



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 03.01.2025
Kabul Tarihi : 04.06.2025

Received Date : 03.01.2025
Accepted Date : 04.06.2025

BETONARME BİNALARDA ZEMİN KAT YÜKSEKLİĞİNDEKİ ARTIŞIN YUMUŞAK KAT DÜZENSİZLİĞİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF INCREASE OF GROUND FLOOR HEIGHT ON SOFT STORY IRREGULARITY IN REINFORCED CONCRETE BUILDINGS

Burak ÇAKIL^{1*} (ORCID: 0000-0002-4972-8874)

Ozan İNCE¹ (ORCID: 0000-0002-6319-1129)

Ömer Faruk OSMANLI¹ (ORCID: 0000-0002-9799-3103)

Ömer Faruk TAŞ¹ (ORCID: 0000-0002-1431-5316)

Muhammet KARATON¹ (ORCID: 0000-0002-1498-4659)

Erkut SAYIN¹ (ORCID: 0000-0003-0266-759X)

¹ Fırat Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Burak ÇAKIL, burakk.cakill@gmail.com

ÖZET

Depremler sırasında meydana gelen yapı hasarlarının büyük bir bölümü, yumuşak kat düzensizliği gibi yapısal düzensizliklerden kaynaklanmaktadır. Deprem yükleri altında yumuşak kat düzensizliğine sahip yapıların dayanıklılığı önemli ölçüde azalarak yıkıcı hasarlara yol açmaktadır. Geçmiş depremlerden elde edilen bulgular, yumuşak kat düzensizliklerinin önlenmesine yönelik tasarım standartlarının geliştirilmesinin ve uygulanmasının kritik bir öneme sahip olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada, zemin + 3 katlı konut tipi betonarme yapılar, zemin kat yüksekliği 3 m, 3.5 m, 4 m, 4.5 m ve 5 m olacak şekilde tasarlanmıştır. Diğer kat yükseklikleri ise tüm analizlerde sabit tutulmuş ve 3 m olarak belirlenmiştir. Analizler, SAP2000 sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve doğrusal olmayan statik itme analizleri uygulanmıştır. Çalışma kapsamında, yapıların periyot değerleri, zemin kat ve tepe deplasmanları karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Bunun yanı sıra, yapılarda oluşan plastik mafsallar incelenmiş, hasar bölgeleri belirlenmiş ve plastik mafsallar arasındaki farklılıklar detaylı bir şekilde kıyaslanmıştır. Sonuç olarak, zemin kat yüksekliğinin artışı, yapıların doğal titreşim periyotları, yatay deplasmanları ve hasar dağılımları üzerinde önemli bir etki yaratmıştır. Zemin kat yüksekliği arttıkça, yapıların deprem davranışında daha belirgin yatay yer değiştirmeler ve zemin kat kolonlarında daha fazla hasarların meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Betonarme binalar, fiber eleman yöntemi, yumuşak kat, zaman tanım alanında analiz

ABSTRACT

Most structural damages during earthquakes are caused by structural irregularities such as soft-story irregularities. Under earthquake loads, the durability of structures with soft story irregularities decreases significantly, leading to catastrophic damages. Evidence from past earthquakes shows that the development and implementation of design standards for the prevention of soft story irregularities is of critical importance. In this study, ground floor heights of ground + 3 storey residential reinforced concrete buildings are designed as 3 m, 3.5 m, 4 m, 4.5 m and 5 m. The other storey heights were kept constant and determined as 3 m in all analyses. The analyses were performed using SAP2000 finite element software and nonlinear static pushover analyses were applied. Within the scope of the study, the period values of the structures were evaluated by comparing the ground floor and peak displacements. In addition, the plastic hinges in the structures were analysed, damage zones were determined and the differences between the plastic hinges were compared in detail. In conclusion, the increase in ground floor height has significantly affected the natural

ToCite: ÇAKIL, B., İNCE, O., OSMANLI Ö. F., TAŞ, Ö. F., KARATON, M., & SAYIN, E., (2025). BETONARME BİNALARDA ZEMİN KAT YÜKSEKLİĞİNDEKİ ARTIŞIN YUMUŞAK KAT DÜZENSİZLİĞİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 28(4), 1662-1672.

vibration periods, horizontal displacements, and damage distribution of structures. As ground floor height increases, more pronounced horizontal displacements in the seismic behavior of structures and greater damage to ground floor columns have been observed.

Keywords: Reinforced concrete buildings, fiber element method, soft storey, time-history analysis

GİRİŞ

Deprem, yer kabuğunda biriken enerjinin aniden açığa çıkması sonucu meydana gelen ve yeryüzünde sarsıntılara yol açan doğal bir afettir. Türkiye, Kuzey Anadolu, Doğu Anadolu ve Batı Anadolu fay hatları gibi aktif sismik zonlara ev sahipliği yapması nedeniyle bu afetlerin yıkıcı etkilerine karşı yüksek risk taşıyan bir coğrafyada bulunmaktadır. Ülke yüzölçümünün büyük çoğunluğu sismik aktivite açısından yüksek riskli bölgelerde yer almakta, depreme daha az maruz kalan bölgelerin oranı ise yok denecek kadar azdır. Son yıllarda, büyüklüğü 7'ye yakın veya üzerinde birçok deprem meydana gelmiş ve bu depremler büyük can ve mal kayıplarına yol açmıştır (Tablo 1). (Doğangün, 2004; Taskin vd., 2013; Yon, 2019; Isik vd., 2020; Ince, 2023; Caglar vd., 2023; Özmen vd., 2025) Türkiye'nin jeolojik yapısı, depremlerin sıklığını ve şiddetini artıran bir faktör olup, sismik risklerin sürekli göz önünde bulundurulmasını gerektirmektedir. Geçmişte yaşanan bu yıkıcı depremler sonrasında, yapısal hasarlara yönelik kapsamlı araştırmalar yapılmış olup bu hasarların başlıca sebepleri arasında zemin problemleri, zemin sıvılaşması, düşük beton dayanımı, nervürsüz donatı çeliği kullanımı ve yetersiz kiriş-kolon bağlantı detayları yer almaktadır (Akkar vd., 2005; Arslan vd., 2006; Sezen, 2006; Sayın vd., 2020; Demir ve Altıok, 2021; Doğan vd., 2021; Günaydın vd., 2021) Bunun yanı sıra, "yumuşak kat" olarak adlandırılan düzensizliğin varlığı, özellikle deprem gibi dinamik yükler altında yapıların dayanıklılığını ciddi oranda azaltmaktadır (Saatcioglu vd., 1999; Sezen vd., 2003; Doğangün, 2004; Ates vd., 2013; Bayrak vd., 2021; Avcil vd., 2024) Bu gözlemler, yumuşak veya zayıf kat oluşumunun önlenmesine yönelik tasarım ve inşaat standartlarının önemini ortaya koymaktadır. Türkiye genelindeki yapı stokları incelendiğinde, birçok binanın zemin katlarının işyeri olarak tasarlandığı, bu nedenle zemin katlarda ya hiç duvar bulunmadığı ya da oldukça sınırlı sayıda duvar kullanıldığı dikkati çekmektedir. Bu durum, zemin katlarda üst katlara kıyasla çok daha düşük rijitlik oluşmasına ve bunun sonucunda "Yumuşak Kat Düzensizliği" olarak bilinen bir yapısal sorunun ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Şekil 1).

Tablo 1. Son Yüzyılda Meydana Gelen Büyük Depremler

Deprem Adı	Mw	Yıl	Kayıplar(Yaklaşık)
Erzincan	7.9	1939	32,000
Çaldıran	7.5	1976	4,000
Gölcük (Kocaeli)	7.4	1999	17,000
Düzce	7.2	1999	800
Bingöl	6.4	2003	170
Van	7.2	2011	600
Elazığ	6.8	2020	40
İzmir Seferihisar	6.6	2020	110
Pazarcık – Elbistan	7.7 - 7.6	2023	50,000

Literatürde, yumuşak kat düzensizliğinin yapıların sismik performansı üzerindeki olumsuz etkilerini ele alan çalışmalar bulunmaktadır: Akansel (2017), tarafından yapılan çalışmada, düşey düzensizliklerin, özellikle yumuşak kat düzensizliğinin, yapıların sismik davranışı üzerindeki etkileri kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Çalışmada, TDY 2007'ye göre tasarlanmış betonarme çerçeve yapılar referans alınarak bu yapılara çeşitli düzensizlikler eklenmiş ve yumuşak kat düzensizliği detaylı şekilde ele alınarak yönetmelik tanımlarının etkinliği değerlendirilmiştir. Pesaralanka vd. (2023), tarafından yapılan çalışmada, yumuşak kat düzensizliği ve bu düzensizliğin konumunun, binaların sismik talepleri üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Beş ve on katlı betonarme çerçeve binalar üzerinde yapılan analizlerde, kat yer değiştirmeleri, katlar arası ötelenme oranları ve zemin ivme tepkilerindeki büyütme etkileri incelenmiştir. Bakala vd. (2024), çalışmalarında, 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde kabul edilen yeni nesil dolgu duvarların, betonarme çerçevelerde yumuşak/zayıf kat oluşumunu azaltmadaki etkileri araştırılmıştır. Doğrusal olmayan analizler, yeni nesil dolgu duvarların, ilk katları dolgunsuz binalarda bile bu oluşumu azaltma potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir.

Bu çalışmada, zemin kat yüksekliğinin yapının dinamik özelliklerine ve performansına etkisi incelenmiştir. SAP2000 programı kullanılarak beş farklı model üzerinde doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler gerçekleştirilmiş ve zemin kat deplasman değerleri ile tepe deplasman değerleri elde edilmiştir. Her bir modelde yumuşak kat oluşumu değerlendirilmiştir. Analizlerde, doğal titreşim periyotlarının uzaması, yumuşak kat etkisinin belirginleşmesi ve

plastik mafsalların hasar düzeylerindeki dağılımları araştırılmıştır. Zemin kat yükseklikleri sırasıyla 3 m, 3.5 m, 4 m, 4.5 m ve 5 m olarak belirlenen, diğer kat yükseklikleri ise sabit ve 3 m olan zemin + 3 katlı konut tipi yapılar üzerinde analizler gerçekleştirilmiştir.



a) 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi (Sezet vd., 2003; Saatcioglu vd., 2001)



b) 1 Mayıs 2003 Bingöl Depremi (Doğangün, 2004)



c) 23 Ekim 2011 Van Depremi (Ates vd., 2013)



d) 24 Ocak 2020 Sivrice Depremi (Bayrak vd., 2021)



e) 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremleri (Avcil vd. 2024)



Şekil 1. Yumuşak Kat Oluşumuna Sahip Bazı Binalarda Gözlenen Hasarlar ve Çökmeler

MATERYAL ve METOD

Bu bölümde, nümerik analizlerde kullanılan yöntem ve malzeme modelleri sunulmuştur. Analizlerde kullanılan tüm tip yapılar için betonarme eleman çözümlerinde fiber P-M2-M3 mafsallı sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Beton malzeme modeli olarak Mander modeli (Mander vd., 1988), çelik malzeme modeli olarak pekleşme dikkate alınan çelik modeli kullanılmıştır. Yapısal analizlerde doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz kullanılmıştır. Bir sistemin zamana bağlı olarak değişen davranışını incelemek için kullanılan zaman tanım alanında analiz yöntemi, özellikle dinamik sistemlerin deprem, rüzgâr veya darbe gibi yükler altındaki tepkilerini anlamak için sıklıkla tercih edilmektedir. Analiz, zamana bağlı diferansiyel denklemlerin çözümüne dayanır ve genellikle doğrusal olmayan etkileri dikkate alır.

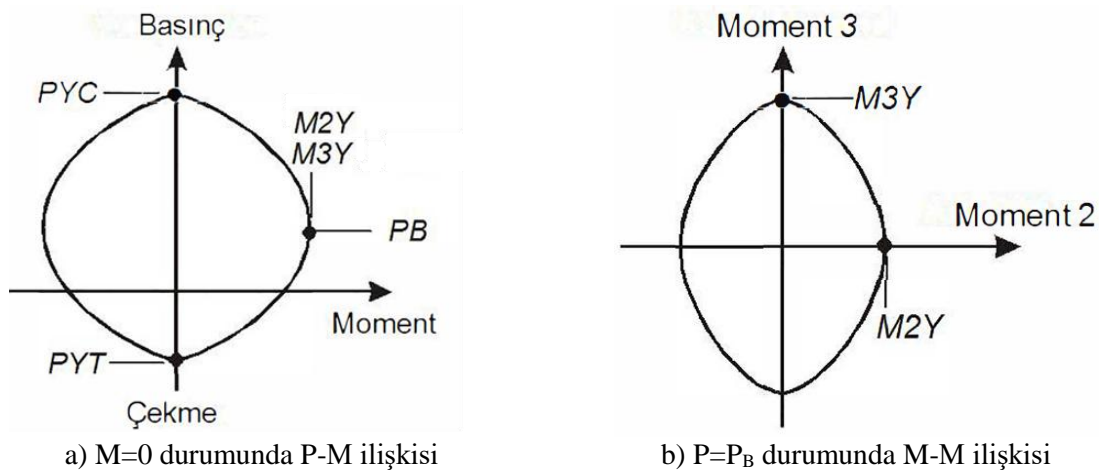
Fiber P-M2-M3 Mafsalsal Modeli

Fiber P-M2-M3 mafsalsal modeli, betonarme elemanlarda kesit kuvvet-deformasyon bağıntısının kolon-kiriş sonlu eleman modeliyle elde edildiği bir yöntemdir. Bu yöntemde, dikkate alınan betonarme elemanın kesit kuvvet-deformasyon bağıntısı eleman içerisinde belirlenen mafsalsal noktalarının fiber elemanlara ayrıştırılmasıyla elde edilir. Betonarme eleman kesitinde yer alan fiber elemanların aksel gerilme-şekil değiştirme bağıntısına dayanarak, beton fiber ve çelik fiber elemanlar ayrı ayrı hesaba katılmaktadır. Betonarme elemanın doğrusal olmayan davranışı beton ve çelik fiber elemanların doğrusal olmayan davranışından elde edilmektedir. Bu modelde betonarme elemanın aksel doğrultusu (P) ve eğilme doğrultusundaki davranışı (ikincil eğilme momenti M2 ve birincil eğilme momenti M3) dikkate alınmaktadır (El-Tawil ve Deierlein, 2001).

Fiber P-M2-M3 mafsalsal modelinde malzemenin dayanımına göre belirlenen akma yüzeyi dikkate alınmaktadır. Belirlenen bu akma yüzeyi içerisinde kalan gerilme durumları için söz konusu betonarme elemanın elastik davranışta olduğu, akma yüzeyinde bulunan gerilme durumları için söz konusu betonarme elemanın elastik-plastik davranışta olduğu kabul edilir. Yalnızca çelik malzemeden oluşan yapı elemanlarının çözümünde çelik fiber P-M2-M3 mafsalsal kullanılırken betonarme elemanların çözümlerinde parametrik beton fiber P-M2-M3 mafsalsal kullanılmaktadır (El-Tawil ve Deierlein, 2001). Parametrik beton fiber P-M2-M3 mafsalsal için akma yüzeyleri Şekil 2'de verilmiştir. Şekilde PYC maksimum basınç akma noktasını, PYT maksimum çekme akma noktasını, PB aksel kuvvetin denge durumunu, M2Y ve M3Y ise PB durumunda aksel kuvvet haricindeki diğer akseller etrafındaki eğilme momentleri için akma noktalarını göstermektedir. Şekil 2'de verilen akma yüzeylerinin hesabında ise aşağıda verilen Denklem 1 kullanılmaktadır:

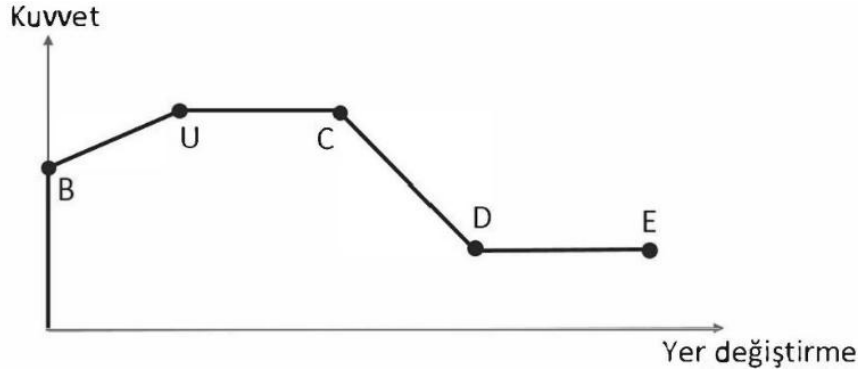
$$f_{PM} = \left(\frac{P - P_B}{P_{Y0} - P_B} \right)^\alpha + \left(\frac{M}{M_{YB}} \right)^\beta \quad (1)$$

Burada, f_{PM} akma fonksiyon değerini, P aksel kuvveti, P_B her iki P-M düzlemleri için denge noktasındaki aksel kuvveti, M eğilme momentini, M_{YB} aksel kuvvetin denge noktasına ulaştığı andaki akma momentini ve F_{Y0} ise $M = 0$ durumunda akma kuvvetini göstermektedir. α ve β üsleri ise değişken çekme-basınç kuvvetleri ve farklı P-M düzlemleri için belirlenen katsayılardır.



Şekil 2. Parametrik Beton Fiber P-M2-M3 Mafsalsal için Akma Yüzeyleri (SAP2000)

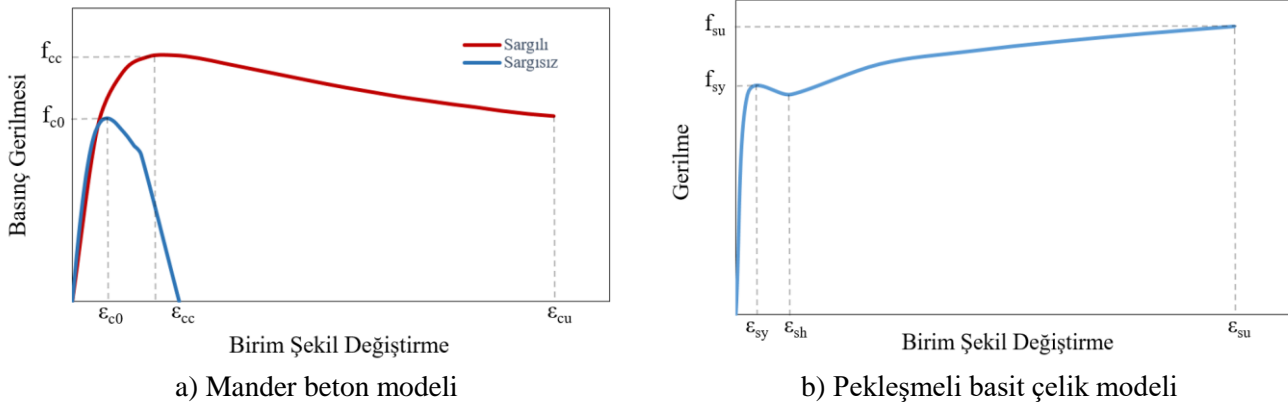
Parametrik beton fiber P-M2-M3 mafsal modelinde eleman davranışı üç aşamalı olarak idealize edilmektedir. Modelin kuvvet-deplasman ilişkisi Şekil 3'te verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere B, U ve D noktaları sırasıyla akma mukavemeti, nihai mukavemet, kalıcı mukavemeti göstermektedir ve bu değerler aksel kuvvet P ve eğilme momentleri M2, M3 değerlerinin farklı kombinasyonlar ile sıfıra eşit olduğu durumlar göz önünde bulundurularak hesaplanmaktadır (SAP2000).



Şekil 3. Parametrik Beton Fiber P-M2-M3 Modelinde Tek Eksenli Kuvvet-Yerdeğiştirme İlişkisi (SAP2000)

SAYISAL ÇALIŞMA

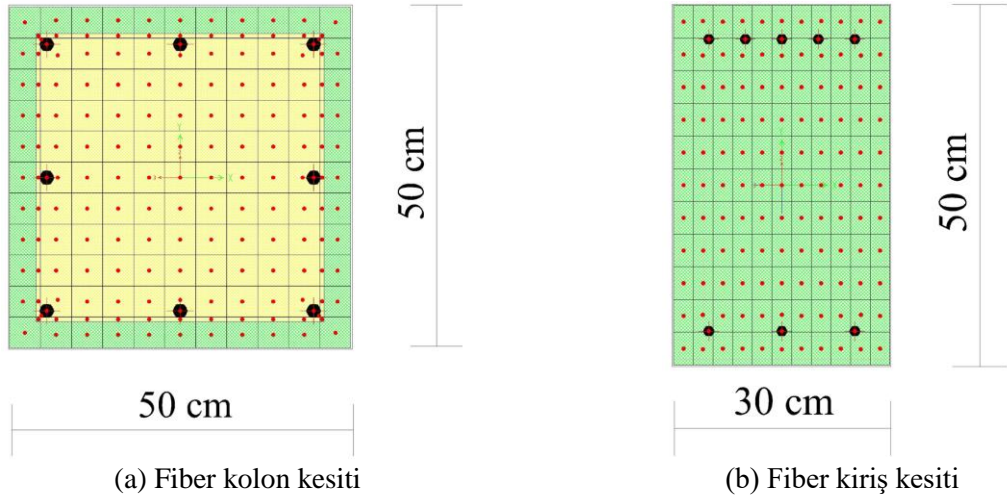
Bu çalışmada betonarme binalarda zemin kat yüksekliğinin artmasının yapının dinamik özelliklerine ve performansına etkisi incelenmiştir. Bu doğrultuda farklı zemin kat yüksekliklerine sahip beş farklı betonarme bina modeli oluşturulmuştur ve zaman tanım alanında nümerik analizler gerçekleştirilmiştir. Tüm yapı modelleri için etkin kesit rijitlikleri dikkate alınmıştır. Analizlerde beton malzemenin doğrusal olmayan davranışı için Mander beton modeli, çelik donatıların doğrusal olmayan davranışı için pekleşme dikkate alınan S420 basit çelik modeli kullanılmıştır. Beton ve çelik için kullanılan malzeme modellerinin gerilme-şekil değiştirme ilişkisi Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Doğrusal Olmayan Malzeme Modelleri

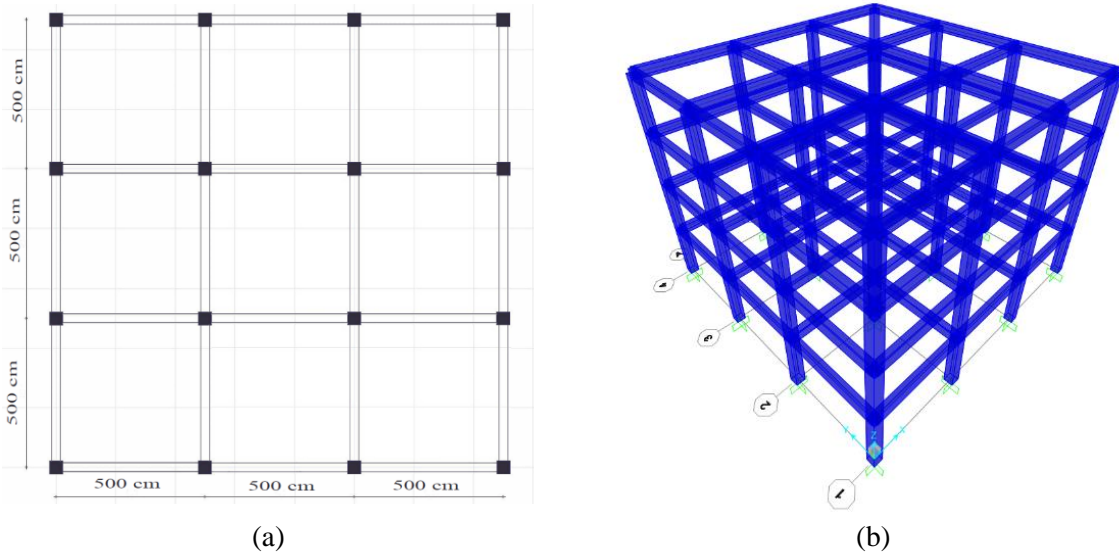
Grafiklerde Mander modeli için; f_{cc} sargılı beton basınç dayanımını, ϵ_{cc} buna karşılık gelen birim şekil değiştirmeyi, f_{c0} sargısız beton basınç dayanımını, ϵ_{c0} buna karşılık gelen birim şekil değiştirmeyi ve ϵ_{cu} ise maksimum birim şekil değiştirmeyi göstermektedir. Pekleşmeli basit çelik modeli için; f_{sy} çeliğin akma dayanımını, ϵ_{sy} akma anındaki birim şekil değiştirmeyi, ϵ_{sh} çeliğin pekleşme birim şekil değiştirme değerini, f_{su} çeliğin kopma dayanımını ve ϵ_{su} ise kopma anındaki birim şekil değiştirmeyi göstermektedir.

Analizlerde beton sınıfı C25/30, çelik sınıfı ise S420 alınmıştır. Betonarme kolonların tamamı için 50 x 50 cm kesit, 8φ20 boyuna donatı ve φ10/100 etriye konfigürasyonu kullanılmıştır. Betonarme kirişler için 30 x 50 cm kesit kullanılmış olup kiriş üst boyuna donatı için 5φ14, kiriş alt boyuna donatı için 3φ14 donatı konfigürasyonu belirlenmiştir. Nümerik modellerde kullanılan kolon ve kiriş kesit detayları Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Kolon ve Kiriş Kesiti Detayları

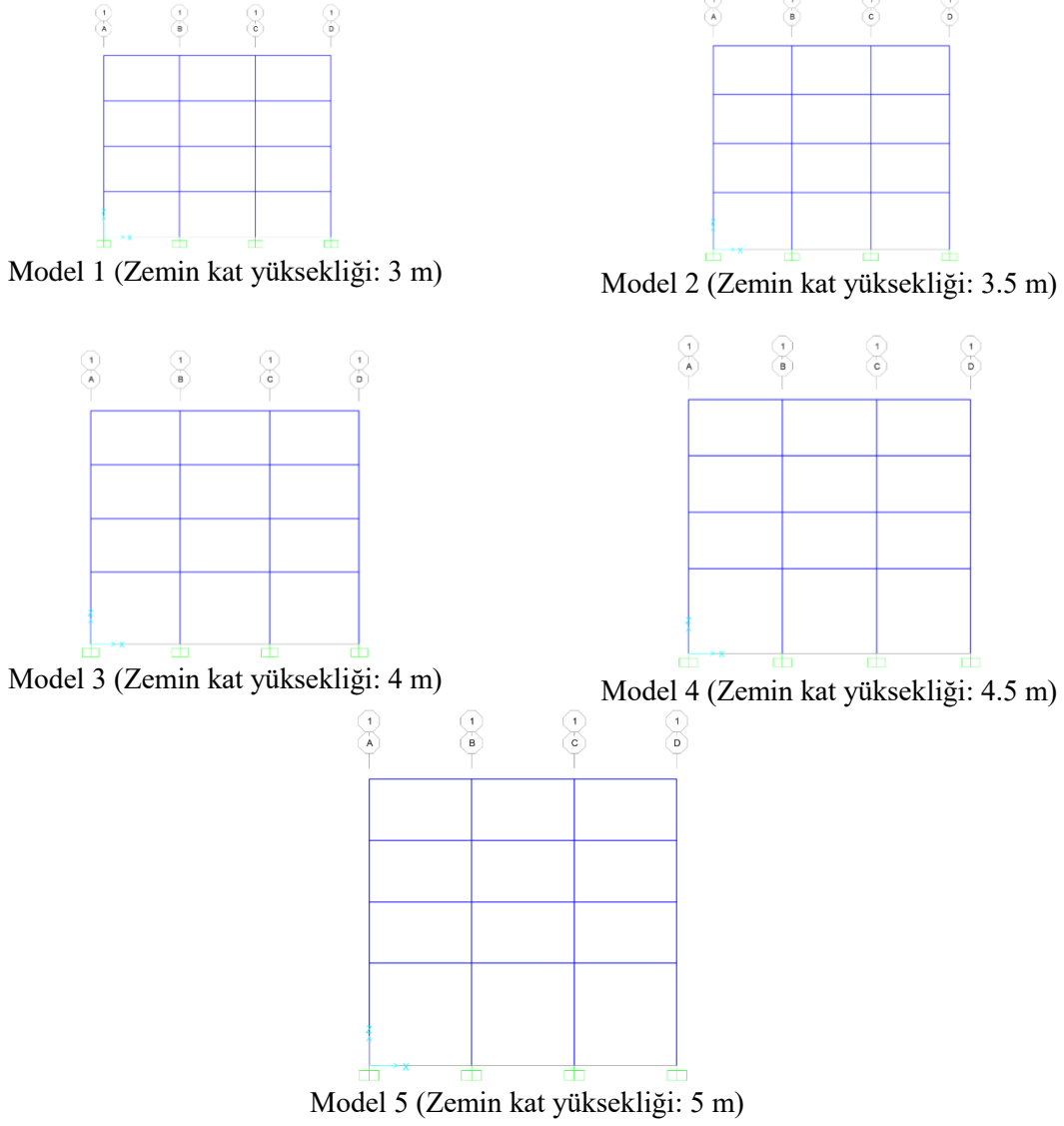
Analizlerde kullanılan modellerin sadece zemin kat yükseklikleri değiştirilmiştir. Yapılar x ve y doğrultularında her biri 5 m uzunluğa sahip 3'er tane açıklığa sahiptir. Zemin + 3 kat olarak tasarlanan yapıların zemin kat yükseklikleri 3 m (Model 1), 3.5 m (Model 2), 4 m (Model 3), 4.5 m (Model 4) ve 5 m (Model 5) olup diğer kat yükseklikleri 3 m olarak modellenmiştir. Yapılara ait kalıp planı ve 3 boyutlu görünümü Şekil 6'da verilmiştir.



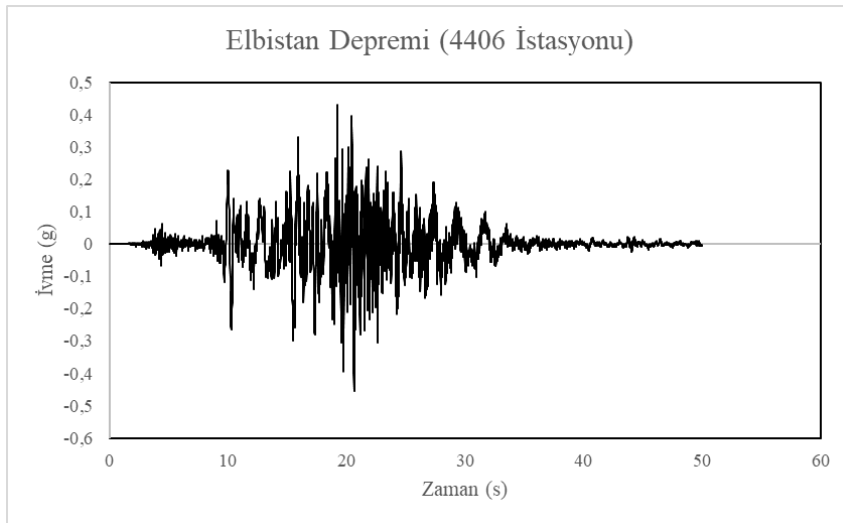
Şekil 6. Model Görüntüsü (a) Kalıp Planı ve (b) 3 Boyutlu Görüntüsü

Tüm modellerin 2 boyutlu yandan görünüşleri Şekil 7'de verilmiştir. Nümerik analizlerde betonarme kesitlerin hesabı için düğüm noktalarında fiber P-M2-M3 mafsalı kullanılmış ve deprem etkilerinin incelenmesi amacıyla bu mafsalların belirlenen sınır değerlerine göre hasar durumları incelenmiştir. Hasar bölgelerinin incelemesinde 16 adet kolon ve 24 adet kiriş elemanda oluşan hasarlar dikkate alınmıştır. Binaya yalnızca bir doğrultuda deprem uygulandığından yalnızca ilgili yöndeki kiriş hasarları göz önünde bulundurulmuştur.

Yapısal analizlerde 2023-Kahramanmaraş (Elbistan) ($M_w=7.6$) depreminin 4406 istasyonunda ölçülen ivme kaydı kullanılmıştır. Bu ivme kaydı Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2 (DD2)'ye göre ölçeklendirilmiş ve kaydın etkili 50 saniyesi etki ettirilmiştir (TBDY, 2018). Ölçeklenmiş deprem kaydına ait ivme-zaman grafiği Şekil 8'de verilmiştir. Doğrusal olmayan zaman tanım analizlerinde simetrik yapı kullanılması sebebiyle bu deprem yalnızca x doğrultusunda etki ettirilmiştir.



Şekil 7. Betonarme Modellerin Yandan Görünüşü



Şekil 8. Kahramanmaraş (Elbistan) Depremi İvme-Zaman Grafiği (AFAD, 2024)

Beton ve çelik malzemeler için birim şekil değiştirme değerleri, hasar sınır bölgelerinin belirlenmesinde temel bir kriter olarak kullanılmıştır. Malzemelerin deformasyon kapasitelerine dayalı olarak tanımlanan bu sınırlar, farklı

hasar bölgelerine ayrılmalarını sağlamaktadır. Beton ve çelik malzemeler için geçerli olan bu sınır değerler, Tablo 2’de sunulmuştur ve yapı elemanlarının tasarım ve analiz süreçlerinde kesitlerin hasar düzeylerinin değerlendirilmesinde önemli bir referans oluşturmuştur. Bu tablo da ϵ_c beton birim şekil değiştirme değerini ifade ederken, ϵ_s donatı çeliği birim şekil değiştirme değerini ifade etmektedir.

Tablo 2. Beton ve Çelik Malzemeleri İçin Birim Şekil-Değiştirme Sınırları

Hasar Sınır Bölgesi	Beton	Donatı Çeliği
Sınırlı Hasar Bölgesi (SHB)	$\epsilon_c \leq 0.002500$	$\epsilon_s \leq 0.0075$
Belirgin Hasar Bölgesi (BHB)	$0.002500 \leq \epsilon_c \leq 0.002625$	$0.0075 \leq \epsilon_s \leq 0.0240$
İleri Hasar Bölgesi (İHB)	$0.002625 \leq \epsilon_c \leq 0.003500$	$0.0240 \leq \epsilon_s \leq 0.0320$
Göçme Bölgesi (GB)	$\epsilon_c \geq 0.003500$	$\epsilon_s \geq 0.0320$

BULGULAR ve TARTIŞMA

Nümerik analizlerde beş farklı yapı modeli için SAP2000 programı kullanılmış ve zemin kat yüksekliğinin değişiminin yapının deprem davranışına etkisi incelenmiştir. Her bir model için öncelikle modal analizler gerçekleştirilmiş ve elde edilen doğal titreşim periyotları ve kat deplasman değerleri Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Modellerde Oluşan Doğal Titreşim Periyotları ve Deplasman Değerleri

Model No	Periyot (s)	Zemin kat deplasmanı (mm)	Tepe deplasmanı (mm)
1	0.56356	29.4	94.5
2	0.60279	41.5	104.4
3	0.64783	55.3	114.1
4	0.69879	66.9	119.3
5	0.75556	83.1	128.5

Tablo 3’te görüldüğü üzere modellerin doğal titreşim periyot değerlerinin, zemin kat yüksekliğinin artışı ile doğru orantılı olarak arttığı görülmüştür. Model 1 periyot değeri 0.56356 s olarak elde edilmiştir. Ancak, Model 5 periyot değeri 0.75556 s’ye yükselmiştir. Yapıların zemin kat ve tepe deplasmanları zemin kat yüksekliği ile artış göstermiştir. Zemin kat deplasmanları Model 1’de 29.4 mm olarak elde edilirken, Model 5’te 83.1 mm’ye ulaşmıştır. Benzer şekilde, tepe deplasmanları da Model 1’de 94.5 mm iken, Model 5’te 128.5 mm’ye yükselmiştir. Bu durum, zemin kat yüksekliğinin artmasıyla yapıların daha büyük yatay yer değiştirmeler yapabileceğini ve dolayısıyla deprem etkilerine karşı daha hassas hale geldiğini göstermektedir. Tablo (4–8)’ de modellerin her kat seviyelerindeki kolon ve kiriş elemanlarında oluşan hasar düzeylerinin dağılımları verilmiştir. Hasar düzeylerinin dağılımı, zemin kat yüksekliğinin artışına bağlı olarak değişiklik göstermiştir. Zemin kat kolonları incelendiğinde, Model 1 ve Model 2 için plastik mafsalların tamamı İHB – ileri hasar bölgesi, Model 3 ve Model 4 için 4 adet GB - göçme bölgesi, 12 adet İHB - ileri hasar bölgesi ve Model 5 için 6 adet GB – göçme bölgesi ve 10 adet İHB – ileri hasar bölgesi gözlemlenmiştir. Zemin kat kirişlerinde ise, Model 1’de 6 adet GB – göçme bölgesi, 6 adet İHB – ileri hasar bölgesi görülürken Model 5’te kirişlerin tamamında İHB – ileri hasar bölgesi gözlemlenmiştir. Zemin kat yüksekliği arttıkça hasarların zemin kat kolonlarında yoğunlaştığı ve üst kat kolon hasarlarının azaldığı gözlemlenmiştir.

Tablo 4. Model 1’de Oluşan Hasarlı Eleman Sayısı

Model 1	Kolon				Kiriş			
	SHB	BHB	İHB	GB	SHB	BHB	İHB	GB
Zemin	-	-	16	-	12	-	6	6
1.kat	12	4	-	-	12	-	12	-
2.kat	8	8	-	-	22	2	-	-
3.kat	12	4	-	-	24	-	-	-

Tablo 5. Model 2’de Oluşan Hasarlı Eleman Sayısı

Model 2	Kolon				Kiriş			
	SHB	BHB	İHB	GB	SHB	BHB	İHB	GB
Zemin	-	-	16	-	12	-	-	12
1.kat	-	14	2	-	12	2	10	-
2.kat	10	6	-	-	24	-	-	-
3.kat	16	-	-	-	24	-	-	-

Tablo 6. Model 3'te Oluşan Hasarlı Eleman Sayısı

Model 3	Kolon				Kiriş			
	SHB	BHB	İHB	GB	SHB	BHB	İHB	GB
Zemin	-	-	12	4	12	-	-	12
1.kat	-	8	8	-	12	10	2	-
2.kat	12	4	-	-	24	-	-	-
3.kat	16	-	-	-	24	-	-	-

Tablo 7. Model 4'te Oluşan Hasarlı Eleman Sayısı

Model 4	Kolon				Kiriş			
	SHB	BHB	İHB	GB	SHB	BHB	İHB	GB
Zemin	-	-	12	4	12	-	4	8
1.kat	4	12	-	-	12	12	-	-
2.kat	16	-	-	-	24	-	-	-
3.kat	16	-	-	-	24	-	-	-

Tablo 8. Model 5'te Oluşan Hasarlı Eleman Sayısı

Model 5	Kolon				Kiriş			
	SHB	BHB	İHB	GB	SHB	BHB	İHB	GB
Zemin	-	-	10	6	12	-	12	-
1.kat	12	4	-	-	18	6	-	-
2.kat	16	-	-	-	24	-	-	-
3.kat	16	-	-	-	24	-	-	-

SONUÇLAR

Bu çalışmada, zemin kat yüksekliğinin artırılmasının betonarme binaların deprem performansına etkisi incelenmiştir. Farklı zemin kat yüksekliklerine sahip 5 farklı binanın doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizleri yapılarak hasar durumları karşılaştırılmıştır. Analizlerde, 2023 Kahramanmaraş (Elbistan) (Mw=7.6) depremine ait 4406 numaralı istasyonda kaydedilen ivme verisi kullanılmıştır. Bu kayıt, Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2 (DD-2) kapsamında ölçeklendirilmiş ve etkili 50 saniyelik bölümü analize dâhil edilmiştir. Zemin kat yüksekliğinin değişiminin yapının deprem davranışına etkisi incelenmiştir. Zemin kat yüksekliğinin artırılmasının;

- Bina rijitliğini düşürdüğü ve bina periyotlarını %7-34 arasında arttırdığı,
- Binanın tepe deplasmanını ve zemin katında meydana gelen deplasmanı belirgin bir şekilde arttırdığı,
- Binada meydana gelen hasarların zemin kat kolonlarında yoğunlaşmasına neden olduğu,
- Zemin kat yüksekliğinin artmasıyla birlikte yapıların deprem performansı olumsuz etkilenmiş ve göçme riski artmıştır. Özellikle Model 3, Model 4 ve Model 5'te görülen yüksek deplasman değerleri ve göçme bölgesindeki plastik mafsalları sayısının artışı, bu yapılarda yumuşak kat düzensizliğine bağlı hasar riskini arttırdığı görülmüştür.

Sonuç olarak, zemin kat yüksekliğinin artışı, yapıların doğal titreşim periyotlarını, deplasman değerlerini ve hasar dağılımlarını önemli ölçüde etkilemiştir. Zemin kat yüksekliği arttıkça, yapıların deprem davranışında daha büyük yatay yer değiştirmeler ve zemin kat kolonlarında daha ciddi hasarlar olduğu görülmüştür. Bu bulgular, deprem dayanımı açısından zemin kat yüksekliğinin kritik bir tasarım parametresi olduğunu ve yapıların tasarım sürecinde dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Özellikle, zemin kat yüksekliği ile ilişkili risklerin azaltılması amacıyla kolon ve kiriş elemanlarının boyutlandırılmasında daha detaylı mühendislik hesaplamalarının yapılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

AFAD (2024), Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. <https://tadas.afad.gov.tr/>

Akansel, V. H. (2017). Effect of Soft Storey on Seismic Performance of Reinforced Concrete Buildings. Middle East Technical University, The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Civil Engineering Department, Ph.D. Thesis.

- Akkar, S., Boore, D. M., & Gülkan, P. (2005). An evaluation of the strong ground motion recorded during the May 1, 2003 Bingöl Turkey, Earthquake. *Journal of earthquake engineering*, 9(2), 173-197. <https://doi.org/10.1080/13632460509350538>
- Arslan, M. H., Korkmaz, H. H., & Gulay, F. G. (2006). Damage and failure pattern of prefabricated structures after major earthquakes in Turkey and shortfalls of the Turkish Earthquake code. *Engineering Failure Analysis*, 13(4), 537-557. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2005.02.006>
- Ates, S., Kahya, V., Yurdakul, M., & Adanur, S. (2013). Damages on reinforced concrete buildings due to consecutive earthquakes in Van. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 53, 109-118. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2013.06.006>
- Avcil, F., Işık, E., İzol, R., Büyüksaraç, A., Arkan, E., Arslan, M. H., ... & Harirchian, E. (2024). Effects of the February 6, 2023, Kahramanmaraş earthquake on structures in Kahramanmaraş city. *Natural Hazards*, 120(3), 2953-2991. <https://doi.org/10.1007/s11069-023-06314-1>
- Bakala, P. I. B., Mısır, İ. S., & Aldemir, Ö. Betonarme Çerçevelerde Yumuşak Kat Etkilerinin Yeni Nesil Dolgu Duvarlar ile Azaltılması. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 26(77), 192-199. <https://doi.org/10.21205/deufmd.2024267701>
- Bayrak, O. F., Bikçe, M., & Erdem, M. M. (2021). Failures of structures during the January 24, 2020, Sivrice (Elazığ) Earthquake in Turkey. *Natural hazards*, 108(2), 1943-1969. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-04764-z>
- Çağlar, N., Vural, I., Kirtel, O., Saribiyik, A., & Sumer, Y. (2023). Structural damages observed in buildings after the January 24, 2020 Elazığ-Sivrice earthquake in Türkiye. *Case Studies in Construction Materials*, 18, e01886. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e01886>
- Demir, A., & Altıok, T. Y. (2021). Numerical assessment of a slender structure damaged during October 30, 2020, İzmir earthquake in Turkey. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 19(14), 5871-5896. <https://doi.org/10.1007/s10518-021-01197-8>
- Dogan, G., Ecemis, A. S., Korkmaz, S. Z., Arslan, M. H., & Korkmaz, H. H. (2021). Buildings damages after Elazığ, Turkey earthquake on January 24, 2020. *Natural hazards*, 109(1), 161-200. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-04831-5>
- Doğangün, A. (2004). Performance of reinforced concrete buildings during the May 1, 2003 Bingöl Earthquake in Turkey. *Engineering Structures*, 26(6), 841-856. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2004.02.005>
- El-Tawil, S., & Deierlein, G. G. (2001). Nonlinear analysis of mixed steel-concrete frames. I: Element formulation. *Journal of Structural engineering*, 127(6), 647-655. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(2001\)127:6\(647\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(2001)127:6(647))
- Günaydin, M., Atmaca, B., Demir, S., Altunişik, A. C., Hüsem, M., Adanur, S., ... & Angin, Z. (2021). Seismic damage assessment of masonry buildings in Elazığ and Malatya following the 2020 Elazığ-Sivrice earthquake, Turkey. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 19, 2421-2456. <https://doi.org/10.1007/s10518-021-01073-5>
- İnce, O. (2024). Structural Damage Assessment of Reinforced Concrete Buildings in Adıyaman after Kahramanmaraş (Türkiye) Earthquakes on 6 February 2023. *Eng. Fail. Anal.* 156, 107799. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2023.107799>
- Isik, E., Aydın, M. C., & Buyuksarac, A. (2020). 24 January 2020 Sivrice (Elazığ) earthquake damages and determination of earthquake parameters in the region. *Earthquakes and Structures*, 19(2), 145-156. <https://doi.org/10.12989/eas.2020.19.2.145>
- Mander, J. B., Priestley, M. J., & Park, R. (1988). Theoretical stress-strain model for confined concrete. *Journal of structural engineering*, 114(8), 1804-1826. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1988\)114:8\(1804\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1988)114:8(1804))
- Pesaralanka, V., Challagulla, S. P., Vicencio, F., Chandra Babu, P. S., Hossain, I., Jameel, M., & Ramakrishna, U. (2023). Influence of a soft story on the seismic response of non-structural components. *Sustainability*, 15(4), 2860. <https://doi.org/10.3390/su15042860>
- Saatcioglu, M., Mitchell, D., Tinawi, R., Gardner, N. J., Gillies, A. G., Ghobarah, A., ... & Lau, D. (2001). The August 17, 1999, Kocaeli (Turkey) earthquake damage to structures. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 28(4), 715-737. <https://doi.org/10.1139/101-043>

SAP2000 V.24.0.0, Computers and Structures, Inc., <http://www.csiberkeley.com>, 1995 University Avenue Berkeley, California 94704 USA,. 1978-2010

Sayın, E., Yön, B., Onat, O., Gör, M., Öncü, M. E., Tuğrul Tunç, E., ... & Calayır, Y. (2021). 24 January 2020 Sivrice-Elazığ, Turkey earthquake: geotechnical evaluation and performance of structures. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 19, 657-684. <https://doi.org/10.1007/s10518-020-01018-4>

Sezen, H., & Whittaker, A. S. (2006). Seismic performance of industrial facilities affected by the 1999 Turkey earthquake. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 20(1), 28-36. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0887-3828\(2006\)20:1\(28](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0887-3828(2006)20:1(28)

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. *Engineering Structures*, 25(1), 103-114. [https://doi.org/10.1016/S0141-0296\(02\)00121-9](https://doi.org/10.1016/S0141-0296(02)00121-9)

Özmen, A., İnce, O., Taş, Ö. F., Atar, M., Ozbulut, O. E., & Sayın, E. (2025). Seismic performance assessment of structures in Malatya Province after 6 February 2023 Turkey earthquake sequences. *Natural Hazards*, 121, 5293–5326. <https://doi.org/10.1007/s11069-024-07017-x>

Taskin, B., Sezen, A., Tugsal, U. M., & Erken, A. (2013). The aftermath of 2011 Van earthquakes: evaluation of strong motion, geotechnical and structural issues. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 11, 285-312. <https://doi.org/10.1007/s10518-012-9356-9>

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

Yön, B. (2021). Identification of Failure Mechanisms in Existing Unreinforced Masonry Buildings in Rural Areas after April 4, 2019 Earthquake in Turkey. *J. Build. Eng.* 43, 102586. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102586>