



## Araştırma Makalesi / Research Article

## Birleşik deprem etkilerinin ve ek dışmerkezliğin betonarme binaların davranışına etkisi

*Effect of combined earthquake effects and additional eccentricity on the behaviour of reinforced concrete buildings*Gürkan Tam<sup>1\*</sup>, Burak Yön<sup>2</sup><sup>1</sup> Munzur Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, [gtam@munzur.edu.tr](mailto:gtam@munzur.edu.tr)  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9948-2141><sup>2</sup> Munzur Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, [burakyon@munzur.edu.tr](mailto:burakyon@munzur.edu.tr)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5155-6963>

## MAKALE BİLGİLERİ

## Makale Geçmişi:

Geliş 8 Ekim 2024  
Revizyon 9 Kasım 2024  
Kabul 13 Kasım 2024  
Online 23 Aralık 2024

## Anahtar Kelimeler:

*Birleşik Deprem Etkileri, Ek Dışmerkezlik, Zemin Sınıfı, Plastik Mafsalsal, Kapasite Eğrisi*

## ÖZ

Bu çalışmada birleşik deprem etkilerinin ve ek dışmerkezliğin betonarme binaların davranışına etkisi incelenmiştir. Çalışma kapsamında modellenen betonarme yapının beş zemin sınıfına (ZA, ZB, ZC, ZD ve ZE) göre X ve Y yönlerinde olmak üzere toplam 30 adet doğrusal olmayan statik itme analizleri yapılmıştır. Kiriş ve kolonların doğrusal olmayan davranışları toplanmış plastik mafsalsal kabulüne göre, perde duvarların doğrusal olmayan davranışları ise yayılı plastik mafsalsal kabulüne göre yapılmıştır. Analizler sonucunda birleşik deprem etkileri ve ek dışmerkezlik dikkate alınarak her zemin sınıfı için kapasite eğrileri, X ve Y yönleri için en düşük yük faktöründe oluşan plastik mafsalsal dağılımları, ilk mafsalsal oluştuğu andaki yük faktörü ve maksimum yük faktörü değerleri elde edilmiştir. Analizler sonucunda zemin sınıfı ZA'dan ZE'ye doğru gidildikçe hem kapasite değerlerinde hem de yük faktörü değerlerinde azalmanın olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, ek dışmerkezlik ve birleşik deprem etkileri dikkate alındığı modellerde zemin sınıfındaki değişime bağlı olarak plastik mafsalsal dağılımlarının yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak betonarme yapıların tasarımlarında ve performans değerlendirmelerinde zemin sınıflarına ilave olarak birleşik deprem etkilerinin ve ek dışmerkezliğin dikkate alınması gereken önemli parametreler olduğu tespit edilmiştir.

## ARTICLE INFO

## Article history:

Received 8 October 2024  
Received in revised form 9 November 2024  
Accepted 13 November 2024  
Available online 23 December 2024

## Keywords:

*Combined Earthquake Effects, Additional Eccentricity, Soil Class, Plastic Hinge, Capacity Curve*

## ABSTRACT

In this study, the effects of combined earthquake effects and additional eccentricity on the behaviour of reinforced concrete buildings were investigated. Within the scope of the study, a total of 30 nonlinear static pushover analyses of the modelled reinforced concrete structure were performed in X and Y directions according to five soil classes (ZA, ZB, ZC, ZD and ZE). The nonlinear behaviour of beams and columns is based on lumped plastic hinge and the nonlinear behaviour of shear walls is based on distributed plastic hinge. As a result of the analyses, capacity curves for each soil class, plastic hinge distributions at the lowest load factor for X and Y directions, load factor at the moment of the first hinge and maximum load factor values were obtained considering the combined earthquake effects and additional eccentricity. As a result of the analyses, it was determined that both capacity values and load factor values decrease as the soil class moves from ZA to ZE. However, in the models where additional eccentricity and combined earthquake effects were considered, it was found that plastic hinge distributions intensified due to the change in soil class. As a result, it was determined that in addition to soil classes, combined earthquake effects and additional eccentricity are important parameters that should be considered in the design and performance evaluations of reinforced concrete structures.

Doi: 10.24012/dumf.1563505

\* Sorumlu Yazar

## Giriş

Depremler, yer kabuğundaki enerji birikiminin fay hatları boyunca serbest bırakılması sonucu oluşan dinamik kuvvetlerdir. Bu kuvvetlerin doğru bir şekilde analiz edilerek yapıların depreme dayanıklı tasarımında kullanılması temel bir gerekliliktir [1]. Bu nedenle farklı yönlerde etki eden deprem kuvvetlerinin birleştirilerek yapısal hesaplamaların yapılması, binaların sismik performansını belirlemede önemli bir rol oynamaktadır [2-4]. Deprem kuvvetlerinin birleştirilmesi, yapı mühendisliğinde karmaşık bir analiz süreci gerektirir. Bu süreç, yapının sismik yükler altındaki davranışını tahmin etmek için çeşitli matematiksel ve hesaplamalı yöntemlerin kullanılmasını içermektedir. Özellikle, çoklu deprem senaryolarının bir araya getirilmesi, yapının gerçek zemin koşullarına daha uygun bir şekilde tasarlanmasını sağlar [5]. Bu yaklaşım hem yapıların güvenliğini hem de sürdürülebilirliğini artırmayı amaçlayarak büyük genlikli deprem hareketlerinin yapılar üzerindeki etkilerini en aza indirmesi hedeflemektedir [6].

Yapı tasarımında dikkat edilmesi gereken diğer bir kritik parametre ise ek dış merkezliktir. Ek dış merkezlik, yapının ağırlık merkezinin, taşıyıcı sistemin merkezine olan uzaklığı olarak tanımlanmaktadır. Bu durum, yapının depremler ve diğer yükler altındaki davranışını önemli ölçüde etkilemektedir [7]. Yapıların sismik performansını değerlendirmek ve güvenliğini artırmak için ek dış merkezliğin etkilerini anlamak ve buna göre tasarım yapmak büyük önem taşımaktadır. Ek dış merkezlik, yapı tasarımında mimari dış merkezlik ve yapısal dış merkezlik olarak iki ana bileşen olarak ele alınmaktadır. Mimari dış merkezlik, yapı elemanlarının yerleşimi ve fonksiyonları nedeniyle ortaya çıkan ağırlık merkezinin kayması olarak açıklanırken, yapısal dış merkezlik ise yapının dinamik davranışını etkileyen taşıyıcı sistemdeki asimetric yük dağılımından kaynaklanmaktadır [8-9]. Dış merkezlik, yapının burulma momentlerine ve sismik yükler altındaki deformasyonlarına doğrudan etkide bulunduğu için binaların sismik performansını değerlendirirken dikkate alınmalıdır [10]. Özellikle büyük yapılarda ve yüksek binalarda, dış merkezliğin etkileri daha karmaşık bir şekilde ortaya çıkmaktadır [6]. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-2018 (TBDY-2018)'de ise yapıların tasarımında, yapıda herhangi bir düzensizlik bulunmasa bile %5'lik minimum ek dış merkezliğin dikkate alınması gerekliliği belirtilmiştir [11]. Böylelikle, yapıda daha sonradan yapılacak olası değişikliklerden ve yük dağılımındaki belirsizliklerden kaynaklanan düzensizliklerin bertaraf edilmesi amaçlanmaktadır.

Bu nümerik çalışmada; deprem kuvvetlerinin birleştirilmesinin ve ek dış merkezlik etkisinin betonarme binaların sismik davranışına etkisi incelenmiştir. Doğrusal olmayan statik itme analizi yöntemi kullanılarak binaların TBDY-2018'de verilen beş farklı zemin türüne göre analizleri yapılmıştır. Analizler sonucunda; seçilen binanın

kapasite eğrileri, plastik mafsallık dağılımları ve yük faktörü değerleri elde edilmiştir.

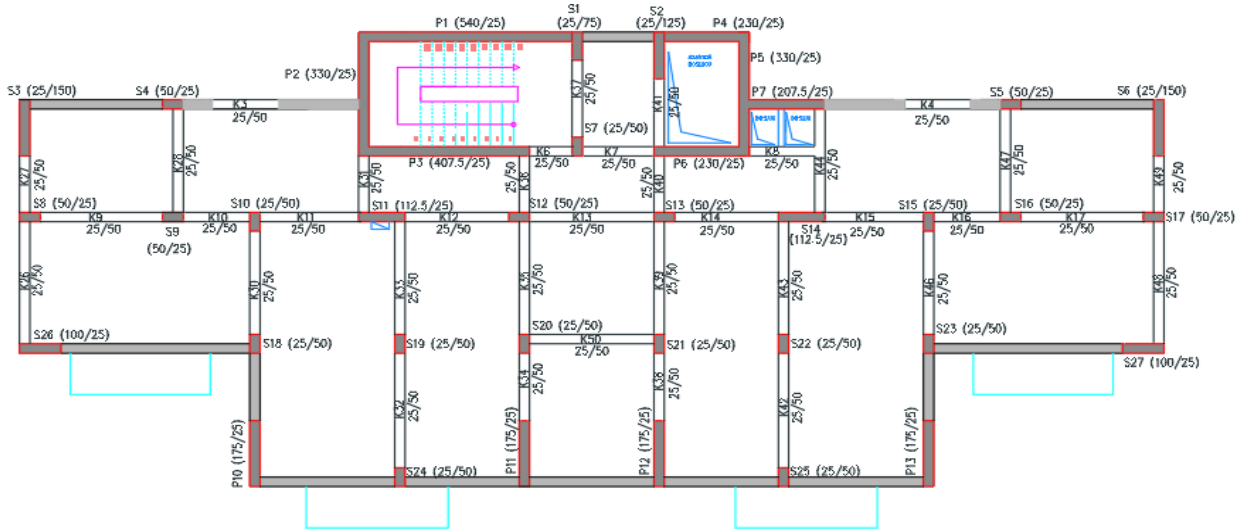
## Materyal ve Metot

Seçilen betonarme binanın doğrusal olmayan analizleri için statik itme analizi yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, yapı mühendisliğinde özellikle bina türü yapıların tasarımında ve performanslarının değerlendirilmesinde doğru sonuçlar veren pratik bir analiz yöntemidir. Bu nedenle birçok araştırmacı tarafından sıklıkla kullanılmaktadır [12]-[18]. Bu analiz yönteminde depremden kaynaklanan kuvvetler simüle edilerek incelenen binaya monolitik şekilde artan yanal bir yük uygulanmasını içermektedir. Analiz sonucunda elde edilen kapasite eğrisi mühendisin tasarladığı veya performans analizini yürüttüğü binanın sismik koşullar altında yapısal kapasitesini, göçme mekanizmalarını değerlendirmesine olanak tanıyan, taban kesme kuvveti ile çatı deplasmanı arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Analiz, yapıların elastik durumdan elastik olmayan davranışa nasıl geçiş yaptığını dair ayrıntılı bilgiler vererek, gerçek sismik yükleme altında yapısal hasarlara yol açabilecek plastik mafsalların olduğu bölgeleri tespit etmede büyük kolaylık sağlamaktadır. Bu çalışmada, seçilen binanın statik itme analizi, deprem kuvvetleri birleştirilerek ve %5'lik ek dış merkezlik uygulanarak yapılmıştır. Bu parametreler TBDY-2018'de tanımlandığı şekilde binaya uygulanmıştır. Yönetmelikte ifade edilen bu kuvvetlerin birleştirilmesi işlemi Denklem (1)'de tanımlanmıştır.

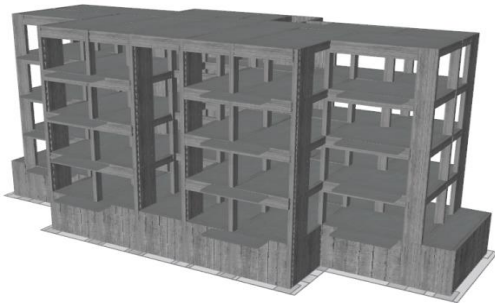
$$E_d^H = \pm E_d^X \pm 0.3 E_d^Y ; E_d^H = \pm E_d^Y \pm 0.3 E_d^X \quad (1)$$

Burada  $E_d^{(X)}$  ve  $E_d^{(Y)}$  birbirine dik (X) ve (Y) doğrultularındaki depremlerin etkisi altında tanımlanan ve ayrı ayrı hesaplanan deprem etkilerini,  $E_d^{(H)}$  ise birleştirilmiş kuvvetleri göstermektedir.

Sayısal çalışma için seçilen betonarme bina Tunceli/Merkez'de, 39.046200 enlem, 39.507956 boylam konumunda bulunan B+Z+3 normal katlı konut yapısıdır. Şekil 1-2'de seçilen binanın normal kat planı ve üç boyutlu görünümü sırasıyla verilmiştir. Binada kat yüksekliği 3 m, döşeme kalınlığı 15 cm, kiriş boyutları 25/50 cm ve 25/75 cm olarak seçilirken, kolon boyutları 25x50 cm, 25/75 cm, 25/100 cm, 25/112.5 cm ve 25/150 cm olarak alınmıştır. Binada malzeme olarak S420'lik donatı ve basınç dayanımı 25 N/mm<sup>2</sup> beton kullanılmıştır. Doğrusal olmayan davranış sağlamak için eleman uçlarında toplanmış plastik mafsallık kabulü yapılırken, bodrum perdelerinde yayılı plastik mafsallık kullanılmıştır. Malzeme davranış modeli olarak beton için Mander Sargılı Beton modeli [19], donatı için Manetto-Pinto [20] davranış modeli kullanılmıştır. Analizler için Seismostruct V24 yapı analiz programı kullanılmıştır.



Şekil 1. Seçilen binanın normal kat planı



Şekil 2. Seçilen binanın 3 boyutlu görünümü

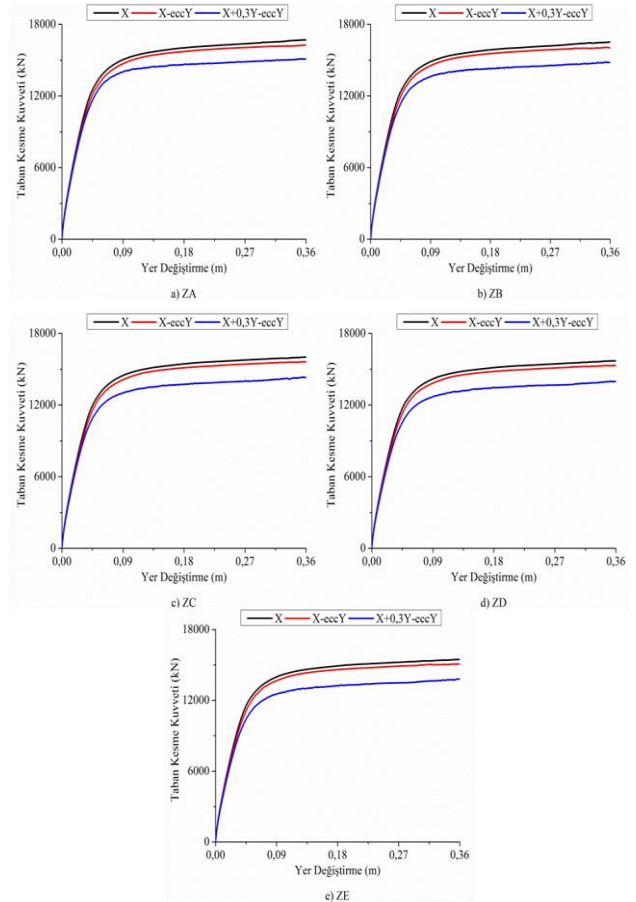
## Araştırma Bulguları

Bu bölümde incelenen yapının X ve Y yönlerindeki beş zemin sınıfına göre birleşik deprem etkilerinin ve ek dışmerkezliliğin dikkate alınarak yapılan analizleri sonucunda elde edilen kapasite eğrileri, plastik mafsalları dağılımları, ilk mafsalları için yük faktörü değerleri ve maksimum yük faktörü değerleri sunulmuştur.

### Kapasite Eğrileri

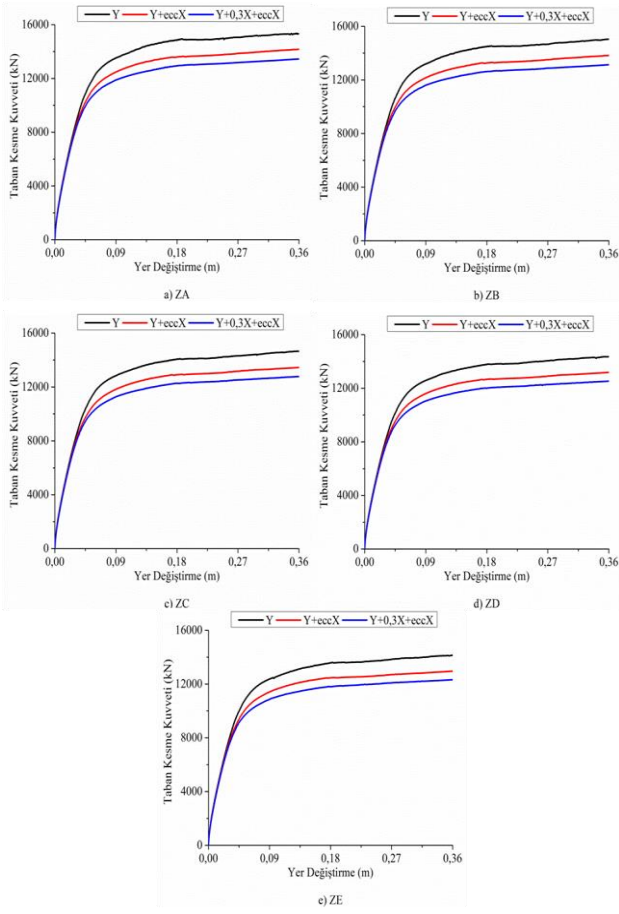
Seçilen binanın kapasite eğrileri bina çatı deplasmanının bina yüksekliğinin %3'üne ulaşmaya kadar itirilerek oluşturulmuştur. İncelenen binanın X yönünde birleştirilmiş kesme kuvveti etkisi altında elde edilen kapasite eğrileri Şekil 3'te sunulmuştur. Bu eğriler değerlendirildiğinde ZA zemin sınıfı için taban kesme kuvvetleri Modal X yüklemesinde 16709.04 kN, Modal X-eccY yüklemesinde 16277.36 kN, Modal X+0.3Y-eccY yüklemesinde 15113.15 kN olarak tespit edilmiştir. ZB zemin sınıfı için taban kesme kuvvetleri Modal X yüklemesinde 16518.47 kN, Modal X-eccY yüklemesinde 16086.88 kN, Modal X+0.3Y-eccY yüklemesinde ise 14804.4 kN olduğu görülmüştür. ZC zemin sınıfı için taban kesme kuvvetleri incelendiğinde Modal X yüklemesinde 16027.08 kN, Modal X-eccY yüklemesinde 15635.89 kN ve Modal X+0.3Y-eccY yüklemesinde 14335.01 kN olduğu görülmüştür. ZD zemin sınıfı için

taban kesme kuvvetleri değerlendirildiğinde Modal X yüklemesinde 15718.47 kN, Modal X-eccY yüklemesinde 15324.87 kN, Modal X+0.3Y-eccY yüklemesinde 13996.60 kN olduğu görülmüştür. ZE zemin sınıfı için elde edilen taban kesme kuvvetlerinde ise Modal X yüklemesi için 15465.88 kN, Modal X-eccY yüklemesinde 15088.24 kN ve Modal X+0.3Y-eccY yüklemesinde 13814.84 kN olduğu görülmüştür.



Şekil 3. İncelenen binanın X yönünde beş farklı zemin sınıfına göre elde edilen kapasite eğrileri

İncelenen binanın Y yönünde birleştirilmiş kuvvetler etkisi altında elde edilen kapasite eğrileri ise Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. İncelenen binanın Y yönünde beş farklı zemin sınıfına göre elde edilen kapasite eğrileri

Kapasite eğrileri değerlendirildiğinde; ZA zemin sınıfı için taban kesme kuvvetleri Modal Y yüklemesinde 15355.72 kN, Modal Y+eccX yüklemesinde 14172.07

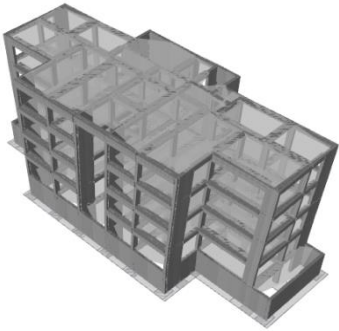
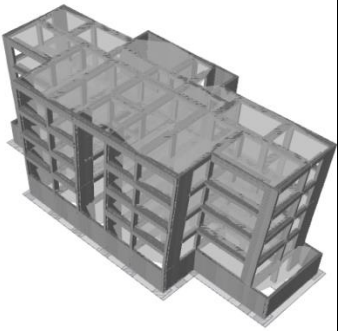
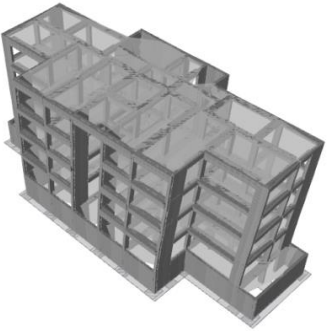
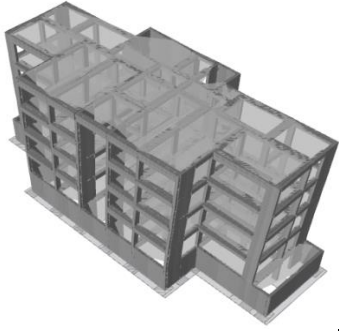
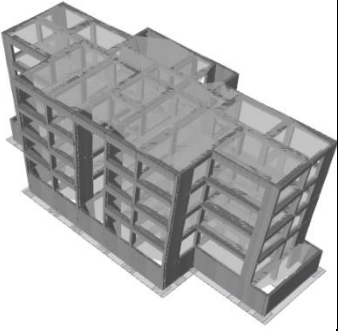
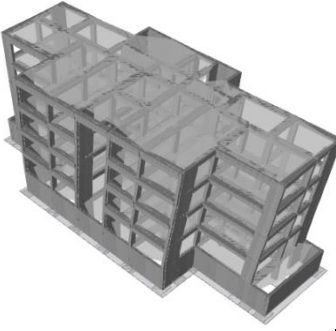
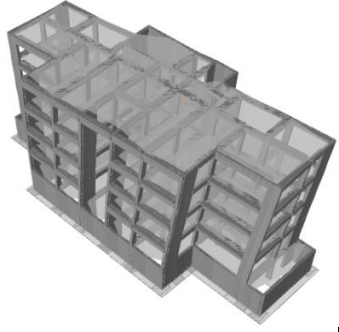
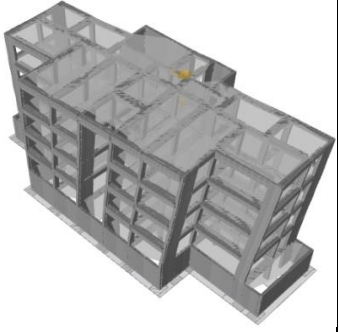
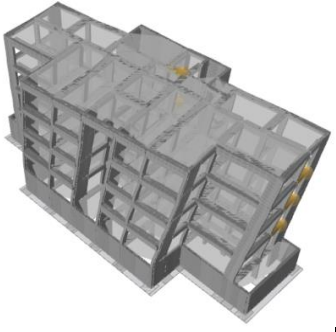
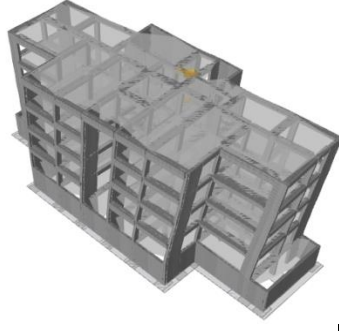
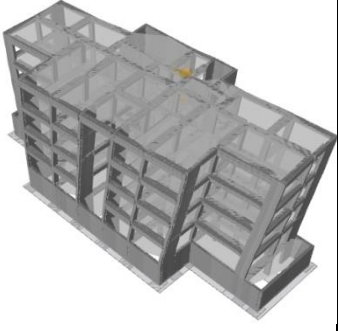
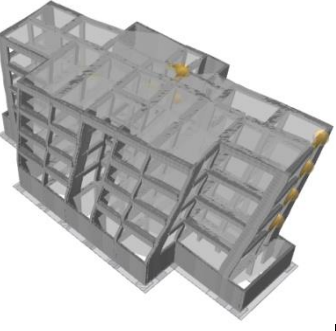
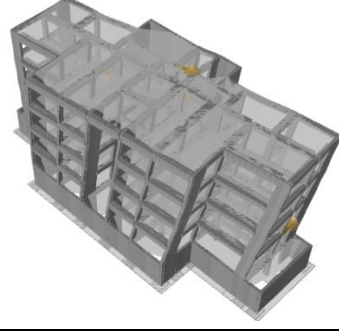
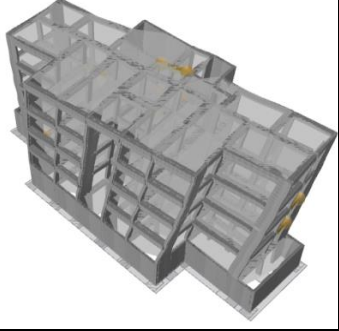
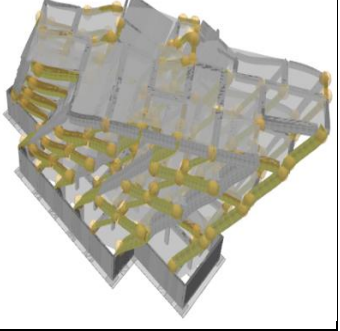
kN, Modal Y+0.3X+eccX yüklemesinde 13448.73 kN olarak tespit edilmiştir. ZB zemin sınıfı için taban kesme kuvvetleri Modal Y yüklemesinde 15038.44 kN, Modal Y+eccX yüklemesinde 13838.5 kN, Modal Y+0.3X+eccX yüklemesinde 13132.53 kN olduğu görülmüştür. ZC zemin sınıfı için ise taban kesme kuvvetleri Modal Y yüklemesinde 14660.42 kN, Modal Y+eccX yüklemesinde 13447.39 kN ve Modal Y+0.3X+eccX yüklemesinde 12776.13 kN olduğu görülmüştür. ZD zemin sınıfı için ise taban kesme kuvvetleri Modal Y yüklemesinde 14365.35 kN, Modal Y+eccX yüklemesinde 13183.46 kN ve Modal Y+0.3X+eccX yüklemesinde 12528.70 kN olduğu görülmüştür. ZE zemin sınıfında yer alan binanın taban kesme kuvvetleri Modal Y yüklemesinde 14150.21 kN, Modal Y+eccX yüklemesinde 12963.31 kN ve Modal Y+0.3X+eccX yüklemesinde 12321.45 kN olduğu görülmüştür

#### X Yönünde Elde Edilen Plastik Mafsalları Bölgesi

X yönündeki kuvvetlerin etkinliğinin fazla olduğu yüklemeler için beş zemin sınıfına ve üç farklı yüklemeye (Modal X, Modal X-eccY ve Modal X+0.3Y-eccY) göre elde edilen plastik mafsalları dağılımlarının binanın perspektif ve arka cepheden görünüşleri sırasıyla Tablo 1-2'de verilmiştir. Yapısal elemanlarda oluşan plastik mafsalları dağılımları üç farklı yüklemeye için en düşük yük faktörü olan 1.55 referans alınarak belirlenmiştir.

Elde edilen plastik mafsalları dağılımları incelendiğinde, ZA ve ZB zeminleri için seçilen yüklemeler altında plastik mafsalları oluşmazken, ZC ve ZD zeminlerinde Modal X-eccY ve Modal X+0.3Y-eccY yüklemeleri altında kirişlerde plastik mafsalların oluştuğu görülmüştür. Bununla birlikte, Modal X+0.3Y-eccY yüklemesinde plastik mafsalların arttığı belirlenmiştir. ZE zemin sınıfında elde edilen plastik mafsallar değerlendirildiğinde, Modal X-eccY yüklemesinde kolon ve perdelerde plastik mafsalların oluştuğu görülürken Modal X+0.3Y-eccY yüklemesi altında oluşan plastik mafsalların tüm yapısal elemanlara dağıldığı tespit edilmiştir.

Tablo 1. İncelenen binanın X yönünde perspektif görünüşe göre elde edilen plastik mafsals bölgeleri

Zemin	Modal X	Modal X-eccY	Modal X+0.3Y-eccY
ZA			
ZB			
ZC			
ZD			
ZE			

Tablo 2. İncelenen binanın X yönünde arka cepheden görünüşe göre elde edilen plastik mafsalları bölgeleri

Zemin	Modal X	Modal X-eccY	Modal X+0.3Y-eccY
ZA			
ZB			
ZC			
ZD			
ZE			

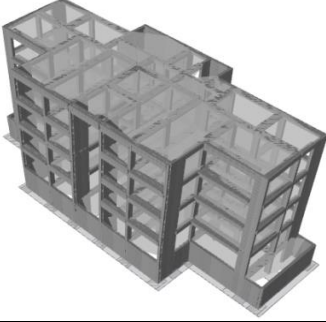
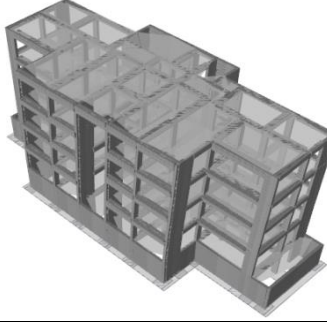
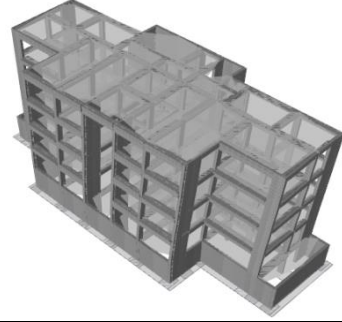
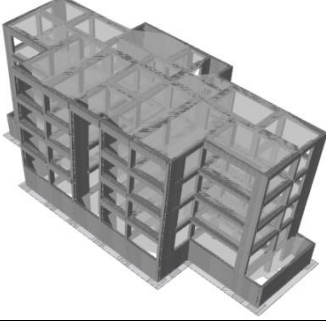
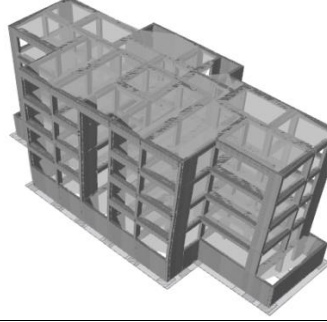
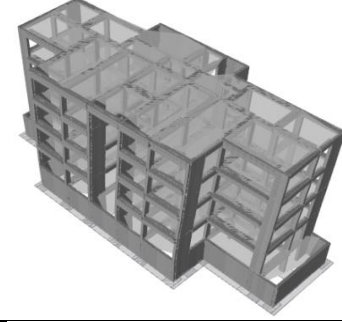
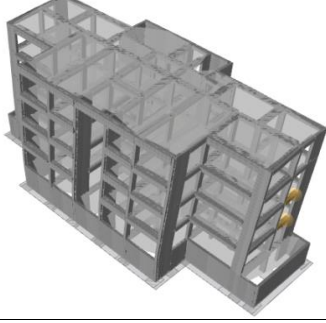
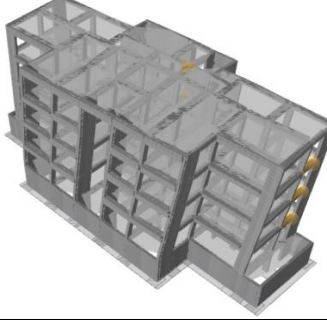
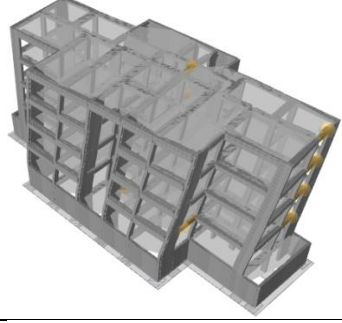
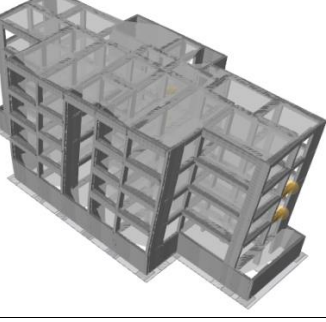
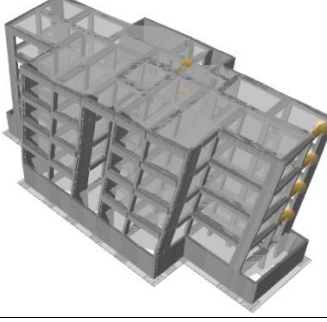
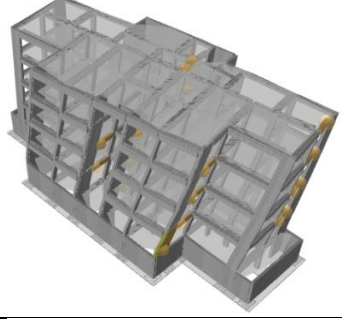
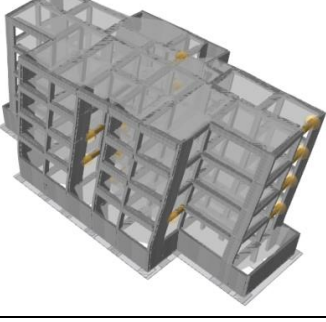
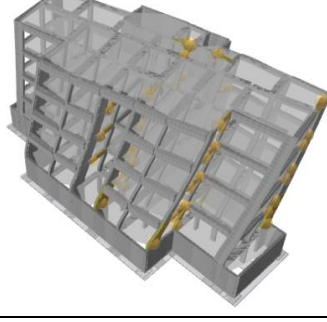
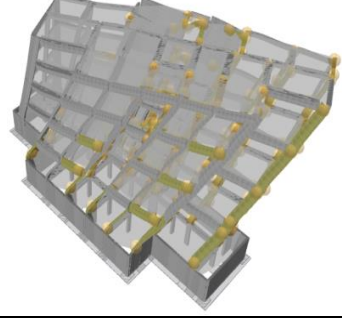
### Y Yönünde Elde Edilen Plastik Mafsalları Bölgeleri

Y yönündeki kuvvetlerin etkinliğinin fazla olduğu yüklemeler dikkate alınarak beş zemin sınıfına ve üç farklı yüklemeye (Modal X, Modal X-eccY ve Modal X+0.3Y-eccY) göre elde edilen plastik mafsalları dağılımlarının binanın perspektif ve arka cepheden görünüşleri sırasıyla Tablo 3-4'te sunulmuştur. Yapısal elemanlarda oluşan plastik mafsalları dağılımları üç farklı yükleme için en düşük yük faktörü olan 0.98 referans alınarak belirlenmiştir.

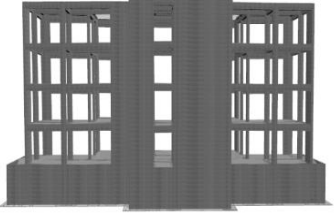
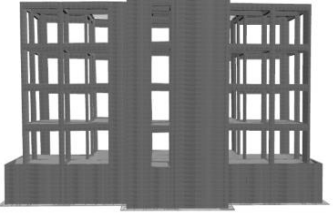
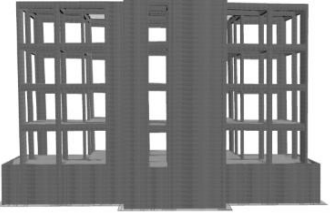
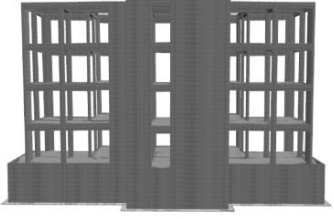
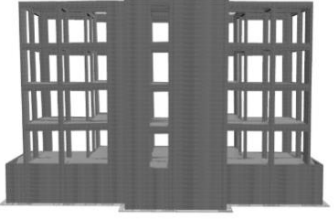
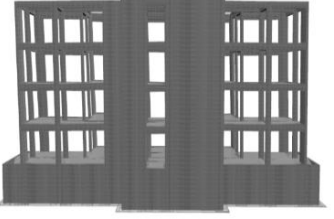
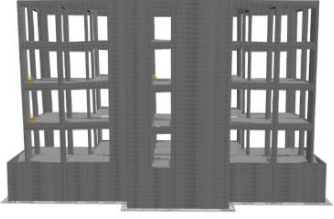
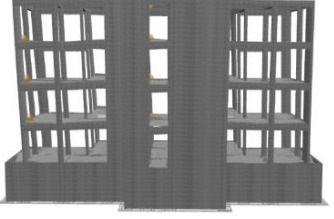
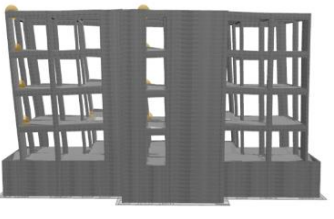
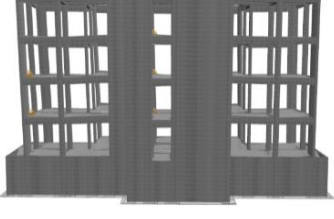
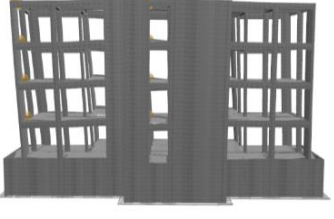
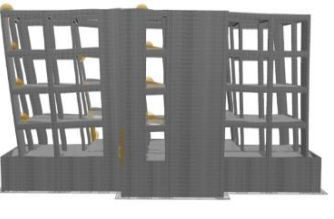
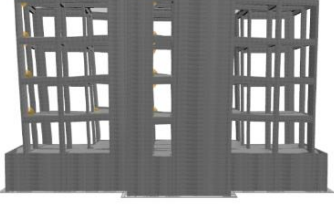
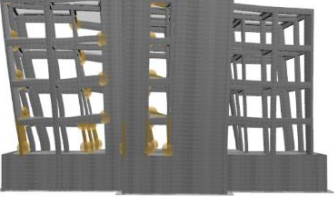
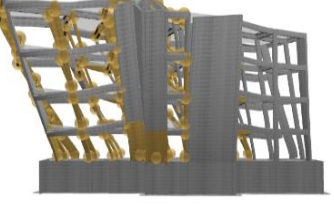
Oluşan plastik mafsalları dağılımları değerlendirildiğinde, X yönündekine benzer şekilde ZA ve ZB zeminleri için

seçilen tüm yüklemeler için hiçbir yapısal elemanda plastik mafsalları oluşmamıştır. ZC ve ZD zeminlerinde ise tüm yüklemeler için kirişlerde plastik mafsalları meydana gelmiştir. Bununla birlikte Modal X+0.3Y-eccY yüklemesi altında zemin kat kolonlarında plastik mafsalları oluşmuştur. ZE zemin sınıfında elde edilen plastik mafsalları incelendiğinde, Modal X-eccY yüklemesinde kolon ve perdelerde X yönündeki plastik mafsalları dağılımlardan daha yoğun olduğu tespit edilmiştir. Modal X+0.3Y-eccY yüklemesi altında oluşan plastik mafsalları tüm yapısal elemanlara dağıldığı belirlenmiştir.

Tablo 3. İncelenen binanın Y yönünde perspektif görünüşe göre elde edilen plastik mafsalları

Zemin	Modal Y	Modal Y+eccX	Modal Y+0.3X+eccX
ZA			
ZB			
ZC			
ZD			
ZE			

Tablo 4. İncelenen binanın Y yönünde arka cepheden görünüşe göre elde edilen plastik mafsal bölgeleri

Zemin	Modal Y	Modal Y+eccX	Modal Y+0.3X+eccX
ZA			
ZB			
ZC			
ZD			
ZE			

### Yük Faktörleri

Seçilen binanın zemin sınıflarına ve üç farklı yüklemeye göre ilk plastik mafsallın oluştuğu andaki yük faktörü, maksimum yük faktörü X ve Y yönleri için sırasıyla Tablo 5 ve Şekil 5-8'de sunulmuştur. Buna göre, X yönünde ilk mafsallın oluştuğu andaki yük faktörü ve maksimum yük faktörü değerlerinin ZA'dan ZE zemin sınıfına doğru gidildikçe bütün yükleme durumları için azaldığı görülmüştür.

İlk mafsal için yük faktörü Modal X yüklemesinde ZA zemin sınıfı 2.23 iken aynı yükleme için ZE zemin

sınıfında bu değer 1.19 olmuştur. Diğer zemin sınıflarında buna benzer şekilde lineer bir azalış meydana gelmiştir. Ek dışmerkezliğin dikkate alındığı X-eccY yüklemesinde ilk mafsallın oluştuğu andaki yük faktörü ve maksimum yük faktörü değerleri ZA için sırasıyla 2.15 ve 3.14 olurken ZE için bu değerler 1.15 ve 1.70 olarak elde edilmiştir. Ek dışmerkezlik ve deprem kuvvetlerinin birleştirildiği X+0.3Y-eccY yüklemesinde ilk mafsallın oluştuğu andaki yük faktörü ve maksimum yük faktörü değerleri ZA için sırasıyla 1.98 ve 2.89 olarak belirlenirken ZE zemin sınıfı için bu değerler 1.04 ve 1.55 olarak tespit edilmiştir.

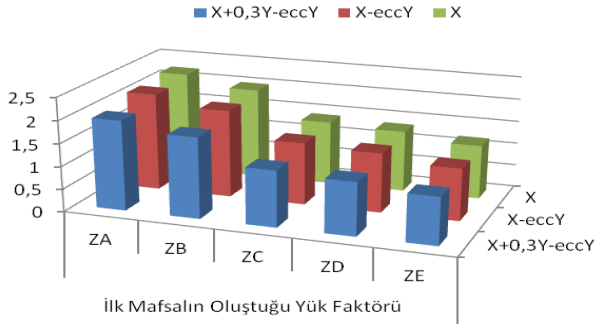


Y yönü için elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde X yönündeki sonuçlara paralel değerler elde edilmiştir. İlk mafsalsız için yük faktörü Modal Y yüklemesinde ZA zemin sınıfı 1.54 iken aynı yükleme için ZE zemin sınıfında bu değer 0.81 olmuştur. Maksimum yük faktör açısından bakıldığında aynı zemin sınıfı ve aynı yükleme için bu değerler 2.12'ye karşılık 1.12 olmuştur. Ek dışmerkezliğin dikkate alındığı Y+eccX yüklemesinde ilk mafsalsız oluştuğu andaki yük faktörü ve maksimum yük faktörü değerleri ZA için sırasıyla 1.21 ve 1.85 olarak belirlenirken ZE zemin sınıfı için bu değerler 0.64'e karşılık ve 0.98 olarak elde edilmiştir.

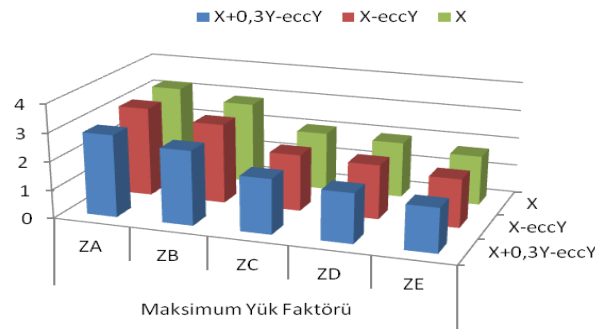
faktörü değerleri ZA için sırasıyla 1.31 ve 1.95 olurken ZE için bu değerler 0.69 ve 1.03 olarak elde edilmiştir. Ek dışmerkezlik ve deprem kuvvetlerinin birleştirildiği Y+0.3X+eccX yüklemesinde ilk mafsalsız oluştuğu andaki yük faktörü ve maksimum yük faktörü değerleri ZA için sırasıyla 1.21 ve 1.85 olarak belirlenirken ZE zemin sınıfı için bu değerler 0.64'e karşılık ve 0.98 olarak elde edilmiştir.

Tablo 5. Tüm zemin sınıfları için ilk mafsalsız oluştuğu yük faktörü ve maksimum yük faktörü değerleri

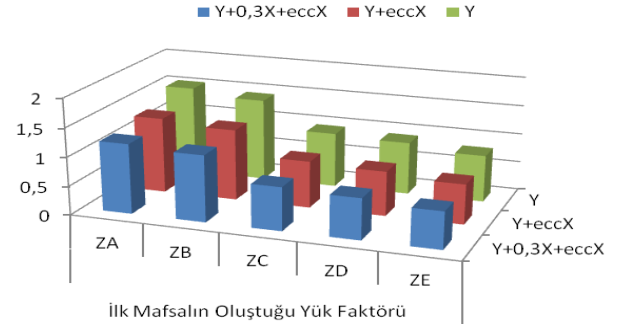
Zemin Sınıfı	Yük Faktörü	X	X-eccY	X+0.3Y-eccY	Y	Y+eccX	Y+0.3X+eccX
ZA	İlk Mafsalsız Oluştugu Andaki	2.23	2.15	1.98	1.54	1.31	1.21
	Maksimum	3.23	3.14	2.89	2.12	1.95	1.85
ZB	İlk Mafsalsız Oluştugu Andaki	2.00	1.93	1.78	1.43	1.23	1.15
	Maksimum	2.88	2.81	2.61	1.97	1.82	1.73
ZC	İlk Mafsalsız Oluştugu Andaki	1.41	1.37	1.24	0.95	0.81	0.75
	Maksimum	2.05	1.99	1.93	1.32	1.21	1.15
ZD	İlk Mafsalsız Oluştugu Andaki	1.35	1.31	1.17	0.91	0.77	0.71
	Maksimum	1.96	1.91	1.74	1.26	1.16	1.1
ZE	İlk Mafsalsız Oluştugu Andaki	1.19	1.15	1.04	0.81	0.69	0.64
	Maksimum	1.74	1.70	1.55	1.12	1.03	0.98



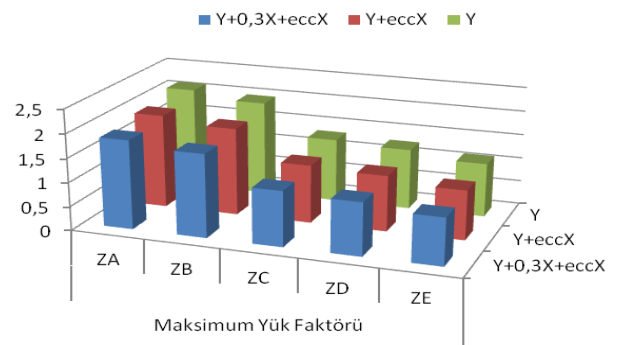
Şekil 5. X yönünde ilk mafsalsız oluştuğu yük faktörü değeri



Şekil 6. X yönünde maksimum yük faktörü değeri



Şekil 7. Y yönünde ilk mafsalsız oluştuğu yük faktörü değeri



Şekil 8. Y yönünde maksimum yük faktörü değeri

## Sonuçlar

Bu çalışmada birleşik deprem etkilerinin ve ek dışmerkezliğin betonarme binaların davranışına etkisi statik itme yöntemiyle incelenmiştir. Sayısal çalışma için seçilen betonarme binanın beş zemin sınıfına (ZA, ZB, ZC, ZD ve ZE) göre toplam 30 adet doğrusal olmayan itme analizleri yapılmıştır. Analizler sonucunda ek dışmerkezliğin bulunmadığı durum için Modal X ve Y yüklemesi, ek dışmerkezlik için en olumsuz sonucu veren X-eccY, Y+eccX yüklemeleri ve ek dışmerkezliğe ilaveten deprem kuvvetlerinin de birleştirildiği durum olan Y+0.3X+eccX, X+0.3Y-eccY yüklemeleri seçilmiştir. Yapılan analizlere göre elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Analizler sonucunda zemin sınıfının binanın kapasitesini etkileyen önemli bir faktör olduğu görülmüştür. En yüksek kapasite eğrileri ZA zemin sınıfı için elde edilirken, en düşük eğriler ZE zemin sınıfı için elde edilmiştir.
- Kapasite değerlerini etkileyen diğer faktörün ek dışmerkezlik olduğu tespit edilmiştir. Ek dışmerkezlik dikkate alınarak yapılan analizlerde kapasite eğrilerinde azalmalar görülürken yapısal elemanlardaki plastik mafsalları sayısının arttığı belirlenmiştir. Bununla birlikte ek dışmerkezlik hem ilk mafsalları oluşturduğu andaki hem de maksimum yüklemeye faktörlerinin azalmasına neden olmuştur.
- Deprem kuvvetlerinin birleştirilmesiyle yapılan analizlerde ise hem kapasite eğrilerinin hem de hasarın önemli ölçüde etkilendiği görülmüştür. Birleşik deprem kuvvetleri özellikle ZC, ZD ve ZE zemin sınıflarında yapısal elemanlardaki plastik mafsalları sayısını artırmıştır. Bu etki yük faktörlerini de ek dışmerkezlik gibi etkileyerek zemin sınıfına bağlı olarak yaklaşık %50 oranında azaltmıştır.

Sonuç olarak betonarme binaların tasarımında daha doğru ve sağlıklı sonuçlar elde edilmesi için zemin sınıfının doğru bir şekilde tespit edilmesi ve sayısal hesaplamalarda birleşik deprem etkilerinin ve ek dışmerkezliğin dikkate alınması gerektiği bu çalışmayla önerilmektedir.

## Kaynaklar

- [1] D. Dismukes, M. Kreger, and R. Tso, "Seismic load combinations and their effects on building performance," *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 49(1), pp.22-38, 2020.
- [2] A. J. Kappos, M. Papadrakakis, I. Koutromanos, "Performance-Based seismic design of structures," *CRC Press*, 2019.
- [3] A. Askan, and E. Kalkan, "Improved seismic performance assessment of structures using combined seismic load cases," *Journal of Structural Engineering*, 144(3), 2018, 04017121.
- [4] S. L. Kramer, "Geotechnical earthquake engineering," *Prentice Hall*, 2021.

- [5] A. K. Chopra, "Dynamics of structures: Theory and applications to earthquake engineering," *Pearson*, 2017.
- [6] J. P. Moehle., "Building performance assessment: Lessons from the past, challenges for the future," *Journal of Structural Engineering*, 140(3), 2014, 04014007.
- [7] J. H. Kuo, Y. T. Chen, and L. C. Hsu, "Effects of eccentricity on structural seismic response," *Engineering Structures*, 214, 2020, 110408.
- [8] J. Jankowski, "Structural analysis: Principles methods and applications," *Springer*, 2019.
- [9] M. H. El Naggar, and M. Elgawady, "Seismic performance of structures with eccentricities: A comprehensive study," *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 47(7), pp.1416-1436, 2018.
- [10] J. Kozak, "Dynamic response of eccentric structures under seismic loads," *Journal of Structural Engineering*, 147(5), 2021, 04021052.
- [11] *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*, 2018
- [12] G. Mucedero, D. Perrone, and R. Monteiro, "Nonlinear static characterisation of masonry-infilled RC building portfolios accounting for variability of infill properties," *Bulletin of Earthquake Engineering*, 19(6), pp.2597-2641, 2021.
- [13] G. Srinath, S. Swain, and K. Gopikrishna, "Seismic capacity estimation for composite multi-storeyed RC buildings," *Materials Today: Proceedings*, 93, pp.362-369, 2023.
- [14] R. Kurniawan, A. L. Budi, and S. H. Sourkan, "Pushover analysis of 10-floors reinforced concrete building (Case study: Mahkota Majolelo Sati Boutique Hotel)," *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 1041, No. 1, p. 012003. IOP Publishing, 2021.
- [15] B. Yön, and Y. Calayır, "Effects of confinement reinforcement and concrete strength on nonlinear behaviour of RC buildings," *Computers and Concrete: An International Journal*, 14(3), pp.279-297, 2014.
- [16] O. Onat, B. Yön, and Y. Calayır, "Seismic assessment of existing RC buildings before and after shear-wall retrofitting," *Gradevinar*, 70(8), pp.703-712, 2018.
- [17] M. E. Öncü, and M. Şahin Yön, "Assessment of nonlinear static and incremental dynamic analyses for RC structures," *Computers and Concrete*, 18(6), pp.1195-1211, 2016.
- [18] K. K. Kuria, O. K. Kegyes-Brassai, "Nonlinear static analysis for seismic evaluation of existing RC Hospital Building," *Applied Sciences*, 13(21), 2023, 11626.
- [19] J. B. Mander, M. J. N. Priestley, R. Park, "Theoretical stress-strain model for confined concrete," *J Struct Eng*, 114:1804-26, 1988.
- [20] M. Menegotto, P. E. Pinto, "Method of Analysis for Cyclically Loaded RC. plane frames including changes in geometry and non-elastic behavior of elements under 106 combined normal force and bending," *Symposium on the Resistance and Ultimate Deformability of Structures Acted on by Well Defined Repeated Loads, International Association for Bridge and Structural Engineering*, Zurich, Switzerland, pp. 15-22, 1973.