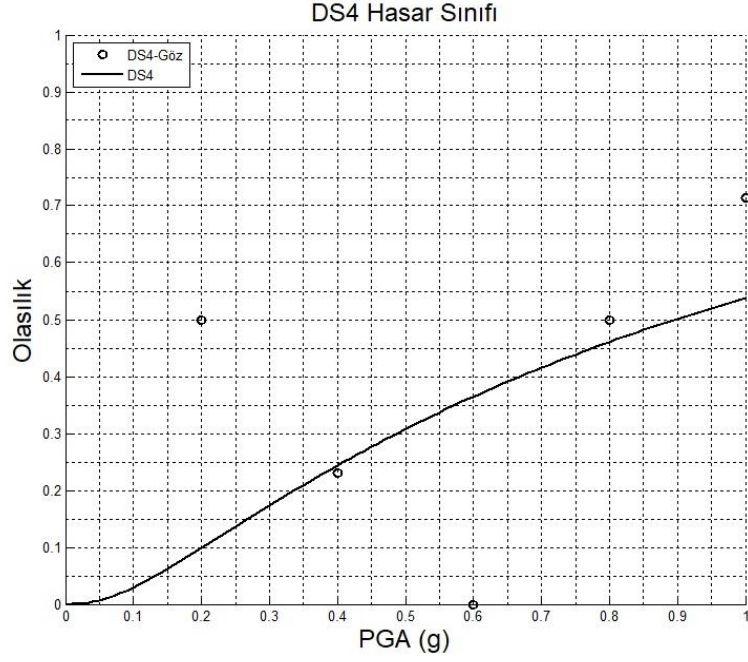
Şekil 12: Küresel basınçlı tanklar için kırılma eğrileri



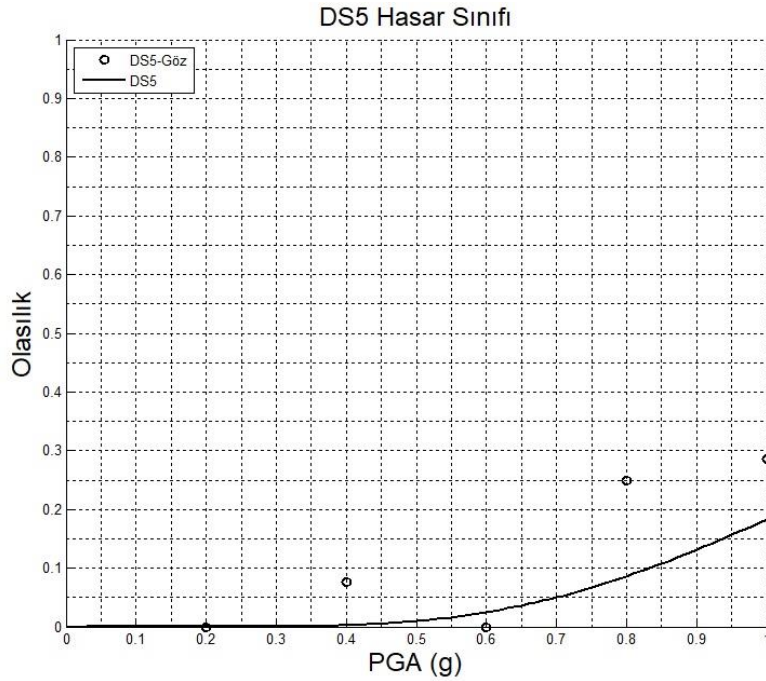
Şekil 13: DS2 durumu için gözlenme sıklığı değerleri ve kırılma eğrisinin kıyaslanması



Şekil 14: DS3 durumu için gözlenme sıklığı değerleri ve kırılma eğrisinin kıyaslanması



Şekil 15: DS4 durumu için gözlenme sıklığı değerleri ve kırılma eğrisinin kıyaslanması



Şekil 16: DS5 durumu için gözlenme sıklığı değerleri ve kırılma eğrisinin kıyaslanması

Yatay eksendeki PGA değerlerinin 0.2g aralıklara bölünmüş olduğu grafiklerdeki gözlenme sıklığı değerlerinden görülebilmektedir. Her hasar sınıfı için, söz konusu hasar durumunun meydana gelmesi ile bağlantılı olarak bu aralıklarda gözlenme sıklığı değerleri elde edilmiştir. Bu veriler ve eğriler hem sayısal çalışmalardan hem de belirtildiği gibi geçmiş deprem hasar verilerinden elde edilmiştir. Literatürde küresel ve yatay silindirik basınçlı kaplar için çok fazla hasar verisi bulunmamaktadır. Bu nedenle daha fazla nümerik çalışma ile kırılma analizleri için daha kapsamlı ve gerçekçi sonuçlar elde edilebilir.

5. SONUÇLAR

Çalışmada küresel ve yatay silindirik basınçlı kapların işlevi ve öneminden bahsedilmiştir. Olası sıvı sızıntıları ile patlama ve yangın gibi kazalar ve domino etkileri nedeniyle bu yapıların güvenliğinin sağlanması çok önemlidir. Deprem, bu tür kazaları tetikleyebilecek en büyük doğal tehditlerden biridir. Bu nedenle bu kapların deprem performanslarının gerçekçi şekilde incelenmesi ve kırılma analizlerinin kapsamlı şekilde yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada, küresel ve yatay basınçlı tanklar için geçmiş depremlerden elde edilen hasar verileri toplanmıştır. Bu verilerin dikey atmosferik silindirik tanklara göre çok daha yetersiz olduğu görülmüştür. Asetik asit içeren küresel bir tank için kurulan sonlu eleman modeli ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizler yapılmış ve elde edilen veriler yorumlanarak kırılma analizleri için kullanılmıştır. Bu analizlerden aşağıdaki yorumlar yapılabilir.

- Kolon ve tank duvarında herhangi bir hasar görülmemiştir.
- Kolonları destekleyen çelik çapraz elemanlar hasarların görüldüğü ana kısımlardır.
- Taban plakalarında yüksek gerilmeler meydana gelmiştir.
- Kırılma eğrileri için daha fazla nümerik çalışmanın gerçekleştirilmesi, risk analizlerini daha gerçekçi hale getirecektir.
- Gözlemsel verilerde PGA değerleri çeşitli kaynaklardan elde edilmiştir. Sayısal çalışmada kullanılan PGA değerleri azalım ilişkileri ile elde edilmiştir. Bu nedenle hem ampirik hem de sayısal verilerin birleştirilmesi olağan bir durum olarak kabul edilmektedir.
- Gelecek çalışmalarda hem küresel hem de silindirik tanklar için sayısal çalışmaların artırılması ve kırılma eğrilerinin detaylandırılması hedeflenmektedir.

KAYNAKLAR

BBC, 2021. Indonesia fire: Massive blaze erupts at oil refinery.
Erişim adresi: <https://www.bbc.com/news/world-asia-56560826>.

CNNTÜRK, 2018. Jeoloji mühendislerinden korkutan tablo.
Erişim adresi: <https://www.cnnturk.com/turkiye/jeoloji-muhendislerinden-korkutan-tablo>.

Curadelli O., 2011. Seismic Reliability of Spherical Containers Retrofitted by means of Energy Dissipation Devices, *Engineering Structures* 33 (9), 2661-2667.

D'Amico M, Buratti N., 2019. Observational Seismic Fragility Curves for Steel Cylindrical Tanks, *J. Press. Vess-T. ASME* 141 (1), 1-14.

Dawood A. O., 2019. Static and Time History Earthquake Analysis of LPG Spherical Steel Tanks in Iraq, *University of Thi_Qar Journal for Engineering Sciences* 10 (1), 5-12.

Fiore A., Demartino C., Greco R., Rago C., Sulpizio C., Vanzi I., 2018. Seismic Performance of Spherical Liquid Storage Tanks: A Case Study, *International Journal of Advanced Structural Engineering* 10, 121-130.

Hosmer D.W., Lemeshow S., 1989. Applied Logistic Regression, John Wiley & Sons, Inc., 2nd Ed., New York, U.S.A., 375 p.

LS-DYNA R11.0., 2017. Keyword User's Manual Volume I-II, Livermore Software Technology Corporation, Livermore, California.

Malhotra P.K., Rajaram S.K., Namjoshi R., Srinivasan S., Rao D.S., Gupta, A., Ballantyne D., 2002. Industrial Facilities, *Earthquake Spectra* 18 (1), 257-264.

Mitchell D., Tinawi, R., 1992. Structural Damage due to the April 22, 1991. Costa Rican Earthquake, *Canadian Journal of Civil Engineering* 19(4), 586-605.

Moschonas I., Karakostas C., Lekidis V., Papadopoulos S., 2014. Investigation of Seismic Vulnerability of Industrial Pressure Vessels, Second European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, 25-29 August 2014, Istanbul, Turkey.

Ohno T., Kobayashi, N., Oyamada, K., 2015. Seismic Resistance Capacity on Pipe Braced Supporting Frame of Spherical Tank, Proceedings of the ASME 2015 Pressure Vessels and Piping Conference PVP2015, 19-23 July 2015, Boston, Massachusetts, U.S.A.

O'Rourke M.J., So P., 2000. Seismic Fragility Curves for On-Grade Steel Tanks, *Earthquake Spectra* 16 (4), 801-815.

Öztürk S., Bezir F., Sarı A., 2021. Atmosferik Depolama Tankları için Ampirik Sismik Kırılabilirlik Eğrileri, 9. Türkiye Deprem Mühendisliği Konferansı (9TDMK), 2-3 Haziran 2021, Çevrimiçi Konferans.

Paolacci F., Phan H.N., Corritore D., Alessandri S., Bursi O.S., Reza M.S., 2015. Seismic Fragility Analysis of Steel Storage Tanks. 5th ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering, 25-27 May 2015, Crete Island, Greece.

Phan H.N., Paolacci F., 2016. Efficient Intensity Measures for Probabilistic Seismic Response Analysis of Anchored Above-Ground Liquid Steel Storage Tanks, Proceedings of the ASME 2016 Pressure Vessels and Piping Conference PVP2016, 17-21 July 2016, Vancouver, British Columbia, Canada.

Phan H.N., Paolacci F., Alessandri S., 2016. Fragility Analysis Methods for Steel Storage Tanks in Seismic Prone Areas, Proceedings of the ASME 2016 Pressure Vessels and Piping Conference PVP2016, 17-21 July 2016, Vancouver, British Columbia, Canada.

Phan H.N., Paolacci F., Corritore D., Alessandri S., 2018a. Seismic Vulnerability Analysis of Storage Tanks for Oil and Gas Industry, *Pipeline Science and Technology* 2 (1), 55-65.

Phan H.N., Paolacci F., Alessandri S., 2018b. Enhanced Seismic Fragility Analysis of Unanchored Steel Storage Tanks Accounting for Uncertain Modeling Parameters, *J. Press. Vess-T.* 141 (1), 1-10.

Phan H.N., Paolacci F., Fabrizio B., Oreste S., Tondini N., 2017. Seismic Fragility Analysis of Elevated Steel Storage Tanks Supported by Reinforced Concrete Columns, *J. Loss Prevent. Proc.* 47, 57-65.

Salzano E., Iervolino I., Fabbrocino G., 2003. Seismic Risk of Atmospheric Storage Tanks in the Framework of Quantitative Risk Analysis, *J. Loss Prevent. Proc.* 16, 403-409.

Siviy M., Musil M., 2018. Design of the Spherical Liquid Storage Tanks for Earthquake Resistance, *ANNALS of Faculty Engineering Hunedoara-International Journal Engineering* 121-126.

TBDY, 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.

The Guardian, 2021. Massive fire engulfs Indonesian oil refinery after explosion.

Erişim adresi: <https://www.theguardian.com/world/2021/mar/29/massive-fire-engulfs-indonesian-oil-refinery-after-explosion>.

Wieschollek M., Diamanti K., Pinkawa M., Hoffmeister B., Feldmann M., 2013a. Guidelines for Seismic Design and Analysis of Pressure Vessels, Proceedings of the ASME 2013 Pressure Vessels and Piping Conference, 14-18 July 2013, Paris, France.

Wieschollek M., Kopp M., Hoffmeister B., Feldmann M., 2011. Seismic Design of Spherical Liquid Storage Tanks (Compdyn 2011), Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering, 26-28 May 2011, Corfu, Greece, p: 2196-2213.

Wieschollek M., Pinkawa M., Hoffmeister B., Feldmann M., 2013b. Seismic Design of Spherical Pressure Vessels, International Conference on Seismic Design of Industrial Facilities 2013, 17 September 2013, RWTH Aachen University, Aachen, Germany, p: 417-428.

Yang Z., Zhang D., Guo L., Yang B., Wang G., 2014. Seismic Performance Analysis of the Large Spherical Tank, Proceedings of the ASME 2014 Pressure Vessels and Piping Conference PVP2014, July 20-24 2014, Anaheim, California, USA.

Zama S., Nishi H., Hatayama K., Yamada M., Yoshihara H., Ogawa Y., 2012. On Damage of Oil Storage Tanks due to the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake (Mw9.0), Japan, 15th World Conference on Earthquake Engineering 2012, 24-28 September 2012, Lisbon, Portugal, p:1213-1222.



Obtaining the Transfer Function in One Dimensional Soil Amplification Analysis with Modified Finite Element Transfer Matrix Method

Oznur Bilican¹, Kanat Burak Bozdogan² and Erdinc Keskin¹

¹ Kırklareli University, Department of Civil Engineering, Kayali,39000 Kırklareli, Turkey

² Canakkale Onsekiz Mart University, Department of Civil Engineering, Terzioğlu,17000 Canakkale, Turkey
ORCID: 0000-0003-3574-8521, 0000-0001-7528-2418, 0000-0002-8728-2906

Keywords

Soil amplification analysis, One dimensional analysis, Transfer function, Modified finite element transfer matrix method, Scilab

Highlights

*Practical derivation of the transfer function
*In the presented method, the system matrix is independent of the number of elements
*The presented method can be easily adapted to analysis in frequency and time history

Acknowledgements

Supports (with project numbers), name of institutions: e.g.; AFAD, TUBITAK, Governorship, Municipality, etc.

Aim

A method is proposed to obtain Transfer functions used in one-dimensional soil amplification

Location

Methods

MFETM method was adapted to the problem of finding transfer functions used in soil amplification analysis

Results

In the classical finite element method, the system matrix that increases depending on the number of elements is independent of the number of elements in the MFETM method.

Supporting Institutions

--

Manuscript

Research Article

Received: 28.04.2021

Revised: 02.06.2021

Accepted: 08.06.2021

Printed: 30.06.2021

DOI

10.46464/tdad.929449

Corresponding Author

Kanat Burak Bozdogan

Email: kbbozdogan@comu.edu.tr

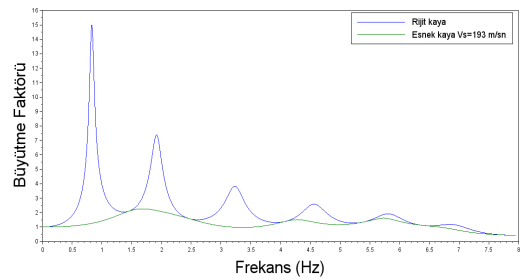


Figure
Transfer functions obtained with MFETM

How to cite

Bilican O., Bozdogan K.B., Keskin E., 2021. Obtaining the Transfer Function in One Dimensional Soil Amplification Analysis with Modified Finite Element Transport Matrix Method, Turk. J. Earthq. Res. 3 (1), 53-74, <https://doi.org/10.46464/tdad.929449>



Tek Boyutlu Zemin Büyütme Analizlerinde Transfer Fonksiyonunun Değiştirilmiş Sonlu Elemanlar Taşıma Matrisi Yöntemi ile Elde Edilmesi

Öznur Bilican¹, Kanat Burak Bozdoğan² ve Erdinç Keskin³

¹ Kırklareli Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kayalı Kampüsü, 39000 Kırklareli, Türkiye

² Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Terzioğlu Kampüsü, 17000 Çanakkale, Türkiye
ORCID: 0000-0003-3574-8521, 0000-0001-7528-2418, 0000-0002-8728-2906

ÖZET

Bu çalışmada tek boyutlu zemin büyütme analizlerinde kullanılan Transfer fonksiyonlarının elde edilmesi için bir yöntem önerilmiştir. Çalışma kapsamında daha önce literatürde zemin hâkim periyodunun bulunması için kullanılan Değiştirilmiş Sonlu Elemanlar Taşıma Matrisi (DSETM) yöntemi zemin büyütme analizlerinde kullanılan transfer fonksiyonlarının bulunması problemine uyarlanmıştır. Klasik sonlu elemanlar yönteminde eleman sayısına bağlı olarak artan sistem matrisi DSETM yönteminde eleman sayısından bağımsızdır. Çalışmanın sonunda önerilen yöntemin uygunluğu iki örnek üzerinde gösterilmiştir. Ele alınan örnekler hem bu çalışmada sunulan DSETM yöntemiyle hem de literatürde yer alan yöntemle çözümlenerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sunulan yöntemin uygulanması için Scilab ortamında bir program yazılmıştır.

Anahtar kelimeler

Zemin büyütme analizi, Tek boyutlu analiz, Transfer fonksiyonu, Değiştirilmiş sonlu elemanlar taşıma matrisi yöntemi, Scilab

Öne Çıkanlar

- * Transfer fonksiyonunun pratik olarak elde edilmesi
- * Sunulan yöntemde sistem matrisi eleman sayısından bağımsızdır
- * Sunulan yöntem frekans ve zaman tanım alanında analizlere kolaylıkla uyarlanabilir

Makale

Araştırma Makalesi

Geliş: 28.04.2021
Düzeltilme: 02.06.2021
Kabul: 08.06.2021
Basım: 30.06.2021

DOI

10.46464/tdad.929449

Sorumlu yazar

Kanat Burak Bozdoğan
Eposta:
kbbozdogan@comu.edu.tr

Obtaining the Transfer Function in One Dimensional Soil Amplification Analysis with Modified Finite Element Transfer Matrix Method

Oznur Bilican¹, Kanat Burak Bozdoğan² and Erdinc Keskin³

¹ Kırklareli University, Department of Civil Engineering, Kayalı, 39000 Kırklareli, Turkey,

² Canakkale Onsekiz Mart University, Department of Civil Engineering, Terzioğlu, 17000 Canakkale, Turkey
ORCID: 0000-0003-3574-8521, 0000-0001-7528-2418, 0000-0002-8728-2906

ABSTRACT

In this study, a method is proposed to obtain Transfer functions used in one-dimensional soil amplification analysis. Within the scope of the study, the Modified Finite Element Transfer Matrix (MFETM) method, which was used to find the soil fundamental period in the literature, was adapted to the problem of finding transfer functions used in soil amplification analysis. In the classical finite element method, the system matrix size that increases depending on the number of elements is independent of the number of elements in the MFETM method. At the end of the study, the suitability of the proposed method was shown on two examples. The examples discussed were solved using both the MFETM method presented in this study and the method in the literature, and the results were compared. A program was written in Scilab for the application of the presented method.

Keywords

Soil amplification analysis, One dimensional analysis, Transfer function, Modified finite element transfer matrix method, Scilab

Highlights

- * Practical derivation of the transfer function
- * In the presented method, the system matrix is independent of the number of elements
- * The presented method can be easily adapted to analysis in frequency and time history

Manuscript

Research Article

Received: 28.04.2021
Revised: 02.06.2021
Accepted: 08.06.2021
Printed: 30.06.2021

DOI

10.46464/tdad.929449

Corresponding Author

Kanat Burak Bozdoğan
Email:
kbbozdogan@comu.edu.tr

1. GİRİŞ

Sismik dalgalar ana kayadan yeryüzüne ulaşınca kadar içinden geçtikleri zemin tabakalarından etkilenecek çeşitli frekanslardaki dalgaları sönmüleyebilir veya büyütülebilir. Buna yer etkisi denir. Dalgaların genliklerinin büyümesine zemin büyütmesi (yer transfer fonksiyonu) adı verilir (Yalçinkaya 2010). Zemin transfer fonksiyonunun belirlenmesinde deneysel ve teorik yöntemler kullanılmaktadır. Frekans ortamındaki çözümlemede zemini oluşturan katmanların viskoelastik olduğunu kabul eden teorik yöntemler ile zemine ait pek çok parametre incelenebilmekte ancak bunun için karmaşık hesaplamalar gerekmektedir (Tsai 1970, Dikmen ve diğ. 2013). Transfer fonksiyonlarının elde edilmesi için arazi ortamında kullanılan birçok deneysel yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerden biri olan standart spektral oran (SSR) yöntemi deprem veya gürültü kayıtlarını kullanılmaktadır. SSR yöntemi (Borcherdt 1970, Kagami ve diğ. 1989), Yatay/Düşey Sprektral Oran (HVSR) (Nogoshi ve Igarashi 1971, Nakamura 1989) veya Ters Çözüm (Katz ve Bellon 1978) yöntemleri kullanılan başlıca deneysel yöntemlerdir. Ancak gürültü kayıtları kolay toplanabilse de güvenilirliğine kesin gözüyle bakılmamaktadır (Field ve Jacob 1995, Bonilla ve diğ. 1997).

Literatürde zemin tepki çözümlemeleri ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Aşağıda son yıllarda yapılan çalışmaların bir kısmı özet olarak verilmiştir.

Yalçinkaya ve Alptekin (2003) 1995 Dinar depreminde zemin büyütmesinin bölgedeki hasar üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çalışmada Dinar'da kurulu 5 kuvvetli yer hareketi istasyonundan kaydedilmiş artçı şoklar kullanılarak SSR ve HVSR yöntemleri ile ova içindeki istasyonlarda 8 kata çıkan büyütme tespit edilmiştir. İstasyonların bulunduğu zeminin hâkim periyotlarının 0.43 sn -0.5 sn olması nedeniyle en fazla hasarın 4-5 katlı binalarda gözlemlendiği ifade edilmiştir.

Choudhury ve Savoikar (2009) belediye katı atık düzenli depolama sahalarının çevresel ve halk sağlığı sorunları oluşturma potansiyelleri nedeniyle bu sistemlerin bulunduğu zeminlerin dinamik davranışını Deepsoil (Hashash ve diğ. 2020) programında bir boyutlu eşdeğer doğrusal analiz ile incelemişlerdir. Çalışma sonucunda alçak depolama (40 m'ye kadar) modellerinde düşük yer ivmesi için ortalama periyotlarda yüksek büyütme oranları elde edilmiştir. Kayma dalgası hızı ve birim hacim ağırlığın sabit alınması: zeminlerdeki maksimum yatay ivmenin, normalize edilmiş gerilmelerin ve büyütme oranlarının olduğundan daha düşük hesaplanmasına neden olmuştur.

Güzel ve diğ. (2009) Kuzey Adana' da 64 ayrı lokasyonda yapılan sismik refraksiyon uygulaması ile belirlenen kayma dalgası hızlarını (V_s) kullanarak Midorikawa (1987)'ye göre hesaplanan zemin büyütme değerlerini bölge için haritalamışlardır. İnceleme sonucunda 1.3-2.5 arasında değişen zemin büyütme değerlerinin çökel zemin birimlerinde 2'nin üzerine çıktığı görülmüştür.

Selcuk ve Aydın (2012) Van'ın traverten ve alüvyon bölgeleri üzerinde ölçülen 2011 Van depreminin ivme değerlerini kullanarak zeminlerin büyütme değerlerini ampirik formüller yardımıyla hesaplamışlardır. Bunun için 81 adet sondaj verisi kullanılmıştır. Çalışma sonucunda su seviyesi yüksek alüvyon zeminlerin traverten zeminlere göre deprem yer ivmesini 2.5 kat arttırdığı görülmüştür.

Gok ve diğ. (2014) İzmir ve Batı Anadolu' da 16 bölgede kaydedilen 10 deprem kaydını kullanarak SSR, HVSR ve Fourier genlik spektrum analizi yöntemleri ile zemin transfer fonksiyonlarını elde etmişlerdir. Yerel zemin koşullarının, sözde spektral hız (PSV) değerleri üzerinde önemli etkileri olduğu anlaşılmıştır. Kuvaterner alüvyon zeminlerde sert zeminlere göre 1 Hz frekans değerinde 9 kat fazla büyütme görülmüştür.

Ozer (2017) beş adet İzmirNET kuvvetli yer hareketi istasyonu kayıtlarını kullanarak SSR tekniği ile zemin transfer fonksiyonlarını elde etmiştir. Deprem verileri alınan istasyonlara yakın olan bölgelerde deprem büyütmesinin 4-5 kat arasında olduğu tespit edilmiştir. Alüvyal zeminlerde düşük frekanslarda hesaplanan büyük büyütme değerleri bu bölgelerde bulunan yapıların sismik yükler altındaki davranışı hakkında fikir vermiştir.

Alcik (2018) Muğla'nın Bodrum ilçesinde, aralarında $M_w=6.6$ olan Bodrum Kos depremi verilerinin de bulunduğu deprem kayıtlarını kullanarak HVSR ve SSR teknikleri ile bölgenin baskın frekansını ve zemin büyütme değerlerini belirlemiştir. Referans alınan bölgede 4.8 Hz olan baskın frekansın yumuşak zeminlerin bulunduğu bölgelerde 2.1-2.7 Hz aralığında ve zemin büyütme değerlerinin 1.0-6.6 arasında olduğu bulunmuştur.

Civelekler ve diğ. (2018) yerel zemin koşullarının zemin büyütmesine etkisini incelemek amacıyla Eskişehir il merkezinde elde edilmiş olan 40 farklı sondaj verisi kullanmışlardır. Çalışmada ele alınan zeminlerde Kocaeli deprem verileri kullanılarak Deepsoil programında bir boyutlu eşdeğer doğrusal analizler yapılmıştır. Her zemin modeli için hesaplanan büyütme değerleri ile şehir merkezinde güvenli yerleşim alanlarının belirlenmesi için Coğrafi Bilgi Sistemi ile haritalama yapılmıştır.

Pamuk ve diğ. (2018) sismik olarak aktif bir bölge olan İzmir Aliağa ilçesinde, bölgeden alınan gürültü kayıtları ile HVSR yöntemini kullanarak sığ zeminlerin dinamik analizini yapmışlardır.

Puri ve diğ. (2018) Hindistan'ın Haryana eyaletinde çeşitli bölgelerden elde edilen geoteknik verileri kullanarak zemin tepki analizlerini frekans alanında eşdeğer doğrusal analiz yöntemiyle Deepsoil programında yapmışlardır.

Sedaghati ve diğ. (2018) deprem bölgesinde yer alan Mississippi Körfezinde bulunan 11 istasyondan alınan verilerle HVSR tekniğini kullanarak körfezin üzerinde bulunduğu kalın konsolide olmamış zeminler için saha davranışı ve sismik analizler yapmışlar ve zemin büyütme değerlerini hesaplamışlardır.

Zhang ve diğ. (2018) Çin'in Sichuan Havzasında bulunan Zigong bölgesinin topoğrafik büyütme değerlerini, standart spektral oran (SSR) tekniğini kullanarak hesaplamışlardır. Çalışmada sonlu farklar yöntemi ile sayısal hesaplamalar yapılmıştır. Topoğrafyanın ve zayıf zeminin etkisinin deprem hareketini önemli ölçüde arttırdığı gösterilmiştir.

Wang ve diğ. (2018) Çin'de Lős Platosu bölgesinde kaydedilen kuvvetli yer hareketinin özelliklerini incelemişler ve sismik yer hareketinde lős birikintisinin kalınlığının ve eğiminin büyütmeyle olan etkisini sarsma tablası deneyleri ve sayısal analizler ile incelemişlerdir. Sonuç olarak lős birikintisinin kalınlığının ve eğiminin artmasıyla büyütme etkilerinin daha baskın olduğu gösterilmiştir.

Kim (2019) Kanada'da derin yumuşak kil ve siltten oluşan Fraser Nehri deltasının zemin büyütmesi değerlerini Kaliforniya'da ölçülen güçlü yer hareketlerini kullanarak Deepsoil programı yardımıyla araştırmışlardır. Çalışmada zemin hareketinin uzun periyotlarda deltanın merkezinde büyüdüğü, kısa periyotlarda ise giriş hareketi büyük olduğunda zemin hareketinin sönümlendiğini tespit edilmiştir.

Ma ve diğ. (2019) Japonya Tokushima'nın Naka kasabasındaki bir heyelan bölgesinde birikmiş zemin üzerinde yakın bölgelerden alınmış 5 sismometre kaydını kullanarak HVSR tekniği ile

büyütme değerlerini incelemişlerdir. Zeminin çok tabakalı olduğu yerlerde HVSR tepe genliği 3-5 aralığında bulunmuş ayrıca zemin cinsinin, tabaka çeşitliliğinin, eğiminin, deprem dalgalarının türünün ve yayılma yönünün de büyütme değerleri üzerinde önemli etkisi olduğu gösterilmiştir.

Özer (2019) Erzurum ve çevresinde 10 ivme-ölçerden elde ettiği deprem verilerini kullanarak HVSR ve SSR teknikleri ile zeminin deprem sırasındaki davranışını analiz etmiştir. Şehir merkezi ve çevresinin altında bulunan alüvyon zeminlerde düşük frekanslarda yüksek büyütme gözlenmiş ve zemin hakim frekansının bulunduğu 0.5-1.0 Hz aralığında 10-20 kat arasındaki yapılarda rezonans etkisinin oluşabileceğini tespit etmiştir.

Özyazıcıoğlu ve diğ. (2019) yüksek deprem tehlike bölgesinde yer alan Erzincan il merkezi için bir boyutlu eşdeğer-doğrusal zemin büyütme analizlerini 41 adet sondaj verisine dayanarak yapmışlardır. Çalışmada büyütme değerlerinin ovanın bazı bölümlerinde 2 katına çıktığı ve ovanın temel kayasının yüzeye yaklaştığı kısımlarında küçük periyotlu yapılarda büyük periyotlu yapılara oranla daha fazla büyütme görüldüğü anlaşılmıştır.

Pamuk (2019) Doğu Anadolu Bölgesi'nin kuzey kesiminde farklı zemin türleri üzerinde bulunan 30 adet ivme-ölçerden kaydedilen altı deprem kaydı ile HVSR yöntemi kullanarak yaptığı analizlerde zemin büyütme değerlerinin 2-10.5, zemin hâkim periyodunun 0.1-1.2 sn arasında değiştiğini belirlemiştir.

Perk ve Ozer (2019) Hatay ve çevresinde 27 adet ivme-ölçerden alınan deprem verileri ile HVSR yöntemini kullanarak zemin büyütme değerlerinin 2-8 arasında değiştiğini gözlemlemiştir. Ayrıca yüksek büyütme değerlerinin alüvyon zeminlerde düşük frekanslarda gerçekleşirken kaya zeminlerde ise daha yüksek frekanslarda gerçekleştiği gösterilmiştir.

Subasi ve diğ. (2019) Kuzey Anadolu fay hattına yakın bir bölgede zeminin dinamik davranış analizlerini mikrotremor ve HVSR yöntemini kullanarak yapmışlar ve elde ettikleri sonuçları sayısal çözümlerle karşılaştırmışlardır. Yüzey tabakaları için bir boyutlu dinamik analiz sonucu hesaplanan kayma şekil değiştirmeleri ile mikrotremor ölçümleri sonucu hesaplanan zemin büyütmesi ve hakim periyot değerleri ile sismik anakaya ivmesi arasındaki ilişki bir fonksiyonla ifade edilmiştir.

Tuncel ve diğ. (2019) İzmir'in Karşıyaka ilçesinde 112 adet mikrotremor kaydına uygulanan HVSR yöntemi ile bölge için dinamik büyütme faktörlerini ve zemin hakim periyodunu incelemişlerdir. Çalışmada deprem parametrelerinin belirlenmesinde 7 büyüklüğünde bir senaryo depremi dikkate alınmıştır. Çalışma sonunda sert ve yüksek bölgelerde büyütme faktörünün 2'nin altında kaldığı alüvyon ve düşük bölgelerde büyütme faktörünün 3'e kadar çıktığı görülmüştür. Zemin hakim periyodu ve büyütme değerleri birbirleri ile doğru orantılı bir ilişki göstermiştir.

Turkoz (2019) Eskişehir'in İnönü ilçesinde SPT ve çok kanallı yüzey dalgası analizi (MASW) yöntemleri ile yerel zemin koşullarını ve zeminin dinamik parametrelerini belirlemiştir. Yerinde test yöntemlerinden elde edilen değerler ile dinamik analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. MASW yönteminden elde edilen kayma dalgası hızları ile yapılan analizlerde kil tabakalarının yoğun olduğu bölgelerde, SPT verileri ile yapılan analizlerde kum tabakalarının yoğun olduğu yerlerde büyük spektral ivmeler hesaplanmıştır.

Alvarado ve diğ. (2020) Arjantin'de 1977 San Juan depremi ile 1985 Mendoza depremi ivme değerlerini kaydeden 15 ivme-ölçer ve 57 sismoskop ile depremin en yüksek yer ivmeleri (PGA) ve spektral ivmelerini (SA) analiz ederek zemin büyütme etkilerini araştırmışlardır. Zeminin

deprem ivmelerini düşük V_{s30} ' a (30 m de ortalama kayma dalgası hızı) sahip bölgelerde güçlü bir şekilde büyüttüğünü gözlemlemiştir.

Ates (2020) Amasya ilinden alınan deprem verileri ile mikrotremor kayıtlarının yatay/düşey spektral oran (HVSR) yöntemi ile analizini yaparak özellikle kalın alüvyon zeminlerde deprem ve mikrotremor analizlerinden hakim frekans ve büyütme değerlerinin birbirine yakın sonuçlar verdiğini gözlemlemiştir.

Ceren ve Karakan (2020) Kahramanmaraş Üngüt mahallesinden alınan 12 sondaj verisinden elde edilen zemin profillerinde Deepsoil programı ile frekans alanında doğrusal, eşdeğer doğrusal ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler yaparak büyütme değerlerini elde etmişlerdir. En büyük ivme zaman grafiklerinin elde edildiği frekans alanında doğrusal analizlerde pik büyütme faktörü 0.6. sn'de iken en küçük ivme zaman grafiklerinin elde edildiği zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerde pik büyütme faktörü 0.87. sn'de bulunmuştur.

Matassoni ve Fiaschi (2020) İtalya'nın merkezindeki Abbadia San Salvatore' de kalın gevşek kumlu yapıya sahip volkanik bir bölgenin sismik analizini gürültü analizi ve HVSR yöntemlerini kullanarak yapmışlardır. Bölgenin bazı yerlerinde elde edilen büyütme değerlerinin ulusal yönetmelikte (İtalyan deprem yönetmeliği) belirtilen değerlerin üzerine çıktığı gösterilmiştir.

Huang ve diğ. (2021) Hong Kong Adası için kapsamlı sondaj verilerini kullanarak üç boyutlu zemin analizleri yaparak tabaka değişiminin, düzensiz kayaç oluşumunun ve kayma dalgası hızı değişiminin zemin büyütmesi üzerine etkilerini incelemiştir. Sonuç olarak zemin büyütme değerlerinin yüksek frekanslarda yerel zemin koşullarından önemli derecede etkilendiği gösterilmiştir.

Bu çalışmada ise Değiştirilmiş Sonlu Elemanlar Taşıma Matrisi (DSETM) yöntemi tek boyutlu zemin tepki analizlerinde kullanılan transfer fonksiyonlarının elde edilmesi için kullanılmıştır. Çalışmada zeminin tek boyutlu davranışı dikkate alınarak zeminin doğrusal davranış gösterdiği kabul edilmiştir. Transfer fonksiyonlarının elde edilmesinde yer altı su seviyesinin etkisi dikkate alınmamıştır. Çalışmada sunulan yöntem frekans alanında eşdeğer lineer ve zaman tanım alanında analizlerde de kullanılabilir.

2. BİR BOYUTLU DİNAMİK ANALİZ YÖNTEMLERİ

Zeminin deprem yükleri altındaki dinamik davranışını belirlemek için zemin büyütme analizleri yapılmaktadır. Bu analizleri yapmak için zemin profilinin derinlikle birlikte değişen kayma dalgası hızı, kayma modülü ve birim şekil değiştirme ile değişen sönüm oranı ilişkilerinin bilinmesi gerekir. Bu ilişkilerin belirlenmesinde kullanılan bir boyutlu zemin davranış analizleri sade ve güvenli tarafta kalmasından dolayı oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır (Ansal ve diğ. 2011). Deprem sırasında zemin tabakaları arasında yol alan deprem dalgaları kırılarak zemin yüzeyine ulaştıklarında neredeyse dik konuma gelir. Bu sebeple zemin koşullarına bağlı olarak deprem dalgalarında meydana gelen değişim, düşey yayılan kayma dalgasına dayanan bir boyutlu dinamik analizler ile belirlenebilmektedir. Ana kaya ve zeminin yatay yönde sonsuz ve zemin yüzeyinin eğimsiz olduğu kabulünü yapan bu yöntemde her tabakanın transfer fonksiyonu hesaplanarak yüzeydeki hareketin genliği ve buna bağlı zemin büyütmesi bulunmaktadır (Kramer 1996, Jeong ve Bradley 2017, Özkan 2017). Zemin davranış analizleri frekans tanım alanında ve zaman tanım alanında yapılabilmektedir. Tablo 1' ve Tablo 2'de zemin analizlerinde kullanılan modeller karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Tablo 1: Zemin analizlerinde kullanılan modellerin hesap yöntemleri

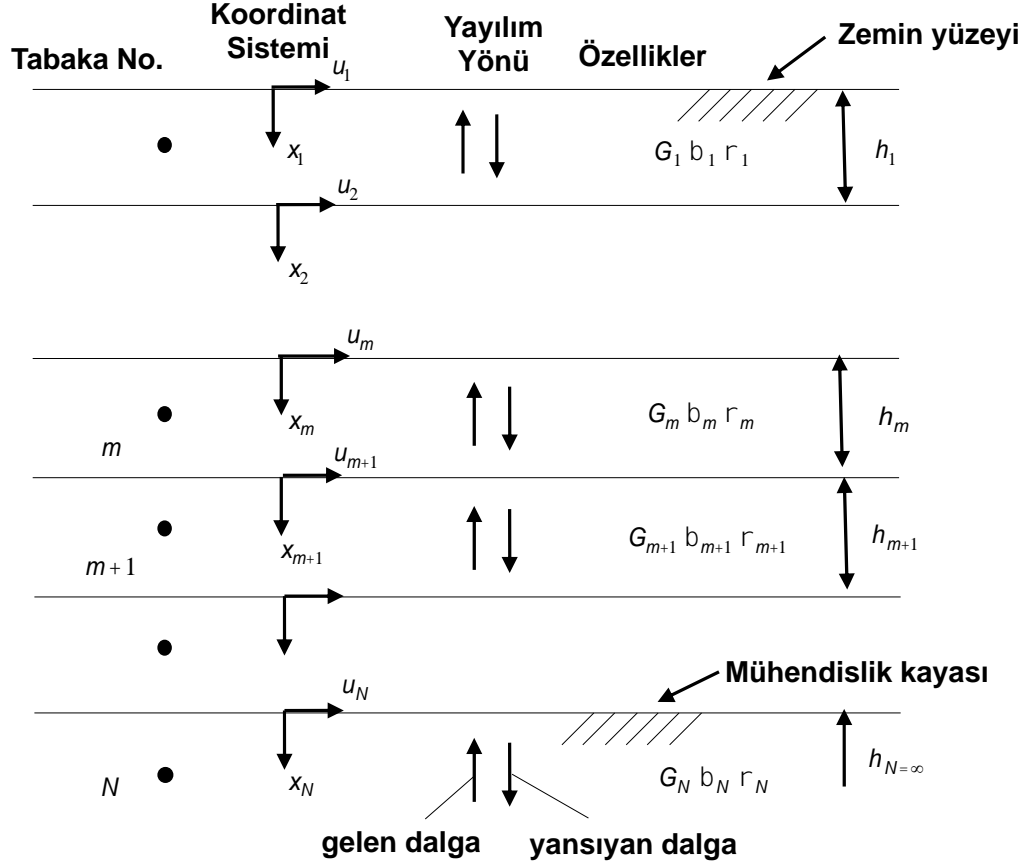
Hesap Yöntemi	
Frekans Alanında Doğrusal Analiz	Zemin Kelvin-Voight katısı özelliklerine sahip olduğu varsayılarak visko-elastik malzeme olarak tanımlanır. Her zemin tabakasındaki kayma modülü ve sönüm oranı sabit alınır. Doğrusal analiz yöntemi Fourier transfer fonksiyonlarını kullanarak anakaya hareketinin yer değiştirme, hız, ivme, kayma gerilmesi ve kayma birim deformasyonu gibi parametrelerini bulmada kullanılır. Bu yöntemde zamana bağlı anakaya hareketi Fourier dönüşümü ile frekans alanına dönüştürülür. Anakaya hareketinin Fourier serisindeki her terim transfer fonksiyonu ile çarpılarak zemin yüzeyindeki hareketin Fourier serisi elde edilir. Ters Fourier dönüşümü yapılarak frekans alanındaki zemin yüzey hareketi zaman alanında ifade edilir. Bu şekilde transfer fonksiyonu anakaya hareketinin zemin tarafından nasıl etkilendiğini gösterir (Kramer 1996).
Frekans Alanında Eşdeğer Doğrusal Analiz	Bu yöntemde zeminin birim hacim ağırlığı, kayma dalgası hızı, sönüm oranı ile deprem ivme kayıtları kullanılır. Zeminin dinamik davranışını temsil eden kayma modülü ve sönüm oranı her zemin tabakası için iteratif olarak kayma birim şekil değiştirmesine bağlı bir şekilde hesaplanır (Kaklamanos ve diğ. 2015).
Zaman Alanında Doğrusal Olmayan Analiz	Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizde kullanılan yaklaşım, küçük zaman artışları için artımsal hareket denkleminin sayısal olarak integre edilmesidir. Yükleme boşaltma kriterleri uygulanarak belirlenen gerilme-birim deformasyon ilişkileri ile kayma modülü ve sönüm oranı hesaplandıktan sonra her zaman adımı için sistem tepkisi hesaplanır. Bir zaman adımının sonundaki değerler bir sonraki zaman adımının başlangıç değerleri olarak kullanılıp her zaman adımı için sistem tepkileri elde edilir (Kramer 1996).

Tablo 2: Zemin analizlerinde kullanılan modellerin avantaj ve dezavantajları

	Avantajları	Dezavantajları
Frekans Alanında Doğrusal Analiz	Küçük birim şekil değiştirmelerin olduğu titreşimlerde veya sağlam kayada yol alan dalgaların deformasyonlarının hesabında bu yöntem çok pratik ve basittir (Bardet ve diğ. 2000).	Doğrusal analiz yöntemi pratik olmasına rağmen zeminin sismik yükler altındaki gerçek davranışını temsil edememektedir (Arslan ve Siyahi 2006).
Frekans Alanında Eşdeğer Doğrusal Analiz	Kayma modülü ve sönüm oranını birim deformasyona bağlı olarak iteratif şekilde hesapladığı için doğrusal yöntemin deformasyondan bağımsız olduğundan, doğrusal olmayan yöntemin ise karışık ve çok parametre gerektiren hesap adımlarından kurtarmıştır.	Zeminlerin sismik yükler altındaki davranışı doğrusal olmadığından eşdeğer doğrusal analiz ile dinamik davranış yaklaşık olarak hesaplanabilir (Khanbabazadeh ve diğ. 2018).
Zaman Alanında Doğrusal Olmayan Analiz	Yüksek birim deformasyon seviyelerinde doğrusal davranmayan zeminlerin en gerçekçi davranışı bu model ile belirlenebilmektedir (Rathje ve diğ. 2010).	Doğrusal olmayan modeller pek çok parametreye bağlı olarak kompleks yapıda olduğundan pratik değildir.

3. TRANSFER FONKSİYONU

Elastik kaya üzerinde tabakalı bir zemin modeli Şekil 1'de görülmektedir (Kramer 1996).



Şekil 1: Elastik anakaya üzerindeki zemin tabakalarının hareketi

Buna göre en üstteki yer değiştirmenin en alttaki yer değiştirmeye oranı transfer fonksiyonu olarak isimlendirilmekte olup (1) no'lu bağıntı ile hesaplanır (Kramer 1996).

$$F_{1N} = \left| \frac{u_1}{u_N} \right| = \frac{\lambda_1(\omega) + \kappa_1(\omega)}{\lambda_N(\omega) + \kappa_N(\omega)} \quad (1)$$

Burada λ ve χ fonksiyonları (2) ve (3) no'lu bağıntılarla tanımlanmıştır (Kramer, 1996)

$$\lambda_N(\omega) = \frac{A_N}{A_1} \quad (2)$$

$$\kappa_N(\omega) = \frac{B_N}{B_1} \quad (3)$$

Burada ω açısal frekansı göstermektedir.

Her tabakadaki A ve B değerleri 1'inci tabakadan başlayarak ardışık olarak bulunur (Kramer 1996).

$$A_{m+1} = \frac{1}{2} A_m (1 + \alpha_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} B_m (1 - \alpha_m^*) e^{-ik_m^* h_m} \quad (4)$$

$$B_{m+1} = \frac{1}{2} A_m (1 - \alpha_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} B_m (1 + \alpha_m^*) e^{-ik_m^* h_m} \quad (5)$$

Burada α_m^* m'inci tabaka için empedans sayısı olup (6) nolu bağıntı ile tanımlanmıştır (Kramer,1996).

$$\alpha_m^* = \frac{k_m^* G_m^*}{k_{m+1}^* G_{m+1}^*} \quad (6)$$

Burada G^* ve k^* (7) ve (8) no'lu bağıntılarla tanımlanmıştır (Kramer 1996) .

$$G_m^* = G_m (1 + 2i\xi) \quad (7)$$

$$k_m^* = \frac{\omega}{v_{sm}^*} \quad (8)$$

v_{sm}^* ise (9) no'lu bağıntı ile tanımlıdır.

$$v_{sm}^* = v_{sm} (1 + i\zeta_m) \quad (9)$$

Burada G_m , ξ_m ve v_{sm} sırasıyla m. tabadaki kayma modülünü, sönüm oranını ve kayma dalgası hızını göstermektedir. Birinci tabakanın üzerinde kayma gerilmesi sıfır olduğu için (10) no'lu bağıntı yazılabilir.

$$A_1 = B_1 \quad (10)$$

4. TRANSFER FONKSİYONUNUN DEĞİŞTİRİLMİŞ SONLU ELEMANLAR TAŞIMA MATRİSİ YÖNTEMİ İLE BULUNMASI

Şekil 1'de gösterilen ve Kelvin Voigt katısının özelliklerine sahip m'inci zemin tabakasının titreşimini gösteren kısmi diferansiyel (11) no'lu denklemdeki gibi yazılır (Kramer 1996, Özkan 2017).

$$\rho_m \frac{\partial^2 \mathcal{G}_m}{\partial t^2} - G_m \frac{\partial^2 \mathcal{G}_m}{\partial z_m^2} - \eta_m \frac{\partial^3 \mathcal{G}_m}{\partial z_m^2 \partial t} = 0 \quad (11)$$

Burada \mathcal{G} zemin tabakalarının yatay yer değiştirme fonksiyonunu, G_m m. tabakanın kayma modülünü, z_m m'inci zemin tabakası boyunca uzanan eksen takımını, t zamanı göstermektedir. η_m ise sönümü içeren terim olup (12) no'lu bağıntı ile tanımlanmıştır.

$$\eta_m = \frac{2G_m}{\omega^2} = \frac{2G_m}{\omega} \xi_m \quad (12)$$

(12) no'lu bağıntı (11) no'lu bağıntıda yerine yazılırsa (13) no'lu diferansiyel denklem elde edilir.

$$\rho_m \frac{\partial^2 \mathcal{G}_m}{\partial t^2} - G_m \frac{\partial^2 \mathcal{G}_m}{\partial z_m^2} - \frac{2G_m}{\omega} \xi_m \frac{\partial^3 \mathcal{G}_m}{\partial z_m^2 \partial t} = 0 \quad (13)$$

(13) no'lu kısmi diferansiyel denklemde (14) no'lu bağıntı uygulanırsa (15) no'lu adi diferansiyel denklem elde edilir.

$$\mathcal{G}_m(z_m, t) = u_m(z_m) e^{i\omega t} \quad (14)$$

$$G_m(1 + 2i\xi_m) \frac{d^2 u_m}{dz_m^2} + \rho_m \omega^2 u_m = 0 \quad (15)$$

(15) no'lu adi diferansiyel denklem yerine (16) no'lu adi diferansiyel denklem yazılabilir.

$$\frac{d^2 u_m}{dz_m^2} + \frac{\omega^2}{v_{sm}^{*2}} u_m = 0 \quad (16)$$

Burada v_{sm}^* ise (17) no'lu bağıntı ile tanımlıdır.

$$v_{sm}^* = \sqrt{\frac{G_m(1 + 2i\xi_m)}{\rho_m}} \quad (17)$$

(17) no'lu 2'inci mertebeden adi diferansiyel denklemin çözümü (18) bağıntısı ile verilebilir.

$$u_m(z_m) = c_1 \sin(a_m z_m) + c_2 \cos(a_m z_m) \quad (18)$$

Burada a_m (19) no'lu bağıntı ile tanımlanmıştır.

$$a_m = \sqrt{\frac{\omega}{v_{sm}^*}} \quad (19)$$

m-inci tabakanın başlangıcında

$$z_m = 0 \Rightarrow u_m = c_2 \quad (20)$$

yazılabilir. Tabakanın en altında ise

$$z_m = h_m \Rightarrow u_{m+1} = c_1 \sin(a_m h_m) + c_2 \cos(a_m h_m) \quad (21)$$

(20) ve (21) no'lu denklemler matris formda (22) no'lu bağıntı ile yazılabilir.

$$\begin{bmatrix} u_m \\ u_{m+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ \sin(a_m h_m) & \cos(a_m h_m) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \end{bmatrix} \quad (22)$$

m'inci tabaka için kayma gerilmesi (23) no'lu denklemlerle yazılabilir.

$$\tau(z_m) = G_m^* \frac{du_m}{dz_m} = G_m^* [c_1 a_m \cos(a_m z_m) - c_2 a_m \sin(a_m z_m)] \quad (23)$$

m'inci tabakanın başlangıç ve bitiş noktalarındaki kayma gerilmeleri (24) ve (25) no'lu bağıntılar ile yazılabilir

$$\tau_m = -G_m^* c_1 a_m \quad (24)$$

$$\tau_{m+1} = G_m^* [c_1 a_m \cos(a_m h_m) - c_2 a_m \sin(a_m h_m)] \quad (25)$$

(24) ve (25) no'lu denklemler matris formda (26) no'lu bağıntı şeklinde yazılabilir.

$$\begin{bmatrix} \tau_m \\ \tau_{m+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -G_m^* a_m & 0 \\ G_m^* a_m \cos(a_m h_m) & -G_m^* a_m \sin(a_m h_m) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \end{bmatrix} \quad (26)$$

(22)ve (26) no'lu matris denklemlerden (27) no'lu matris denklem elde edilir.

$$\begin{bmatrix} \tau_m \\ \tau_{m+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_m^* a_m \cot(a_m h_m) & -G_m^* a_m \operatorname{cosec}(a_m h_m) \\ -G_m^* a_m \operatorname{cosec}(a_m h_m) & G_m^* a_m \cot(a_m h_m) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_m \\ u_{m+1} \end{bmatrix} \quad (27)$$

(27) numaralı denklemde (28) ve (29) no'lu Ricatti dönüşümleri uygulanırsa (30) no'lu matris denklem elde edilir (Choi 2003, Rong ve diğ. 2011, Ozturk ve Bozdoğan 2017).

$$\tau_m = -S_{m-1} u_m \quad (28)$$

$$\tau_{m+1} = S_m u_{m+1} \quad (29)$$

$$\begin{bmatrix} G_m^* a_m \cot(a_m h_m) & -G_m^* a_m \operatorname{cosec}(a_m h_m) \\ -G_m^* a_m \operatorname{cosec}(a_m h_m) & G_m^* a_m \cot(a_m h_m) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_m \\ u_{m+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -S_{m-1} u_m \\ S_m u_{m+1} \end{bmatrix} \quad (30)$$

(30) no'lu matris denklemin ilk satırı (31) no'lu bağıntıda gösterildiği gibi yazılabilir:

$$G_m^* a_m \cot(a_m h_m) u_m - G_m^* a_m \operatorname{cosec}(a_m h_m) u_{m+1} = -S_{m-1} u_m \quad (31)$$

(31) no'lu matris denklemden u_m çekilirse (32) no'lu bağıntı elde edilir.

$$u_m = \frac{G_m^* a_m \operatorname{cosec}(a_m h_m)}{[G_m^* a_m \cot(a_m h_m) + S_{m-1}]} u_{m+1} \quad (32)$$

(30) no'lu matris denklemden (33) no'lu bağıntı yazılabilir.

$$-G_m^* a_m \operatorname{cosec}(a_m h_m) u_m + G_m^* a_m \cot(a_m h_m) u_{m+1} = S_m u_{m+1} \quad (33)$$

(32) no'lu bağıntı (33) no'lu denklemden yerine yazılırsa (34) no'lu bağıntı elde edilir.

$$\frac{-G_m^{*2} a_m^2 \operatorname{cosec}^2(a_m h_m)}{[G_m^* a_m \cot(a_m h_m) + S_{m-1}]} u_{m+1} + G_m^* a_m \cot(a_m h_m) u_{m+1} = S_m u_{m+1} \quad (34)$$

(34) no'lu denklemden (35) no'lu bağıntı elde edilir.

$$S_m = \frac{-G_m^{*2} a_m^2 + S_{m-1} G_m^* a_m \cot(a_m h_m)}{[G_m^* a_m \cot(a_m h_m) + S_{m-1}]} \quad (35)$$

Sınır koşullarından dolayı en üst tabakanın üstünde kayma gerilmesi sıfırdır. Buradan (36) no'lu bağıntı yazılabilir.

$$\tau_1 = 0 \quad (36)$$

(36) no'lu bağıntı (30) no'lu matris denklemden yerine yazılırsa S_1 (37) no'lu bağıntı şeklinde yazılır.

$$S_1 = \frac{-G_1^* a_1 \operatorname{cosec}^2(a_1 h_1)}{\cot(a_1 h_1)} + G_1^* a_1 \cot(a_1 h_1) \quad (37)$$

(30) no'lu matris denklemden (38) no'lu bağıntı yazılabilir.

$$u_m = \frac{[G_m^* a_m \cot(a_m h_m)] - S_m}{G_m^* a_m \operatorname{cosec}(a_m h_m)} u_{m+1} \quad (38)$$

N'inci tabakanın üzerindeki yer değiştirme (39) no'lu denklemden gösterildiği gibi 1 birim alınırsa (38) no'lu bağıntının ardışık olarak uygulanmasıyla u_1 bulunur.

$$u_{N-1} = 1 \quad (39)$$

u_N 'in bulunması için ise (40) no'lu denklemden yararlanılabilir.

$$\tau_{N-1} = S_{n-2}u_{n-1} = S_{n-2} \quad (40)$$

Son tabaka için Kramer'in yönteminde geçen yaklaşımdan yararlanılacaktır. Buna göre

$$A_{N-1} + B_{N-1} = 1 \quad (41)$$

$$A_{N-1} - B_{N-1} = \frac{S_{N-2}}{k_{N-1}^* G_{N-1}^* i} \quad (42)$$

bağıntıları yazılabilir. Buna göre (41) ve (42) no'lu bağıntılardan A_{N-1} ve B_{N-1} aşağıdaki (43) ve (44) no'lu bağıntılar ile bulunur.

$$A_{N-1} = \frac{S_{N-2}}{2k_{N-1}^* G_{N-1}^* i} + \frac{1}{2} \quad (43)$$

$$B_{N-1} = 1 - A_{N-1} \quad (44)$$

N'nci- tabaka için ise (45) ve (46) no'lu bağıntılar yazılır.

$$A_N = \frac{1}{2} A_{N-1} (1 + \alpha_{N-1}^*) e^{ik_{N-1}^* h_{N-1}} + \frac{1}{2} B_{N-1} (1 - \alpha_{N-1}^*) e^{-ik_{N-1}^* h_{N-1}} \quad (45)$$

$$B_N = \frac{1}{2} A_{N-1} (1 - \alpha_{N-1}^*) e^{ik_{N-1}^* h_{N-1}} + \frac{1}{2} B_{N-1} (1 + \alpha_{N-1}^*) e^{-ik_{N-1}^* h_{N-1}} \quad (46)$$

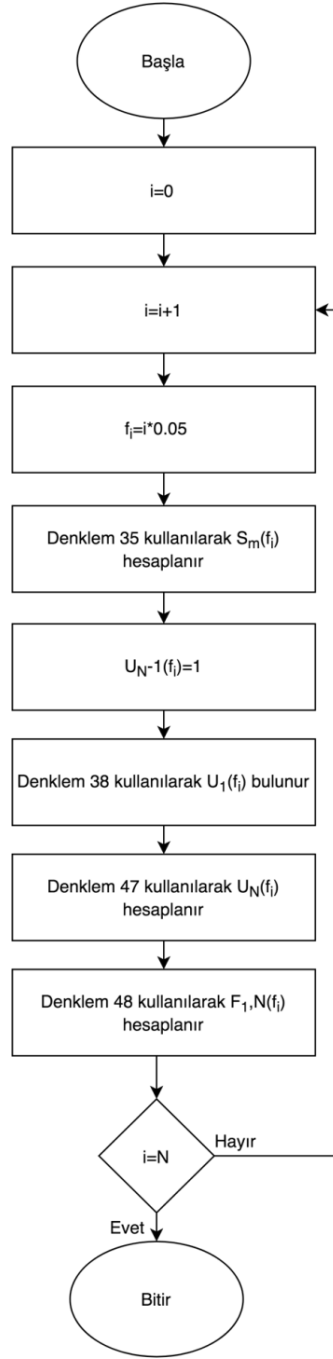
u_N bu durumda (47) no'lu bağıntı ile elde edilir.

$$u_n = |A_n| + |B_n| \quad (47)$$

En üst yer değiştirmenin en alttaki yer değiştirmeye oranını tanımlayan transfer fonksiyonu ise (48) no'lu bağıntı ile bulunur.

$$F_{1N} = \left| \frac{u_1}{u_N} \right| \quad (48)$$

Anlatılan yöntemin işlem adımları Şekil 2 'de verilen akış şeması üzerinde gösterilmiştir.



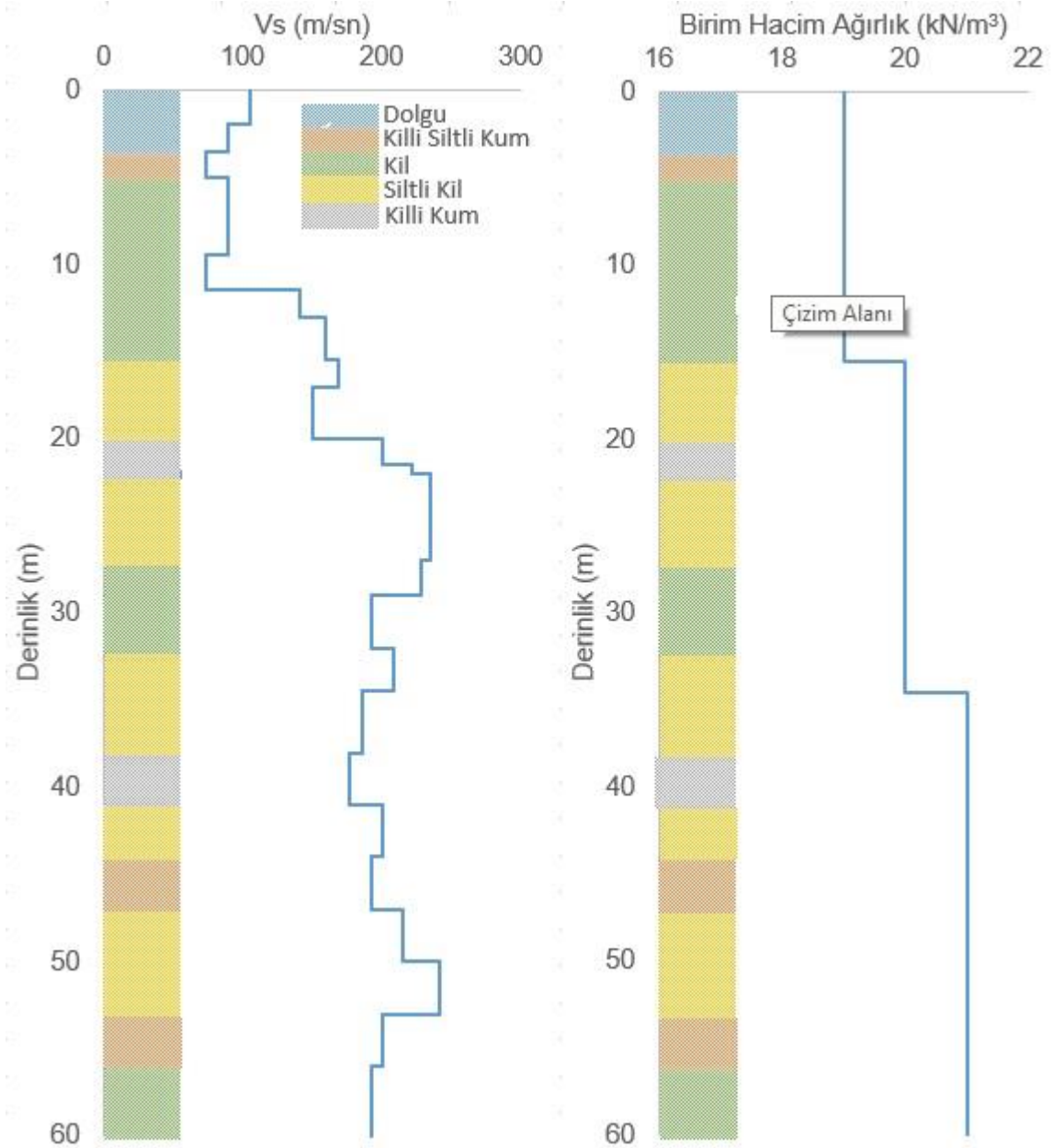
Şekil 2: Akış diyagramı

5. SAYISAL ÖRNEKLER

Bu bölümde sunulan yöntemin uygunluğunu göstermek üzere iki örnek çözülmüştür. Sunulan yöntem Scilab (Scilab 2021) ortamında yazılmış bir program yardımıyla uygulanmıştır. Çözülen örneklerde yer altı su seviyesi dikkate alınmamıştır.

5.1) Sayısal Örnek 1

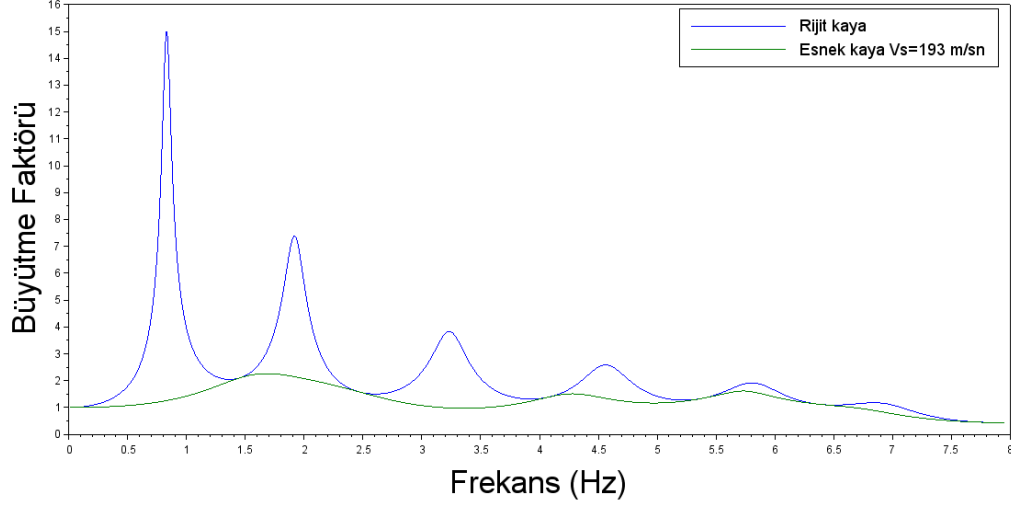
Bu örnekte İzmir ili Salhane bölgesini temsil edebilecek 60 m'lik bir zemin profili dikkate alınmıştır. Zemin profilinin özellikleri Şekil 3'de gösterilmiştir. Ele alınan örnekte zemin tabakalarındaki sönüm oranının %5 olduğu kabul edilmiştir.



Şekil 3: Sayısal örnek 1 için zemin profili özelliklerinin derinlikle değişimi (a) Kayma dalgası hızı (b) Zemin birim hacim ağırlığı

Verilen zemin profili için iki durum dikkate alınarak bu çalışmada önerilen DSETM yöntemine göre transfer fonksiyonları elde edilmiş ve Şekil 4'te gösterilmiştir. Ele alınan zemin profilinde İki durum dikkate alınmıştır bunlar a) Rijit kaya durumu b) $v_{SR}=193$ m/s olması durumudur. Rijit kaya

durumunu temsil etmek üzere kayma dalgası hızı 5000 m/sn olarak analizde dikkate alınmıştır. Bu değerler 60'inci metre için dikkate alınmıştır.



Şekil 4: Sayısal örnek 1 için DSETM yöntemiyle elde edilen transfer fonksiyonları

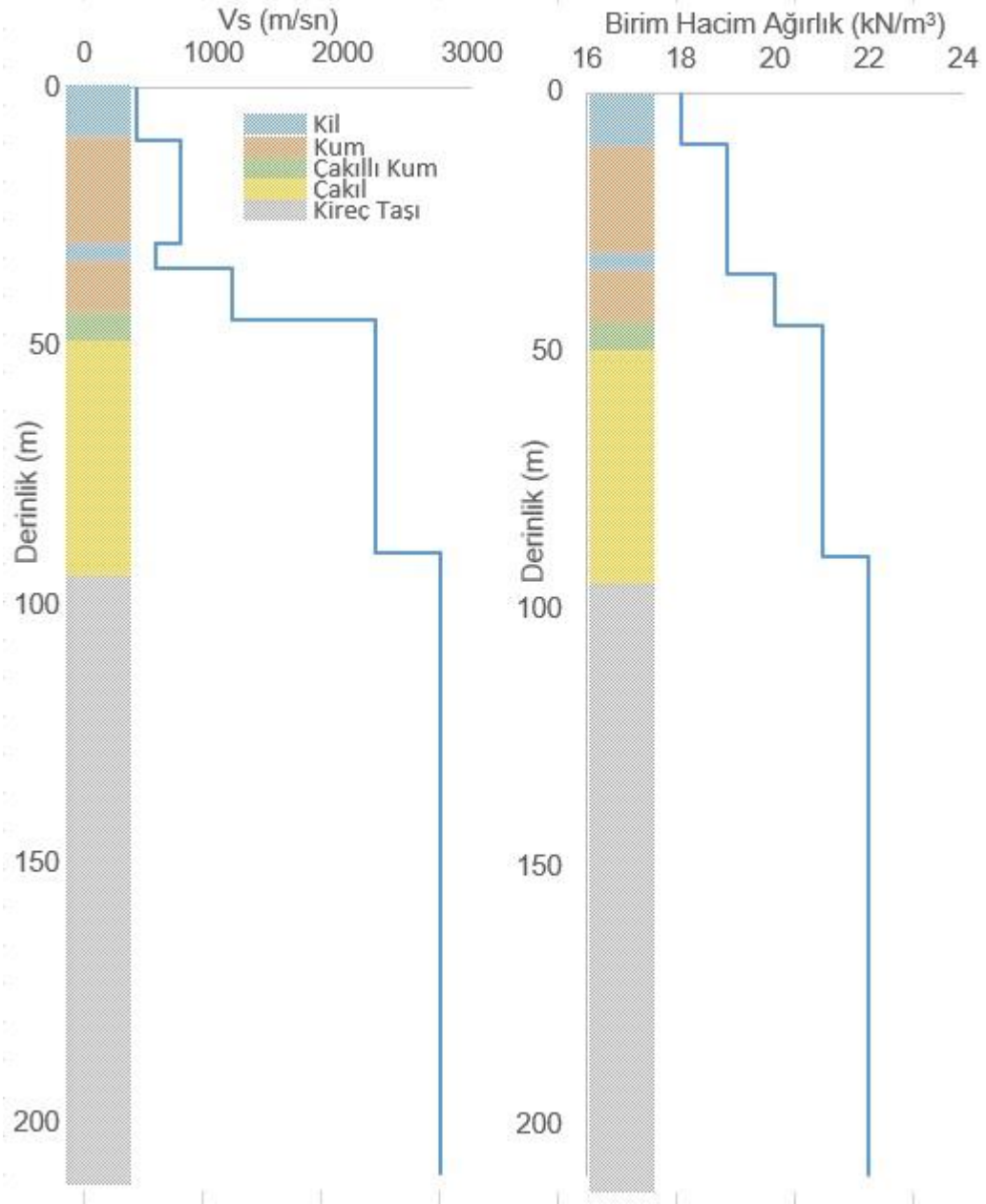
Aynı örnek Kramer (1996) tarafından önerilen ve 3'üncü bölümde anlatılmış olan yöntemle de çözümlenerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Buna göre sonuçların üst üste çakıştığı görülmüştür. Sonuçların üst üste çakışması nedeniyle grafik üzerinde karşılaştırma gösterilememiştir. Tablo 3'te Transfer fonksiyonundan elde edilen zemin periyotları sunulmuştur. Zemin periyotları rijit kaya durumu için verilmiştir.

Tablo 3: Örnek 1 için Zemin profilinin ilk iki periyodu

Mod No	DSETM
1	1.209 sn
2	0.513 sn

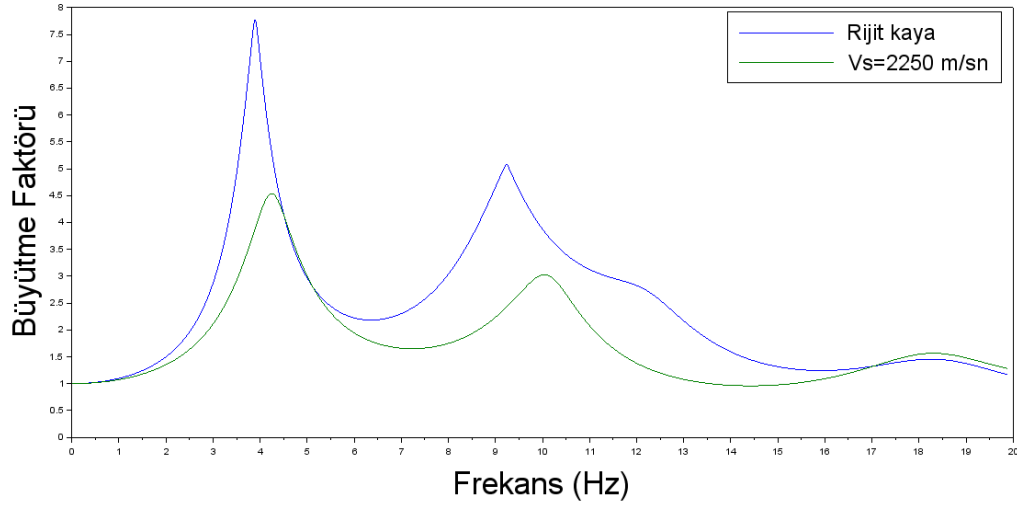
5.2) Sayısal Örnek 2

Bu örnekte Literatürden (Kuruoglu 2004) alınan ve Şekil 5'te gösterilen zemin profili dikkate alınmıştır. Zemin tabakalarındaki sönüm oranının %10 olduğu kabul edilmiştir. Zemin profilinin toplam kalınlığı 90 m alınmıştır.



Şekil 5: Sayısal örnek 2 için zemin profili özelliklerinin derinlikle değişimi (a) Kayma dalgası hızı (b) Zemin birim hacim ağırlığı

Verilen zemin profilinin DSETM yöntemine göre transfer fonksiyonu elde edilmiştir. Transfer fonksiyonu Şekil 6'da gösterilmiştir. Bu örnekte de İki durum dikkate alınmıştır bunlar a) Rijit kaya durumu b) $v_{sR}=2200$ m/s olması durumudur. Rijit kaya durumunu temsil etmek üzere kayma dalgası hızı 5000 m/sn olarak analizde dikkate alınmıştır. Bu değerler 90' ıncı metre için dikkate alınmıştır.



Şekil 6: Sayısal örnek 2 için DSETM yöntemiyle elde edilen transfer fonksiyonları

Aynı örnek Kramer (1996) tarafından ve 3'üncü bölümde anlatılan yöntem kullanılarak çözülmüş sonuçlar karşılaştırılmıştır. Buna göre sonuçların üst üste çakıştığı görülmüştür. Sonuçların üst üste çakışması nedeniyle grafik üzerinde karşılaştırma gösterilememiştir. Tablo 4'te Transfer fonksiyonundan elde edilen zemin periyotları sunulmuştur. Zemin periyotları rijit kaya durumu için verilmiştir.

Tablo 4: Örnek 2 için zemin profilinin ilk iki periyodu

Mod No	DSETM
1	0.272 sn
2	0.11 sn

6. SONUÇLAR

Bu makalede tek boyutlu zemin analizlerinde kullanılan transfer fonksiyonlarının bulunması için bir yöntem önerilmiştir. Çalışma kapsamında literatürde zemin hakim periyodunun bulunması için kullanılan Değiştirilmiş sonlu elemanlar taşıma matrisi yöntemi transfer fonksiyonlarının bulunması için uyarlanmıştır. Çalışmanın sonunda çözülen örneklerden sunulan yöntemin uygunluğu gösterilmiştir. Sunulan yöntemin klasik sonlu elemanlar yöntemi ve sonlu farklar yöntemine göre en büyük avantajı çözüme esas sistem matrisinin boyutunun eleman sayısından bağımsız olmasıdır.

Bu makalede tek boyutlu doğrusal zemin analizlerinde kullanılan transfer fonksiyonlarının bulunması için kullanılan DSETM yöntemi kolaylıkla frekans alanında eşdeğer doğrusal analiz

yöntemine uyarlanabilir. Aynı zamanda önerilen DSETM yöntemi zemin tepki analizinde kullanılan zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz içinde kullanılabilir. Bu konuda halen çalışmalar devam etmektedir.

KAYNAKLAR

Alcik H., 2018. Investigation of local site responses at the Bodrum peninsula (southwest of Turkey) using the mainshock and aftershocks of the 20 July 2017 Mw6.6 Bodrum-Kos earthquake, *Ann. Geophys* 61(3), SE339.

Alvarado P., Christiansen R., Gregori S. D., Saez M., 2020. Evidence of site amplification from ground motion of the last two large crustal earthquakes in central-western Argentina, *Nat. Hazards* 102, 1011-1031, <https://doi.org/10.1007/s11069-020-03943-8>

Ansal A., Tönük G., Kurtuluş A., 2011. Zemin Büyütme Analizleri ve Sahaya Özel Tasarım Depremi Özelliklerinin Belirlenmesi, 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı 11-14 Ekim 2011 - ODTÜ - ANKARA, s:1.

Arslan H., Siyahi B., 2006. A comparative study on linear and nonlinear site response analysis, *Environ. Geol.* 50, 1193-1200, doi 10.1007/s00254-006-0291-4

Ates E., 2020. Comparison of Horizontal / Vertical Spectral Ratios Obtained Using Earthquake and Microtremor Records: The Example of Amasya, *Turk. J. Earthq. Res.* 2 (2), 160-175, doi 10.46464/tdad.746926.

Bardet J.P., Ichii K., Lin C.H., 2000. EERA A Computer Program for Equivalent-linear Earthquake Site Response Analyses of Layered Soil Deposits. In University of Southern California, Department of Civil Engineering.

Bonilla L.F., Steidl J.H., Lindley G.T., Tumarkin A.G., Archuleta R.J., 1997. Site Amplification in the San Fernando Valley, California: Variability of Site-Effect Estimation Using the S-Wave, Coda and H/V Methods, *Bull. Seism. Soc. Am.* 87, 710-730.

Borcherdt R.D., 1970. Effects Of Local On Ground Motion Near San Francisco Bay, *Bull. Seism. Soc. Am.* 60, 29-61.

Ceren K., Karakan E., 2020. Zemin Analizleriyle Dinamik Davranış Özelliklerinin Belirlenmesine Yönelik Pilot Bir Çalışma: Kahramanmaraş İli Üngüt Mahallesi Örneği, *Doğ. Afet Çev. Derg.* 6 (1), 146-156, doi: 10.21324/dacd.582328.

Civelekler E., Okur D. V., Afacan K. B., 2018. Eşdeğer Analiz Yöntemi İle Belirlenen Zeminin Büyütme Değerlerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Haritalanması: Eskişehir Örneği, VII. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (UZAL-CBS 2018), 18-21 Eylül 2018, Eskişehir

Choi M.S., 2003. Free Vibration Analysis of Plate Structures Using Finite Element-Transfer Stiffness Coefficient Method, *J. Mech. Sci. Technol* 17 (6), 805-815.

Choudhury D., Savoikar P., 2009. Equivalent-linear seismic analyses of MSW landfills using DEEPSOIL, *Eng. Geo.* 107, 98-108.

Dikmen Ü., Arısoy M. Ö., Akkaya İ., Demirci İ., Hasaebi N., 2013. Yer Tepkisinin Belirlenmesinde Kullanılan Yöntemlerin İvme Kaydı Üzerinde Değerlendirilmesi, 2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı 25-27 Eylül 2013 - MKÜ - HATAY, s:1.

Field E.H., Jacob K.H., 1995. A Comparison and Test of Various Site-Response Estimation Techniques, Including Three That Are Not Reference-Site Dependent, *Bull. Seism. Soc. Am.* 85, 1127-1143.

Gok E., Garcia F.J., Polat O., 2014. Effect of soil conditions on predicted ground motion: Case study from Western Anatolia, Turkey, *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 229, 88-97

Güzel M., Bozdaę Ş., Özep F., 2009. Mikrobölgeleme alışmalarında Zemin Büyütmesi ölçütü (Kuzey Adana Örneği), *.Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi* 24 (1-2), 229-236.

Hashash Y.M.A., Musgrove M.I., Harmon J.A., Ilhan O., Xing G., Numanoglu O., Groholski D.R., Phillips C.A., Park D., 2020. DEEPSOIL 7.0, User Manual, Board of Trustees of University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, IL.

Huang D., Sun P., Jin F., Du C., 2021. Topographic amplification of ground motions incorporating uncertainty in subsurface soils with extensive geological borehole data, *Soil Dyn. Earth. Eng.* 141, 106441

Jeong S., Bradley B.A., 2017. Amplification of strong ground motions at Heathcote Valley during the 2010-2011 Canterbury earthquakes: Observation and 1D site response analysis, *Soil Dyn. Earth. Eng.* 100, 345-356.

Kagami H., Okada S., Shiono K., Oner M., Dravinski M., Mal A.K., 1989. Observation of 1- to 5-second microtremors and their application to earthquake engineering. Part III. A two-dimensional study of site effects in the San Fernando Valley, *Bull. Seism. Soc. Am.* 76 (6), 1801-1812.

Kaklamanos J., Baise L.G., Thompson E.M., Dorfmann L., 2015. Comparison of 1D linear, equivalent-linear, and nonlinear site response models at six KiK-net validation sites, *Soil Dyn. Earthq. Eng.* 69, 207-219.

Katz L. J., Bellon R.S., 1978. Microtremor site analysis study at Beatty, Nevada, *Bull. Seism. Soc. Am.* 68 (3), 757-765.

Khanbabazadeh H., Iyisan R., Ansal A., Zulfikar C., 2018. Nonlinear dynamic behavior of the basins with 2D bedrock, *Soil Dyn. Earthq. Eng.* 107, 108-115.

Kim B., 2019. Mapping of ground motion amplifications for the Fraser River delta in Greater Vancouver, Canada, *Earth. Eng. Eng. Vib.* 18, 703-717, doi: 10.1007/s11803-019-0531-8

Kramer S. L., 1996. Geotechnical Earthquake Engineering, Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 653 pp.

Kuruoglu M., 2004. Geographic Information System (GIS) based Database Development and Evaluation Study for Soils of Northern Coast of Izmir Bay, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 151 s.

- Ma N., Wang G., Kamai T., Doi I., Chigira M., 2019. Amplification of seismic response of a large deep-seated landslide in Tokushima, Japan, *Eng. Geo.* 249, 218-234.
- Matassoni L., Fiaschi A., 2020. Assessment of seismic ground motion amplification and liquefaction at a volcanic area characterized by residual soils, *Journal of Mountain Science* 17(3),doi:10.1007/s11629-019-5753-8
- Midorikawa S., 1987. Prediction of isoseismal map in Kanto Plain due to hypothetical earthquake, *J. Struct. Dyn.* 33, 43-48.
- Nakamura Y., 1989. A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface Using Microtremor on the Ground Surface, *Quarterly Report of the Railway Technical Research Institute* 30(1), 25-33.
- Nogoshi M., Igarashi T., 1971. On the Amplitude Characteristic of Microtremor, *Journal of Seismic Society of Japan* 24, 26-40, doi: 10.4294/zisin1948.24.1_26
- Ozer C., 2017. Analysis of Soil Transfer Function in Izmir Metropolitan Area, Turkey, *IOSR Journal of Applied Geology and Geophysics* 63-70, doi: 10.9790/0990-0501026370.
- Özer C., 2019. Erzurum ve Çevresi Yerel Zemin Etkilerinin SSR ve HVSr Yöntemleri Kullanılarak Araştırılması, *DEUFMD* 21 (61), 247-257.
- Özkan M.Y., 2017. Zemin Dinamiğine Giriş, Nobel, Ankara, Türkiye.
- Ozturk D., Bozdoğan K.B., 2017. A Method for Determination of the Fundamental Period of Layered Soil Profiles, *J. Appl. Comp. Mech.* 3(4), 267-273.
- Özyazıcıoğlu M., Dönmezçelik K., Orhan S.N., Özkan M.Y., 2019. Erzincan İli Zemin Büyütme Etkilerine Dayalı Mikrobölgeleme Çalışması, *Doğ. Afet Çev. Derg.* 5 (2), 247-256, doi: 10.21324/dacd.457438.
- Pamuk E., Ozdag O.C., Tuncel A., Ozyalin S., Akgun M., 2018. Local site effects evaluation for Aliaga/Izmir using HVSr (Nakamura technique) and MASW methods, *Nat. Hazards* 90, 887-899
- Pamuk E., 2019. Investigation of the local site effects in the northern part of the eastern Anatolian region, Turkey, *Boll. Geof. Teor. Appl.* 60, 549-568, doi 10.4430/bgta0291.
- Perk S., Ozer C., 2019. Investigation of Soil Properties based on Accelerometer Stations using Earthquake Recording: The Case Study of Hatay, Turkey, *Turk. J. Earthq. Res.* 1 (2), 167-179.
- Puri N., Jain A., Mohanty P., Bhattacharya S., 2018. Earthquake Response Analysis of Sites in State of Haryana Using DeepSoil Software, *Procedia Computer Science* 125, 357-366.
- Rathje E.M., Kottke A. R., Trent W.L., 2010. Influence of Input Motion and Site Property Variabilities on Seismic Site Response Analysis, *J. Geotech. Geoenviron. Eng.* 136(4), 607-619, doi: 10.1061/_ASCE_GT.1943-5606.0000255
- Rong B., Rui X., Wang G., 2011. Modified finite element transfer matrix method for eigenvalue problem of flexible structures, *J. Appl. Mech.* 78(2), 021016.

Selcuk L., Aydin H., 2012. Kuvaterner Yaşlı Alüvyal Zeminlerin Kuvvetli Yer Hareketine Etkisi: 2011 Van Depremleri, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi* 36 (2), 75-97

Sedaghati F., Pezeshk S., Nazemi N., 2018. Site amplification within the Mississippi embayment of the central United States: Investigation of possible differences among various phases of seismic waves and presence of basin waves, *Soil Dyn. Earthq. Eng.* 113, 534-544

Scilab, 2021. version 6.1.0: INRIA, ESI Group, Erişim adresi: <https://www.scilab.org>

Subasi O., Hasal M.E., Ozaslan B., İyisan R., Yamanaka H., Chimoto K., 2019. Bir boyutlu dinamik analiz ve mikrotremor ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması, *Teknik Dergi* 9459-9481, yazı: 552

Tsai N.C., 1970. A Note On The Steady-State Response Of An Elastic Half-Space, *Bull. Seism. Soc. Am.* 60, 795-808.

Tuncel A., Ozdag O.C., Pamuk E., Akgun M., 2019. Calculation of the soil dynamic amplification factor values by using microtremor data: A case study in Izmir (North), *J. Fac. Eng. Archit.Gaz.* 34(1), 43-52.

Turkoz M., 2019. The Effect of Soil Type and Different In-situ Test Results on Soil Amplification Analysis, *DUJE* 10 (3), 1187-1196.

Yalçinkaya E., Alptekin Ö., 2003. Dinar' da zemin büyütmesi ve 1 Ekim 1995 depreminde gözlenen hasarla ilişkisi, *Yerbilimleri* 27, 1-13

Yalçinkaya E., 2010. Zemin neden bu kadar önemli, *Jeofizik Bülteni* 63, 77-80.

Zhang Z., Fleurisson J.A., Pellet F.L., 2018. A case study of topographic site effects on seismic ground motions at Xishan Park ridge in Zigong, Sichuan, *China Eng. Geol.* 243,308-319 doi :10.1016/j.enggeo.2018.07.004

Wang L., Wu Z., Xia K., Liu K., Wang P., Pu X., Li L., 2018. Amplification of thickness and topography of loess deposit on seismic ground motion and its seismic design methods, *Soil Dyn. Earthq. Eng.*, doi 10.1016/j.soildyn.2018.02.021



Active Tectonic Setting and Paleoseismicity of the Sancak-Uzunpazar Fault Zone

Azad Saglam Selcuk¹, Mehmet Korhan Erturac², Volkan Karabacak³, Taylan Sancar⁴, Ahmet Ozkan Kul⁵ and Mehmet Ali Yavuz⁶

¹ Van Yuzuncu Yil University, Disaster Management and Earthquake Research and Application Center, Van, Turkey

² Sakarya University Research, Development and Application Center (SARGEM), Sakarya, Turkey

³ Eskişehir Osmangazi University, Department of Geological Engineering, Eskişehir, Turkey

⁴ Munzur University, Department of Geography, Tunceli, Turkey

⁵ Van Yuzuncu Yil University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Van, Turkey

⁶ Erdem Earth Sciences, Mugla, Turkey

ORCID: 0000-0003-4943-3870, 0000-0002-6501-760X, 0000-0003-2581-7984, 0000-0002-2500-9787, 0000-0003-1854-2206, 0000-0001-7594-6923

Keywords

Sancak-Uzunpazar Fault Zone, Tectonic Geomorphology, Drone, Paleoseismology, Eastern Anatolia, Bingöl

Highlights

- * Sancak-Uzunpazar Fault Zone is a sinistral fault causing intrablock deformation within Anatolian plate
- * The eastern segment accumulated 1.1 km maximum morphological sinistral offset
- * Paleoseismic trenching revealed two distinct event possibly within the Holocene

Acknowledgements

We would like to thank to the Bingöl Governorship Provincial Disaster and Emergency Directorate and Adaklı District Governorate and Municipality.

Aim

The segmentation and paleoseismicity of the SUFZ is the main purpose of this study.

Location

Sancak-Uzunpazar Fault Zone is located Karakocan (Elazığ) in southwest and Kaynarçınar (Bingöl) in northeast.

Methods

In this study, field studies, aerial photographs and paleoseismological methods were applied.

Results

It has been concluded that SUFZ produce distributed deformation on its sub parallel segments .

Manuscript

Research Article

Received: 03.05.2021

Revised: 08.06.2021

Accepted: 09.06.2021

Printed: 30.06.2021

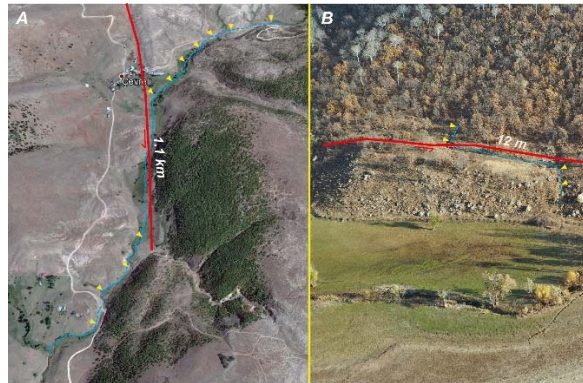
DOI

10.46464/tdad.932089

Corresponding Author

Azad Saglam Selcuk

Email: azadsaglam@yyu.edu.tr



The morphological (river) offset observed along the eastern segment of the SUFZ

How to cite

Selcuk A.S., Erturac M.K., Karabacak V., Sancar T., Kul A.O., Yavuz M.A., 2021. Active Tectonic Setting and Paleoseismicity of the Sancak-Uzunpazar Fault Zone, Turk. J. Earthq. Res. 3 (1), 75-91, <https://doi.org/10.46464/tdad.932089>



Sancak-Uzunpazar Fay Zonu'nun Genç Tektonik Konumu ve Paleosismitesi

Azad Sağlam Selçuk¹, Mehmet Korhan Erturac², Volkan Karabacak³, Taylan Sançar⁴, Ahmet Özkan Kul⁵ ve Mehmet Ali Yavuz⁶

¹ Van Yüzcüncü Yıl Üniversitesi, Afet Yönetimi ve Deprem Araştırma ve Uygulama Merkezi, Van, Türkiye

² Sakarya Üniversitesi Araştırma Geliştirme ve Uygulama Merkezi (SARGEM), Sakarya, Türkiye

³ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye

⁴ Munzur Üniversitesi, Coğrafya Bölümü, Tunceli, Türkiye

⁵ Van Yüzcüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, Türkiye

⁶ Erdem Yer Bilimleri, Muğla, Türkiye

ORCID: 0000-0003-4943-3870, 0000-0002-6501-760X, 0000-0003-2581-7984, 0000-0002-2500-9787, 0000-0003-1854-2206, 0000-0001-7594-69236

ÖZET

Sancak-Uzunpazar Fay Zonu K40D uzanımıyla güneybatıda Karakoçan (Elazığ), kuzeydoğuda ise Kaynarıpınar (Bingöl) arasında yaklaşık 70 km uzunluğunda ve 5 km genişliğinde sol yönlü doğrultu atımlı bir makaslama zonudur. Bu fay, Doğu Anadolu Fayı'na paralel uzanır ve KD'da Kuzey Anadolu Fayı, güneydoğusunda ise Karakoçan Fayı ile sınırlandırılır. Bu makalede, Sancak-Uzunpazar Fay Zonu'nun morfolojisi, tektonik konumu ve ilk paleosismolojik çalışmalarının sonucu sunulmaktadır. Sancak-Uzunpazar Fay Zonu birbirine paralel gelişen yaklaşık 1.5 km uzaklıkta iki farklı segmentten (Doğu-Batı) oluşmaktadır. Yapılan saha çalışmaları ve hava fotogrametrisi çalışmaları segmentlerin fay önu düzlükleri, uçgen yüzeyler, ötelenmiş dereler, çöküntü alanlar ve kapanan sirtlar gibi morfolojik yapılar sunduklarını ortaya koymaktadır. Özellikle Doğu segmentinde maksimum toplam dere ötelenme 1.1 km olup, bu ötelenmeler ortalama 7-12 m arasında değişmektedir. Ayrıca, bu çalışmada ortaya konulan paleosismolojik veriler, bölgede Holosen içerisinde en az iki yüzey faylanmasının delillerini göstermektedir. Elde edilen morfolojik veriler, bölgede yer alan diğer aktif faylar ile karşılaştırıldığında Sancak-Uzunpazar Fay Zonu'nun nispeten daha düşük bir kayma hızına sahip olabileceğini ve mevcut hareket hızının morfolojiye yansımalarının Doğu segment üzerinde daha belirgin olduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar kelimeler

Sancak-Uzunpazar Fay Zonu, Tektonik jeomorfoloji, Hava fotogrametrisi, Paleosismoloji, Doğu Anadolu, Bingöl

Öne Çıkanlar

* Sancak-Uzunpazar Fay Zonu, Anadolu Bloğu içerisindeki içsel deformasyonu kontrol eden üyelerden biridir

* Doğu segmenti boyunca maksimum sol yönlü ötelenme 1.1 km civarındadır

* Paleosismolojik hendek çalışması sonuçları bölgede iki farklı tarihsel depremin meydana geldiğini göstermektedir

Makale

Araştırma Makalesi

Geliş: 03.05.2021

Düzeltilme: 08.06.2021

Kabul: 09.06.2021

Basım: 30.06.2021

DOI

10.46464/tdad.932089

Sorumlu yazar

Azad Sağlam Selcuk

Eposta:

azadsaglam@yyu.edu.tr

Active Tectonic Setting and Paleoseismicity of the Sancak-Uzunpazar Fault Zone

Azad Sağlam Selcuk¹, Mehmet Korhan Erturac², Volkan Karabacak³, Taylan Sançar⁴, Ahmet Özkan Kul⁵ and Mehmet Ali Yavuz⁶

¹ Van Yuzuncu Yil University, Disaster Management and Earthquake Research and Application Center, Van, Turkey

² Sakarya University Research, Development and Application Center (SARGEM), Sakarya, Turkey

³ Eskişehir Osmangazi University, Department of Geological Engineering, Eskişehir, Turkey

⁴ Munzur University, Department of Geography, Tunceli, Turkey

⁵ Van Yuzuncu Yil University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Van, Turkey

⁶ Erdem Earth Sciences, Muğla, Turkey

ORCID: 0000-0003-4943-3870, 0000-0002-6501-760X, 0000-0003-2581-7984, 0000-0002-2500-9787, 0000-0003-1854-2206, 0000-0001-7594-69236

ABSTRACT

Sancak-Uzunpazar Fault Zone is N40E-trending sinistral shear zone that has a 50 km length and 5 km width between Karakoçan (Elazığ) in southwest and Kaynarıpınar (Bingöl) in northeast. The fault extends parallelly to East Anatolian Fault is bounded by the North Anatolian Fault to the northeast and Karakoçan Fault to the southeast. Herein, morphological features, the tectonic setting of the Sancak-Uzunpazar Fault Zone and the first paleoseismological studies on it is represented. The Sancak-Uzunpazar Fault Zone is consist of two parallel segments (called East and West) with a 1.5 km distance. Conducted field studies and aerial photogrammetry show that the segments exhibit morphological features like faceted surfaces, faulted scarps, shutter ridges, and offset streams. Especially, average offsets are about 7-12 m along the eastern segment while the cumulative maximum offset reaches 1.1 km. Moreover, revealed paleoseismological data show evidence of at least two surface ruptures during Holocene. Obtained morphological data reveal that the Sancak-Uzunpazar Fault Zone may have a relatively lower slip rate when compared to other active faults in the region and the reflection of the slip rate to the morphology is more evident in the eastern segment.

Keywords

Sancak-Uzunpazar Fault Zone, Tectonic geomorphology, Drone, Paleoseismology, Eastern Anatolia, Bingöl

Highlights

* Sancak-Uzunpazar Fault Zone is a sinistral fault causing intrablock deformation within Anatolian plate

* The eastern segment accumulated 1.1 km maximum morphological sinistral offset

* Paleoseismic trenching revealed two distinct event possibly within the Holocene

Manuscript

Research Article

Received: 03.05.2021

Revised: 08.06.2021

Accepted: 09.06.2021

Printed: 30.06.2021

DOI

10.46464/tdad.932089

Corresponding Author

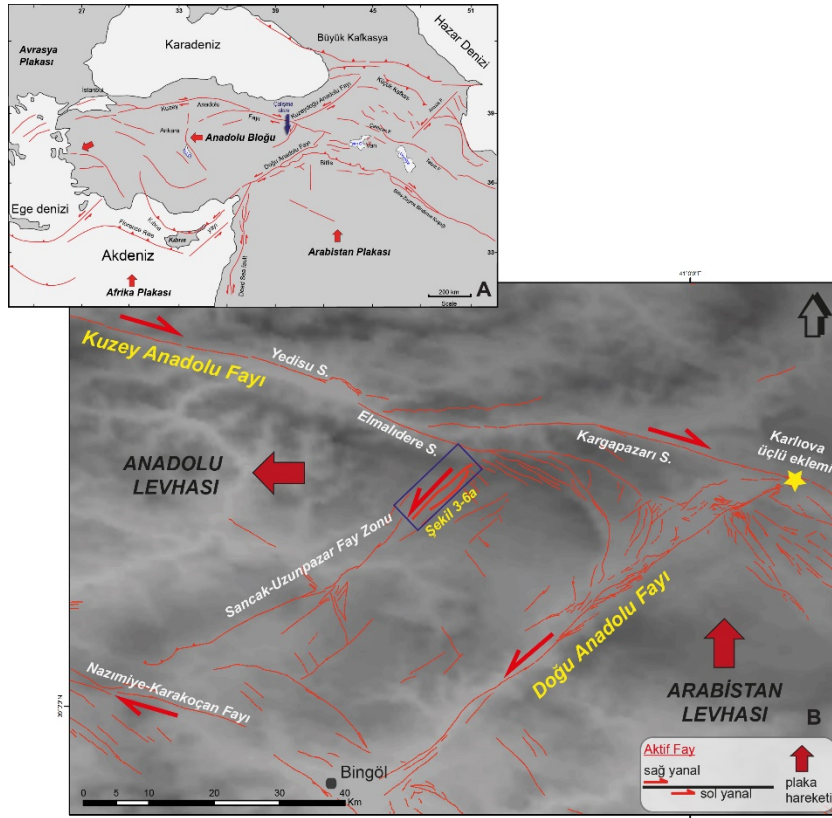
Azad Sağlam Selcuk

Email:

azadsaglam@yyu.edu.tr

1. GİRİŞ

Türkiye’de Neotektonik dönem, Avrasya ve Arap Levhalarının Bitlis-Zagros kenet zonu boyunca çarpışmaları sonucunda başlamıştır. Geç Miyosen döneminde gerçekleşen çarpışma sonucunda, Doğu Anadolu’da kıta kabuğu kalınlaşmış ve bölgesel bir yükselme gözlenmiştir (Sengor ve Yılmaz, 1981). Doğu Anadolu’da 11 my önce başlayan sıkışmalı tektonik rejim sonucunda, günümüzden yaklaşık 5 my önce, Anadolu levhası Kuzey Anadolu Fayı (KAF) ve Doğu Anadolu Fayı (DAF) boyunca batıya doğru hareketine başlamış ve bölgede kaçma tektoniği hakim olmuştur (Sengor 1979, Sengor ve diğ. 2019) (Şekil 1a). KAF ilk olarak Ketin (1948) tarafından sağ-yönlü çok büyük bir fay zonu olarak tanımlanmıştır. DAF segmentasyonu ise Arpat ve Şaroğlu (1972) ve Seymen ve Aydın (1972) tarafından ortaya konulmuştur. Son yıllarda bu iki ana fay zonuna bağlı olarak Türkiye dört farklı neotektonik bölgeye ayrılmış ve Doğu Anadolu Bölgesinin batı kısmının içinde yer aldığı kesim Anadolu Kaçma Bölgesi olarak tanımlanmıştır (Şengör 1980). Bu çalışmanın ana konusunun oluşturan Sancak-Uzunpazar Fay Zonu (SUFZ), KAF ve DAF tarafından sınırlanan Anadolu Kaçma Bölgesi içerisinde yer alan KD-GB uzanımlı sol yanal doğrultu atımlı bir faydır. Bununla birlikte, son yıllarda Reilinger ve diğ. (2006) tarafından GPS hareket vektörlerinden yapılan blok modellemesine göre çalışma alanı güneyde Arabistan levhası, doğuda Türk-İran Platosu kuzeyde ise Avrasya levhası ile sınırlanan Anadolu mikro levhasının en doğu kesiminde yer alır (Şekil 1a).



Şekil 1: (a) Doğu Akdeniz ve Orta Doğu'nun aktif tektonik konumu ve inceleme alanının konumu (Reilinger ve diğ. (2006)'dan düzenlenerek), (b) Sancak-Uzunpazar Fay Zonu'nun genç tektonik konumu (Diri faylar: Duman ve diğ. 2012, Emre ve diğ. 2012a; 2012b)

DAF'a paralel uzanan Sancak-Uzunpazar Fay Zonu Anadolu mikro levhasının deformasyonu kontrol eden ana faylardan biri durumundadır. Ancak günümüze kadar bu fay zonunun bölgedeki geometrisi ve genç tektonik konumu ile ilgili ayrıntılı bir çalışma bulunmamaktadır. Sadece, literatürde SUFZ üzerinde genel değerlendirmeler ve Türkiye Yenilenmiş Diri Fay

haritası (Şekil 1b) dışında herhangi bir bilgi yer almamaktadır. Bu nedenle, SUFZ'nun segmentasyonu ve paleosismitesinin incelenmesi bu çalışmanın ana amacını oluşturmaktadır. Bu kapsamda arazide ve insanız hava aracı (İHA) ile görüntüleme yöntemiyle elde edilen fotomozaiklerden jeolojik ve morfolojik belirteçler kullanılarak segmentler haritalanmıştır. Çalışma boyunca, SUFZ doğu ve batı segmenti olmak üzere iki kısımda incelenmiş ve haritalama çalışmaları bu şekilde yapılmıştır. Arazi ve İHA çalışmalarına bağlı olarak batı ve doğu segmentlerinin neden olduğu morfolojik ötelenmeler tespit edilmiş ve oluşturulan yüksek çözünürlüklü sayısal yükseklik modellerinden faydalanarak bu ötelenmeler ölçülmüştür. Anadolu Bloğunun içsel deformasyonunu kontrol eden aktif faylardan biri olan SUFZ'nin kuzeydoğu kesimleri bu çalışma ile ayrıntılı bir şekilde haritalanmış ve doğu segmenti üzerinde bir adet hendek çalışması gerçekleştirilmiştir. Yapılan paleosismoloji çalışmasına bağlı olarak iki eski depremin izlerine rastlanılmıştır ve gözlenen verilere bakıldığında bu alanda gerçekleşen aktivitelerin son 10 bin yılda gerçekleştiği düşünülmektedir.

2. TEKTONİK ÇERÇEVE: SANCAK-UZUNPAZAR FAY ZONU ve ÇEVRESİNİN JEOLJİSİ

2.1) Tektonik Konum

Hem Türkiye hem de Dünya ölçeğindeki en önemli tektonik yapılardan biri olan KAF Avrasya ve Anadolu levhaları arasındaki hareketin karşılandığı neotektonik bir yapıdır. KAF, dünyadaki en aktif sağ yönlü doğrultu atımlı faylardan biri olduğu için üzerinde çok sayıda çalışma yapılmıştır. Yaklaşık olarak 1200 km uzunluğunda olan KAF, Anadolu Bloğunun kuzey sınırını oluşturur ve doğuda Karlıova üçlü ekleminden başlayarak Karadeniz kıyı çizgisini yaklaşık olarak 100 km güneyden takip ederek Ege Denizi'nin kuzeyinde Saros Körfezine kadar uzanır (Şekil 1a) (Sengor ve diğ. 2005, Zabcı 2012). KAF, doğu kesiminde saf sağ yanal doğrultu atımlı fay karakterindedir ve bölgede tarihsel ve aletsel dönemlerde farklı büyüklüklerde yıkıcı birçok depremin oluşumunu kontrol etmiştir. Bu fay zonu boyunca bir deprem göçü olduğu ve bu göçün 1939 Erzincan depremi ile başladığı ve batıya doğru göç ettiği ifade edilmiştir (Egeran ve Lahn 1944, Ketin ve Rösli 1953, Ambraseys 1970, Barka 1992, Barka 1996, Stein ve diğ. 1997, Dikbaş 2009). KAF üzerinde batıda Marmara Denizi ve doğuda ise Yedisu Segmenti üzerinde iki önemli sismik boşluk yer almakta ve bu bölgeler için yüksek deprem tehlikesi tanımlanmaktadır. Çalışma alanının kuzey kesimlerini sınırlayan Elmalı ve Yedisu segmenti Zabcı (2012) tarafından tanımlanmış olup, Üzümlü Beldesi (Erzincan) ile Yedisu-Kızılcubuk beldesi (Bingöl) arasında yer alır. Yedisu segmenti, Yedisu havzasına kadar yaklaşık 70 km boyunca ortalama K70B doğrultusunda devam eder ve bu noktadan sonra içbükey bir dönüş yaparak Elmalı segmenti olarak yaklaşık aynı doğrultuda devam eder (Şekil 1b) (Sançar 2006, Zabcı 2012). Çalışma alanının kuzeyinde yer alan bu sismik boşluğa uzaklığı yaklaşık 10-15 km civarındadır (Şekil 1b). Türkiye'nin en önemli transform faylarından biri olan Doğu Anadolu Fayı (DAF) çalışma alanını doğudan sınırlamaktadır. DAF, Anadolu Bloğu'nun batıya kaçışında güney sınır fayı olarak tanımlanmakta ve kayma hızı 8-10 mm/yıl arasında değişmektedir (Aktuğ ve diğ. 2016). Geçtiğimiz yüzyılda DAF'ın segmentlerinden biri olan Ilica Segmenti, 1971 depremi ($M_s=6.8$) ile kırılmış ve bölgede şiddetli hasara neden olmuştur (Arpat ve Şaroğlu 1972). 1966 yılında meydana gelen Varto-Bingöl depreminin de kaynağının DAF'ın kuzeydoğusunda yer aldığı belirtilmiştir (Akyüz 2009). Ancak, bu transform fayının en kuzey kesimini oluşturan Karlıova segmenti üzerinde yüzey kırığı yaratan herhangi bir deprem meydana gelmemiştir. Çalışma alanı olan SUFZ'nin doğusunda yer alan DAF'a uzaklığı yaklaşık 25 km'dir (Şekil 1b).

Anadolu mikro levhasının içsel deformasyonu birden fazla sağ yanal veya sol yanal doğrultu atımlı fay tarafından kontrol edilmektedir. Bu faylardan KD-GB doğrultulu sol yanal Malatya-Ovacık Fay Zonu (MOFZ), çalışma alanının batı kesimini sınırlamaktadır. Bu fay zonunun kuzey kesimlerinde yapılan çalışmalarda kayma hızının 3 mm/yıl olduğu belirlenmiştir (Zabcı ve diğ. 2017). Bununla birlikte, MOFZ'nin deprem döngüsünü ortaya çıkarmak için yapılan paleosismolojik çalışmalarda ise son on bin yıl içerisinde dört büyük deprem tespit edilmiş ve

deprem tekrarlanma aralığı 2275 ± 605 yıl olarak hesaplanmıştır (Sançar ve diğ. 2018). Bu bölgede gerçekleşen son depremin yaklaşık olarak MÖ 965-549 yılları arasında olduğu belirtilmiştir. (Sançar ve diğ. 2018). Bu veriler fay zonunun deprem üretme aralığı ile birlikte değerlendirildiğinde MOFZ'nin güneybatı kesimi için tanımlanan Malatya Fayı üzerinde yakın gelecekte deprem olma ihtimalinin çok yüksek olduğunu göstermektedir. Malatya Fayı üzerinde beklenen depremin büyüklüğü, fay hattının 130 km olan uzunluğu dikkate alındığında, 7.5 ve bu fay zonunun kuzeydoğu kesimlerini oluşturan Ovacık Fayı üzerinde beklenen depremin büyüklüğü, fay hattının 110 km olan uzunluğu dikkate alındığında, 7.4 olarak tahmin edilmektedir (Zabci ve diğ. 2017, Sançar ve diğ. 2018). Sancak-Uzunpazar Fay Zonu'nun batısında kalan bu alana uzaklığı yaklaşık 90 km'dir. Nazimiye-Karakoçan Fay Zonu ise çalışma alanını güneyden sınırlamaktadır (Şekil 1b). Bu fay zonu KB-GD doğrultulu sağ yönlü doğrultu atımlı karakterlidir. Oldukça çizgisel olarak uzanan fayın uzunluğu göz önünde bulundurulduğunda fay üzerinde 7 veya daha büyük deprem gerçekleşme kapasitesi ortaya çıkar (Sançar ve diğ. 2018; 2019; 2020).

2.2) Stratigrafi

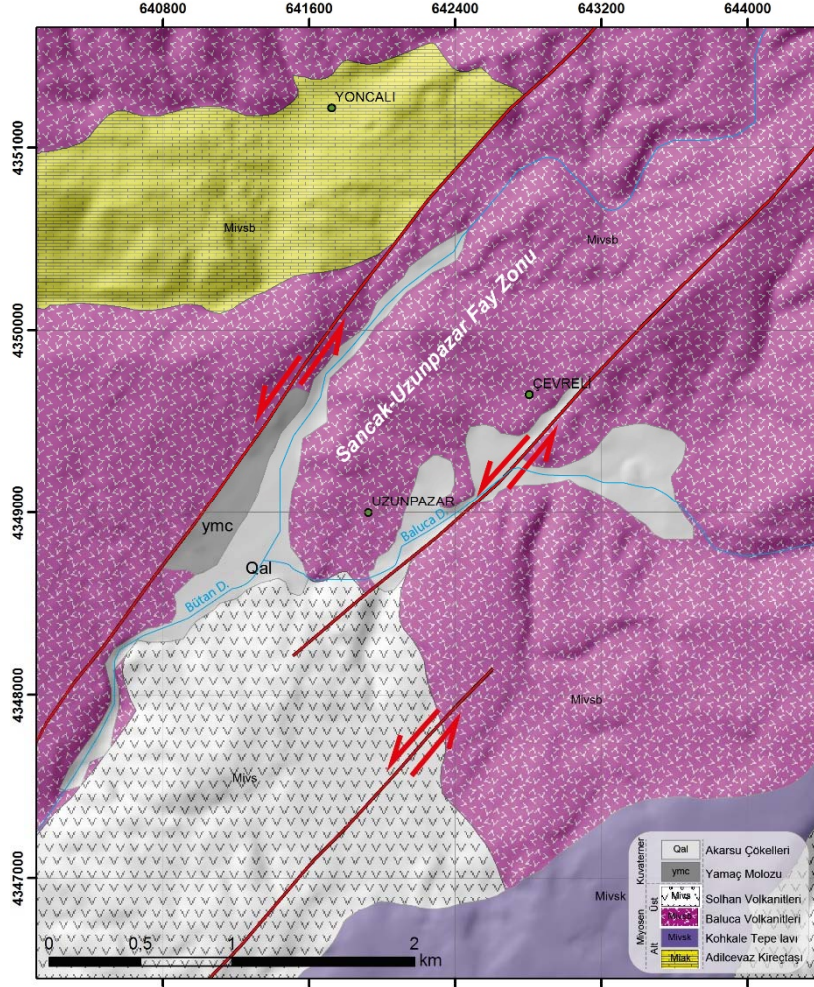
SUFZ'nin yer aldığı bölge, paleotektonik açıdan Torid bloğunun içerisinde yer almaktadır (Okay ve Tuysuz 1999). Bölgenin paleotektonik evrimi, Liyas öncesinde Paleo-Tetis ve onun yay ardı havzası olan Karakaya Okyanuslarının, Kretase sonunda ise Neo-Tetis Okyanusunun farklı kollarının kapanması ile ifade olur. Çalışma alanında Üst Kretase'den Pliyosen'e kadar yaygın volkanizma gözlenmektedir. Bu volkanik birimler Senozoyik boyunca derin (Eosen) ve sığ (Alt Miyosen) denizel kireçtaşları ile ardalanmaktadır. Neo-Tetis'in kapanmasının ardından büyük ölçüde kara haline gelen bölge Erken Miyosen'de sığ denizlerle kaplanmıştır (Tarhan 1997). Ancak her iki denizel ortam da bölgenin kuzey-güney sıkışmalarla bindirmeli bir yapı kazanması ve yükselmesi yüzünden uzun ömürlü olmamıştır (Sançar 2006).

Anadolu Bloğunun doğu kesimlerinde, yaşları Paleozoik'ten Kuvaterner'e kadar değişen, farklı litolojik özelliklerde jeolojik formasyonlar yüzlek vermektedir (Tarhan 1997). İnceleme alanında yüzlek veren en yaşlı birim Alt Miyosen yaşlı Adilcevaz Kireçtaşı (Miak) ve üstüne açılal uyumsuzlukla yerleşen karasal ortamda gelişmiş Solhan Volkanitleri'dir (Mivs) (Şekil 2).

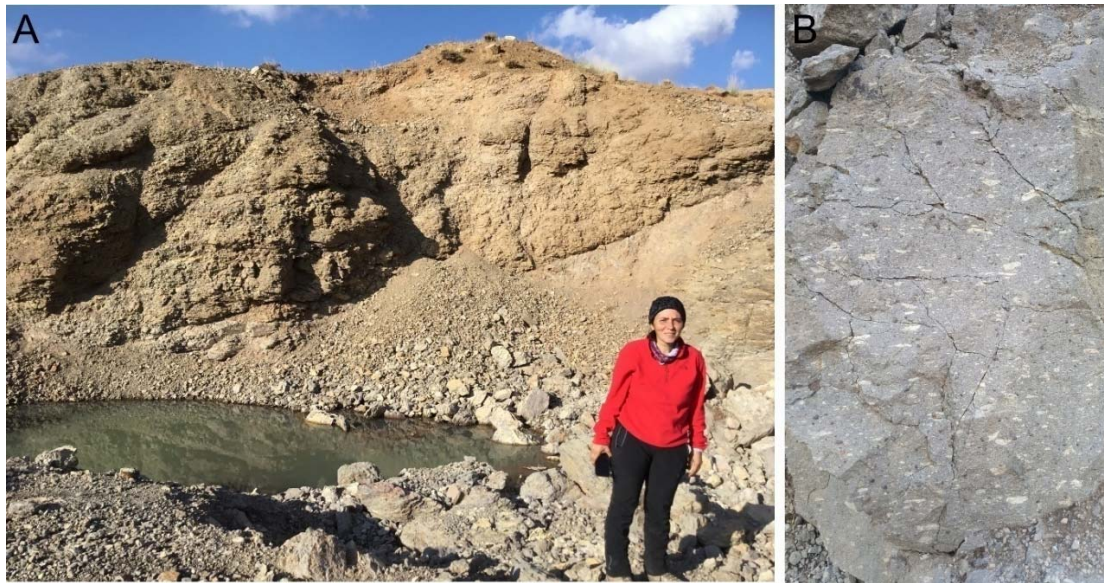
Adilcevaz formasyonu (Mia) ve Kireçtaşı üyesi (Miak), temel litolojisi tuf katkılı resifal kireçtaşı olan birimin bu birim içerisinde kumtaşı, çakıltası ve marn üyeleri ayrılmıştır. Birim inceleme alanının en kuzeybatı kesiminde sınırlı olarak yüzlek vermektedir (Şekil 3a). Kireçtaşları masif karakterli, ince-orta kalınlıkta tabakalıdır. Yer yer tuf, çakıltası ve marn ara katkıları gözlenmektedir. Birimin yaşı içerdiği fosil içeriğine göre Alt Miyosen olarak tanımlanmıştır (Tarhan ve diğ. 1991).

Solhan formasyonu, tamamen karasal ortamda oluşmuş lav akıntıları ve piroklastik birimlerden oluşmaktadır. Bu birime ait tip kesitler Bingöl Volkanı'nın güney eteğindeki Varto ve inceleme alanı yakın çevresidir. Birim inceleme alanının kuzey ve batı kesimlerinde yaygın olarak gözlenir. Baluca Volkanitleri (Mivsb) olarak gruplanan volkanitler ve Kohkaletepe lavları birbirinden jeokimyasal ve dokusal açıdan ayrılabilen kayaç gruplarını ifade etmektedir. İnceleme alanı yakın çevresinde birimler bazaltik lav akıntıları ve trakitlerdir (Şekil 3b). Ercan ve diğ. (1991) bu birimlerden elde ettikleri K/Ar yaşlara göre 8.3 ± 0.1 My önce yüzleydiklerini ortaya koymuşlardır. Buna göre grubun genel yaşı Miyosen olarak tanımlanmıştır.

İnceleme alanında Adilcevaz formasyonu'na ait Kireçtaşı üyesi ile Solhan formasyonuna ait volkanitler SUFZ batı segmeti boyunca sınırlı bir alanda faylı dokanak ilişkisi sunmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2: Adaklı ve Çevreli arasında inceleme alanı 1/20000 ölçekli jeoloji haritası ve çalışma alanı içerisinde gözlenen birimlerin genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (Tarhan 1997)



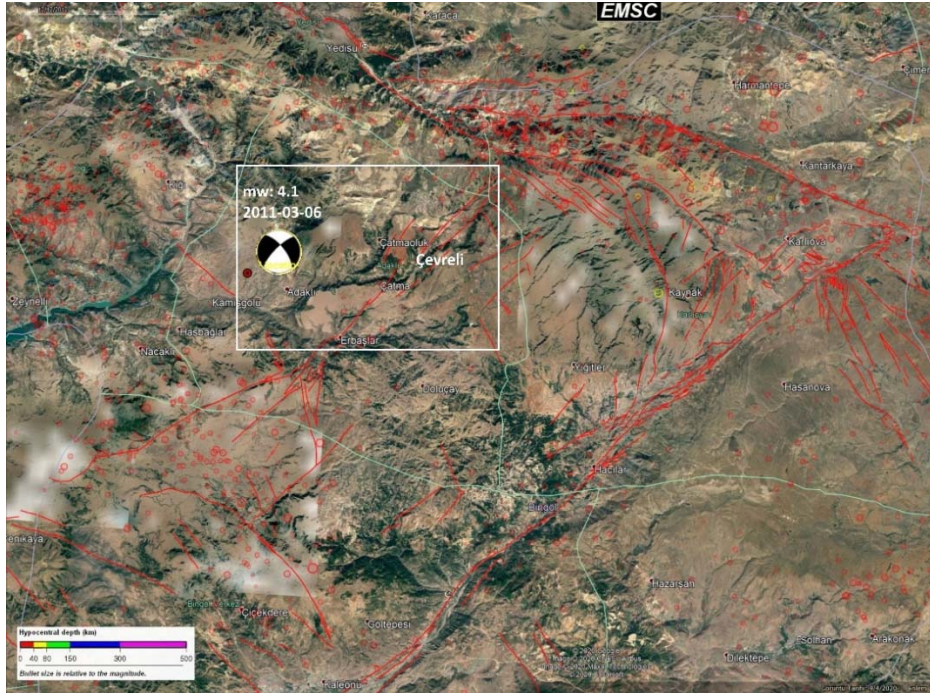
Şekil 3: (a) Adilcevaz kireçtaşlarının doğal bir kesitteki görünümü, (b) Solhan Volkanitlerine ait iri fenokristalli trakit

Çalışma alanı içerisinde alüvyal yelpaze ve güncel alüvyon birimleri bölgede Kuvaterner birimlerini oluşturmaktadır. Alüvyonlar oldukça dar bir kesimde inceleme alanında bulunan Baluca ve Bütan dereleri boyunca depolanmış, akarsu çökelleri ile yamaç molozlarından oluşmaktadır. Dere kanalları içerisinde çakıl, kum, silt ve kil boyutlu malzemeler depolanmıştır.

2.3) Depremsellik

SUFZ üzerinde gelişmiş tarihsel depremleri ayırtlamak genç tektonik konumu nedeniyle oldukça güçtür. Bunun temel nedeni SUFZ'nin, KAF, DAF, MOFZ ve Nazimiye-Karakoçan Fay zonları tarafından sınırlanan Anadolu Bloğu'nun doğu kesiminde yer alması ve blok içi bir fay zonu özelliğinde olmasıdır. Bölgedeki tarihsel ve aletsel dönem deprem aktivitesinin büyük oranda bu faylardan kaynaklandığı belirtilmiştir. Aletsel dönem içerisinde, Anadolu Levhası'nın doğu kesimi yıkıcı deprem aktivitesinin en yoğun olduğu bölgelerden biridir. Son yüzyılda KAF'ın Erzincan ile Karlıova arasında ve Karlıova ile Varto arasında kalan kesiminde can kaybı ile sonuçlanan, yıkıcı özellikteki 17 Ağustos 1949 Elmalı ($M_s=6.9$), 19 Ağustos 1966 Varto ($M_s=6.8$), SUFZ'nin batısında kalan 26 Temmuz 1967 Pülümür-Kiğı ($M_s=6.0$) depremleri meydana gelmiştir (Ambraseys 1988). KAF boyunca, bölgede meydana gelen en son yıkıcı deprem ise 13 Mart 1992 tarihindeki $M_s=6.8$ büyüklüğündeki Erzincan depremidir. DAF'ın Bingöl-Karlıova arasında kalan kesiminde ise 22 Mayıs 1971 Bingöl depremi ($M_s=6.8$) meydana gelmiştir. Bu iki ana fay arasında kalan Bingöl-Karlıova-Erzincan üçgeni içerisindeki aktif faylar boyunca son yüzyılda can ve mal kaybına da neden olan orta büyüklükteki depremlerin meydana geldiği bilinmektedir. Bunlar, 7 Temmuz 1957 Kiğı ($M_s=5.1$), 24 Nisan 1968 Çan (Kiğı) ($M_s=5.1$), 22 Mayıs 1971 (Bingöl) ($M_s=6.8$), 5 Aralık 1995 Kiğı ($M_s=5.7$) ve 3 Şubat 2003 Pülümür ($M_w=6.1$) depremleridir (Emre ve diğ. 2003).

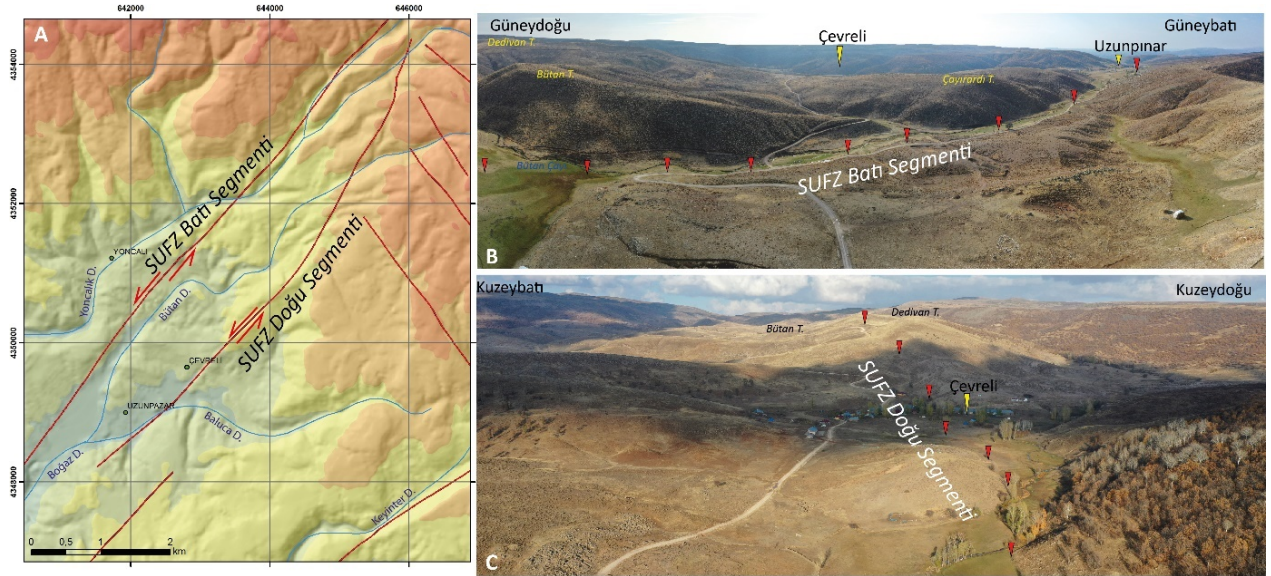
Çalışma alanı içerisinde yer alan Adaklı İlçesi'nin KB kesiminde 6 Mart 2011 yılında $M_w=4.1$ büyüklüğünde bir deprem gerçekleşmiştir. İksel odak mekanizma çözümü depremin kaynak fayının kuzeye eğimli, ters bileşene sahip oblik sol yönlü doğrultu atımlı SUFZ ya da KB-GD doğrultulu sağ yönlü Kamışgölü Fayı olduğuna işaret edebilir (Şekil 4).



Şekil 4: İnceleme alanı ve çevresinde aletsel dönemde meydana gelen depremler (EMSC 1998-2020) ve 2011 Adaklı Depremi odak mekanizma çözümü (AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı)

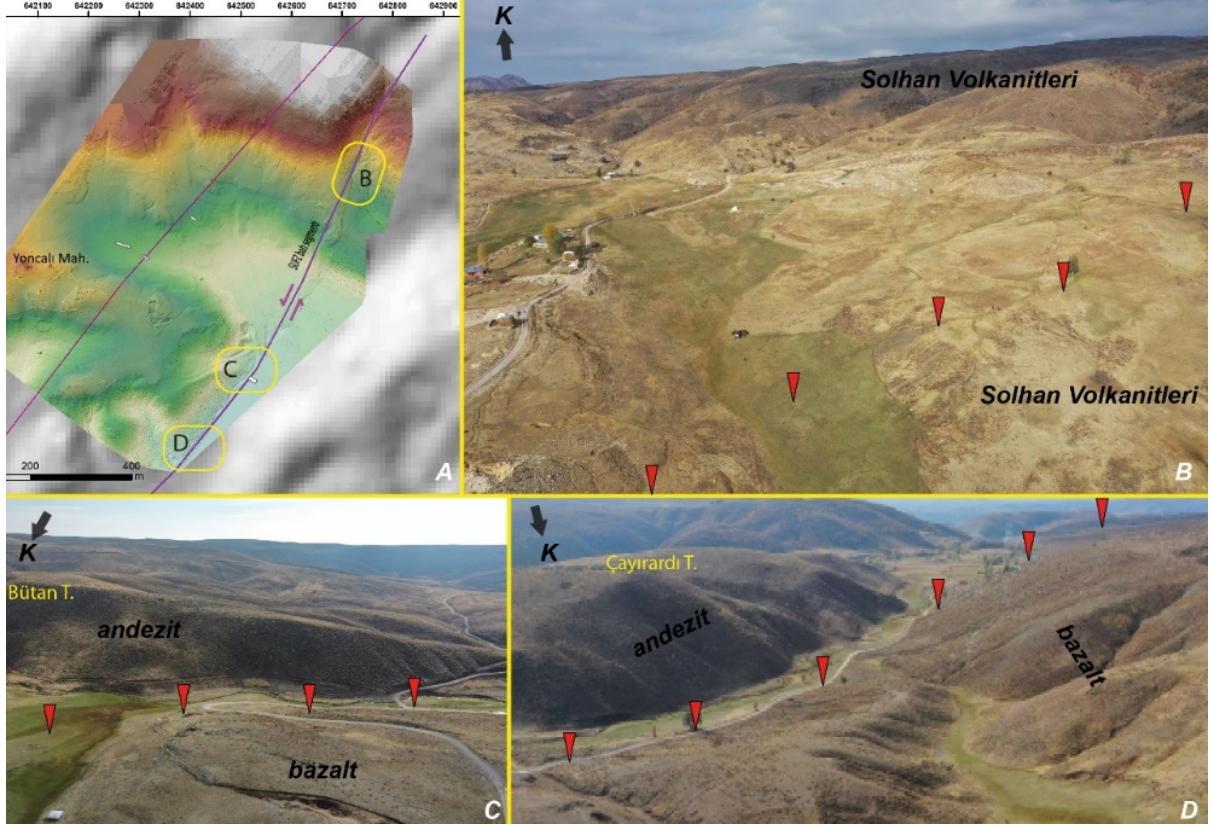
3. SANCAK-UZUNPAZAR FAY ZONU

Yaklaşık 70 km uzunluğa sahip olan SUFZ (Emre ve diğ. 2012a) $K40^{\circ}D$ uzanımıyla güneybatıda Karakoçan (Elazığ), kuzeydoğuda ise Kaynarpinar (Bingöl) arasında yer almaktadır (Şekil 1b). Sol yönlü doğrultu atımlı olarak tanımlanan bu fay zonu, daha öncede belirtildiği üzere DAF'na paralel uzanır ve kuzeyinde KAF, güneydoğusunda ise Nazımiye-Karakoçan Fay Zonu ile sınırlanır. SUFZ, çalışma alanının kuzeydoğu kesimlerinde yaklaşık 5 km genişliğinde 11 km uzunluğa sahip birbirine paralel fay segmentlerinden oluşmaktadır (Şekil 5a). Bu fay zonu güneybatıya doğru dış bükey büküm yaparak, $K55^{\circ}D$ doğrultusunda ters bileşenli olarak devam eder. Bu çalışmada, SUFZ'nin kuzeydoğu kesiminde Adaklı İlçesi sınırları içerisinde yer alan birbirine paralel, 1.5 km uzaklıkta doğu ve batı segmenti olarak tanımlanan segmentler detaylandırılmıştır (Şekil 5a). Hedef bölgede fay segmentlerinin detaylı haritalanması için saha çalışmaları esnasında İHA kullanılarak alanın panoramik oblik hava fotoğrafları çekilmiştir (Şekil 5b,c). Bunun yanı sıra, morfolojik yapıların net olarak gözlemlendiği yerlerden batı segmentinin kuzeydoğu (Şekil 6a) ve doğu segmenti güneybatı kesiminde (Şekil 7a) İHA fotogrametri yöntemi ile yüksek çözünürlüklü ortofoto ve sayısal arazi modeli üretilmiştir.



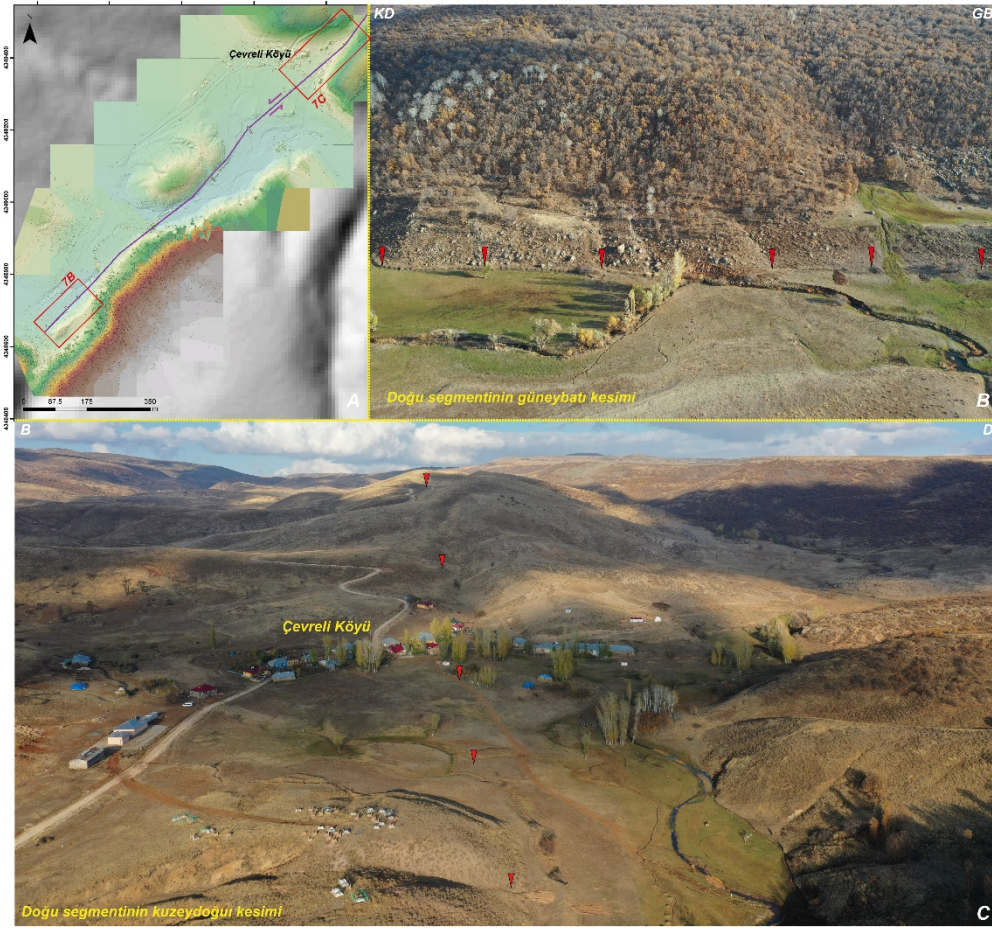
Şekil 5: (a) SUFZ'nin kabartı topografya haritasında genel gidişi ve çalışma alanının konumu (faylar: Emre ve diğ. 2012b). Çalışma alanının; (b) Batı ve (c) Doğu kesiminin insansız hava aracı ile elde edilmiş panoramik fotoğrafı ile tanımlanmış diri fayların uzanımı

Batı segment, Uzunpazar-Yoncalı köyleri civarında yaklaşık 11 km uzunluğundadır. $K34-40^{\circ}D$ doğrultusunda uzanan bu segment sol yönlü doğrultu atımlıdır (Şekil 6a,b,c,d). Doğrultusu boyunca takip edildiğinde çoğunlukla vadi boyunca veya dik yamaçları keserek devam ettiği ve doğuda temel kayalar ile akarsu çökeltileri arasında tektonik dokanak oluşturduğu gözlenmektedir (Şekil 6c,d). Segmentin kuzeydoğu kesiminde Adilcevaz Kireçtaşları yoğun deformasyona uğramış, faylanmış ve birçok yerde kıvrılmıştır (Şekil 3a). Ayrıca, bu alanda Solhan volkanitlerine ait bazaltlar ile kireçtaşları arasındaki tektonik dokanağı oluşturmaktadır. Batı segmenti boyunca ani eğim kırılmaları fayın morfolojik olarak aktif olduğunun kanıtı durumundadır. Ancak, segmentin çoğunlukla vadi boyunca veya dik yamaçları keserek devam etmesi morfolojik ötelenmelerin belirlenmesinde dezavantaj yaratmaktadır.

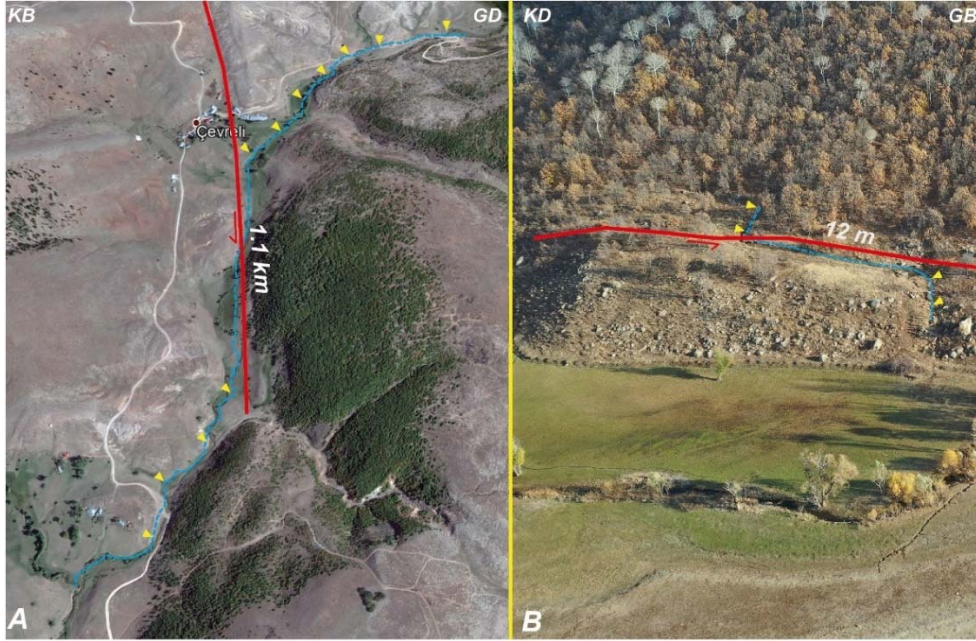


Şekil 6: (a) SUFZ'nin batı segmentinde yer alan morfolojik yapıların tespiti için İHA kullanılarak elde edilen yüksek çözünürlüklü sayısal arazi modeli. SUFZ batı segmentinin; (b) Kuzeydoğu kesimi, (c) Orta kesimi, (d) Güneybatı kesiminde uzanımı

Doğu segmenti, yaklaşık 8 km uzunluğundadır ve Dinarbey ile Çevreli yerleşimlerinin arasında yer almaktadır. İHA kullanılarak alınan hava fotoğraflarında ve arazi çalışmalarında fay önü düzlükleri, üçgen yüzeyler ve ötelenmiş dereler ile fay kontrollü çöküntü alanları tespit edilmiştir (Şekil 7a). Segment, güney kesimlerde morfolojik olarak net takip edilmekte ve ötelenmiş dere ile kapanan sırtlar gibi morfolojik yapılar sunmaktadır (Şekil 7b). Doğu segmenti üzerinde gerçekleştirilen ortofoto çalışmaları ile segment boyunca sol yanal dere ötelenmeleri net olarak takip edilmektedir. Özellikle Baluca deresi nin doğu segmenti atarından kesilip 1.1 km sol yanal ötelenmiş görür (Şekil 8a) Bu kısımda yer alan derelerde ötelenme miktarları 7-12 m arasında değişmektedir (Şekil 8b). Doğrultusu boyunca kuzeye doğru takip edildiğinde morfoloji üzerinde fay basamakları yaratmaktadır (Şekil 7b). Ayrıca kuzeyde Solhan volkanitlerine ait bazaltlar içerisinde çöküntü alanları da yaratmıştır (Şekil 7c).



Şekil 7: (a) SUFZ'nin doğu segmentinde yer alan morfolojik yapıların tespiti için İHA kullanılarak elde edilen yüksek çözünürlüklü sayısal arazi modeli. SUFZ doğu segmentinin; (b) Güneybatı kesimi, (c) Kuzeydoğu kesiminde uzanımı



Şekil 8: (a) Kato deresinde yer alan 1.1 km'lik sol yönlü ötelenme, (b) Doğu segmentinin güneybatı kenarında yer alan 12 m'lik sol yönlü ötelenme

4. PALEOSİSMOLOJİ: ÇEVRELİ HENDEĞİ

SUFZ'nin aktivitesini anlamak ve tarihsel dönemlerde bölgenin geçirmiş olabileceği depremleri belirleyebilmek için paleosismolojik fay kazısı yapılmıştır. Paleosismoloji çalışmalarında morfotektonik yapıların incelenmesi oldukça önemlidir. Örneğin doğrultu atımlı faylar üzerinde meydana gelmiş ötelenmiş dereler, bel verme gölcükleri, basınç sırtları gibi morfotektonik öğeler paleosismolojik hendek çalışmaları için yer belirlemede referans noktalarıdır. Arazi çalışması kapsamında, SUFZ'yi oluşturan segmentlerden doğu segmenti boyunca fay morfolojisini yansıtan yapılar araştırılmıştır (Şekil 9a). İnsansız hava aracı kullanılarak alınan hava fotoğraflarında ve arazi çalışmalarında fay önü düzlükleri, üçgen yüzeyler ve ötelenmiş dereler ile çöküntü alanları tespit edilmiştir (Şekil 9b). Bu morfolojik yapılar dikkate alınarak, Uzunpazar ve Yoncalık mahallelerini doğudan sınırlayan SUFZ'nin doğu segmentinde fay uzanımını dik olarak kesen (KB-GD yönlü) paleosismolojik amaçlı hendek çalışması yapılmıştır (Şekil 9c).



Şekil 9: (a) Çevreli Hendeğinin topoğrafik harita üzerindeki konumu, (b) Hendeğ yerinin insansız hava aracı kullanılarak belirlenmesi, (c) Hendeğ yerinin uzanımı ve konumu

4.1) Çevreli Hendeği

Çevreli hendeği, Bingöl İli, Adaklı ilçesi, Çevreli köyü 1/5000 ölçekli Erzurum-J 45-A-23-B paftası üzerinde KB 642854/4349253 ve GD642836/4349270 koordinatlarında, 1950 metre rakımında açılmıştır. KB-GD doğrultulu hendeğinin uzunluğu 25 m, ortalama derinliği ~3 m dir.

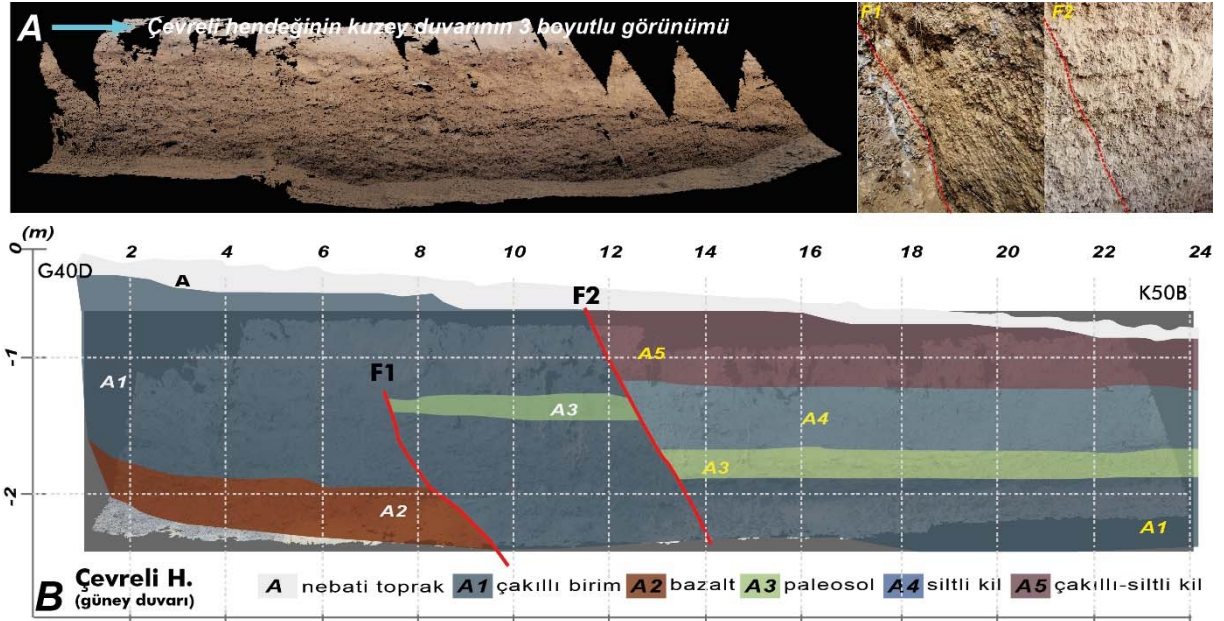
4.1.1) Morfotektonik Özellikleri

Çevreli hendeği civarında Doğu segmenti, güneybatıda Karmış tepesinin batı yamacını kontrol ederek Çevreli beldesinden Dedivan tepesinin batı kenarından doğrusal olarak devam etmektedir. Yaklaşık $K40^{\circ}D$ doğrultusunda uzanan bu segment Dedivan tepesi ile Bütan Tepesi arasında morfolojik olarak sınır oluşturmaktadır. Çevreli Hendeği, Dedivan tepesinin batı yamacında yer almaktadır. Bu alanda, segmentin neden olduğu morfolojik unsurlar net olarak gözlenmektedir. Özellikle bu morfolojik yapılara arasında yamacın doğrultusu boyunca gelişen ani eğim kırılmaları ile fay önü basamak göze çarpan en önemli unsurlardandır. Bununla birlikte oluşturulan İHA yardımıyla oluşturulan sayısal yükseklik modellerinden ve arazi çalışmalarına bağlı olarak küçük sol yanal dere ötelenmelerin (1-2 m) olduğu görülmektedir Çevreli hendeği, segment boyunca gelişen morfotektonik unsurlar göz önüne alındığında Dedivan Tepesinin batı yamacında yer alan düz bir şev üzerinde açılmıştır. Bu alanda özellikle taşkın ve sellenmeye bağlı ani çökelimin olmamasıda bu alanın seçiminde etken rol oynamıştır.

4.1.2) Stratigrafi

Çevreli hendeği, çalışma alanı ve yakın çevresinin jeolojik, morfolojik ve yapısal özellikleri gözetilerek K50°B doğrultusunda açılmıştır (Şekil 9c). Yapılan İHA ile görüntüleme sayesinde fay basamağının olduğu alanda Çevreli hendeğinin yeri belirlenmiş ve kazı işlemi yapılmıştır. Hendeğin bulunduğu alanda üstten alta doğru, nebati toprak (A), çakıllı seviye (A1), bazalt (A2), paleosol (A3), siltli kil seviye (A4), Siltli-killi-çakıllı birimleri yer almaktadır (A5). Hendeğin içinde toplam altı farklı seviye tespit edilmiştir (Şekil 10a).

Hendeğin duvarında ayıklanan seviyelerden A1 seviyesi köşeli çakıllı yamaç molozudur. Bu seviyenin çakıllarını andezit ve bazalt çakıllarından meydana gelmektedir (Şekil 10b). Çakıllar kötü boylanmalı ve ortalama çapları 2-4 cm arasında değişmektedir. Bu birimin, hendeğin duvarı (doğudan-batıya) hendeğin içerisindeki kalınlığı değişkendir. Hendeğin güneydoğu kesiminde yaklaşık 10'uncu metreye kadar bazalt birimi (A2) yamaç molozunun altında, 1.5 metre derinlikten itibaren yer almaktadır. Bazaltların makaslanarak, yoğun deforme oldukları görülmektedir. Hendeğin kuzeybatıya doğru devam edildiğinde hendeğin 10'uncu metresi ile 14'üncü metresi arasında eski toprak seviyesi (A3-paleosol) yer almaktadır (Şekil 10b). Kalınlığı yaklaşık 15 ile 20 cm arasında değişmektedir. Hendeğin 14. metresi ile 24. metresi arasında siltli killi bir birim yer almaktadır (A4). Kahve renkli olan bu birimin kalınlığı 40 cm civarındadır. Çevreli hendeğinin en üst bölümünde, koyu kahve renkli orta ile kötü boylanmış pekişmemiş bitkisel toprak örtü bulunmaktadır (A-seviyesi). Bu bölümde yer alan pekişmemiş bitkisel toprak örtüsü, çakıl ve kum boyutunda taneler içeren ve başlıca kil ve çamur bileşenlerinden meydana gelir. Yaklaşık kalınlığı 20 cm kadardır (Şekil 10b).



Şekil 10: Çevreli Hendeği; (a) Kuzey duvarının foto mozaik görüntüsü, (b) Güneybatı duvarı yorumlanmış logu (ayna görünümü)

4.1.3) Yapısal İlişki

Çevreli Hendeğinin GB duvarında güneydoğu yönünden başlanarak kuzeybatıya doğru loglama işlemi yapılmıştır. Hendeğin içerisinde beş farklı birim ayırtlanmıştır. Hendeğin GB duvarında ilk 10 m birimlerin kesikliğe uğradığı görülmektedir (Şekil 10b). F1 olarak tanımlanan bu fayın önünde eski toprak seviyesi olabilecek bir seviye yer almaktadır. A3 olarak tanımlanan bu seviye takip edildiğinde 12'inci metrede kesikliğe uğradığı ve ötelendiği görülmektedir. F2

fayına bağlı bu düşey ötelenmenin miktarı yaklaşık 30 cm civarındadır (Şekil 10b). Ayrıca hendek duvarının 12'inci metresine kadar siltli killi birim yüzeylemezken, bu noktadan itibaren fayın tavan bloğunda yüzeylemektedir. Yukarıda da bahsedildiği üzere, hendek duvarında iki ayrı fay tanımlanmıştır. Bunlardan F2 olarak tanımlanan fayın K55°D, 80 KB'ya doğru eğimli olduğu görülmektedir (Şekil 10a,b). Çevreli hendeğinde tespit edilen iki farklı olay fay zonuna ait iki farklı depremi yansıtmaktadır. F2 fayının yüzeye olan yakınlığı son yüzey kırığı yaratan depremin bu kol üzerinde olduğuna işaret eder. Bununla birlikte stratigrafik ilişkiler ile bu alandaki birimler Pleyistosen-Holosen olarak tanımlanmıştır.

Hendek içerisindeki gözlemlenen birimler yatay konumludur. Bu anlamda harita görünümünde doğrultu atımlı hareket karakterine sahip olan fayın kesit görünümünde gözlemlenen yaklaşık 30 cm lik düşey yerdeğiştirme (A3 biriminin F2 fayı ile kesilmesi), fayın oblik karakterine işaret etmektedir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Anadolu levhasının doğu bölümünde yer alan çalışma alanı, KAF, DAF, Nazımiye-Karakoçan ve MOFZ ile sınırlanan bir blok içerisinde gelişmiş sol yönlü doğrultu atımlı SUFZ kontrolünde genç tektonik evrimini sürdürmektedir. Bölgede SUFZ morfolojiyi denetlemektedir, bununla birlikte temel kayaları kesmekte ve farklı yaş ve litolojideki birimleri yanyana getirmektedir. Yapılan arazi çalışmaları sonucunda, yaklaşık 70 km uzunluğa sahip olan SUFZ (Emre ve diğ. 2012b), kuzeydoğu kesimlerinde K45°D uzanımıyla güneybatıda Karakoçan (Elazığ), kuzeydoğuda ise Kaynarınar (Bingöl) arasında yaklaşık 50 km uzunluğunda ve 5 km genişliğinde birbirine paralel fay segmentlerinden oluşan bir makaslama zonu oluşturmaktadır. Bu faylar sol yönlü doğrultu atımlı fay karakterindedir ve doğu ile batı segmenti olarak iki segment tanımlanmıştır. Her iki segment boyunca yapılan arazi ve hendek çalışmasında segmentlerin bölgenin deformasyonunda aktif olarak rol aldığı görülmektedir. Ayrıca bölgede yapılan arazi çalışmalarında ve İHA yardımı ile oluşturulan fotomozaiklere bağlı olarak aktif faylanmayı gösteren morfolojik yapılar (ötelenen dere, kapanan sırt vb.) tespit edilmiştir. Segmentlerin doğrultusu boyunca genç faylanmayı işaret eden belirgin jeolojik ve jeomorfolojik yapılar gözlenmiştir. Fay zonunun karakteristik özellikleri ilk kez doğrudan arazi gözlemleri ile kayıt altına alınmıştır.

Bölgesel stratigrafiye göre çalışma alanı içerisinde farklı yaş ve litolojiden oluşan kayaç grupları yüzlek vermektedir. Bunlar, temel kaya olarak Alt Miyosen Adilcevaz kireçtaşları ve Üst Miyosen Solhan Volkanitlerine ait birimler yer alır. Çalışma alanı içerisinde birikinti yelpazeleri ve güncel alüvyonal birimleri bölgede Kuvaterner birimlerini oluşturmaktadır. Bu birimler oldukça sınırlı yayılıma sahiptir ve yamaç döküntüleri ile inceleme alanını KD-GB yönlü olarak akaçlayan Bütan ve Baluca dereleri boyunca kısıtlı alanlarda depolanmıştır.

SUFZ'nin doğu ve batı segmentleri, yamaç hareketleri ile heyelan süreçleri ile depolanan örtü birimlerini belirgin olarak kesmekte ve normal bileşenle 10-30 cm arasında ötelemektedir. Çalışma alanı içerisinde sedimantasyon hızı yüksek olmasından dolayı bazı alanlarda segmentlerin izleri net olarak tespit edilememiştir. Ancak özellikle doğu segmentinde yapılan İHA görüntülemelerinde net gözlenebilen ötelenmeler tespit edilmiştir. Ancak bu ötelenmiş birimlerin depolanma zamanlarının radyometrik tarihlendirilmesi yapılmamıştır.

SUFZ boyunca yayınlanmış morfokronoloji tabanlı bir kayma hızı çalışması bulunmamaktadır. Ancak, SUFZ'nu kuzeyden sınırlayan KAF boyunca Zabcı ve diğ. (2015) 13 mm/yr ve Hubert-Ferrari ve diğ. (2002) 18 mm/yr bir kayma hızı hesaplamışlardır. Bununla birlikte, GPS tabanlı blok modeli çalışmaları, KAF'ın merkezden doğu kesimleri boyunca yaklaşık 25 mm/yr sabit bir hız önermektedir (Reilinger ve diğ. 2006), oysa GPS ölçümlerinden alınan hız profilleri doğuya doğru azalmayı göstermektedir (Tatar ve diğ. 2012). Aktug ve diğ. (2013), Erzincan'ın batısında $12,1 \pm 0,3$ mm/yıl ve doğusunda $11,8 \pm 0,3$ mm/yıl gibi daha yavaş blok modeli hızları sağlayarak bu azalan gradyan modelini desteklemektedir. SUFZ Doğru segmenti boyunca bazı

alanlarda dere ötelenmeleri ölçülmüştür. Bu ötelenmeler 7 m ile 1.1 km arasında değişmektedir (Şekil 8a,b). Doğu segmenti boyunca ölçülen maksimum ötelenme, Çevreli köyü civarında yer alan Kato deresindeki 1.1 km sol yönlü ötelenmedir (Şekil 8a). SUFZ'nin doğu ve batı segmentlerinin ötedeki morfolojik yapılar değerlendirildiğinde, bu fayın kayma hızının nispeten daha düşük olabileceği düşünülmektedir.

SUFZ'nin inceleme alanı içerisinde yer alan iki segmenti üzerinde yürütülen arazi çalışmaları ile birlikte bir adet paleosismolojik hendek çalışmasında doğu segmentinde yürütülmüştür. Doğu segmenti üzerinde yer alan Çevreli hendeğinde iki adet eski depremin izlerine rastlanılmıştır. Bu depremlerin Holosen içerisinde gerçekleştiği hendek için stratigrafik ilişkilerden ortaya konulmuştur. Ayrıca açılan Çevreli Hendeğinde, hendek içi stratigrafik ilişkilere göre gözlenen tüm faylar Holosen içerisinde gerçekleşmiş depremlerle ilişkili olarak değerlendirilmiştir. Bununla birlikte, gözlenen verilere bakıldığında bu alanda gerçekleşen aktivitelerin son 10 bin yılda gerçekleştiği düşünülmektedir.

Çalışma alanı olan SUFZ'nin kuzey-kuzeydoğu kesimi hem bölgesel açıdan hem de Türkiye açısından deprem riski yüksek olan bir bölge içerisinde yer almaktadır. Çalışma alanının içinde bulunduğu ve KAF-DAF ile Nazımiye-Ovacık Fayları tarafından sınırlanan tektonik blok tarihsel dönemden günümüze kadar önemli bir sismik hareketliliğe kaynaklık ettiği (Ergin ve diğ. 1967, Sosyal ve diğ. 1981, Ambraseys 1988; Guidoboni ve diğ. 1994, Ambraseys and Finkel 1995, Tan ve diğ. 2008), aletsel ve tarihsel dönem deprem kataloglarında ve bazı tarihsel kayıtlarda, bölgedeki şehirlerin büyük depremlerden etkilendikleri ve büyük yıkımların var olduğuna dair bilgiler bulunmaktadır.

İnceleme alanı Dünya'nın en aktif kıtasal doğrultu atımlı faylarından birisi olan KAF'ın doğu kesiminde önemli deprem tehlikesi arz eden ve sismik boşluk olarak tanımlanan (Barka ve Kadinsky-Cade 1988) Yedisu Segmenti'ne 25 km uzaklıktadır. Deprem tekrarlanma aralığı 236 ± 30 yıl (Zabcı ve diğ. 2017) olarak tanımlanan bu fay üzerinde gerçekleşebilecek $M=7.1-7.2$ büyüklüğündeki bir depremin inceleme alanında da önemli yıkıma yol açabileceği, hatta SUFZ segmentlerinde de ikincil deformasyona neden olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Elde edilen veriler ışığında inceleme alanında gerek SUFZ doğu ve batı segmentleri, gerekse de çalışma alanına yakın ve gelecekte orta-büyük ölçekte deprem üretme potansiyeli yüksek olan Yedisu Segmentinin varlığı dikkate alındığında inceleme alanının yüksek deprem tehlikesine sahip olduğu ortaya çıkmaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, arazi çalışmalarına desteklerini esirgemeyen Bingöl Valiliği İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü'ne ve Adaklı Kaymakamlığı ile Belediyesi'ne teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

AFAD. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı, <https://deprem.afad.gov.tr/depremkatalogu>

Akyüz H.S., Altunel E., Zabcı C., Sançar T., Çakır Z., Yalçiner Ç., Gutsuz P., 2009. Kuzey Anadolu Fay Zonu Üzerindeki Yedisu Sismik Boşluğu ve Karlıova Fayı (Bingöl) Üzerinde Paleosismolojik ve Morfotektonik Araştırmalar, TÜBİTAK Proje No 106Y174, 114 s.

Aktug B., Dikmen U., Dogru A., Ozener H., 2013. Seismicity and strain accumulation around Karlıova triple junction (Turkey), *J. Geodyn.* 67 21-29.

Aktug B., Ozener H., Dogru A., Sabuncu A., Turgut B., Halicioğlu K., Havazlı E., 2016. Slip rates and seismic potential on the East Anatolian Fault System using an improved GPS velocity field, *J. Geodyn.* 94, 1-12.

- Ambraseys N.N., 1970. Some characteristic features of the North Anatolian Fault Zone. *Tectonophysics* 9, 143-65.
- Ambraseys N.N., 1988. Engineering Seismology, *Journal Earthq. Eng. Struct. Dyn.* 17, 105.
- Ambraseys N.N., Finkel C., 1995. The Seismicity of Turkey and adjacent areas. A Historical Review: 1500-1800, Eren Yayıncılık, İstanbul, 240 pp.
- Arpat E., Şaroğlu, F., 1972. Doğu Anadolu Fayı ile ilgili bazı gözlem ve düşünceler. *MTA Dergisi* 78, 44-50.
- Barka A., 1992. The North Anatolian Fault zone. *Ann. Tectonics* 6, 164-95.
- Barka A., 1996. Slip distribution along the North Anatolian Fault associated with the large earthquakes of the period 1939 to 1967. *Bull. Seism. Soc. Amer.* 86, 1238-54.
- Barka, A.A., Kadinsky-Cade, K., 1988. Strike-Slip Fault Geometry in Turkey and Its Influence on Earthquake Activity, *Tectonics* 7, 663-684.
- Dikbaş A., 2009. Kuzey Anadolu Fay Zonunun İzmit-Gölyaka (Düzce) arasındaki segmentlerinin paleosismolojisi ve morfolojik özellikleri, doktora tezi, İTÜ Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, 287 sf.
- Duman T.Y., Emre Ö., Özalp S., Elmacı H., Olgun Ş., 2012. 1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, Elazığ (NJ37-7) Paftası, Seri No:45: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara-Türkiye.
- Egeran N., Lahn E., 1944. Note sur la carte sismique de la Turquie au 1:2.400.000, *Maden Tetk. Arama Enst. Mecmuası* 9, 2/32, 279-89.
- EMSC, Avrupa-Akdeniz Sismoloji Merkezi, 1998-2020 deprem katalog verileri. <https://www.emsc-csem.org>
- Emre Ö., Duman T.Y., Kondo H., Olgun Ş., Özalp S., Elmacı H., 2012a. 1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, Erzincan (NJ37-3) Paftası, Seri No:44, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara-Türkiye.
- Emre Ö., Duman T.Y., Olgun Ş., Özalp S., Elmacı H., 2012b. 1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, Erzurum (NJ37-4) Paftası, Seri No:48, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara-Türkiye.
- Emre O., Toda S., Duman T.Y., Sugai T., Dogan A., Awata Y., Okuno M., Tsutsumi H., Ozalp S., Tokay F., 2003. Recurrence of the large earthquakes on the 1999 İzmit and Düzce surface ruptures, North Anatolian Fault, Turkey, *Geophys. Res. Abstr.* 5, 04635.
- Ercan T., Fujitani T., Matsuda J.I., Notsu K., Tokel S., Tadahide U.I., 1991. Doğu ve Güneydoğu Anadolu Neojen-Kuvaterner Volkanitlerine İlişkin Yeni Jeokimyasal, Radyometrik ve İzotopik Verilerin Yorumu, *MTA Dergisi* 110, 143-164.
- Ergin K., Güçlü U., Uz Z., 1967. Türkiye ve civarının deprem kataloğu (Milattan Sonra 11 yılından 1964 sonuna kadar). İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fak., Yer Fiziği Ens., Teknik Rapor No: 24.

Guidoboni E., Comastri A., Triana G., 1994. Catalogue of Ancient Earthquakes in the Mediterranean Area up to the 10th Century, *Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia* 504, ISBN:88-85213-06-5.

Hubert-Ferrari A., Armijo R., King G., Meyer B., Barka A., 2002. Morphology, displacement, and slip rates along the North Anatolian Fault, Turkey, *J. Geophys. Res.* 107, ETG 9-1-ETG 9-33.

Ketin İ., 1948. Über die tektonisch-mechanischen Folgerungen aus den grossen anadoluischen Erdbeben des letzten Dezenniums, *Geol. Rund.* 36, 77-83.

Ketin İ., Rosli F., 1953. Makroseismische Untersuchungen über das nordwest anatolische Beben vom 18 März 1953, *Eclogae Geol. Helv.* 46, 187-208.

Okay A.I., Tuysuz O., 1999. Tethyan sutures of northern Turkey, *Geological Society, London Special Publications* 156 (1), 475-515.

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, K., ArRajehi, A., Paradissis, D., Al-Aydrus, A., Prilepin, M., Guseva, T., Evren, E., Dmitrova, 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, *J. Geophys. Res: Solid Earth* 111 (B05411), 1-26

Sançar T., 2006. Yedisu Fay Segmentinin Paleosismolojik ve Morfotektonik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Sancar T., Akyuz H.S., Schreurs G., Zabcı C. 2018 Mechanics of plio-quadernary faulting around the Karliova triple junction: implications for the deformation of Eastern part of the Anatolian, *ScholleGeodin. Acta* 30, 287-305.

Sancar T., Zabcı C., Akcar N., Karabacak V., Yesilyurt S., Yazıcı M., Vockenhuber C., 2020. Geodynamic importance of the strike-slip faults at the eastern part of the Anatolian Scholle: Inferences from the uplift and slip rate of the Malatya Fault (Malatya-Ovacık Fault Zone, eastern Turkey), *J. Asian Earth Sci* 188, 104091.

Sançar T., Zabcı C., Karabacak V., Yazıcı M., Akyuz H.S., 2019. Geometry and Paleoseismology of the Malatya Fault (Malatya-Ovacık Fault Zone), Eastern Turkey: Implications for intraplate deformation of the Anatolian, *ScholleJ. Seismolog.* 23, 319-340.

Sengör A.M.C., 1979. The North Anatolian transform fault; its age, offset and tectonic significance, *J. Geol. Soc. London* 136 (3), 269-282.

Şengör A.M.C., 1980. Türkiye Neotektoniğinin Esasları (Principles of the Neotectonism of Turkey), *Türkiye Jeoloji Kurumu Yayını*, 40.

Sengor A.M.C., Yılmaz Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics* 75, 181-241.

Sengor, A.M.C., Tuysuz O., Imren C., Sakıncı M., Eyidogan H., Gorur N., Le Pichon X., Rangin C., 2005. The North Anatolian Fault: A New Look, *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 33, 37-112.

Sengor A.C., Zabcı, C., Natal'in, B.A., 2019. Continental transform faults: congruence and incongruence with normal plate kinematics. In Transform plate boundaries and fracture zones *Elsevier*, 169-247.

Seymen İ., Aydın A., 1972. Bingöl deprem fayı ve bunun Kuzey Anadolu Fayı ile ilişkisi, *MTA Dergisi* 79, 1-8.

Soysal H., Sipahioğlu S., Kolçak D., Altınok Y., 1981. Türkiye ve Çevresinin Tarihsel Deprem Kataloğu, TÜBİTAK Proje No: TBAG 341, İstanbul.

Stein R.S., Barka A.A., Dieterich J.H., 1997. Progressive failure on the North Anatolian fault since 1939 by earthquake stress triggering, *Geophys. Journ. Int.* 128, 594-604.

Tan O., Tapirdamaz C., Yoruk A., 2008. The Earthquake Catalogues for Turkey, *Turkish Journal of Earth Sciences* 17, 405-418.

Tarhan N., 1997. 1/100000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Erzurum G 31 (J 45) ve G 32 (J 46) Paftaları, Maden Tetkik Arama Enstitüsü Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.

Tarhan N., Yusufoglu H., Bağirsakçı S., Papak İ., Karabalık N., 1991. Bingöl-Karlıova-Yedisu dolayının jeolojisi ve petrolojisi, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.

Tatar O., Poyraz F., Gursoy H., Cakir Z., Ergintav S., Akpınar Z., Polat A., 2012. Crustal deformation and kinematics of the Eastern Part of the North Anatolian Fault Zone (Turkey) from GPS measurements, *Tectonophysics* 518, 55-62.

Zabcı C., 2012. Kuzey Anadolu Fayı'nın Iğaz (Çankırı) - Karlıova (Bingöl) arasında kalan kesiminin morfoloji tabanlı son beşbin yıllık kayma hızı tarihçesi ve depremselliği, Doktora tezi, Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Zabcı C., Sancar T., Akyuz H.S., Kiyak N.G., 2015. Spatial slip behavior of large strike-slip fault belts: Implications for the Holocene slip rates of the eastern termination of the North Anatolian Fault, Turkey, *J. Geophys. Res.: Solid Earth* 120, 8591-8609.

Zabcı C., Akyuz H.S., Sancar T., 2017. Palaeoseismic history of the eastern part of the North Anatolian Fault (Erzincan, Turkey): Implications for the seismicity of the Yedisu seismic gap, *J. Seismol.* 21, 1407-1425.



Assessment of Earthquake Preparedness of Existing Buildings: Example of Bingöl Province

Omer Faruk Nemutlu¹, Bilal Balun² and Ali Sari³

¹ Bingol University, Department of Civil Engineering, 12000 Bingol, Turkey

² Bingol University, Department of Architecture, 12000 Bingol, Turkey

³ Istanbul Technical University, Department of Civil Engineering, 34469, Istanbul, Turkey

ORCID: 0000-0001-7841-3911, 0000-0003-0906-4484, 0000-0002-6888-1276

Keywords

Earthquake resistant building Design, Building inventory studies, Structural damage

Highlights

- * Obtaining the building stock information in the city center of Bingol province
- * Evaluation of earthquake conscious
- * Evaluation of possible damages caused by earthquakes

Acknowledgements

First author is financially supported with PhD Scholarship Program by The Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK 2211).

Aim

Aim of this study is assessment of existing building inventory in Bingöl province for earthquake preparedness.

Location

Bingol, Turkey.

Methods

Evaluation of survey data.

Results

Situations such as cantilevered floors, overhangs, presence of shops on the ground floors are negative situations in terms of the earthquake behaviour of the buildings. The building stock is young indicates that there are relatively more buildings ready for earthquake.

Supporting Institutions

--

Manuscript

Research Article

Received: 04.05.2021

Revised: 02.06.2021

Accepted: 14.06.2021

Printed: 30.06.2021

DOI

10.46464/tdad.932452

Corresponding Author

Omer Faruk Nemutlu

Email: ofnemutlu@bingol.edu.tr

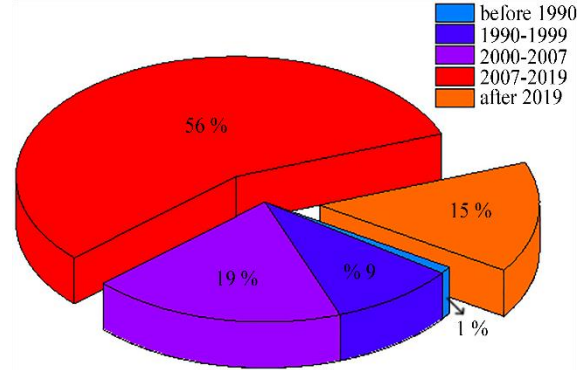


Figure
Distribution of construction years of evaluated structures

How to cite

Nemutlu Ö.F., Balun B., Sari A., 2021. Assessment of Earthquake Preparedness of Existing Buildings: Example of Bingöl Province, Turk. J. Earthq. Res. 3 (1), 92-109, <https://doi.org/10.46464/tdad.932452>



Mevcut Yapıların Depreme Hazırlık Değerlendirmesi: Bingöl İli Örneği

Ömer Faruk Nemutlu¹, Bilal Balun² ve Ali Sarı³

¹ Bingöl Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 12000 Bingöl, Türkiye

² Bingöl Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, 12000 Bingöl, Türkiye

³ İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34469, İstanbul, Türkiye
ORCID: 0000-0001-7841-3911, 0000-0003-0906-4484, 0000-0002-6888-1276

ÖZET

Depremlerin yoğun yaşandığı ülkemizde, depreme dayanıklı yapı tasarımı esasları dikkate alınması gereken en önemli faktörlerden biridir. Türkiye'nin büyük bir kısmının deprem tehlikesi açısından tehdit eden Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu faylarının kesişiminde bulunan Bingöl ili, depreme hazır olması gereken şehirlerin başında gelmektedir. Bu amaçla, 18 sorudan oluşan ve Bingöl ili şehir merkezinde ikamet eden 107 kişi ile mevcut yapıların depreme hazırlık değerlendirilmesini içeren bir anket çalışması gerçekleştirilmiştir. Deprem yönetmeliklerinde belirtilen esaslar ve önceki çalışmaların sonuçları çerçevesinde verilen cevaplar değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar gerekçeleriyle irdelenmiştir. Asma katlı yapılar, çıkmalı yapılar ve giriş katlarında gelir getirici ticari mekânların bulunduğu yapılar yapı stokunun önemli bir kısmını oluşturmakta ve bu yapılar daha zayıf deprem davranışı göstermektedir. Öte yandan yapı stokunun genç olması nispeten depreme hazır yapıların fazla olduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler

Depreme dayanıklı yapı tasarımı, Yapı envanter çalışmaları, Yapısal hasar

Öne Çıkanlar

- * Bingöl ili şehir merkezindeki yapı stoku bilgilerinin çıkarılması
- * Deprem bilincinin değerlendirilmesi
- * Depremin kaynaklı olası hasarların değerlendirilmesi

Makale

Araştırma Makalesi

Geliş: 04.05.2021

Düzeltilme: 02.06.2021

Kabul: 14.06.2021

Basım: 30.06.2021

DOI

10.46464/tdad.932452

Sorumlu yazar

Ömer Faruk Nemutlu

Eposta:

ofnemutlu@bingol.edu.tr

Assessment of Earthquake Preparedness of Existing Buildings: Example of Bingöl Province

Omer Faruk Nemutlu¹, Bilal Balun² and Ali Sari³

¹ Bingol University, Department of Civil Engineering, 12000 Bingol, Turkey

² Bingol University, Department of Architecture, 12000 Bingol, Turkey

³ Istanbul Technical University, Department of Civil Engineering, 34469, Istanbul, Turkey

ORCID: 0000-0001-7841-3911, 0000-0003-0906-4484, 0000-0002-6888-1276

ABSTRACT

In Turkey, where earthquakes are experienced intensely, the principles of earthquake resistant building design are one of the most important factors to be considered. Located at the intersection of the North Anatolian and Eastern Anatolian faults, which threaten a large part of Turkey in terms of earthquake hazard, Bingol province is one of the cities that should be ready for an earthquake. For this purpose, a survey consisting of 18 questions was conducted with 107 people residing in the city center of Bingol, which includes the earthquake preparedness assessment of existing buildings. The answers given based on the principles stated in the earthquake codes and the results of previous studies were evaluated. The results obtained were examined with their justifications. Situations such as cantilevered floors, overhangs, presence of shops on the ground floors are negative situations in terms of the earthquake behaviour of the buildings. On the other hand, the fact that the building stock is young indicates that there are relatively more buildings ready for earthquake.

Keywords

Earthquake resistant building Design, Building inventory studies, Structural damage

Highlights

- * Obtaining the building stock information in the city center of Bingol province
- * Evaluation of earthquake conscious
- * Evaluation of possible damages caused by earthquakes

Manuscript

Research Article

Received: 04.05.2021

Revised: 02.06.2021

Accepted: 14.06.2021

Printed: 30.06.2021

DOI

10.46464/tdad.932452

Corresponding Author

Omer Faruk Nemutlu

Email:

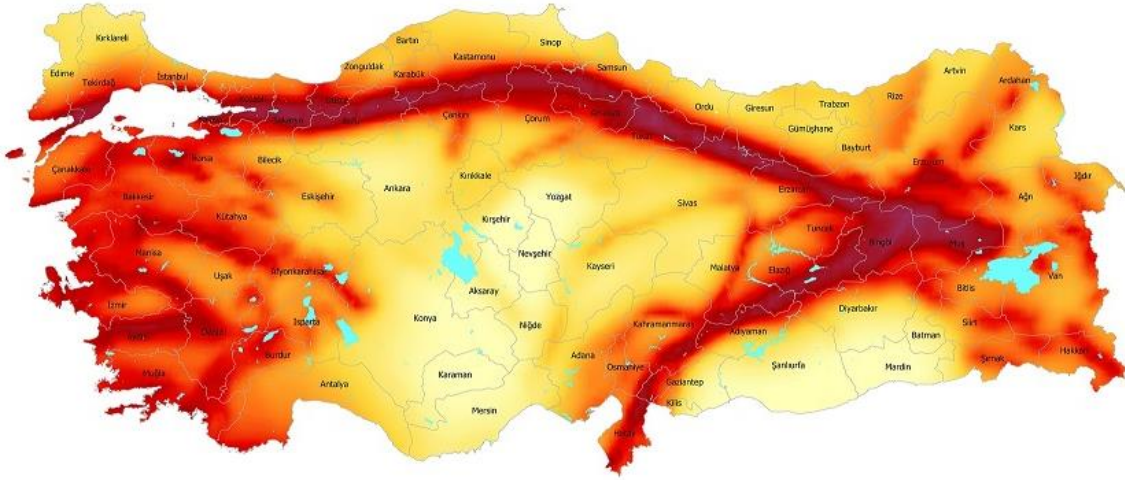
ofnemutlu@bingol.edu.tr

1. GİRİŞ

Depremlerin yıkıcı etkileri, ülkemizde geçmişten günümüze kadar önemli can ve mal kayıplarına neden olmuştur. Ülkemiz sınırları içerisinde doğuda Bingöl içerisinde başlayarak batıya kadar uzanan Kuzey Anadolu Fay Sistemi (KAFS) ve Hatay'dan başlayarak Bingöl'e kadar devam eden Doğu Anadolu Fay Sistemi (DAFS), yüksek sismik aktivitesi ve ürettiği depremler göz önüne alındığında Türkiye'nin çok büyük bir kısmını olası depremler ile tehdit etmektedir.

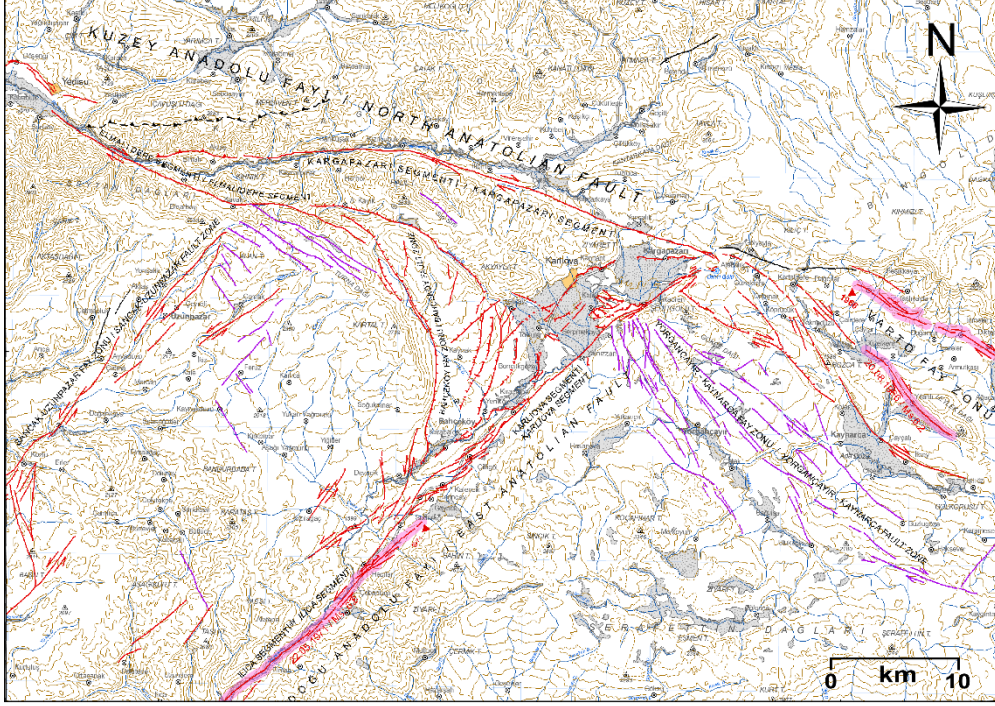
1200 km uzunluğunda ve sağ yönlü doğrultu atımlı bir fay olan KAFS'nin sismik olarak son derece diri olduğu bilinmektedir. Yapılan jeolojik çalışmalar ile fayın ortalama kayma hızının yıllık 0.5-0.8 cm civarlarında olduğu tespit edilmiştir ve Arap levhası ile kuzeyde Avrasya levhasının arasında kalması nedeniyle batıya doğru açılma şeklinde hızlı bir hareket gösterdiği bilinmektedir (Demirtaş 2000). Bingöl'ün Karlıova ilçesinden başlayan DAFS Antakya'ya kadar değişik özellikte olan ve birbirlerini tamamlayan birçok sol yanal doğrultu atımlı faydan oluşmaktadır. Afet ve Acil Durum Başkanlığı'nın (AFAD) 2018 yılında yayınladığı Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ile yayınlanan Türkiye Deprem Tehlike Haritasında, KAF ve DAF sistemlerinin yüksek depremselliğe sahip olduğu gözlenmektedir. Ayrıca bu fay sistemlerinin Türkiye Haritası üzerindeki konumu da görülmektedir (AFAD 2018, TBDY 2018). Türkiye Deprem Tehlike Haritası Şekil 1'de verilmiştir.

TÜRKİYE DEPREM TEHLİKE HARİTASI



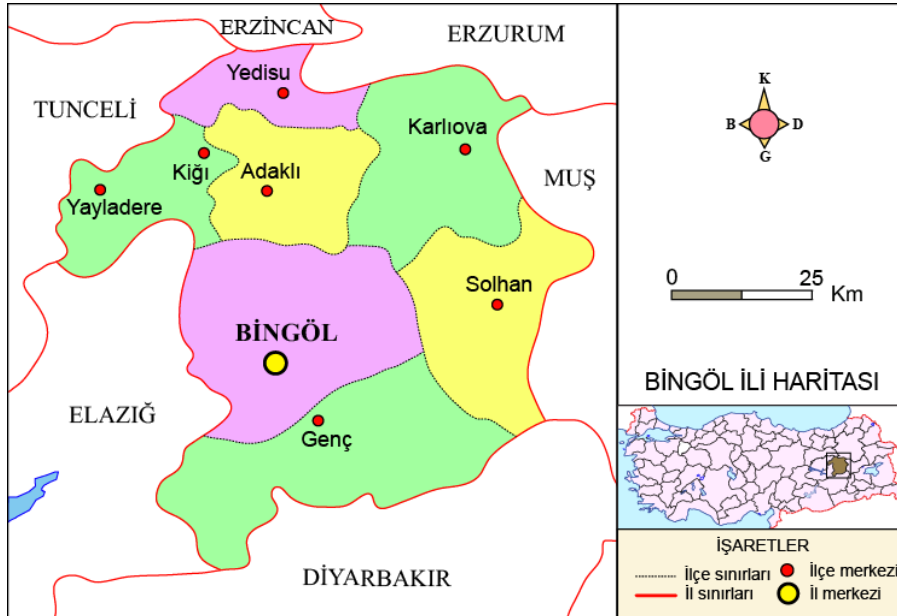
Şekil 1: Türkiye Deprem Tehlike Haritası (AFAD 2018)

Şekil 1'de verilen harita incelendiğinde Bingöl ilinin iki önemli fay sisteminin kesişimi arasında kaldığı görülmektedir. Ayrıca bu fay sistemlerinin haricinde Bingöl ili sınırları içerisinde kalan irili ufaklı birçok fay zonu da bulunmaktadır (Dirik ve diğ. 2003). Bingöl ilinin sınırları içerisinde yer alan ve bölgeyi etkileyen fay zonlarının gösterimi Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2: Bölgeyi etkileyen fay zonları (Emre ve diğ. 2012)

Bu yüksek deprem tehlikesi, Bingöl'ü gelecekte olması muhtemel deprem açısından tehdit etmektedir. Bingöl ili şehir merkezi ve ilçelerini gösteren harita Şekil 3'te verilmiştir. Merkez ilçe ve 7 adet ilçesi bulunan Bingöl ilinde TÜİK verilerine göre 11 belediye, bu belediyelere bağlı 68 mahalle ve 320 köy bulunmaktadır (TÜİK 2021).



Şekil 3: Bingöl il haritası

Bingöl ili ve çevresindeki yakın zamanda meydana gelen depremler bu tehlikenin boyutlarını göstermektedir. 27 Aralık 1939 tarihinde KAF üzerinde meydana gelen Erzincan depreminden

başlayarak bölgede çok sayıda yıkıcı deprem meydana gelmiştir. Bu depremler çok sayıda can ve mal kaybına neden olmuş ve bu bölgede yaşayan vatandaşların sosyal ve ekonomik açıdan olumsuz etkilenmesine sebebiyet vermiştir. Bölgede meydana gelen önemli depremler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1: Bölgede meydana gelen önemli depremler

Tarih	Merkezüssü	Büyükük
27.12.1939	Erzincan	7.9
17.08.1949	Elmalidere	6.9
19.08.1966	Varto	6.8
13.03.1992	Erzincan	6.8
22.05.1971	Bingöl	6.8
07.07.1957	Kiğı	5.1
24.04.1968	Çan-Kiğı	5.1
05.12.1995	Kiğı	5.7
03.02.2003	Pülümür	6.1
01.05.2003	Bingöl	6.4
08.03.2010	Karakoçan-Elazığ	6.0
24.05.2020	Sivrice-Elazığ	6.8

1939 yılında meydana gelen depremde 33000 kişi hayatını kaybetmiş ve yaklaşık 260 km’lik bir yüzey faylanması meydana gelmiş, Türkiye sınırları içerisinde kalan alanın yirmide biri bu depremden etkilenmiştir (Demirtaş 2000). Yakın tarihte Bingöl ili şehir merkezini etkileyen en önemli depremler 1971 ve 2003 yıllarında meydana gelen depremlerdir. 22 Mayıs 1971 yılında meydana gelen 6.7 büyüklüğündeki depremde 878 kişi hayatını kaybetmiş, 700 kişi yaralanmıştır. Şehir merkezindeki birçok yapıda ağır hasar meydana gelmiştir. 1 Mayıs 2003 tarihinde meydana gelen Bingöl depreminde ise resmi verilere göre 177 vatandaşımız hayatını kaybetmiş, 520 kişi yaralanmış ve çok sayıda bina hasar görmüştür (Temizer 2013, KRDAE 2019). Yine yakın zamanda meydana gelen Sivrice merkezli depremde Malatya ve Elazığ illerinde önemli yapısal hasarlar meydana gelmiş, 41 vatandaşımız hayatını kaybetmiş, 1607 vatandaşımız yaralanmıştır (AFAD 2020).

Türkiye’de meydana gelen depremler sonrasında araştırmacıların yapmış olduğu çalışmalarda genel olarak betonarme yapı hasarları incelenmiş, yönetmelik şartlarına göre inşası gerçekleştirilmeyen binaların hasar gören binaların büyük çoğunluğunu oluşturduğu tespit edilmiştir (Dogangun 2004, Sezen ve diğ. 2003, Sayin ve diğ. 2014, Nemutlu ve diğ. 2021).

Dogangun (2004) tarafından 2003 Bingöl depremi için yapılan çalışmada depremin büyüklük değerine oranla daha büyük ivme değerleri ürettiği belirtilmektedir. Yönetmelikte verilen yumuşak-zayıf kat durumları, güçlü kiriş-zayıf kolon, düşük beton kalitesi ve ağır çıkmalar gibi birçok açıdan meydana gelen hasarlar incelenmiştir. Ağır hasar gören ve yıkılan binaların %17 mertebesinde olduğu, mevcut yapı stokunun %55, evlerin %56’sının ve işyerlerinin %65’inin hasar gördüğü tespit edilmiştir. Ayrıca çalışmada Bingöl ili şehir merkezinde bulunan Çeltiksuyu Yatılı İlköğretim Bölge okulundan bahsedilmektedir. Bu okulda deprem nedeniyle meydana gelen hasarlar neticesinde okul binası tamamen göçmüş ve toplam can kaybının yarısına yakını bu okul binasında meydana gelmiştir.

Bal ve diğ. (2008) tarafından geliştirilen P25 olasılıksal göçme değerlendirme yöntemi 1’inci Kademe yöntemlerin devamı olarak nitelendirilen 2’nci Kademe yöntemlerin en yaygın olarak kullanılanlarından biridir. Önerilen P25 Puanlama Yöntemi, öncelikle verilen maddelere dayanan bir ön değerlendirme yaklaşımıdır: Yapı elemanlarının ve dolgu duvarların alan ve atalet temelli oranlarının hesaplanması ve ayrıca bir binanın sismik davranışını etkileyen en

önemli yapısal parametrelerin gözlenmesi ve listelenmesi. Yöntem, Türkiye'nin farklı deprem bölgelerinden farklı geçmiş depremlere maruz kalmış ve çeşitli seviyelerde hasar görmüş 323 betonarme bina ile kalibre edilmiştir. Hasar durumları ve ayrıca performans seviyeleri analiz edilen vaka çalışması binalarının önerilen birincil değerlendirme tekniğiyle uyumlu olduğu görülmüştür.

Işık (2013) tarafından yapılan çalışmada sismik açıdan önemli bölgelerden biri olan Van Gölü havzasında yer alan Bitlis ili için 1'inci Kademe yöntemlerden olan sokak taraması yöntemi uygulanmıştır. Bitlis ili merkezindeki her mahalleden alınan örnekler ile il merkezindeki karma ve yığma binaları içeren yapı stoku hızlı bir şekilde değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmede dikkate alınan 296 adet binanın %16'sı birinci öncelikli, %44'ü ikinci öncelikli, %40'ı ise üçüncü öncelikli incelenen bina olarak gruplandırılmıştır.

Işık ve Özlük (2013) tarafından yapılan çalışmada ise Bitlis ili Tatvan ilçesinin Cumhuriyet Caddesi'ndeki yapı stoku incelenmiş, yapı stokunun büyük bir kısmının orta derecede riskli gruba girdiği belirtilmiş, yüksek risk grubuna giren binaya rastlanmadığı rapor edilmiştir. Bu çalışmanın bölgede yapılacak çalışmalara kaynak oluşturması beklenmektedir (Isik ve Ozluk 2013).

Baran ve diğ. (2017) yapmış oldukları çalışmada, afete dirençli kentler kavramı kapsamında İzmir'de yapı stoku çalışmaları ve deprem riski değerlendirmesi çalışmaları gerçekleştirmişlerdir. Pilot olarak seçilen Seferihisar ve Balçova ilçelerinde gerçekleştirilen saha çalışmalarında, 10550 bina incelenmiş ve deprem riski açısından değerlendirilmiştir. Çoklu karar ağacı yaklaşımı ile 5 kademeli bir değerlendirme gerçekleştirilerek bölgeye ait risk haritaları elde edilmiştir.

Balun ve diğ. (2020) Bingöl şehir merkezinin depremselliğinin incelenmesi üzerine çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, Bingöl ili sınırlarını kapsayacak şekilde olasılıksal sismik tehlike analizleri (OSTA) yapılmıştır. 1900 yılından itibaren meydana gelen depremler için bölgenin depremselliği; büyüklüğü 4'ten büyük deprem kayıtları ve Gutenberg Richter korelasyonu dikkate alınarak istatistiksel olarak elde edilmiştir. Çalışmada belirli zaman periyotları (10, 20, 30, 40, 50, 75 ve 100 yıl) için büyüklük frekans ilişkisi, sismik tehlike ve tekrar periyotları elde edilmiştir. Bu çalışmada çeşitli azalım ilişkilerine göre en yüksek yer ivmesini etkileyebilecek bir proje alanı belirlendikten sonra Türkiye Deprem Tehlike Haritası kullanılarak Bingöl ili için ortalama ivme değeri hesaplanmıştır. Olasılıksal sismik tehlike analizi sonucunda 50 yılı aşan olasılıklı depremler, proje depreminin büyüklüğünün 7.4 olduğunu ve ilin depremsellik açısından riskli bir bölgede bulunduğunu göstermektedir. 6.0, 6.5, 7.0 ve 7.5 büyüklüğündeki depremlerin tekrar süreleri sırasıyla 42, 105, 266 ve 670 yıldır. Bingöl ili içerisinde; meydana gelebilecek en büyük depremin 50 yılda aşma olasılığı %2, %10 ve %50 iken en yüksek yer ivme değerleri 1.03 g, 0.58 g ve 0.24 g'dir. Sonuç olarak olasılıksal sismik tehlike analizi, bölgenin depremselliğinin yüksek olduğunu göstermektedir.

Sayın ve diğ. (2021), 2020 yılında meydana gelen Elazığ-Sivrice depremini hem geoteknik hem de yapısal performans açısından değerlendirmiştir. Söz konusu çalışmada bölgenin geçmiş ve günümüzdeki sismik özellikleri belirlendikten sonra yapısal hasarlar saha gözlemlerine göre sınıflandırılmıştır.

Nemutlu ve diğ. (2021) tarafından yapılan çalışmada 2020 yılının Ocak ayında Elazığ'da meydana gelen 6.8 büyüklüğündeki deprem nedeniyle yapılarda meydana gelen hasarlar değerlendirilmiştir. Çalışmada, depremin üretmiş olduğu düşük ivme değerlerine karşılık meydana gelen ileri derece yapısal hasarların nedenleri yönetmelik şartları dikkate alınarak incelenmiştir. Deprem sonrasında sahada incelenen yapısal hasarların büyük kısmının güncel veya eski deprem yönetmelik kriterlerinin yerine getirilmemesinden kaynaklandığı görülmüştür. Betonarme ve yığma yapılarda yapılan incelemelerde, kısa kolon oluşumu, güçlü kiriş zayıf

kolon durumu, ağır çökmeler ve kötü malzeme kalitesinin, oluşan hasarların önemli nedenleri olduğuna yer verilmiştir.

Bu çalışma, ülkemizde meydana gelmiş önceki depremlerdeki hasarlar göz önüne alınarak, gelecekte olması beklenen depremlere karşı alınacak önlemlerin belirlenmesi için Bingöl ili şehir merkezindeki yapıların mevcut durumunu değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Geçmişten günümüze kadar bölgede meydana gelen yıkıcı depremler, Bingöl ilindeki mevcut yapı stokunun değerlendirilmesinin ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Bu doğrultuda Bingöl ili şehir merkezinde ikamet eden vatandaşlar ile bir anket çalışması yapılmıştır. Yapılan anketlerde sorulan sorular ile yapıların mevcut durumu ile ilgili veri altyapısı oluşturulması amaçlanmıştır. Bingöl'de ikamet eden vatandaşlarımızın herhangi bir teknik bilgiye sahip olmasına gerek kalmadan cevaplayabileceği şekilde hazırlanan sorulara verdiği cevaplar neticesinde, Bingöl ili şehir merkezindeki yapılar hakkında bilgiler toplanmıştır. Bu bilgiler, istatistiksel olarak çalışmanın ilerleyen bölümlerinde verilmiş olup, elde edilen sonuçların inşaat mühendisliği ve depreme dayanıklı yapı tasarımı açısından ne anlama geldiği, yapıların mevcut deprem performansının belirlenmesi için 2018 Türkiye Bina Deprem yönetmeliğinde belirtilen sınırlamalar çerçevesinde irdelenmiştir.

2. YÖNTEM

Çalışmada, Bingöl ili şehir merkezinde ikamet eden vatandaşlara, ikamet ettiği yapılar ile ilgili sorular yöneltilmiştir. Toplam 18 sorudan oluşan ankete verilen cevaplar çalışmada değerlendirilecektir. Oluşturulan anketteki sorular insanların teknik bir bilgiye sahip olmadan cevaplayabileceği şekilde oluşturulmuştur. Anket çalışması 107 farklı kişi ile yapılmış olup, anketi cevaplayanların verilerin doğruluğu açısından aynı konutta ve aynı binada ikamet eden kişilerden seçilmemesine özen gösterilmiştir. Anket, kâğıda basılı ve dijital ortamda hazırlanarak uygulama açısından kolaylık gösteren bir hale getirilmiştir. Anket sorularında istenen adres, kişisel bilgiler, iletişim bilgileri gibi bilgiler kişisel verilerin korunmasına özen gösterecek şekilde saklanmıştır.

Makaledeki anket çalışmasında anketin uygulandığı kişiler kontrollü bir gruptur. Seçilen kişiler, Bingöl şehir merkezinde bulunan mahallelerde dağılımın yoğunluğu da göz önüne alınarak seçilmiştir. Anket çalışmasındaki sorular yöneltilirken soruların ne anlama geldiği nasıl cevaplanması gerektiği detaylı olarak açıklanmıştır. Bu nedenle alanda uzman kişiler olmasa bile seçilmiş kişilerin olmasına ve bu kontrollü grubun daha sonra ulaşılarak çeşitli eğitimlerin verilebileceği kişilerden oluşmasına özen gösterilmiştir.

Anket soruları, literatürde mevcut olan yapıların deprem sonrası hasar tespiti yöntemleri dikkate alınarak hazırlanmıştır. Yapıların hasar tespiti için literatürde 3 farklı yapı tarama yöntemi mevcuttur. Bunlar 1'inci Kademe, 2'nci Kademe ve 3'üncü Kademe yöntemleri olarak değerlendirilmektedir. 1'inci Kademe yöntemleri genel olarak yapıların dışardan herhangi bir fiziksel işleme gerek kalmadan uygulanabilen sokak taraması yöntemleridir. Bu yöntemlere örnek olarak FEMA (2015) ve 8 parametrelilik sokak taraması (Sucuoglu ve Yazgan 2003) yöntemleri örnek verilebilir. 2'nci Kademe yöntemleri ise 1'inci Kademe değerlendirme yöntemleri uygulandıktan sonra öncelik sırasında bulunan yapılara uygulanan, 1'inci Kademe yöntemlere kıyasla daha detaylı yöntemlerdir. Bu yöntemlere ise P25 Hızlı tarama yöntemi (Bal ve diğ. 2007), 1992 Erzincan depreminde hasar gören yapıların verilerinden yola çıkılarak oluşturulan Öncelik İndeksi yöntemi (Hassan ve Sozen 1997) ve Gelişmiş Diskriminant Analizi yöntemi (Yucemen ve diğ. 2004, Yakut ve diğ. 2006) örnek verilebilir. 2'nci Kademe yöntemlerinden birinin uygulanması sonucunda öncelikli analizi yapılması gereken binalara, detaylı bilgilerin yer aldığı son değerlendirme yöntemleri yani 3'üncü Kademe yöntemleri uygulanabilir. Bu yöntemler genel olarak deprem yönetmeliklerindeki sınırlamalara göre uygulanan mevcut yapıların performans analizi esaslarını içeren yöntemlerdir (Ozcelik ve diğ. 2013). Bu kademeli tarama yöntemleri ile mevcut bina stokunun envanteri detaylı olarak hazırlanabilmektedir.

Bu çalışma kapsamında hazırlanan anket soruları genel olarak Sucuoğlu ve Yazgan (2003) tarafından geliştirilen 8 parametrelilik sokak taraması yöntemindeki değerlendirme kriterleri dikkate alınarak hazırlanmış sorulardır. Bu yöntemde mevcut bir yapıda göz önüne alınan; bina serbest kat adedi, yumuşak kat, ağır kapalı çıkımlar, görünür bina kalitesi, kısa kolon etkisi, çarpışma etkisi, tepe/yamaç etkisi, topoğrafik etki ve zemin özelliklerinin yapının deprem performansının belirlenmesinde önemli etkiler olduğuna değinilmiştir. Anket çalışmasında da bu parametreler göz önüne alınarak sorular hazırlanmıştır.

Ayrıca bu değerlendirmelerin haricinde, Bingöl ili şehir merkezinde ikamet eden insanların deprem bilincinin değerlendirilmesi amacıyla hazırlanan sorular da anket çalışmasında mevcuttur. Çalışmanın 3. Bölümünde verilerin elde edilmesi ile ilgili kısımda sorular detaylı olarak açıklanmıştır.

3. VERİ

Çalışmada kullanılan veriler, Bingöl ili şehir merkezinde ikamet eden 107 kişiyle yüz yüze veya internet ortamında yapılan anket sonuçlarına dayanmaktadır. Toplamda 18 sorudan oluşturulan anketin soruları sırasıyla aşağıda verilmiştir:

- Soru 1: Hangi mahallede ikamet ediyorsunuz?
- Soru 2: Oturmakta olduğunuz ev hangi yapı türüne girmektedir?
- Soru 3: Oturmakta olduğunuz yapının kat sayısı nedir? (Bodrum hariç kat sayısı)
- Soru 4: Yapınızın giriş katında çıkma/asma kat var mı?
- Soru 5: Yapınızın giriş katlarında dükkân var mı?
- Soru 6: Yapınız çıkmalı yapı mı?
- Soru 7: Yapınızın oturduğu zemin hakkında bilginiz var mı?
- Soru 8: Yapınızın dıştan görünür kalitesi hakkında yorumunuz nedir?
- Soru 9: Yapınızın yapı nizamı nedir?
- Soru 10: Bitişik bina durumunda, yapınız ile yanındaki binaların yükseklik seviyeleri nasıldır? (Bu soru sadece soru 9'da bitişik bina durumunu işaretleyenler tarafından cevaplandırılmıştır.)
- Soru 11: Yapınızın topoğrafik konumu nasıldır?
- Soru 12: Yapınızda gözlemlediğiniz herhangi bir hasar var mı?
- Soru 13: Yapınızın depreme hazır olduğunu düşünüyor musunuz?
- Soru 14: Deprem sigortanız var mı?
- Soru 15: Depreme karşı kişisel bir hazırlığınız var mı?
- Soru 16: İkametinizde toplam kaç kişi yaşıyorsunuz?
- Soru 17: Yapınızın yapım yılı hangi yıllar arasındadır?
- Soru 18: İkamet ettiğiniz yapıda, güçlendirme çalışması yapıldı mı?

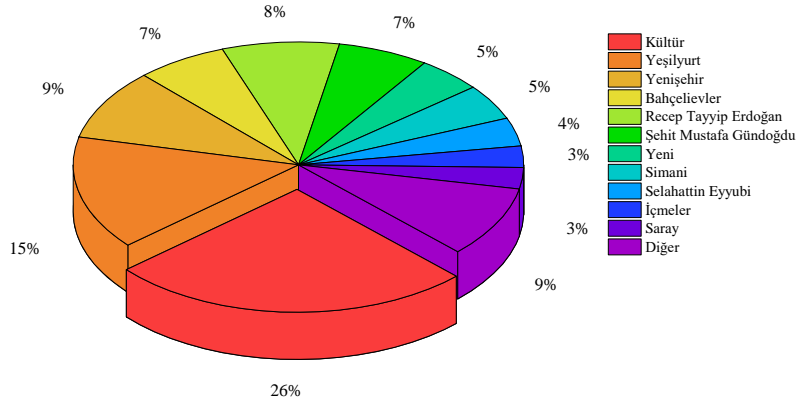
Çalışmada verilerin doğru sonuçlar vermesi amacıyla anketteki soruların büyük kısmında açık uçlu sorulara da yer verilmiştir. Ankette hangi mahallede ikamet ediyorsunuz sorusuna, Bingöl şehir merkezindeki tüm mahalleler dâhil edilmiştir. Bingöl şehir merkezinde Türkiye İstatistik Kurumundan alınan bilgilere göre 29 mahalle vardır ve nüfusun büyük bir kısmı 15 mahallede yoğunlaşmaktadır (TÜİK 2021).

Anket 4 farklı bölümden oluşmaktadır. İlk olarak bilgilendirme kısmı, daha sonra 2'nci Bölümde iletişim bilgileri, 3'ncü Bölümde bina bilgileri, son bölümde ise Bingöl ili şehir merkezinde ikamet eden insanların deprem bilincinin değerlendirilmesi amacıyla çeşitli sorular yönlendirilmiştir. Bu çalışmada binaların depreme karşı davranışının değerlendirilmesinin yanında insanların depreme karşı bilincinin de değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Bu nedenle anket sorularının son 6 tanesi bu amaca yöneliktir.

4. BULGULAR

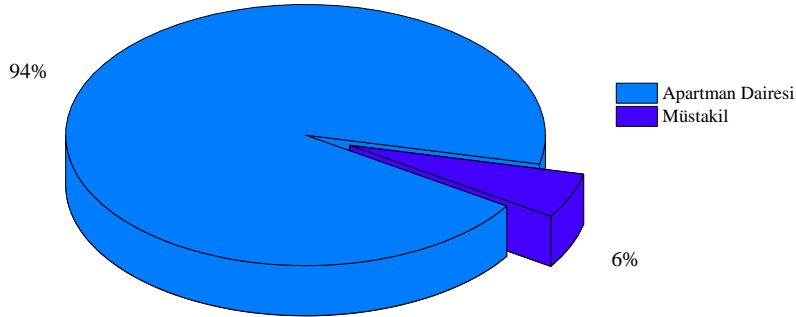
Bingöl şehir merkezinde yapılan anket çalışması sonucunda toplanan veriler, grafikler halinde bu bölümde verilmiştir. Anketteki soru sırasına göre grafikler aşağıda değerlendirilmiştir.

Anket çalışmasındaki 1'inci soruya verilen cevaplardan görüldüğü üzere, TÜİK verileriyle örtüştüğü tespit edilmiştir. Bingöl şehir merkezindeki en büyük mahalleler olan Kültür, Yeşilyurt, Yenişehir, Bahçelievler, Recep Tayyip Erdoğan, Şehit Mustafa Gündoğdu ve Yeni mahallelerdeki anket yapılan kişilerin dağılımı Şekil 4'teki gibidir. Bu grafik anket çalışmasının şehir merkezinin geneline yayıldığını göstermektedir.



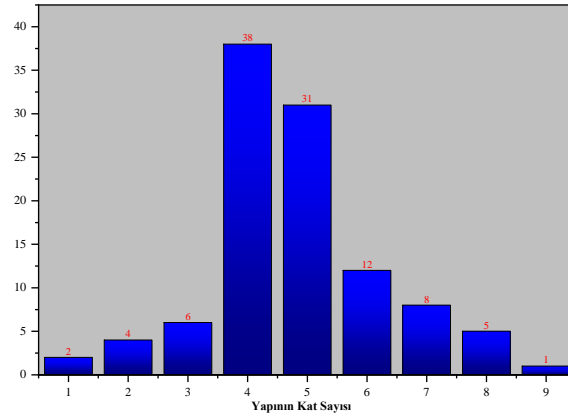
Şekil 4: Ankete cevap veren kişilerin mahallelere göre dağılımı

Anketin 2'nci sorusuna verilen cevaplara bakıldığında, Bingöl ili şehir merkezindeki yapı stokunun %94'lük kısmının apartman daresi olduğu gözlemlenmiştir. 2'nci soruya verilen cevapların dağılımı Şekil 5'te verilmiştir.



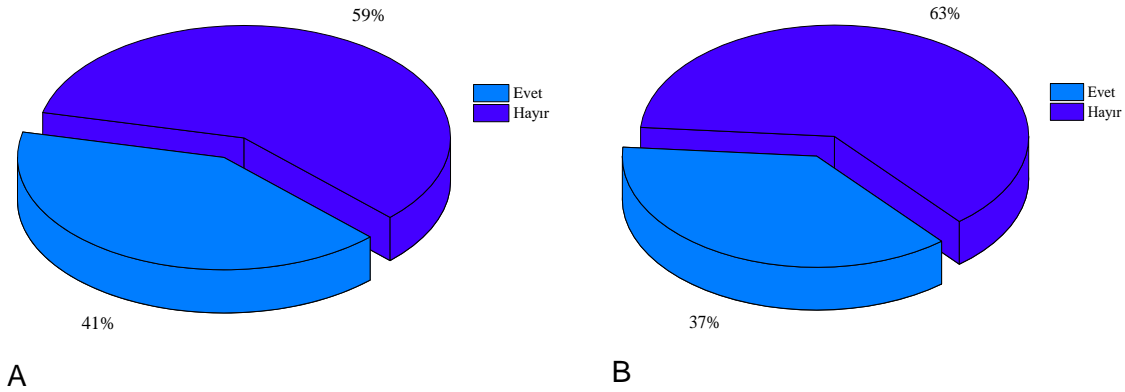
Şekil 5: İkamet edilen yapıların türü

3'üncü soruya verilen cevaplara göre Bingöl şehir merkezinde ağırlıklı olarak 4 ve 5 katlı yapıların olduğu tespit edilmiştir. Ankete verilen cevaplara bakıldığında, 38 kişinin 4 katlı yapıda 31 kişinin 5 katlı yapıda ikamet ettiği görülmektedir. Bu genel dağılımın yaklaşık %65'ini oluşturmaktadır. Bu kat sayısının dağılımına göre genel olarak yapı stoku orta katlı yapı sınıfına girmektedir. Orta katlı yapılar, periyotlarına göre değerlendirildiğinde depremin periyoduyla uyuma ihtimalinin yüksek olması ve bunun rezonans haline neden olmasından dolayı deprem sonrası yapısal hasar oluşturma olasılığının en yüksek olduğu binalardır. 3'üncü soruya verilen cevapların dağılımı Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6: Yapıların kat sayılarının dağılımı

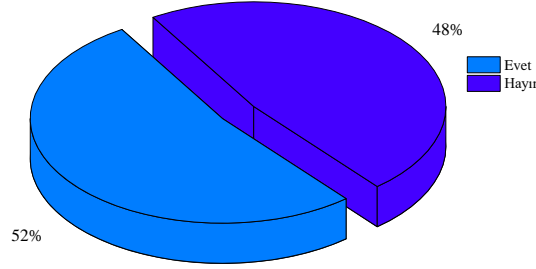
Yapıların giriş katında asma/çıkma kat ve giriş katlarda dükkân durumuna bakıldığı zaman asma/çıkma kat bulunması durumu %41 seviyelerinde, giriş katlarda dükkân bulunma durumu ise %37 seviyelerindedir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde (TBDY 2018) ve daha önce yürürlükte olan Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelikte (DBYBHY 2007) yumuşak kat ve zayıf kat olarak tanımlanan, depreme dayanıklı yapı tasarımı ilkelerinin en önemli temelini oluşturan düzensizlikler genel olarak binaların giriş katlarında dükkân bulunması ve asma/çıkma kat bulunmasından kaynaklanmaktadır (DBYBHY 2007, TBDY 2018). Rijitlik ve dayanım düzensizliğine neden olan bu durumların tasarım aşamasında dikkate alınmaması deprem sonrası yapılan saha çalışmalarında yapısal hasarların büyük kısmının bu nedenlerden kaynaklandığını göstermektedir (Nemutlu ve diğ. 2021). Bingöl ilindeki yapıların neredeyse yarısında bu iki durumun bulunması deprem sonrası meydana gelecek hasarların değerlendirilmesi açısından önemli bir sonuçtur. Bu sonuçlara ait grafikler sırasıyla Şekil 7a ve b'de verilmiştir.



Şekil 7: Binaların giriş katlarında asma/çıkma kat ve dükkân bulunması durumu: a) Yapılar asma/çıkma kat bulunması durumu, b) Giriş katlarda dükkân bulunması durumu

Yapıların çıkmalı yapı olup olmadığını değerlendirdiğimiz 6'ncı soruya verilen cevaplara göre ankete cevap veren kişilerin oturduğu binaların %52'si çıkmalı yapıdır. Yapılardaki yanlış uygulamalardan biri olan çıkmalı yapılar, binaya etkiyen yüklerin betonarmede uyum ilkesine uymayacak şekilde dağılmasına neden olmakta ve bu nedenle yükleri yapı taşıyamadan

yapısal hasarlara neden olmaktadır. Anket sonuçlarının yarısından fazlasına karşılık gelen bu sonuç yapıların olası bir depremden olumsuz etkilenebileceği sonucunu göstermektedir. 2003 Bingöl ve 2020 Elazığ depremlerinden sonra yapılan saha çalışmalarına dayanan literatürdeki birçok çalışma çıkmalı yapıların depremden olumsuz etkilendiğini göstermektedir (Dogangun 2004, Nemutlu ve diğ. 2021, Sayin 2021). Anket sonuçlarının dağılımını gösteren grafik Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8: Çıkmalı yapıların dağılımı

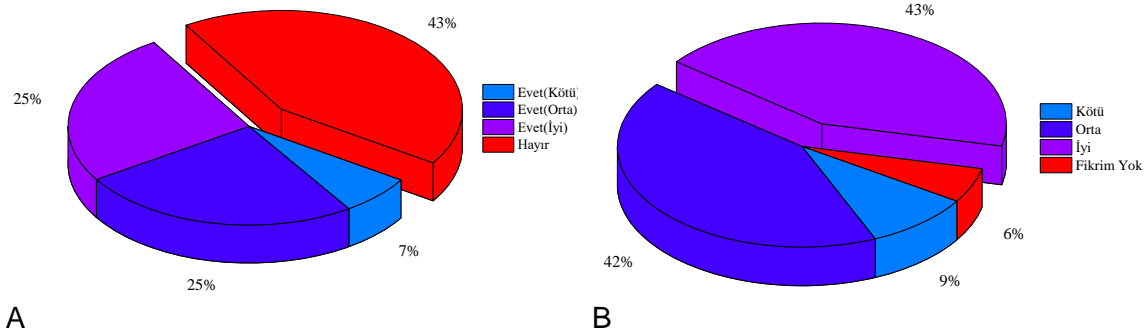
Rijitlik, dayanım ve taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği gibi düzensizlikler deprem sonrası yapılan saha çalışmalarında gözlenen yapısal hasarların başlıca nedenleri olmuşlardır (Dogangun 2004, Nemutlu 2021, Sayin 2021). Bu nedenle deprem yönetmeliklerinde bu düzensizlikler ile ilgili sınırlamalar ve tanımlamalar bulunmaktadır. TBDY (2018)'de bulunan Tablo 3.6'da belirtilen bu düzensizliklerin tanımları ve sınırlamaları Şekil 9'da verilmiştir. Yapıların giriş katlarında asma/çıkma kat bulunması veya yapılarda ağır çıkımların bulunması bu düzensizliklerin tanımı ile doğrudan örtüşmekte ve tasarım aşamasında göz önüne alınması, doğru bir şekilde hesaplara dâhil edilmesi gerekmektedir.

A – PLANDA DÜZENSİZLİK DURUMLARI	İlgili Maddeler	B – DÜŞEYDE DÜZENSİZLİK DURUMLARI	İlgili Maddeler
<p>A1 – Burulma Düzensizliği: Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük görelî kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görelî ötelemeye oranını ifade eden <i>Burulma Düzensizliği Katsayısı</i> η_{bi}'nin 1.2'den büyük olması durumu (Şekil 3.1).</p> <p>$[\eta_{bi} = (\Delta_1^{(0)})_{max} / (\Delta_1^{(0)})_{ort} > 1.2]$. Görelî kat ötelemelerinin hesabı, \pm %5 ek dışmerkezlilik etkileri de gözönüne alınarak, 4.7'ye göre yapılacaktır.</p>	3.6.2.1	<p>B1 – Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat): Betonarme binalarda, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir kattaki toplam etkili kesme alanı'nın, bir üst kattaki toplam etkili kesme alanı'na oranı olarak tanımlanan <i>Dayanım Düzensizliği Katsayısı</i> η_{di}'nin 0.80'den küçük olması durumu.</p> <p>$[\eta_{di} = (\sum A_{ci})_i / (\sum A_{ci})_{i-1} < 0.80]$</p> <p>Herhangi bir katta etkili kesme alanının tanımı: $(\sum A_{ci})_i = (\sum A_{ci})_i + (\sum A_{ci})_i + (0.15 \sum A_{ci})_i$</p> <p>Not: 4.9.1.3(b)'de tanımlanan duvarlar için $A_{ci} = 0$ alınacaktır.</p>	3.6.2.3
<p>A2 – Döşeme Süreksizlikleri: Herhangi bir kattaki döşemede (Şekil 3.2):</p> <p>I – Merdiven ve asansör boşlukları dahil, boşluk alanları toplamının kat brüt alanının 1/3'ünden fazla olması durumu,</p> <p>II – Deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşluklarının bulunması durumu,</p> <p>III – Döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmaların olması durumu</p>	3.6.2.2	<p>B2 – Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat): Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, bodrum katlar dışında, herhangi bir i'inci kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranına bölünmesi ile tanımlanan <i>Rijitlik Düzensizliği Katsayısı</i> η_{ri}'nin 2.0'den fazla olması durumu.</p> <p>$[\eta_{ri} = (\Delta_1^{(0)} / h_i)_{ort} / (\Delta_1^{(0)} / h_{i-1})_{ort} > 2.0$ veya $\eta_{ri} = (\Delta_1^{(0)} / h_i)_{max} / (\Delta_1^{(0)} / h_{i-1})_{max} > 2.0]$</p> <p>Görelî kat ötelemelerinin hesabı, \pm %5 ek dışmerkezlilik etkileri de gözönüne alınarak 4.7'ye göre yapılacaktır.</p>	3.6.2.1
<p>A3 – Planda Çıkıntılar Bulunması: Bina kat planlarında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de, binanın o katının aynı doğrultulardaki toplam plan boyutlarının %20'sinden daha büyük olması durumu (Şekil 3.3).</p>	3.6.2.2	<p>B3 – Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği: Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının (kolon veya perdelerin) bazı katlarda kaldırılarak kirişlerin veya guseli kolonların üstüne veya ucuna oturtulması, ya da üst kattaki perdelerin altına kolonlara oturtulması durumu (Şekil 3.4).</p>	3.6.2.4

Şekil 9: TBDY (2018)'de verilen düzensizlik durumları

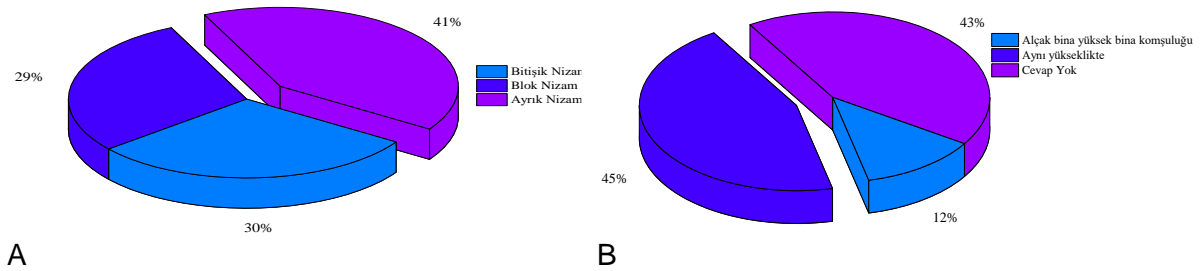
Yapıların zemin hakkındaki durumunu ve yapının dıştan görünür kalitesini içeren sorulara verilen cevaplar incelendiğinde, kişilerin %25'i ikamet ettiği yapının iyi bir zeminde, %25'inin ise orta kalitede bir zeminde inşa edildiğini ve %43'ü ise zemin hakkında bilgisinin olmadığını belirtmiştir. Ankete katılanların %43'ü ikamet ettikleri yapıların dıştan görünür kalitesinin iyi, %42'si ise orta olduğunu beyan etmişlerdir. Dıştan görünür yapı kalitesi sonuçları göreceli

olarak yapı stokunun yeni inşa edilen yapılardan oluştuğunu göstermektedir. Bu sorulara ait anket sonuçları Şekil 10a ve b'de verilmiştir.



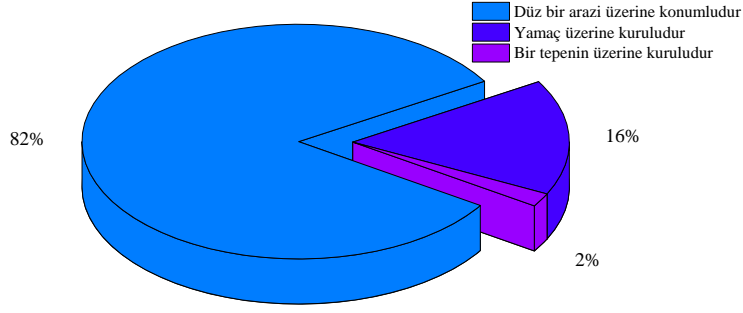
Şekil 10: Yapıların zemin özellikleri ve dıştan görünür kalitesi; (a) Yapıların zemin özellikleri, (b) Yapıların dıştan görünür kalitesi

Şekil 11a ve b'de verilen grafikler yapı nizamının dağılımını ve bitişik bina durumu için yapıya bitişik diğer yapılar ile komşuluklarının değerlendirildiği 9 ve 10'uncu sorulardan elde edilen sonuçları değerlendirmektedir. Yapı nizamı, deprem esnasında binaların çarpışma etkisini değerlendirmek için önemli bir kriterdir. FEMA (2015) ve 8 parametrelilik sokak taraması (Sucuoglu ve Yazgan 2003) yöntemlerinde de göz önüne alınmaktadır. Deprem meydana gelirken binaların salınımı ile birlikte bitişik bina durumunda yapılar arasında yönetmelikte belirtilen gerekli deprem derzi mesafesinin bırakılmaması, yapıların yüksekliklerinin aynı mesafede olmaması gibi nedenlerle bitişik nizamdaki binalar birbirleri arasında çekiçleme etkisine neden olarak hasar görebilmektedir (Celep ve Kumbasar 2005, Börekçi 2020). Anketteki dağılıma bakıldığında değerlendirilen yapı stokunun %30'u bitişik nizam yapılarıdır ve bitişik nizamda olan yapıların önemli bir kısmı alçak veya yüksek bina komşuluğuna sahip binalardır. Bu durum, çekiçleme etkisinin Bingöl şehir merkezindeki binalara önemli hasarlara yol açacak sonuçlar oluşturabileceğini göstermektedir.



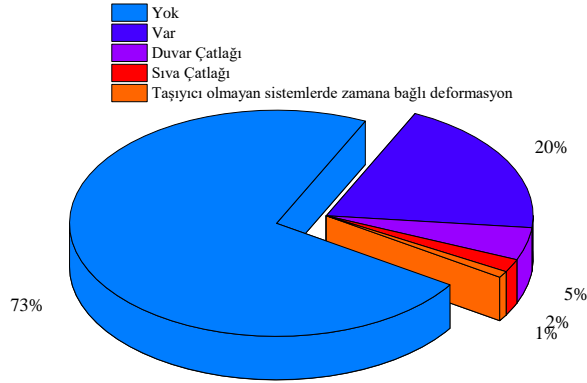
Şekil 11: Yapıların (a) Yapı nizamı ve (b) Bitişik bina durumunda yapı komşuluklarının dağılımı

Şekil 12'de verilen grafikte yapıların konumlandığı arazinin topoğrafik konumu değerlendirilmiştir. Tepe/ yamaç etkisinin dikkate alınması için önemli bir sonuç olan bu grafiğe bakıldığında değerlendirilen yapıların %82'sinin düz bir arazi üzerine konumlu olduğu gözlenmektedir. Tepe/yamaç etkisinin göz önüne alınmasının amacı yapıların deprem nedeniyle oluşan zemin kaymalarından kaynaklı hasar görebilme durumlarını yorumlamaktır.



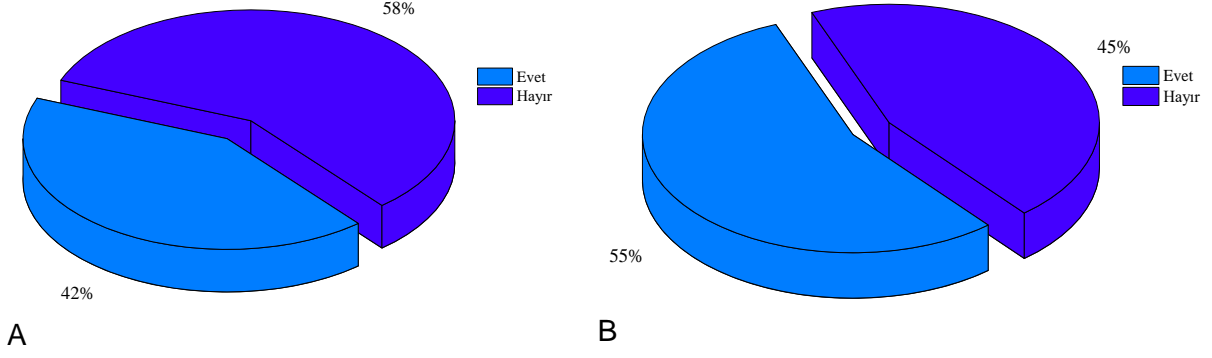
Şekil 12: Değerlendirilen yapıların topoğrafik konumun dağılımı

Anketteki kişilere yönlendirilen “yapılarda tespit ettiğiniz hasar var mı?” sorusuna verilen cevaplara bakıldığında zaman, değerlendirilen binalarda ikamet eden kişilerin %73’ünde herhangi bir hasar gözlemlenemedikleri, Evet olarak cevaplayanların ise büyük bir bölümünün yapısal olmayan duvar çatlakları, sıva çatlakları gibi hasarlar gözlemlenmişlerdir Şekil 13’ten ortaya çıkmaktadır.

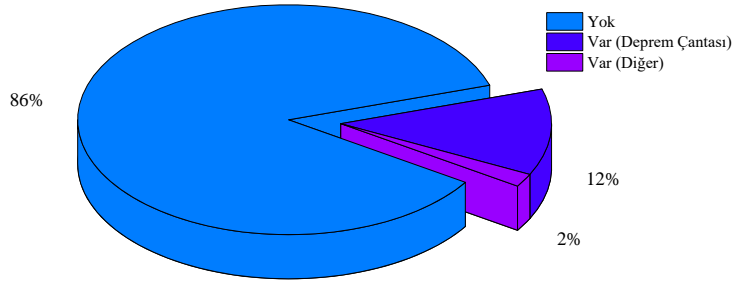


Şekil 13: Gözlemlenen hasarların dağılımı

Anketi cevaplayan kişilerin deprem bilincinin değerlendirilmesi için yöneltilen “Yapınızın depreme hazır olduğu düşünüyor musunuz?” ve “Deprem sigortanız var mı?” sorularına verilen cevaplara bakıldığında Şekil 14a ve b’de görüleceği üzere kişilerin %42’si depreme hazır bir yapıda ikamet ettiğini, %55’inin ise deprem sigortası yaptırdığını belirtmiştir. Ayrıca Şekil 15’te verilen “depreme karşı kişisel bir hazırlığınız var mı?” sorusuna verilen cevaplara bakıldığında 2003 Bingöl depremi sonrasında, depremi yaşayan Bingöl ilinde, deprem bilinci yüksek vatandaşların yüksek oranda olduğu sonucuna varılabilir. Yapıların depreme hazır olduğunu düşünen büyük çoğunluğun bu kanıda olması, Bingöl ili şehir merkezinde büyük ölçüde tamamlanan kentsel dönüşüm çalışmalarından dolayıdır. Mevcut halde deprem sigortası var olan binaların büyük çoğunlukta olmasının nedeni olarak, daha önceden yıkıcı depremler görmüş vatandaşların bilinçli yaklaşımı ve altyapı (doğalgaz, elektrik vs.) aboneliklerinde deprem sigortası bulunması zorunluluğudur. Bingöl ilinde nispeten yeni kullanımına geçilmiş doğalgaz altyapısı bu oranın yüksek değerde kalmasını sağlayan ayrı bir etkidir.

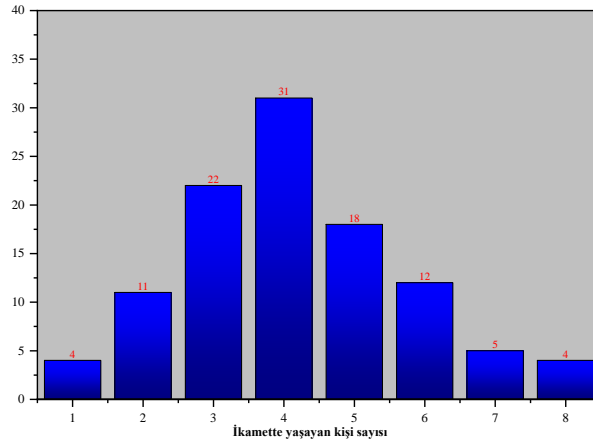


Şekil 14: Deprem bilincinin değerlendirilmesi-1 (a) Yapıların depreme hazır olma durumu, (b) Deprem sigortası yapılmış yapıların dağılımı



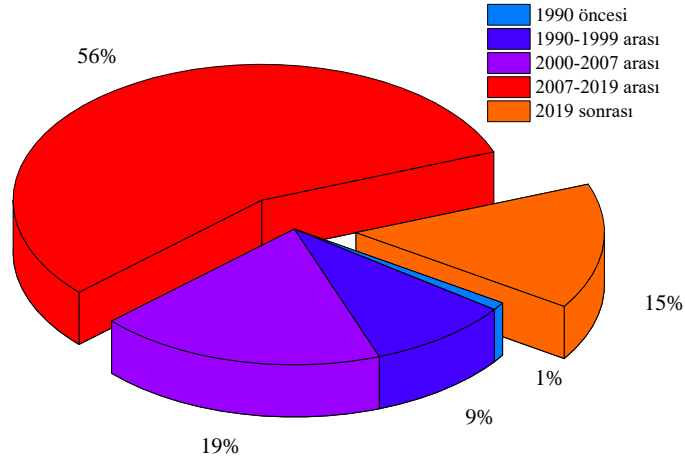
Şekil 15: Deprem bilincinin değerlendirilmesi-2

Şekil 16'da kişilerin ikametlerinde birlikte yaşadıkları kişi sayısının dağılımı verilmiştir. Bu dağılım incelendiğinde anketi cevaplayan kişilerin %45'i ikametlerinde 4-5 kişi ile birlikte yaşadığı tespit edilmiştir. Bu veriler ilerleyen çalışmalarda anket sayısının artırılarak daha fazla kişiye ulaşması ile birlikte deprem sonrası yıkılan binaların altında kalan kişi sayılarının tahminini esas alan kayıp değerlendirmesi çalışmalarında önemli bir alt yapı oluşturacaktır. Yapılarda ikamet eden toplam kişi sayısının 4 ve 5 kişi olması, bu anket çalışmasının aslında Bingöl'de ikamet eden yaklaşık 500 kişinin ikamet ettiği yapıyla ilgili bilgiler verdiği sonucuna ulaşılabilir.



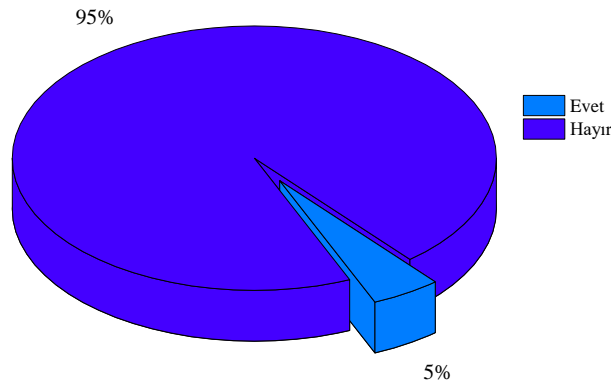
Şekil 16: İkamette birlikte yaşayan kişi sayısının dağılımı

Ankette yöneltilen sorulardan biri de ikamet edilen yapının yapım yılıdır. Bu soruyu yöneltileninin amacı 2003 depremi sonrasında inşa edilen yapıların dağılımını görmektir. Dağılıma baktığımız zaman değerlendirilen yapıların %56'lık kısmı 2007 yılından sonra yapılmıştır (Şekil 17). 2003 depreminde hasar gören yapıların yıkılıp yeni yapıların inşa edilmesi ile birlikte Bingöl ili şehir merkezindeki yapı stokunun yaşı gençleşmiştir. Bu verilerden, yapı stokunun büyük bir kısmını oluşturan 2007 ve 2018 deprem yönetmelikleri şartlarına uygun yapıların, güncel inşaat teknolojilerinin kullanılması nedeniyle, meydana gelecek depremlere karşı nispeten daha hazırlıklı oldukları sonucu çıkarılabilir. Ayrıca dağılımın genel olarak yeni inşa edilen yapılardan taraf olması kentsel dönüşümün Bingöl'ün geneline iyi yayıldığını ve uygulandığını göstermektedir. 2007 ve 2018 yönetmelikleri yürürlüğe girmeden önce yapılmış yapılar tamamen güvensiz yapılar değildir. Bu yapılardan statik açıdan iyi taşıyıcı sisteme sahip, yükleri betonarmede uyum kuralı çerçevesinde düzenli olarak aktarabilen, yapımı esnasında yürürlükte olan yönetmeliklere uygun yapılmış yapıların saha çalışmaları sonucunda güvenli olup olmadığına karar verilebilir. Bu konu başka çalışmaların konusu olabilir.



Şekil 17: Değerlendirilen yapıların yapım yıllarının dağılımı

Son olarak Şekil 18'de verilen grafikteki dağılıma bakıldığı zaman 2003 depreminden sonra ağır hasar görmemiş ama orta veya az hasar durumu gözlenen yapılarda güçlendirme çalışmasının dağılımıyla ilgili fikir vermektedir. Mevcut yapıların %5'inin güçlendirme çalışmasına tabi tutulduğu görülmektedir.



Şekil 18: Güçlendirme yapılmış yapıların dağılımı

5. SONUÇLAR

Bu çalışma, Bingöl ili şehir merkezindeki mevcut yapıların durumunun incelenmesi ve şehir merkezinde ikamet eden kişilerin deprem bilincinin değerlendirilmesi amacıyla hazırlanan anket çalışmasının sonuçlarını içermektedir. 107 kişiye yapılan anket çalışmasının sonuçlarının, mevcut yapı stoku hakkında bilgiler vermesi, deprem tehlikesinin yüksek olduğu bölgelerde yeni inşa edilecek yapılarda dikkat edilecek hususların belirlenmesi, deprem sonrası alınacak önlemler ve kayıp değerlendirmesi çalışmalarına yol gösterici olması amaçlanmıştır. Kişi dağılımından yola çıkılarak bu anket çalışması ile birlikte Bingöl şehir merkezinde ikamet eden yaklaşık 500 kişiye ulaşılmıştır. Önceki depremlerde gözlemlenen saha çalışmaları ve tarama yöntemlerinin odaklandığı parametreler göz önüne alınarak hazırlanan sorulara verilen cevaplar neticesinde olası bir depremde yapısal hasar meydana getirecek durumlardan bahsedilmiştir. Yapıların büyük kısmında giriş katlarında asma/çıkma kat veya dükkân bulunmasının yumuşak ve zayıf kat düzensizlikleri açısından göz önüne alınması gereken bir durum olduğu görülmüştür. Yönetmeliklerde belirtilen çıkmalı yapı durumunun Bingöl ilinin geneline yayıldığı tespit edilmiştir. Bitişik bina durumunda çekiçleme etkisinden bahsedilmiş ve Bingöl'deki dağılıma bakıldığında bu durumun deprem esnasında binalarda yapısal hasar meydana getireceği öngörülmektedir. Yapı stokunun orta katlı binalardan oluşması, deprem durumunda deprem ve yapı periyotlarının örtüşmesi sonucunda ortaya çıkan rezonans ihtimalini doğurmaktadır. Yapıların yapım yıllarına göre değerlendirildiğinde, yapı stoku açısından kentsel dönüşümün doğru uygulandığı ve 2007 sonrası yapılan binaların yıllara göre dağılımının yüksek paya sahip olması ile güncel deprem yönetmeliklerinin uygulandığı bina sayısının yüksek olduğunu ortaya çıkarmaktadır. Yapı stokunun yaşının genç olması depreme hazır yapıların nispeten daha fazla olduğu sonucuna götürmektedir. Yapılan anket çalışmasının ileride bu bölgede yapılacak çalışmalara bir öngörü oluşturması amaçlanmıştır; deprem tehlikesinin yüksek olduğu bölgelerde çıkmalı yapı ve binaların giriş katlarında bulunan dükkân gibi bölümlerin tasarım aşamasında göz önüne alınması gerektiği sonucuna varılmıştır. Son olarak bir yapıda ortalama olarak kaç kişinin yaşadığının bilinmesinin deprem sonrası meydana gelebilecek kayıpların önceden değerlendirilebilmesi ile deprem sonrası kayıp tahmini ve arama kurtarma çalışmaları açısından ne kadar önemli bir kriter olduğu sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

AFAD, 2018. Türkiye Deprem Tehlike Haritası, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Erişim adresi: <https://www.afad.gov.tr/turkiye-deprem-tehlike-haritasi>

AFAD, 2020. 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) Depremi Raporu, Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı, Erişim adresi: <https://deprem.afad.gov.tr/downloadDocument?id=1831>

Bal İ.E., Tezcan S.S., Gülay F.G., 2007. Betonarme binaların göçme riskinin belirlenmesi için P25 hızlı değerlendirme yöntemi, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 16-20 Ekim 2007, İstanbul, s:13.

Bal İ.E., Gülay F.G., Tezcan S.S., 2008. A New Approach for The Preliminary Seismic Assessment of Rc Buildings: P25 Scoring Method, The 14th World Conference on Earthquake Engineering, 12-17 October, Beijing, China.

Balun B., Nemutlu O.F., Benli A., Sari A., 2020. Estimation of probabilistic hazard for Bingol province , Turkey, *Earthq. Struct.* 18 (2), 223-231.

Baran T., Kahraman S., Özçelik Ö., Mısır S., Saatçi İ.A., Girgin S.C., 2017. Afete Dirençli Kentler Kavramı Çerçevesinde İzmir'de Yapı Stoku Envanteri ve Deprem Riski Çalışmaları, İzmir ve Deprem Konferansı, 28-29 Eylül, İzmir, s:23.

Börekçi M., 2020. Günümüz Tasarım Yöntemlerinin Betonarme Binaların Deprem Performansına Etkisinin Park-Ang Hasar İndeksi ile Belirlenmesi, *Uludağ Univ. J. Fac. Eng.* 1 (25), 325-340.

Celep Z., Kumbasar N., 2005. Betonarme Yapılar, Beta Yayınevi, İstanbul, 864 s.

DBYBHY, 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi, 2007. Erişim adresi: <http://www.deprem.afad.gov.tr>

Demirtaş R., 2000. Türkiye Diri Fayları ve Deprem Etkinlikleri Paleosismolojik Çalışmalar ve Gelecek Deprem Potansiyelleri.

Dirik K., Yürür T., Demirbağ H., 2003. 1 Mayıs 2003 Çimenli (Bingöl) Depremi Değerlendirme Raporu, Hacettepe Üniversitesi.

Dogangun, A., 2004. Performance of reinforced concrete buildings during the May 1, 2003 Bingöl Earthquake in Turkey, *Eng. Struct.* 26 (6), 841-856.

Emre, Ö., Duman T.Y., Olgun Ş., Özalp S., Elmacı H., 2012. 1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, Erzurum (NJ37-4) Paftası, Seri No:48, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Ankara- Türkiye.

FEMA, 2015. FEMA-155: Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards : Supporting Documentation, Fed. Emerg. Manag. Agency.

Hassan A., Sozen M., 1997. Seismic Vulnerability Assessment of Low-Rise Buildings in Regions with Infrequent Earthquakes, *ACI Struct. J.* 1, 1-9.

Işık E., 2013. Bitlis İlinde Bulunan Yığma Yapı Stoğunun Sokak Tarama Yöntemi ile Değerlendirilmesi, *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi* 2 (1), 21-29.

Isik E., Ozluk., H., 2013. Tatvan Kentsel Yapı Stoğunun Değerlendirilmesi, *International Anatolia Academic Online Journal Scientific Science* 1 (2), 8-12.

KRDAE, 2019. Türkiye'de Meydana Gelen Büyük Depremler, Kandilli Rasathanesi Erişim adresi: <http://www.koeri.boun.edu.tr/>

Nemutlu O.F., Balun B., Sari A., 2021. Damage assessment of buildings after 24 January 2020 Elazığ-Sivrice earthquake, *Earthq. Struct.* 20 (3), 325-335.

Özçelik Ö., Mısır İ.S., Baran T., Kahraman S., Saatçi A., Girgin S.C., 2013. Balçova ve Seferihisar İlçelerinde Gerçekleştirilen Yapı Stoğu Envanter ve Deprem Güvenliği Ön Değerlendirmesi Projesi Sonuçları, 2. İzmir Kent Sempozyumu, 28-30 Kasım 2013, İzmir, s:12.

Sayin E., Yon B., Calayir Y., Gor M., 2014. Construction Failures of Masonry and Adobe Buildings During the 2011 Van Earthquakes in Turkey, *Struct. Eng.* 51 (3), 503-518.

Sayin E., Yon B., Onat O., Gor M., Oncu M.E., Tunc E.T., Bakir D., Karatin M., Calayir Y., 2021. 24 January 2020 Sivrice-Elazığ, Turkey earthquake: geotechnical evaluation and performance of structures, *Bull. Earthq. Eng.* 19 (2), 657-684.

Sezen H., Whittaker A.S., Elwood K. J., Mosalam K. M., 2003. Performance of reinforced concrete buildings during the August 17, 1999 Kocaeli, Turkey earthquake, and seismic design and construction practise in Turkey, *Eng. Struct.* 25 (1), 103-114.

Sucuoglu H., Yazgan U., 2003. Simple Survey Procedures for Seismic Risk Assessment In Urban Building Stocks, *Work. Seism. Assess. Rehabil. Exist. Build.* 29, 97-118.

TBDY, 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.

Temizer M., 2013. 2003 Bingöl Depremi Sonrası Bingöl İlinin Hasar Durumlarının Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi, 86 s.

TÜİK, 2021. Türkiye İstatistik Kurumu Ankara, Erişim adresi: <https://www.tuik.gov.tr/>

Yakut A., Ozcebe G., Yucemen M.S., 2006. Seismic vulnerability assessment using regional empirical data, *Earthq. Eng. Struct. Dyn.* 35 (10), 1187-1202.

Yucemen M.S., Ozcebe G., Pay A.C., 2004. Prediction of potential damage due to severe earthquakes, *Struct. Saf.* 26 (3), 349-366.



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

AFAD®

TÜRK DEPREM ARAŞTIRMA DERGİSİ

TURKISH
JOURNAL OF
EARTHQUAKE
RESEARCH



TUSAK
Türkiye Ulusal
Sismoloji ve Deprem
Fiziki Kurumu
Ankara / TÜRKİYE

e-ISSN: 2687-301X