TÜRK DEPREM ARAŞTIRMA DERGİSİ
TURKISH JOURNAL OF EARTHQUAKE RESEARCH

The Effects of High Horizontal and Vertical Accelerations on Structural Damage in Antakya During the 2023 Kahramanmaraş (Türkiye) Earthquakes: A Case Study

Sezer Öztürk [1], Emre Gani [2], Ali Sarı [2]

[1] Fatih Sultan Mehmet Vakıf University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, 34015 İstanbul, Türkiye

[2] İstanbul Technical University, Faculty of Civil Engineering, Department of Civil Engineering, 34467 İstanbul, Türkiye

Keywords
2023 Kahramanmaraş earthquakes, Antakya, Horizontal and vertical ground acceleration, Near-fault effects, Structural damage

Highlights
* The impact of high horizontal and vertical accelerations recorded in Antakya during the 2023 Kahramanmaraş earthquakes on structural damage was investigated
* Nonlinear analyses using real earthquake records showed a significant increase in structural damage and collapse potential compared to analyses with scaled records
* Vertical ground motion was found to play a secondary role in structural damage, with the collapse mechanism predominantly governed by horizontal motions

Aim
To investigate effects of high ground accelerations recorded in Antakya during the 2023 Kahramanmaraş earthquakes on a RC building

Location
This study has been implemented in Antakya, Hatay, Türkiye, which was severely affected by the 2023 Kahramanmaraş earthquakes

Methods
Nonlinear time-history analyses were performed using Perform3D under three ground motion scenarios: as-recorded motions, spectrum-matched motions, and horizontal-only motions

Results
As-recorded motions caused significantly higher damage than spectrum-matched motions; vertical motion played a secondary role with collapse governed primarily by horizontal components

Supporting Institutions
Ground motion records were provided by AFAD and building damage data were obtained from the Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change of the Republic of Türkiye

Financial Disclosure:
The authors declared that this study has received no financial support

Peer-review
Externally peer-reviewed

Conflict of Interest:
The authors have no conflicts of interest to declare

Manuscript
Research Article

Received: 20.12.2025
Revised: 30.03.2026
Accepted: 08.05.2026
Printed: 31.08.2026

DOI
10.46464/tdad.1845691

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

Corresponding Author
Sezer Öztürk
Email: sezer.ozturk@fsm.edu.tr

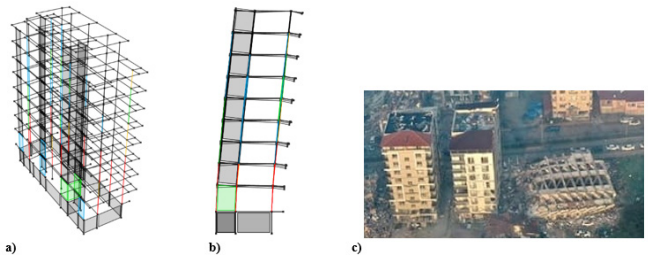


Figure
a) Case-1 Structural damage, b) Case-1 deformed shape and c) a view of collapsed building

How to cite
Öztürk S., Gani E., Sarı A., 2026. The Effects of High Horizontal and Vertical Accelerations on Structural Damage in Antakya During the 2023 Kahramanmaraş (Türkiye) Earthquakes: A Case Study, Turk Deprem Arastirma Dergisi, 8(2), 226-235, DOI:10.46464/tdad.1845691.

TÜRK DEPREM ARAŞTIRMA DERGİSİ
TURKISH JOURNAL OF EARTHQUAKE RESEARCH

2023 Kahramanmaraş (Türkiye) Depremleri Sırasında Antakya'da Gözlenen Yüksek Yatay ve Düşey İvme Değerlerinin Yapısal Hasara Etkisine İlişkin Bir Örnek Olay İncelemesi

Sezer Öztürk [1], Emre Gani [2], Ali Sarı [2]

[1] Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34015 İstanbul, Türkiye
[2] İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34467 İstanbul, Türkiye

ÖZET
Bu çalışma, 2023 Kahramanmaraş depremlerinin ilk ana şoku olan Pazarcık depremi sırasında Antakya'da kaydedilen yüksek yatay ve düşey yer ivmelerinin on katlı bir betonarme bina üzerindeki etkilerini incelemektedir. Bina için üç farklı yer hareketi senaryosu altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler yürütülmüştür: (1) kaydedilen yatay ve düşey bileşenlerin doğrudan kullanıldığı durum, (2) kayıtların hedef spektruma uyacak şekilde ölçeklendiği durum ve (3) yalnızca yatay bileşenlerin uygulandığı durum. Sonuçlar, gerçek kayıtların kullanıldığı durumda yaygın hasar, göçme, kat ötelemeleri ve ikinci mertebe etkilerinin belirgin biçimde arttığını göstermektedir. Düşey bileşenin ikincil bir rol oynadığı, göçme mekanizmasının ise esas olarak yatay yer hareketleri tarafından belirlendiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler
2023 Kahramanmaraş depremleri, Antakya, Yatay ve düşey yer ivmesi, Yakın fay etkileri, Yapısal hasar

Öne Çıkanlar
* 2023 Kahramanmaraş depremlerinde Antakya'da kaydedilen yüksek yatay ve düşey ivmelerin yapısal hasar üzerindeki etkisi incelenmiştir
* Gerçek deprem kayıtları ile yapılan analizlerde, ölçeklenmiş kayıtlara kıyasla yapısal hasar ve göçme potansiyelinin önemli ölçüde arttığı belirlenmiştir
* Düşey yer ivmesinin yapısal hasarda ikincil rol oynadığı, göçme mekanizmasının yatay hareketlerce domine edildiği tespit edilmiştir

Makale
Araştırma Makalesi

Geliş: 20.12.2025
Düzeltme: 30.03.2026
Kabul: 08.05.2026
Basım: 31.08.2026

DOI
10.46464/tdad.1845691

Sorumlu yazar
Sezer Öztürk
E-posta:
sezer.ozturk@fsm.edu.tr

The Effects of High Horizontal and Vertical Accelerations on Structural Damage in Antakya During the 2023 Kahramanmaraş (Türkiye) Earthquakes: A Case Study

Sezer Öztürk [1], Emre Gani [2], Ali Sarı [2]

[1] Fatih Sultan Mehmet Vakıf University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, 34015 İstanbul, Türkiye
[2] İstanbul Technical University, Faculty of Civil Engineering, Department of Civil Engineering, 34467 İstanbul, Türkiye

ABSTRACT
This study investigates the effects of high horizontal and vertical ground accelerations recorded in Antakya during the first mainshock of the 2023 Kahramanmaraş earthquakes (Pazarcık event) on a ten-story reinforced concrete building. Nonlinear time-history analyses were carried out for the building under three ground motion scenarios: (1) using the recorded horizontal and vertical components directly, (2) using the same records scaled to match a target spectrum, and (3) applying only the horizontal components. The results show that, when unscaled records are used, extent of damage and collapse, as well as story drifts and second-order effects, increase significantly compared to the scaled case. The vertical component plays a secondary role, and the collapse mechanism is governed primarily by horizontal ground motions.

Keywords
2023 Kahramanmaraş earthquakes, Antakya, Horizontal and vertical ground acceleration, Near-fault effects, Structural damage

Highlights
* The impact of high horizontal and vertical accelerations recorded in Antakya during the 2023 Kahramanmaraş earthquakes on structural damage was investigated
* Nonlinear analyses using real earthquake records showed a significant increase in structural damage and collapse potential compared to analyses with scaled records
* Vertical ground motion was found to play a secondary role in structural damage, with the collapse mechanism predominantly governed by horizontal motions

Manuscript
Research Article

Received: 20.12.2025
Revised: 30.03.2026
Accepted: 08.05.2026
Printed: 31.08.2026

DOI
10.46464/tdad.1845691

Corresponding Author
Sezer Öztürk
Email:
sezer.ozturk@fsm.edu.tr

1. GİRİŞ

6 Şubat 2023 tarihinde Kahramanmaraş ilinde moment büyüklükleri Mw 7.7 ve Mw 7.6 olan iki büyük deprem meydana gelmiştir. İlk şok, Pazarcık ilçesinde 7.6 km derinlikte, ikinci şok ise Elbistan ilçesinde 8 km derinlikte oluşmuştur. Hatay ilinin Antakya bölgesi, özellikle ilk depremden ciddi şekilde etkilenmiştir. Antakya ilçesinde yer alan kuvvetli yer hareketi kayıt istasyonlarından elde edilen sismik yer hareketi verilerinin incelenmesi hem yatay hem de düşey ivme değerlerinin olağanüstü derecede yüksek olduğunu ortaya koymuştur. Önemli olarak, özgün kayıtlardan elde edilen ivme spektrumlarının, birçok periyot aralığında, 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde (TBDY 2018) tanımlanan DD2 (50 yılda %10 aşılma olasılığı) ve hatta DD1 (50 yılda %2 aşılma olasılığı) düzeylerine ait elastik tasarım spektrum değerlerini aştığı, çeşitli araştırmacılar tarafından rapor edilmiştir (Baltzopoulos ve diğ. 2023, Altunsu ve diğ. 2024, Yaghmaei-Sabegh ve diğ. 2024). Pazarcık depremi sırasında Antakya'daki binalar üzerinde gözlenen yüksek yer ivmeleri, bölgede oluşan ağır hasar ve yıkımı açıklayan temel etkenlerden biri olan önemli bir elastik olmayan yer değiştirme talebine işaret etmektedir. Antakya bölgesinde kaydedilen bu yüksek yer hareketlerinin oluşumunda, yakın fay etkileri, yerel zemin koşulları ve zemin büyütmesi başlıca rol oynamıştır. Yer hareketi hız zaman geçmişlerinin analizleri, darbe benzeri işaretler ortaya koymuş ve bu durum, çeşitli araştırmacılar tarafından ileri yönlülük (forward directivity) ve fling (sıçrama) gibi yakın fay etkilerinin göstergesi olarak yorumlanmıştır (Baltzopoulos ve diğ. 2023, Wu ve diğ. 2023, Chang ve diğ. 2024). Yüksek yer ivmelerinin bir diğer olası nedeni ise supershear (süper kesme) kırılma mekanizmasıdır. Supershear kırılma hızları, ikinci deprem (Mw 7.6) sırasında açık bir şekilde tanımlanmıştır (Melgar ve diğ. 2023, Gani ve diğ. 2025). İlk olay olan Pazarcık depremi için de supershear kırılmanın güçlü izleri gözlemlenmiş, ancak hem supershear hem de subshear kırılma hızlarını içeren karmaşık bir dalga yayılım deseni rapor edilmiştir (Abdelmeguid ve diğ. 2023, Rosakis ve diğ. 2023).

Yüksek yer ivmelerine katkıda bulunan bir diğer önemli etken ise zemin büyütmesidir. Antakya bölgesi, bir graben vadisi olan Hatay Grabeni üzerinde yer almaktadır. Bölgenin merkezi, vadi tabanında konumlanan nispeten yumuşak alüvyon zeminlerle, dış kesimleri ise daha sert zeminlerle ilişkili dağlık arazi ve daha yüksek kotlarla karakterize edilir. Bu özellikler, Antakya bölgesini, yumuşak zemin koşullarında sıkça gözlenen yer hareketi büyütmesi ve havza etkilerine karşı özellikle duyarlı hale getirmektedir. Karray ve diğ. (2024), Antakya'daki sedimanter havzanın kalın ve rijit olduğunu belirterek havza etkilerinin gözlenen yüksek ivmelere katkıda bulunduğunu vurgulamıştır. Benzer şekilde, Işık ve diğ. (2024) de hız ve yer değiştirme zaman geçmişi analizlerine dayanarak havza etkilerine işaret etmiştir. Deprem öncesine ait sahaya özgü ivme kayıtlarının bulunmaması ve zemin sınıflandırması ile tasarım parametrelerinin büyük ölçüde yönetmeliklerdeki tablo değerlerine dayandırılması, yerel koşulların sismik talep üzerindeki gerçek etkisinin tam olarak yansıtılmasını güçleştirmektedir. Literatürde ivme değerlerinin; deprem büyüklüğü, uzaklık ve yayılan dalganın periyodunun yanı sıra kayma dalgası hızı, zemin büyütmesi ve zemin hâkim titreşim periyodu gibi birçok yerel zemin parametresine bağlı olduğu vurgulanmaktadır (Kanai 1961, İnan ve diğ. 1996, Ansal 1997, Uyanık ve diğ. 2021). Ayrıca ivme değerlerinin yerin derinliğine bağlı olarak da değişim gösterdiği bilinmektedir (Ates ve Uyanik 2023). Bu bağlamda, yönetmeliklerde sunulan basitleştirilmiş zemin tablolarının, Antakya gibi karmaşık jeolojik yapılarda yerel zemin etkilerini tam olarak yansıtamaması, 2023 Kahramanmaraş depremlerinde gözlendiği üzere tasarım spektrumlarının sahada önemli ölçüde aşılmasının temel nedenlerinden biri olarak değerlendirilmektedir.

Antakya'daki hasar ve yıkımı artıran bir diğer önemli etken ise deprem sırasında kaydedilen olağanüstü büyük düşey ivme bileşenleridir. Bu sıra dışı düşey ivmeler, Duan ve diğ. (2023) tarafından "trambolin etkisi" ile açıklanmıştır. İlk olarak 2008 Iwate–Miyagi Nairiku (Japonya) depremi sonrasında ortaya konan trambolin olgusu, düşey ivmenin pozitif ve negatif değerlerinin, zeminin doğrusal olmayan davranışı nedeniyle asimetrik biçimde büyütüldüğünü öne sürmektedir (Aoi ve diğ. 2008). Trambolin etkisinin temel göstergelerinden biri, pozitif ivme değerlerinin negatif olanlardan daha büyük olmasıdır.

Hatay bölgesinde, özellikle havza içerisindeki yoğun hasar ile dağlık kesimlerdeki sınırlı hasar arasındaki belirgin fark, sismik kaynak ve yerel zemin etkilerinin karmaşık etkileşimini yansıtmaktadır. Antakya'daki ağır yıkımda supershear kırılma mekanizması ve ileri yönelim etkisinden kaynaklanan yüksek enerjili darbe tipi yer hareketleri ile havza etkileri bileşik bir şekilde büyük rol oynamaktadır. Dağlık bölgelerde hasarın daha az gözlenmesi, bu kesimlerde zemin büyütmesinin sınırlı kalması ve havza kenarı etkilerinin (basin edge effects) sönümlenmesiyle açıklanabilir. Bununla birlikte, bölgedeki ağır yıkımı yalnızca sismik girdilere bağlamak eksik bir yaklaşım olacaktır. Saha gözlemleri; yetersiz mühendislik tasarımı, yapım kusurları, denetim eksikliği ve düşük malzeme kalitesi gibi faktörlerin de hasarın boyutuna önemli ölçüde katkıda bulunduğunu göstermiştir. Ayrıca yerleşim yeri tercihlerinin deprem hasarı üzerindeki etkisi de yadsınamaz bir gerçektir. Kaya ortamların sismik dalgaları büyütmemesi nedeniyle yapı güvenliği açısından sunduğu avantajlar bilinmektedir. Ancak, mevcut şehirlerin coğrafi ve ekonomik kısıtlar nedeniyle tamamen kaya ortamlara taşınmasının zorluğu göz önüne alındığında, zayıf zeminlerdeki yapılaşmanın mikro-bölgeleme çalışmaları ışığında yönetilmesi kritik önem taşımaktadır. Zayıf zemin koşullarında; zemin iyileştirme teknikleri, derin temel sistemleri ve sismik izolasyon gibi ileri mühendislik çözümlerinin yaygınlaştırılması, yerleşim yeri kısıtlarına rağmen deprem güvenliğinin sağlanması açısından temel bir strateji olarak değerlendirilmelidir. Tüm bu faktörlerin ışığında, kaydedilen yüksek ivmelerin binalar üzerindeki gerçek etkisini anlamak kritik bir önem taşımaktadır. Bu doğrultuda sunulan çalışma, Antakya'da gözlenen yüksek yatay ve düşey yer ivmelerinin yapısal hasar ile ilişkisini incelemektedir. Bölgeyi temsil ettiği değerlendirilen on katlı bir betonarme konut binası için doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde üç farklı yaklaşım benimsenmiştir: İlk yaklaşımda yerel istasyonlardan elde edilen kayıtlar doğrudan kullanılmış; ikinci yaklaşımda bu kayıtlar TBDY (2018) tasarım spektrumları ile uyumlu olacak şekilde ölçeklendirilmiş; üçüncü yaklaşımda ise düşey ivmelerin etkisini ayrıştırmak amacıyla sadece yatay bileşenler dikkate alınmıştır. Buradaki temel amaç, yönetmelikle öngörülen sismik talepler ile gerçek kaydedilmiş hareketlerin

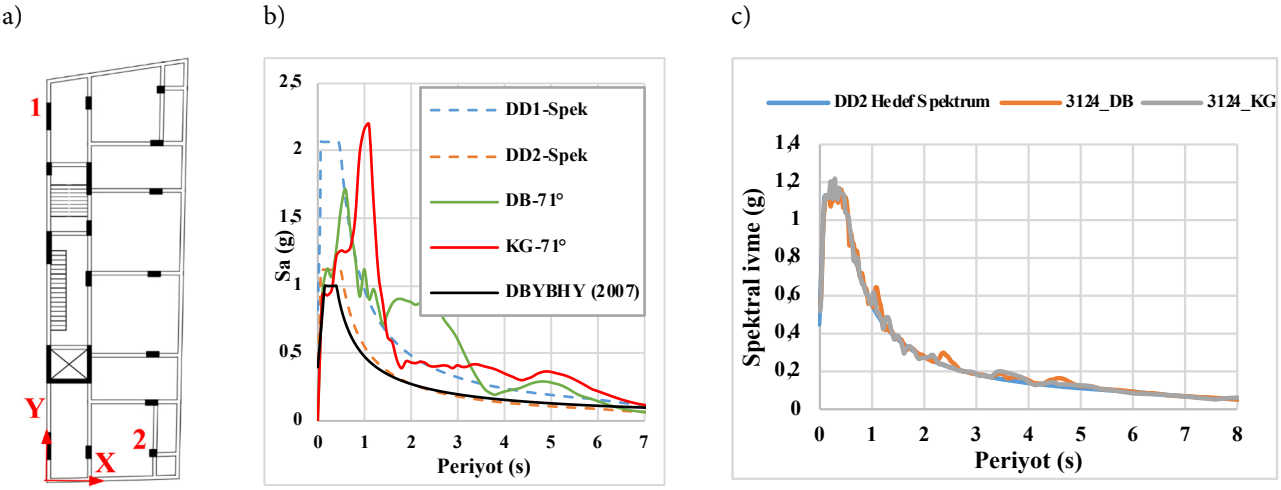
bina davranışı üzerindeki etkilerini karşılaştırmak ve düşey ivmelerin hasar üzerindeki rolünü değerlendirmektir. Analizler sonucunda kesit hasar durumları, ikinci mertebe (P-Δ) etkileri, kat öteleme değerleri ve performans düzeyleri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

2. YÖNTEM

Bu bölümde, çalışmada kullanılan analiz teknikleri, modelleme yaklaşımları ve uygulanan senaryolar açıklanacaktır.

2.1) Analiz Yaklaşımı ve Senaryolar

Doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizlerde, binanın maruz kaldığı gerçek sismik etkiyi dikkate alabilmek amacıyla Odabaşı bölgesinde yer alan 3124 istasyon kayıtları kullanılmıştır. Bu istasyon yapıya çok yakın bir konumdadır. İstasyon zemini, kayma dalgası hızı 283 m/s olan sert ve siltli kil tabakalarından oluşmaktadır. TBDY (2018) zemin sınıflamasına göre bu özellikler ZD sınıfına karşılık gelmektedir. Mevcut zemin etüt raporuna göre, incelenen yapının zemini de benzer biçimde sert kil ve siltli birimlerden oluşmakta olup kayma dalgası hızı 200-300 m/s aralığındadır. Dolayısıyla 3124 numaralı istasyonun zemin özellikleri, analiz edilen yapının zemin özellikleriyle oldukça uyumludur. Yapının maruz kaldığı yüksek ivmelerin etkisini değerlendirmek amacıyla üç farklı analiz prosedürü uygulanmıştır. İlk prosedürde (Durum-1), bina, 3124 numaralı istasyonda kaydedilen yatay ve düşey ivmelerin eş zamanlı olarak uygulanmasıyla analiz edilmiştir. İkinci prosedürde (Durum-2) ise, 3124 istasyon kayıtları, ilgili zemin koşulları için TBDY (2018)'de tanımlanan tasarım ivme spektrumuna uyacak şekilde ölçeklendirilmiştir. Durum-3 ise düşey ivmelerin kaldırıldığı ve sadece yatay ivmelerin göz önüne alındığı analiz durumunu ifade etmektedir. Binanın yönlenmesi ile uyum sağlamak üzere, özgün DB-KG kayıt çifti 71° döndürülmüş ve analizlerde bu döndürülmüş kayıtlar kullanılmıştır. Döndürme sonrasında, DB bileşeni X doğrultusunda etkili olacak şekilde tanımlanmıştır (Şekil 1a). Şekil 1b'de, 3124 istasyonuna ait ivme spektrumları ile ZD zemin sınıfına karşılık gelen TBDY (2018) tasarım ivme spektrumları arasındaki belirgin farklar gösterilmektedir. Bu iki analiz serisinden elde edilen farklı sonuçlar, Pazarcık depremi sırasında oluşan yüksek ivmelerin binanın göçmesindeki rolünü ortaya koymaktadır. Durum-1 analiz sonuçları, binanın gerçekte maruz kaldığı yatay ve düşey ivmeleri temsil etmekte olup, gözlenen göçme modu ile tutarlı olması beklenen davranışı yansıtmaktadır. Durum-2'de ise, Seismosoft (2020) yazılımı kullanılarak spektral eşleştirme yapılmış (Şekil 1c) ve böylece bu durum, binanın başlangıçta tasarlandığı tasarım düzeyi spektral ivmelere karşılık gelen sismik talebi temsil etmiştir.



Şekil 1: *a) Binanın tipik kat planı, b) DBYBHY (2007), TBDY (2018) ve 3124 istasyonu ivme spektrumlarının karşılaştırılması, c) ölçeklendirme prosedürü.*

Figure 1: *a) Typical floor plan of building, b) comparison of acceleration spectra from TSC (2007), TBEC (2018), and the 3124 station, c) scaling procedure.*

Giriş bölümünde de vurgulandığı üzere, literatür; yakın fay yer hareketleri, zemin büyütme etkileri ve supershear kırılma mekanizmaları dâhil çeşitli olguların, bu bölgede kaydedilen olağanüstü yüksek ivmelere katkıda bulunduğunu göstermektedir. Bu faktörlerin birleşik etkisi, Antakya'daki binalar üzerinde sismik talebin önemli ölçüde artmasına yol açmıştır. İnceleme konusu bina, başlangıçta DBYBHY (2007)'ye göre tasarlanmıştır; ancak TBDY (2018) ve DBYBHY (2007)'ye ait elastik tasarım ivme spektrumlarının oldukça benzer olması ve TBDY (2018)'in güncel yönetmelik olması nedeniyle, Durum-2 analizlerinde TBDY (2018) spektrumu esas alınmıştır. Ayrıca, binanın tasarımı sırasında yürürlükte olan DBYBHY (2007)'nin düşey yer hareketi etkilerini dikkate almadığı da belirtilmelidir. Buna karşılık TBDY (2018), düşey deprem etkilerini ($E_d^{(Z)}$) Denklem (1) ile açık biçimde tanımlamaktadır. Bu nedenle analizlerde, Durum-1 için düşey bileşen doğrudan kaydedilmiş düşey yer hareketi kullanılarak modele dâhil edilmiş, Durum-2'de ise TBDY (2018)'in (1) numaralı denklemine göre göz önüne alınmıştır. Bu bağlamda G, sabit yük etkisini, SDS ise kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısını ifade etmektedir.

$$E_d^{(Z)} \approx (2/3)\, S_{DS}\, G \qquad (1)$$

Düşey yer hareketinin yapı hasarı üzerindeki etkisini daha net bir şekilde ayırmak ve değerlendirmek amacıyla, Durum-3 olarak adlandırılan bir analiz daha gerçekleştirilmiştir. Bu

analizde, istasyon kayıtlarının yalnızca yatay bileşenleri uygulanmış, düşey bileşen ise tamamen ihmal edilmiştir. Böylece, düşey deprem etkisinin sonuçlar üzerindeki katkısı özel olarak değerlendirilmiştir. Bu yaklaşım, düşey yer hareketinin karşılaştırma parametreleri üzerindeki etkisinin açık biçimde ortaya konulmasına imkân sağlamıştır.

2.2) Sayısal Modelleme ve Analiz Adımları

Sayısal modelleme Perform3D (2023) yazılımı kullanılarak yapılmış ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler gerçekleştirilmiştir. Kolon ve kirişler çerçeve elemanları olarak modellenirken, perdeler iki boyutlu kabuk elemanlar ile temsil edilmiştir. Elastik olmayan davranış; kirişler için yığılı plastik mafsal yaklaşımı, kolon ve perdeler için ise lif tabanlı yayılı plastisite yöntemi kullanılarak modellenmiştir. Bodrum perdeleri ve döşemelerin tamamen elastik davrandığı kabul edilmiştir. Sargılı betona ait malzeme özellikleri, TBDY (2018) Ek 5A'da detaylandırılan Mander modeline göre tanımlanmıştır. Çevrimsel dayanım kaybı için beton davranışında Lowes ve diğ. (2016) tarafından önerilen model, donatı çubuklarının davranışı için ise Menegotto ve Pinto (1973) modeli kullanılmıştır.

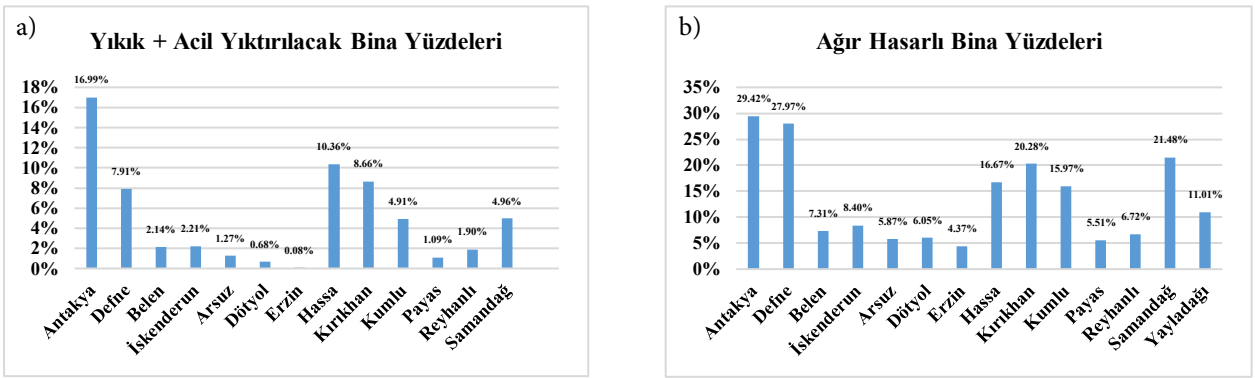
3. VERİ

3.1) Deprem Sonrası Hasar Verileri

Hatay'ın Antakya ilçesi, özellikle ilk Mw 7.7 Pazarcık depreminden ağır şekilde etkilenmiştir. Artçı şoklar ve ardından meydana gelen Elbistan depremi de bölgede gözlenen yıkımın boyutuna önemli ölçüde katkıda bulunmuştur. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından yürütülen deprem sonrası hasar tespit çalışmalarında, bina hasar ve göçme durumları altı kategori altında sınıflandırılmıştır (Tablo 1). Bu sınıflandırmaya ilişkin sonuçlar, bina konum bilgileri ile birlikte "hasartespit.csb.gov.tr" adresinde kamuya sunulmuştur (ÇŞİDB 2023). Her ne kadar söz konusu veriler öncelikli olarak bilgilendirme amacı taşısa da bu sonuçların sistematik biçimde derlenmesi ve analiz edilmesi, bölgedeki hasar dağılımının anlaşılması açısından değerli bilgiler sağlamaktadır. Tablo 1'de tanımlanan sınıflar esas alınarak, 'Acil Yıkılacak + Yıkık' ve 'Ağır Hasarlı' olarak sınıflandırılan binaların oranlarını gösteren karşılaştırmalı grafikler Şekil 2'de sunulmuştur (Gani ve diğ. 2025). Bulgulara göre Antakya, etkilenen ilçeler arasında en yüksek ağır hasar ve göçme oranlarına sahip bölge olarak öne çıkmaktadır. Bölgede kaydedilen olağanüstü yüksek yer ivmeleri, bu sonuçların altında yatan başlıca faktörler arasında yer almakta olup, bu ilişkinin ayrıntılı olarak incelenmesi için sayısal analizlerden yararlanılmıştır.

Tablo 1: *Hatay ili için Bakanlık tarafından sunulan hasar tespitleri (ÇŞİDB 2023)*
Table 1: *Damage assessments provided by the Ministry for Hatay Province (ÇŞİDB 2023)*

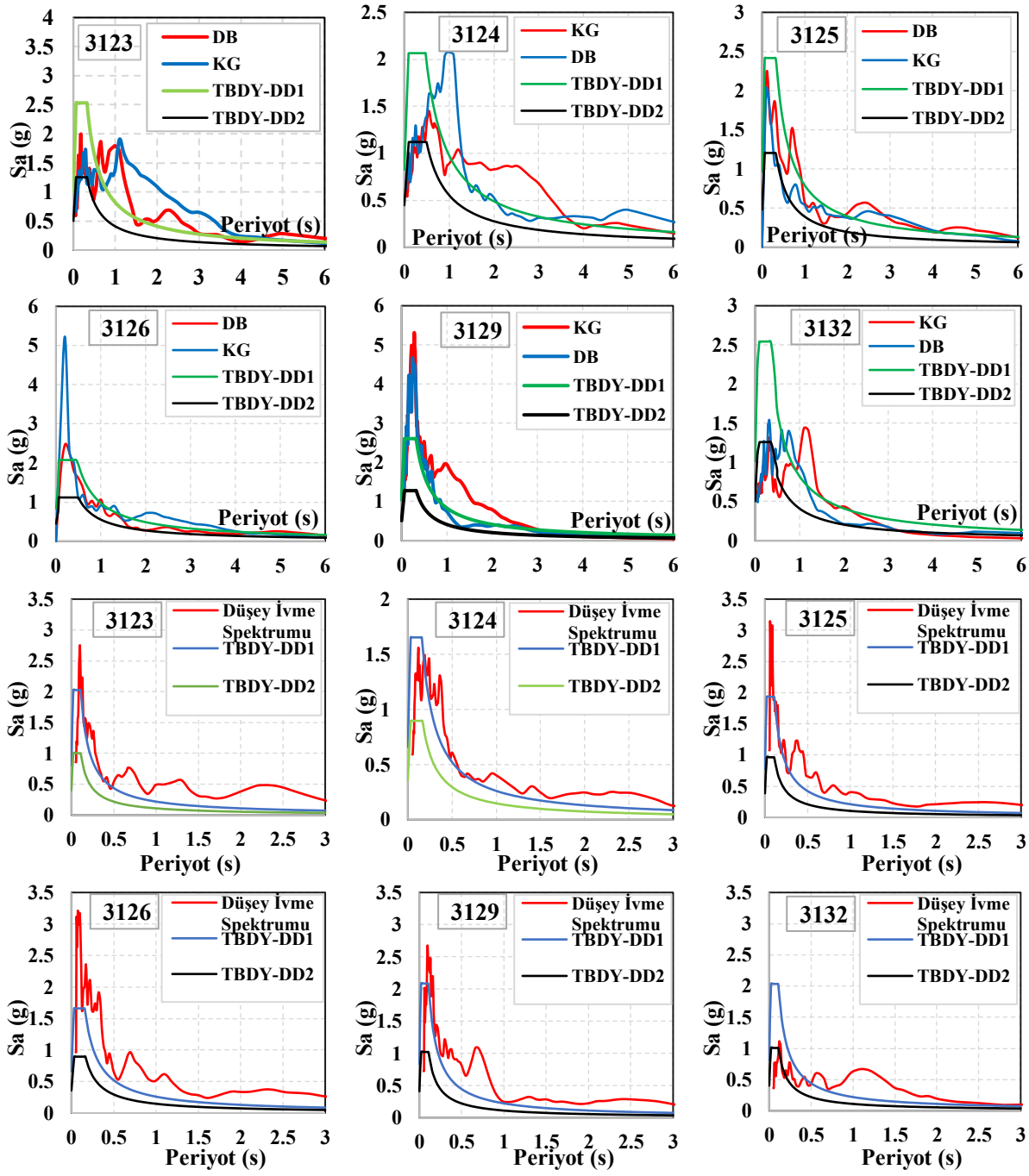
Hasar Durumu	Tanım
Hasarsız (A)	Hasar gözlenmeyen binalar
Hafif Hasarlı (B)	Boya, sıva veya duvarlarda küçük çatlaklar ve sıva dökülmeleri olan binalar
Orta Hasarlı (C)	Duvar çatlakları ve taşıyıcı elemanlarda küçük çatlaklar olan binalar
Ağır Hasarlı (D)	Taşıyıcı elemanlarda yaygın ve geniş kesme çatlakları veya ayrılmalar olan binalar
Acil Yıkılacak (E)	Taşıyıcı elemanlarda önemli kalıcı yer değiştirme meydana gelmiş, kısmi veya tamamen göçme riski taşıyan binalar
Göçmüş (F)	Acil yıkılacak durumun ötesinde, tamamen göçmüş durumdaki binalar



Şekil 2: *Hatay'daki bina hasar düzeylerinin yüzdeleri, a) E+F düzeyleri, b) D düzeyi (Gani ve diğ. 2025)*
Figure 2: *Percentages of building damage levels in Hatay a) levels E+F, b) level D (Gani ve diğ. 2025)*

3.2) Kuvvetli Yer Hareketi Verileri

Antakya bölgesinde yedi adet kayıt istasyonu bulunmaktadır. Bu istasyonlarda kaydedilen yatay ve düşey bileşenlerden elde edilen ivme spektrumları, TBDY (2018)'de tanımlanan elastik tasarım ivme spektrumları ile karşılaştırıldığında, çoğu periyot aralığında DD1 düzeylerinin bile aşıldığı görülmektedir (Şekil 3). 3131 numaralı istasyon, kendine özgü jeolojik ve topografik özellikleri nedeniyle diğer istasyonlardan ayrılmaktadır; bu istasyonda kaydedilen değerler genel olarak DD2 ve DD1 tasarım spektrum düzeyleri arasında kalmaktadır. Bu nedenle, 3131 istasyonu sonraki bölümlerde sunulan şekillerden çıkarılmıştır. Şekil 3'te yatay (ilk altı grafik) ve düşey (sonraki altı grafik) spektrum karşılaştırmaları sunulmuştur (Gani ve diğ. 2025).



Şekil 3: *TBDY (2018) tarafından önerilen yatay ve düşey ivme spektrumları ile Antakya istasyonlarına ait spektrumların karşılaştırılması (Gani ve diğ. 2025).*

Figure 3: *Comparison of the horizontal and vertical acceleration spectra proposed by the TBEC (2018) and Antakya stations (Gani et al. 2025)*

Şekil 3'te görüldüğü üzere, 3126 ve 3129 numaralı istasyonlarda kaydedilen yatay spektral ivmeler, 0.6 saniyeye kadar olan kısa periyotlar için DD1 düzeylerini önemli ölçüde aşmaktadır. 3123, 3124, 3125 ve 3132 numaralı istasyonlarda ise kısa periyot ivmeleri DD2 düzeylerinin üzerinde olmakla birlikte, genel olarak DD1'in altında kalmaktadır. Daha uzun periyotlarda ise tüm istasyonlar, DD1 değerlerinin belirgin biçimde aşıldığı aralıklar sergilemektedir. Zemin ile binanın baskın periyotlarının bu yüksek spektral ivme periyotlarıyla çakışması durumunda, yapılardaki doğrusal olmayan yer değiştirme talepleri artmaktadır. Bu durum teknik olarak rezonansa benzer bir koşula karşılık gelmekle birlikte, doğrusal olmayan sistemlerde efektif periyodun hasar ilerledikçe uzadığı göz önünde bulundurulduğunda, klasik rezonans yerine periyot uzaması ile yüksek spektral talep bölgesine girme olarak değerlendirmek daha doğrudur. Binanın modal analizi sonucunda elde edilen hâkim ilk üç periyot değeri sırasıyla 1.73 s, 1.04 s ve 0.8 s'dir. Bu periyot değerlerinin yüksek spektral ivme taleplerinin gözlendiği aralıklarla örtüşmesi, yapıdaki doğrusal olmayan yer değiştirme taleplerini önemli ölçüde artırmıştır. Böyle yüksek ivmelerin, zemin ve bina özelliklerine bağlı olarak hasar ve göçme düzeyini artırdığı açıktır. Kat sayısı, döşeme tipi, perde miktarı, beton ve donatı kalitesi, enine donatı oranı ve taşıyıcı sistemin düzenlenişi gibi etkenler hem hâkim periyodu hem de akma sonrası şekil değiştirme kapasitesini (doğrusal olmayan davranışı) belirlemede kritik

rol oynamakta ve dolayısıyla hasar ve göçme düzeyi üzerinde önemli etkiye sahip olmaktadır.

Şekil 3'teki ikinci altı grafik seti, istasyonlarda kaydedilen düşey ivme spektrumları ile TBDY (2018)'de tanımlanan spektrumların karşılaştırmasını sunmaktadır. Bu yüksek düşey ivmeler, düşey taşıyıcı elemanlarda önemli basınç ve çekme kuvvetleri oluşmasına neden olmuştur. Özellikle beton ve donatı kalitesinin yetersiz olduğu, enine donatıyla yeterince sarılmamış eski yapı elemanlarında, yüksek basınç kuvvetleri ağır hasara ve bazı durumlarda tam stabilite kaybına yol açmıştır. Oluşan büyük çekme kuvvetleri ise; düşey elemanların eğilme momenti taşıma kapasitelerini azaltarak, donatının akma veya nihai dayanımının aşılmasına, yetersiz ankraj ve ek boy performansına, aderans kaybına ve hem kesit hem de birleşim kesme kapasitelerinin azalmasına neden olarak hasarı daha da artırabilmektedir (Papazoglou ve Elnashai 1996, Altunsu ve diğ. 2024, Gani ve diğ. 2025).

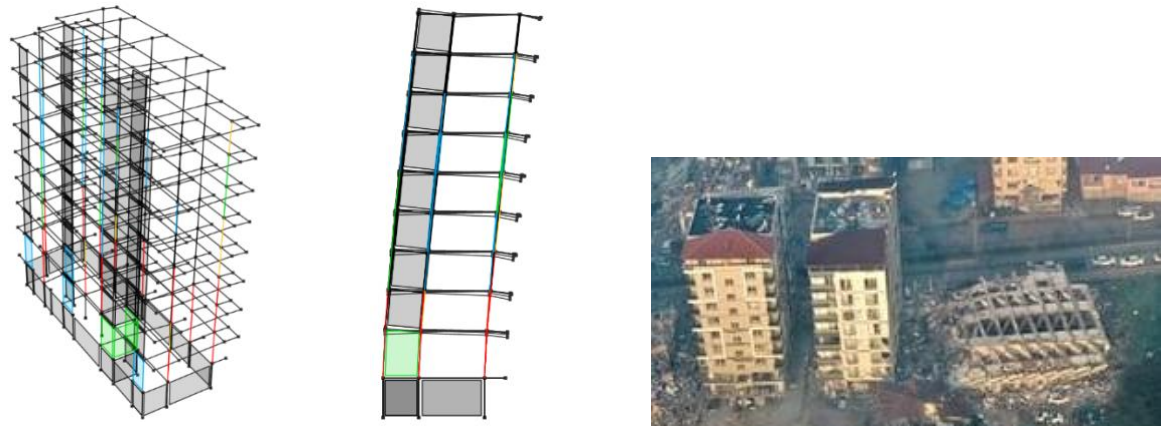
Düşey yer hareketlerinin etkileri yalnızca eleman düzeyinde değil, bina ölçeğinde de değerlendirilmelidir. Özellikle baskın burulma modlarına sahip veya yatay rijitliği yetersiz yapı sistemleri, düşey yer hareketleriyle tetiklenen ikinci mertebe (P–Δ) etkilerine karşı daha duyarlı hale gelmiştir. Benzer şekilde, doğrusal olmayan şekil değiştirmelere bağlı rijitlik kaybı sonrasında artan yatay yer değiştirmelerin, yüksek düşey ivmelerle birleşmesi, bu tür yapılarda önemli düzeyde doğrusal olmayan yer değiştirme taleplerine yol açmıştır. Bu tür koşullarda, plastik mafsal oluşumu sonrasında iç kuvvetleri yeniden dağıtabilen ve sünek davranış sergileyebilen binalar daha iyi bir deprem performansı göstermiş; görece sınırlı süneklik kapasitesine sahip binalar ise çok daha olumsuz etkilenmiştir.

3.3) Örnek Bina Verileri

İnceleme konusu bina, 2016 sonrasında inşa edilmiş, 1 bodrum kat + zemin kat + sekiz tipik kat olmak üzere toplam on katlı, perdeli çerçeve sisteme sahip bir betonarme yapıdır. Döşeme sistemi kirişli döşeme tipindedir. Şekil 1a'daki kat planına göre bina, X yönünde ön cephede 8.63 m, arka cephede 9.29 m; Y yönünde ise sol cephede 26.32 m, sağ cephede 27.48 m uzunluğa sahip olup her iki yönde yaklaşık 1.5 m çıkmalı bir geometriye sahiptir. Binanın bulunduğu bölgenin zemin etüt raporuna göre, incelenen yapının zemini de 3124 kayıt istasyonu ile benzer biçimde sert kil ve siltli birimlerden oluşmakta olup kayma dalgası hızı 200-300 m/s aralığındadır ve TBDY (2018)'e göre zemin sınıfı ZD olarak ele alınmıştır. Yapıda kullanılan beton ve donatı sınıfları sırasıyla C30/37 (TS500 2000) ve S420'dir (TS708 2010). Perdelerin kalınlıkları 25-30 cm, döşemelerin kalınlıkları ise 12-15 cm aralığındadır. Kiriş kesitleri 25×60 cm olup, kolon boyutları C80×35, C45×45, C30×80, C30×95 ve C35×95 cm olarak düzenlenmiştir. Tipik kat yüksekliği 290 cm'dir.

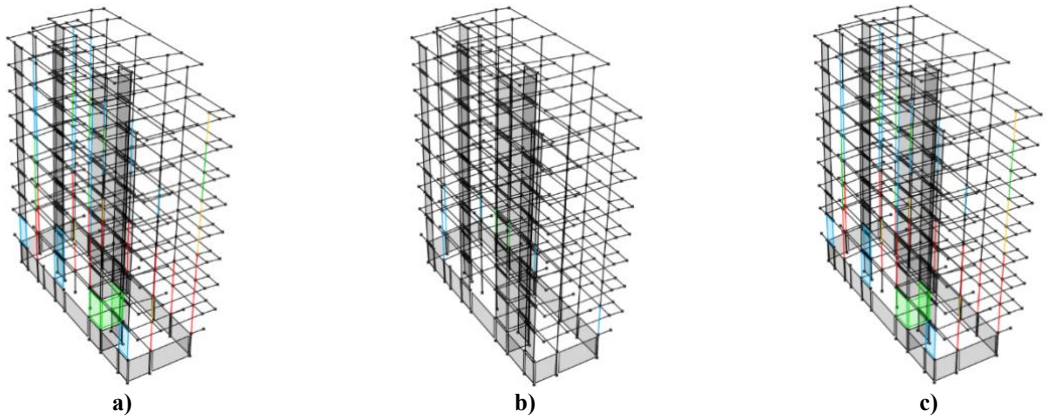
4. BULGULAR

Şekil 4a, Durum-1 analizinden elde edilen eleman hasar durumlarını gösterirken, Şekil 4b binanın yatay yer değiştirme profilini sunmaktadır. Kırmızı ile gösterilen elemanlar, TBDY (2018)'in 15. bölümünde tanımlanan göçme şekil değiştirme sınırını aşmıştır. Sarı renkli elemanlar ise göçme sınırının %75'ini geçmiştir. Şekil 4'te, plastik şekil değiştirmelerin boyutunu daha iyi vurgulamak amacıyla yalnızca kolon ve perdelerin hasar durumları sunulmuştur. Görüldüğü üzere, önemli sayıda düşey taşıyıcı eleman 'Göçme Durumu' hasar eşiğini aşmıştır. Gerçek durumda bina, +X doğrultusunda devrilerek göçmüştür (Şekil 4c). Analiz sonuçları hem göçen eleman sayısı hem de yapının genel davranışı açısından gözlenen göçme moduyla tutarlıdır.



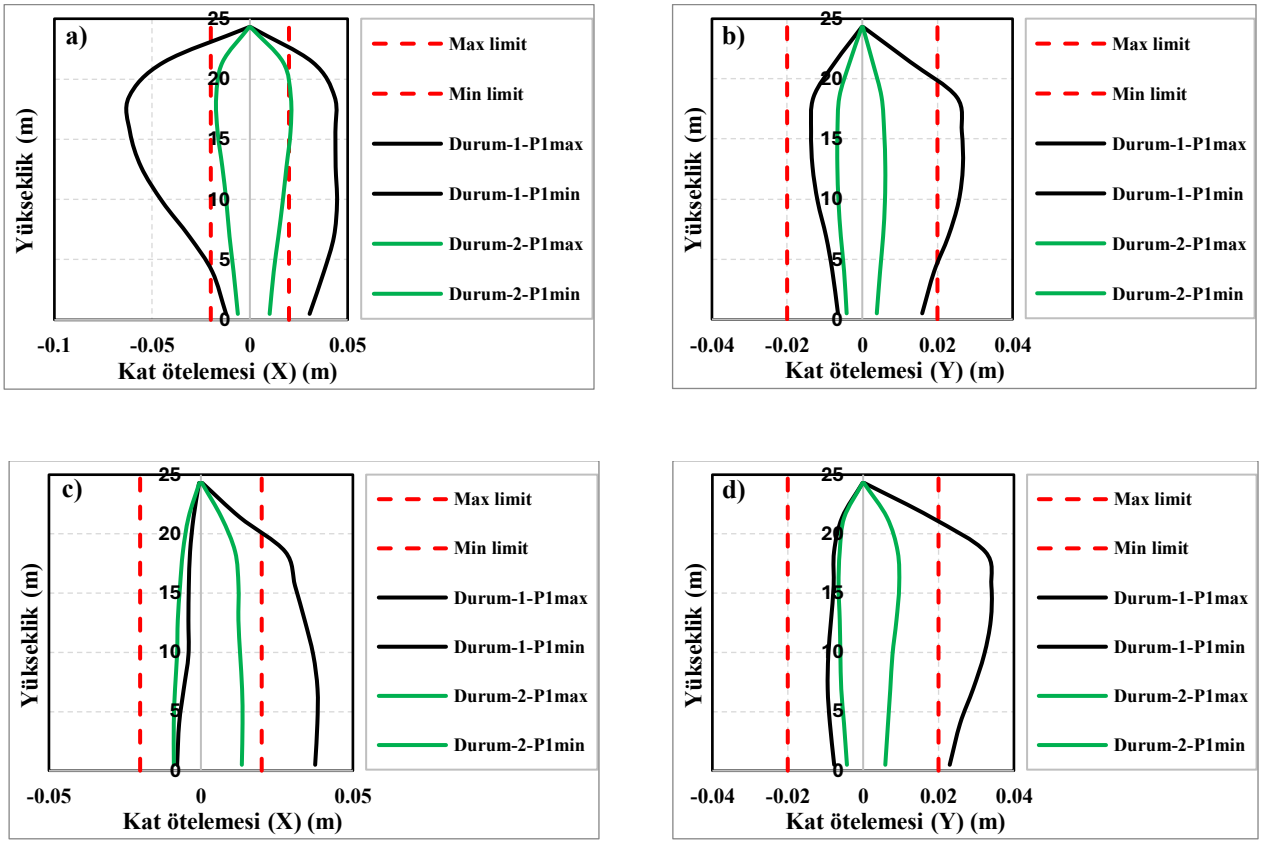
Şekil 4: *a) Durum-1 için yapısal hasarlar, b) Durum-1 için şekil değiştirmiş bina formu ve c) göçmüş binanın görünümü*
Figure 4: *a) Case-1 Structural damage, b) Case-1 deformed shape and c) a view of collapsed building*

Şekil 5, üç durumun tamamına ait sonuçların karşılaştırmalı özetini sunmaktadır. Görüldüğü üzere Durum-1 ile Durum-2 arasında önemli farklılıklar bulunmaktadır; Durum-2'de göçme sınırını aşan eleman sayısı belirgin biçimde daha azdır. Bu sonuç, Durum-1'deki daha yüksek ivme düzeylerine atfedilmektedir. Durum-3 ile Durum-1 karşılaştırıldığında ise eleman hasar düzeylerinin oldukça benzer olduğu görülmektedir. Bu karşılaştırma, incelenen binanın hasar ve göçme mekanizmasının ağırlıklı olarak yatay yer hareketi bileşenleri tarafından belirlendiğini göstermektedir.



Şekil 5: *a) Durum 1'deki, b) Durum 2'deki ve c) Durum 3'teki yapısal hasar*
Figure 5: *Structural damage in a) Case-1, b) Case-2, and c) Case-3*

Şekil 1a'da gösterilen 1 ve 2 numaralı noktalar için elde edilen kat ötelemesi değerlerine dayalı karşılaştırmalar Şekil 6'da sunulmuştur. Durum-1 ve Durum-3 sonuçlarının büyüklük olarak birbirine oldukça yakın olması nedeniyle, Durum-3 grafikte gösterilmemiştir. Sonuçlara göre, düşey yer hareketinin kat ötelemeleri üzerindeki etkisi ihmal edilebilir düzeydedir. Durum-1'deki kat ötelemesi değerleri, Durum-2'ye kıyasla belirgin biçimde daha yüksektir. Durum-2'de yaygın olarak kabul edilen %2'lik kat ötelemesi sınırı genellikle aşılmazken, Durum-1'de gözlenen değerler bu eşiğin oldukça üzerindedir. Bu bulgu, deprem sırasında yapının maruz kaldığı gerçek yer ivmelerinin, tasarım spektrumuyla öngörülen ivme seviyelerinden belirgin biçimde daha yüksek olduğunu göstermektedir.



Şekil 6: *Durum-1 ve Durum-2 için (a) 1 noktası – X, (b) 1 noktası – Y, (c) 2 noktası – X ve (d) 2 noktası – Y yönü kat ötelemeleri*
Figure 6: *Case-1 and Case-2 story drifts for Point-1-X (a), Point-1-Y (b), Point-2-X (c) and Point-2-Y (d)*

Durum-1 ve Durum-2 için ikinci mertebe (P-Δ) etkilerinin değerlendirilmesi Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2'de her kat için ayrı ayrı sonuçlar sunulmaktadır. Y doğrultusundaki sonuçlara göre X doğrultusundaki sonuçların daha kritik olması nedeniyle, tabloda yalnızca X doğrultusuna ait değerler raporlanmıştır. TBDY (2018)'de verilen ikinci mertebe (P-Δ) gösterge sınırı, tablonun en sağ sütununda gösterilmiştir; bu sınırı aşan değerler kırmızı, sınırın altındaki değerler ise yeşil renk ile belirtilmiştir. Tabloda Δ, ortalama yer değiştirme değerlerini, V_i ise kat kesme kuvvetlerini ifade etmekte olup, alt indis analiz durumunu, üst indis ise ilgili değerin ait olduğu doğrultuyu göstermektedir; W_i ise kat kütlesini temsil etmektedir. İkinci mertebe göstergesinin hesabında kullanılan ifade Denklem (2)'de verilmektedir. Bu denklemde R ve D sırasıyla taşıyıcı sistemin davranış katsayısını ve dayanım fazlalığı katsayısını, C_h taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan histeretik davranışına bağlı olarak tanımlanan bir katsayıyı, $\Delta_i^{(X)}$ X deprem doğrultusunda herhangi bir kolon veya perde için, ardışık iki kat arasındaki yer değiştirme farkını belirten azaltılmış göreli kat ötelemesini, $V_i^{(X)}$ X deprem doğrultusunda i'inci kattaki azaltılmış kat kesme kuvvetini, w_k k'ıncı kata etkiyen toplam ağırlığı, h_i ise i'inci katın yüksekliğini ifade etmektedir. Sonuçlar, Durum-2'de ikinci mertebe etkilerinin izin verilen sınırlar içinde kaldığını göstermektedir. Buna karşın, Durum-1'de bu sınırlar, binanın devrilme doğrultusuna karşılık gelen X doğrultusunda önemli ölçüde aşılmaktadır. Bu bulgular, istasyonda kaydedilen son derece yüksek ivmelerin, binanın göçmesine katkıda bulunan kritik bir etken olduğunu ortaya koymaktadır.

$$\theta_{II,i}^{(X)} = \frac{(\Delta_i^{(X)})ort \sum_{k=i}^{N} w_k}{V_i^{(X)} h_i} \leq 0.12 \frac{D}{C_h R} \qquad (2)$$

Tablo 2: *Durum-1 ve Durum-2 için TBDY (2018)'e göre ikinci mertebe etkisi kontrolü*
Table 2*: Second order effect check for Case-1 and Case-2 according to TBEC-2018 regulations*

Kat	$\Delta_{C1}^{(+X)}$ (mm)	$\Delta_{C1}^{(-X)}$ (mm)	$\Delta_{C2}^{(+X)}$ (mm)	$\Delta_{C2}^{(-X)}$ (mm)	Wi (kN)	$V_{D1}^{(+X)}$ (kN)	$V_{D1}^{(-X)}$ (kN)	$V_{D2}^{(+X)}$ (kN)	$V_{D2}^{(-X)}$ (kN)	Limit	$\theta_{II,D1}^{(+X)}$	$\theta_{II,D1}^{(-X)}$	$\theta_{II,D2}^{(+X)}$	$\theta_{II,D2}^{(-X)}$
7	78.4	25.7	27.2	17.3	2856	1592	1596	1714	1570	0.086	0.048	0.016	0.016	0.010
6	85.8	35.3	27.3	20.8	5810	2092	2328	2274	2331	0.086	0.082	0.030	0.024	0.018
5	92.9	49.7	28.2	24.3	8763	2348	2897	2343	2912	0.086	0.119	0.052	0.036	0.025
4	98.1	66.1	31.1	27.5	11717	2895	3411	2238	3378	0.086	0.137	0.078	0.056	0.033
3	102.1	78.8	33.9	30.2	14670	3414	4162	2520	3879	0.086	0.151	0.096	0.068	0.039
2	102.5	84.5	35.2	31.8	17624	4165	4883	2879	4323	0.086	0.149	0.105	0.074	0.045
1	97.9	83.2	33.8	31.5	20577	4892	5111	3319	4738	0.086	0.142	0.115	0.072	0.047
G	72.9	69.1	29.8	28.6	23683	5570	5495	3583	4801	0.086	0.089	0.085	0.056	0.040
B	1.3	1.7	0.9	1.3	27071	7742	6750	4404	5544	0.086	0.001	0.002	0.002	0.002

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, 6 Şubat Kahramanmaraş depremlerinin ilki olan Pazarcık depreminin gözlenen yıkımdaki rolü, Antakya istasyon kayıtları kullanılarak gerçekleştirilen sayısal bir örnek olay incelemesi ile araştırılmıştır. İstasyon kayıtlarından elde edilen ivme spektrumlarının ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonuçlarının değerlendirilmesi sonucunda aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır:

- Antakya istasyonlarında kaydedilen yatay ve düşey ivme değerleri, periyot aralıklarının büyük bir kısmında TBDY (2018) DD2 ve DD1 tasarım spektrumlarını aşmaktadır. Bu yüksek ivme değerleri, yakın fay etkileri ve sahaya özgü koşulların birleşik etkisine atfedilmektedir. Uzun periyotlarda gözlenen yüksek spektral ivmelerin nedenlerinden biri, Wu ve diğ. (2023) ile Chang ve diğ. (2024) tarafından da ortaya konduğu üzere, 2.5-3.5 saniye aralığında yoğunlaşan hız darbeleridir. Ayrıca, Karray ve diğ. (2024) tarafından uzun periyotlardaki yüksek ivme değerlerinin havza etkileriyle ilişkilendirilmiş olması, bu olgunun da gözlenen yıkımda önemli bir rol oynadığını göstermektedir.

- Literatürdeki çok sayıda çalışma, Pazarcık depremi sırasında süpershear kırılma, ileri yönlülük (forward directivity), sıçrama adımı (fling step) ve havza (basin) etkileri gibi olguların varlığına ilişkin güçlü kanıtlar sunmuştur. Bu olguların neden olduğu ve tasarım spektrumunun öngördüğü talepleri aşan yüksek doğrusal olmayan yer değiştirme talepleri, binalardaki hasar ve göçme düzeyinin artmasında kritik bir rol oynamıştır.

- Sayısal analiz sonuçlarına göre, Durum-1'de 'İleri Düzey Hasar' ve 'Göçme Durumu' sınırına ulaşan eleman sayısı, Durum-2'ye kıyasla belirgin biçimde daha fazladır. Benzer şekilde, Durum-1'de elde edilen kat ötelemesi değerleri de Durum-2'ye göre oldukça yüksektir. İkinci mertebe etkileri açısından bakıldığında, Durum-1'de elde edilen değerler izin verilen sınırları önemli ölçüde aşarken, Durum-2 sonuçları kabul edilebilir sınırlar içinde kalmaktadır.

- Durum-2 sonuçları, binanın göçmeme olasılığının yüksek olduğuna işaret ederken, aynı durum Durum-1 için geçerli değildir. Özetle, Pazarcık depremi sırasında oluşan yüksek yatay ivmeler, hakim mod periyotlarına (1-2 saniye) karşılık gelen spektral ivme değerlerinin son derece yüksek olması nedeniyle (bkz. Şekil 5a), binanın göçmesinde kritik bir rol oynamıştır.

- İstasyon kayıtlarında gözlenen yüksek düşey ivmeler, göçme mekanizmasında ikincil bir role sahiptir. Durum-1 ve Durum-3'e ait eleman hasarı ve kat ötelemesi sonuçları karşılaştırıldığında, oldukça benzer sonuçlar elde edilmiştir. Bu nedenle, göçme mekanizmasının ağırlıklı olarak yatay yer hareketi bileşenleri tarafından belirlendiği söylenebilir.

- Yakın fay etkileri ve havza etkilerinin söz konusu olduğu durumlarda, kaydedilen ivme değerleri TBDY (2018) tasarım spektrumunun öngördüğü değerleri önemli ölçüde aşabilmektedir. Bu tür durumlarda, daha gerçekçi sonuçlar elde edebilmek için sahaya özgü çalışmaların yapılması gerekliliği açıktır. Ayrıca, yüksek ivmelerin oluşumuna

katkıda bulunan bu olguların, uygun olduğunda olasılıksal yaklaşımlar aracılığıyla tasarım süreçlerine dahil edilmesi, daha gerçekçi taşıyıcı sistem tasarımı ve performans değerlendirmesi yapılmasına imkân sağlayacaktır.

- Analizlerde deprem öncesine ait sahaya özgü yer hareketi kaydının bulunmaması göz önünde bulundurulduğunda, gelecek çalışmalarda yerel zemin koşullarını ve temel seviyesindeki ivme değerlerini daha doğru biçimde tahmin edebilmek amacıyla sahaya özgü ivme azalım ilişkileri, tek boyutlu (1B) veya iki boyutlu (2B) zemin tepki analizleri ve zemin-yapı etkileşiminin dikkate alınması önerilmektedir. Bu tür yaklaşımlar, istasyon kaydı ile bina lokasyonu arasındaki yerel zemin farklarından kaynaklanan belirsizliklerin azaltılmasına katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Abdelmeguid M., Zhao C., Yalcinkaya E., Gazetas G., Elbanna A., Rosakis A., 2023. Dynamics of episodic supershear in the 2023 M7.8 Kahramanmaraş/Pazarcik earthquake, revealed by near-field records and computational modeling, Communications Earth and Environment, 4(1), https://doi.org/10.1038/s43247-023-01131-7

Altunsu E., Güneş O., Öztürk S., Sorosh S., Sarı A., Beeson S.T., 2024. Investigating the structural damage in Hatay province after Kahramanmaraş-Türkiye earthquake sequences, Engineering Failure Analysis, 157, https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2023.107857

Ansal A.M., 1997. İstanbul için tasarım deprem özelliklerinin belirlenmesi, In Proceedings of Prof. Dr. Rifat Yarar Symposium, Cilt 1, s. 233-244.

Aoi S., Kunugi T., Fujiwara H., 2008. Trampoline Effect in Extreme Ground Motion, Science, 322, www.sciencemag.org

Ates E., Uyanik O., 2023. Comparison of Acceleration Records Measured at Different Depths, Turk Deprem Arastirma Dergisi, 5(2), 215-232, https://doi.org/10.46464/tdad.1332698

Baltzopoulos G., Baraschino R., Chioccarelli E., Cito P., Vitale A., Iervolino I., 2023. Near-source ground motion in the M7.8 Gaziantep (Turkey) earthquake, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 52(12), 3903-3912, https://doi.org/10.1002/eqe.3939

Chang Z., Wu H., Li W., Yan Z., Peng L., Zhu G., 2025. Analysis of Near-Fault Ground Motions in the February 2023 Kahramanmaras, Türkiye, Earthquake Sequence, Bulletin of Earthquake Engineering, 23(4), 1349-1369, https://doi.org/10.1007/s10518-025-02101-4

ÇŞİDB, 2023. Hasar Tespit Sorgulama, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Başkanlığı, Erişim adresi: https://hasartespit.csb.gov.tr/

DBYBHY, 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, (06.03.2007 tarih ve 2654 sayılı Resmi Gazete).

Duan Y., Bo J., Peng D., Li Q., Wan W., Qi W., 2023. Analysis of Peak Ground Acceleration and Seismogenic Fault Characteristics of the Mw7.8 Earthquake in Turkey, Applied Sciences (Switzerland), 13(19), https://doi.org/10.3390/app131910896

Gani E., Öztürk S., Sarı A., 2025. Examination of the severe impact of the 6 February 2023 earthquakes on Antakya district considering pulse-like ground motions, supershear rupture, and basin effects, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 198, 109608, https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2025.109608

Işık N.S., 2023. Basin and Near-Fault Effects on Earthquake Ground Motions: An Evaluation of the Antakya Records of the Kahramanmaraş Pazarcık Earthquake, Journal of Geological Engineering, 47, 67-86, https://doi.org/10.24232/jmd.1299027

İnan E., Çolakoğlu Z., Koç N., Bayülke N., Çoruh E., 1996. Earthquake catalogs with acceleration records from 1976 to 1996, Technical Report, 98s, General Directorate of Disaster Affairs, Earthquake Research Department, Ankara, Turkey.

Kanai K., 1961. An empirical formula for the spectrum of strong earthquake motions, Bulletin of Earthquake Research Institute, 39, 85-95.

Karray M., Karakan E., Kincal C., Chiaradonna A., Gül T.O., Lanzo G., Monaco P., Sezer A., 2024. Türkiye Mw 7.7 Pazarcık and Mw 7.6 Elbistan earthquakes of February 6th, 2023: Contribution of valley effects on damage pattern, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 181, https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2024.108634

Lowes L.N., Lehman D.E., Baker C., 2016. Recommendations for Modeling the Nonlinear Response of Slender Reinforced Concrete Walls Using PERFORM-3D, Structural Engineers Association of California, Annual Convention, 2016 (SEAOC 2016).

Melgar D., Taymaz T., Ganas A., Crowell B., Öcalan T., Kahraman M., Tsironi V., Yolsal-Çevikbil S., Valkaniotis S., Irmak T.S., Eken T., Erman C., Özkan B., Dogan A.H., Altuntaş C., 2023. Sub- and super-shear ruptures during the 2023 Mw 7.8 and Mw 7.6 earthquake doublet in SE Türkiye, Seismica, 2(3), https://doi.org/10.26443/seismica.v2i3.387

Menegotto M., Pinto P.E., 1973. Method of analysis of cyclically loaded RC plane frames including changes in geometry and non-elastic behavior of elements under normal force and bending, Preliminary Report IABSE, vol 13.

Papazoglou A.J., Elnashai A.S., 1996. Analytical and field evidence of the damaging effect of vertical earthquake ground motion, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 25(10), 1109–1137, https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9845(199610)25:10<1109::AID-EQE604>3.0.CO;2-0

Perform3D, 2023. Performance-Based Design of 3D Structures, Computers and Structures, Inc., v9.0.0.

Rosakis A.J., Abdelmeguid M., Elbanna A., 2023. Evidence of Early Supershear Transition in the Mw 7.8 Kahramanmaraş Earthquake from Near-Field Records, Preprint, https://doi.org/10.31223/X5W95G

Seismosoft, 2020. SeismoMatch 2020 – A computer program for spectrum matching of earthquake records, Erişim adresi: https://seismosoft.com/

TBDY, 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, (18.03.2018 tarih ve 30364 sayılı Resmi Gazete).

TS 500, 2000. Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları, Türk Standardları Enstitüsü (TSE), Ankara, Türkiye.

TS 708, 2010. Betonarme donatısı için çelik – Donatı çeliği, Türk Standardları Enstitüsü (TSE), Ankara, Türkiye.

Uyanık O., Ekin N., Çoşkun O., 2021. Zemin ve Deprem Parametrelerinden İvme Azalım İlişkisi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 23(68), 575-593.

Wu F., Xie J., An Z., Lyu C., Taymaz T., Irmak T.S., Li X., Wen Z., Zhou B., 2023. Pulse-like ground motion observed during the 6 February 2023 Mw7.8 Pazarcık Earthquake (Kahramanmaraş, SE Türkiye), Earthquake Science, 36(4), 328-339, https://doi.org/10.1016/j.eqs.2023.05.005

Yaghmaei-Sabegh S., Neekmanesh S., Ruiz-García J., 2024. Evaluation of vertical-to-horizontal spectral acceleration ratio for the 2023 Turkey-Syria seismic sequences, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 182, https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2024.108747

ARAŞTIRMA VERİSİ *(Research Data)*

Bu çalışmada üç farklı veri seti kullanılmıştır. (i) Deprem sonrası hasar verileri: Hatay ili Antakya ilçesine ait bina hasar durumları, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından yürütülen hasar tespit çalışmaları kapsamında üretilen ve kamuya açık olarak sunulan verilerden (hasartespit.csb.gov.tr) elde edilmiştir. (ii) Kuvvetli yer hareketi verileri: Sayısal analizlerde kullanılan yatay ve düşey yer ivmesi kayıtları, AFAD Deprem Dairesi Başkanlığına ait Antakya kuvvetli yer hareketi istasyonlarının (3123, 3124, 3125, 3126, 3129, 3132) ivme kayıtlarından türetilmiştir. (iii) Örnek binaya ilişkin veriler: İnceleme konusu binanın geometrik ve malzeme özellikleri, yapı projelerinden ve yerinde yapılan gözlemlerden derlenmiştir.

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

Bu çalışma kapsamında herhangi bir kişi, kurum veya kuruluş ile çıkar çatışması veya çıkar ilişkisi bulunmamaktadır. Araştırma tamamen bilimsel etik kurallar çerçevesinde, objektif değerlendirmelerle yürütülmüş olup; herhangi bir kişisel veya kurumsal menfaat sağlama amacı taşımamaktadır.

YAZARLARIN KATKI ORANI BEYANI *(Author Contributions)*

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