



Mevcut betonarme yapı üzerine çelik ve betonarme ek kat tasarımı ve deprem performanslarının karşılaştırılması

Comparison of earthquake performances between steel and reinforced concrete additional floor design on existing reinforced concrete structure

Tuğba Dilek¹ , Tuna Ülger^{2,*} 

^{1,2} Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye

Öz

Ülkemizde yaşanan depremlerin özellikle mevcut yapılar üzerindeki yıkıcı etkileri, bu yapıların deprem performansının en doğru şekilde değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır. Yapının güçlendirilmesi veya yıkılması kararı yapısal performans değerlendirme çalışmalarını odak noktası haline getirmiştir. Bununla birlikte yapının kullanım amacında meydana gelecek farklılıklar ve ek yapılar yine mevcut yapısal performans değerlendirme analizlerini gerektirmektedir. Yapılan araştırma kapsamında öğrenci yurdu olarak tasarlanmış daha sonrasında konaklama evi olarak kullanılmaya devam etmekte olan mevcut 4 katlı betonarme bir yapıya ek 1 kat yapılması planlanmaktadır. Bu çalışmada ek kat mimari açıdan en fazla oda barındıracak şekilde tasarlanmış ve taşıyıcı sistemi çelik ve betonarme olmak üzere iki farklı şekilde oluşturulmuştur. TBDY (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği) 2018'e göre mevcut ve ek katlı yapısal modellerin performans analizleri yapılarak, mevcut yapının deprem performansındaki değişim çelik ve betonarme ek katlı durumlar için karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir. Yapısal modellere ait yapısal periyotlar, kat ötelemeleri, itme eğrileri, plastik mafsallı oluşumları ve olası hasar mertebeleri kıyaslanarak mevcut yapı için performans ve uygunluk değerlendirmesi yapılmıştır. Yapının taşıma gücü dikkate alındığında her iki ek kat için güçlendirilmesi gereken eleman sayıları nispeten aynı olmaktadır. Diğer yandan, yapıda çelik ek kat imalatının plastik mafsallı oluşumlarını %15.22 'ye kadar, kat ötelemelerini ise %37.8'e kadar azalttığı elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Performans analizi, Güçlendirme, Mevcut yapı, İlave kat, Çelik, Betonarme

Abstract

The destructive effects of earthquakes in our country, especially on existing structures, have focused on the evaluation and strengthening of the earthquake performance of the existing structures. The decision of either strengthening or demolition of the existing structures requires performance evaluation tests. Additionally, the use of change of the buildings can requires performance tests. In this study, an additional story was planned to be constructed on a four story building, which was originally designed as a student dormitory then revised to be used as a hotel. The additional story was designed to be accommodate the maximum rooms counts, and two different structural systems was considered using steel and concrete. The performance of the existing building with and without additional story was investigated under earthquake loads according to the TBDY (Turkey building earthquake code) 2018. Structural periods, story drifts, performance curves, plastic hinge formations and possible damage levels for the two different models were compared with each other. The results showed that both additional stories were produced similar number of deficient structural members on the base structure in terms of the structural load capacities. On the other hand, the amount of plastic hinges and story drifts reduced up to 15.22% and 37.8% for additional steel story, respectively.

Keywords: Performance analysis, Reinforcement, Existing structure, Additional floor, Steel, Reinforced Concrete

1 Giriş

Dünyadaki en yoğun deprem kuşaklarından biri olan Alp-Himalaya deprem kuşağında yer alan ülkemiz, jeodinamik konumu ve jeolojik oluşumu dolayısıyla yıkıcı etkileri olan enerji boşalmalarına maruz kalmaktadır. Deprem riski düzeyinin bu denli fazla olduğu ülkemizde, 1990-2023 yılları arasında yerel magnitüdüleri 7 ve üzeri olan 5, 6 ve üzeri 17 adet şiddetli deprem gerçekleşmiş ve bu depremler sonucunda ciddi oranda can ve mal kaybı

yaşanmıştır. Bölgedeki deprem riski gerçeği ve oluşacak olan depremlerin zamanı ve şiddetinin istatistiksel tahminlere bağlı olması, ülkemizde depreme dayanıklı yapı tasarımı, mevcut yapıların sismik performansı ve güçlendirilmesi alanlarındaki çalışmaların önemini vurgulamaktadır [1-3]. Yaşanan depremlerin genelde o dönemin ilgili yönetmelik ve standartlarında yenilenme gereksinimi ortaya çıkarmasıyla, ülkemizde 1940 yılından bu yana birçok deprem yönetmeliği yürürlüğe girmiştir. Güncel olanı 18 Mart 2018 tarihli Resmî

* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: tunaulger@beun.edu.tr. (T. Ülger)

Geliş / Received: 23.07.2023 Kabul / Accepted: 18.12.2023 Yayımlanma / Published: 15.01.2024

doi: 10.28948/ngumuh.1331711

Gazete 'de yayınlanmış ve 1 Ocak 2019 tarihinde yürürlüğe girmiş olan TBDY 2018 [4], mevcut yapıların performans düzeylerinin ve güçlendirmeye ihtiyaçlarının belirlenmesi ile yaşanacak kayıpların önüne geçilmesi konusunda yol gösterici özelliindedir. 2018 Deprem Yönetmeliği eski yönetmeliklere göre oldukça geliştirilmiştir ve diğer yönetmelikler ile birçok yönden paralellik göstermektedir. Dünyanın birçok ülkesinde depreme dayanıklı yapı tasarımı, yapıların sismik performansının tayini ve güçlendirilmesi konuları için hazırlanmış yönetmelik ve standartlar bulunmaktadır. Applied Technology Council tarafından yayımlanan ATC 40 [5], Federal Emergency Management Agency tarafından yayımlanan FEMA 273(1997) [6], FEMA 274(1997) [7], FEMA 356(2000) [8], FEMA 440(2005) [9], American Society of Civil Engineers tarafından yayımlanan ASCE 41-06 (2007) [10] ve European Committee for Standardization; CEN tarafından yayımlanan Eurocode 8 [11] bu alandaki başlıca standartlardır. TBDY 2018' de de şekil değişimine göre tasarım esasları ve yapıların deprem performansının belirlenmesi ve güçlendirilmesi detaylı şekilde yukarıda bahsi geçen yönetmeliklere de paralel olarak ele alınmıştır.

Mühendisliğin başlıca gayesi sismik etkilere dayanıklı yapıların tasarımında güvenilir, uygulanabilir ve ekonomik tasarım yaklaşımlarını benimsemektir. Bu alanda Dayanıma Göre Tasarım ve Şekil Değişimine Göre Tasarım olmak üzere iki farklı tasarım yaklaşımı uygulanmaktadır. Dinamik etkiler altında yapı sistemlerinin elastik ötesi davranış sergilemesi, kuvvete dayalı hesap yöntemlerinin yetersizliği, daha ekonomik ve gerçeğe yakın çözüm arayışı, doğrusal elastik yöntemlerden ziyade doğrusal olmayan tasarım yaklaşımlarını ön plana çıkarmıştır. Bu tasarım yaklaşımları şekil değiştirmeye (performansa) dayalı tasarım, mevcut yapıların deprem performansının belirlenmesi ve güçlendirilmesi konularını kapsamaktadır. Performansa dayalı tasarımda yapıların hasar düzeylerinin ve süreklilik isteminin tayini için İtme Analizleri ve Zaman Tanım Alanında Dinamik Analiz yöntemleri uygulanmaktadır [12-15]. İtme Analizi yöntemlerinin Zaman Tanım Alanında Dinamik Analizlere göre daha pratik ve uygulanabilir olması bu çözüm yöntemini bazı durumlarda daha tercih edilir kılabilir. Mevcut yapıların sismik performansı ve güçlendirilmesi konusunda literatür incelenmiş olup özellikle ülkemizde, deprem yönetmeliğinin 2018 yılında revize edilmesiyle bu konudaki çalışmaların yoğunlaştığı görülmüştür. Mevcut yapıların performansı ve değerlendirilmesi, yeni yönetmelik uygulama ve esasları ile eski yönetmeliklerin ve diğer uluslararası yönetmeliklerin karşılaştırılması, yapıların sismik performans düzeylerinin tayininde kullanılan doğrusal olmayan analiz ve yöntemleri üzerine birçok çalışma yapılmıştır [16-27]. Bununla birlikte bu çalışmada ele alınmış olan mevcut yapı üzerine ilave kat tasarımı konusunda yapılmış araştırmaların ise sınırlı sayıda olduğu görülmüştür. Mevcut yapı üzerine ilave kat tasarımı konusu kapsamında Bekiroğlu ve ark. (2015) tarafından mevcut betonarme çok katlı bir okul binası üzerine istenilen amaçlar doğrultusunda çelik taşıyıcı sisteme sahip çok amaçlı salon tasarımı ve analizleri yapılmıştır. Yapılan

analizler neticesinde mevcut yapı için belirlenen ilave çelik sistemin başarılı sonuç verdiği elde edilmiştir [28].

Literatür araştırması sonucu mevcut yapıların performans analizi konusunda çelik yapılar ve hem çelik ve hem betonarmeden oluşan yapılar üzerine yapılan çalışmaların betonarme yapılara göre nispeten daha az olduğu tespit edilmiştir. Özellikle ülkemizde mevcut yapı stoğunu daha çok betonarme yapıların oluşturması, çelik ve karma yapılar üzerine yapılan çalışmaların daha az olmasının nedenlerinden biri olabileceği düşünülmektedir. Yapı çeliğinin kullanım avantajları, mevcut yapı stoğu, betonarme ve çelik malzemelerinin davranış farklılığı ve kat ilave edilen mevcut yapı performansı alanındaki literatür eksikliği, çalışmamızın konusunu bu yönde şekillendirmiştir [29,30]. Sismik performans değerlendirmeleri için doğrusal-elastik yöntemlerin yetersizliği ve oluşturulan modellerin doğrusal hesap yöntemlerinin uygulanabilirlik sınırlarını sağlamaması, doğrusal olmayan hesap yöntemlerini bu çalışma için gerekli hale getirmiştir. Çalışma kapsamında birbirinden farklı 3 modelin doğrusal olmayan itme analizleri ARSA (Artımsal Spektrum Analizi) metodu kullanılarak yapılmıştır. Nonlineer itme analizinden elde edilen sonuçlar, incelenen modellerin sismik performans düzeylerinin tayini ve değerlendirilmesi için kullanılmıştır.

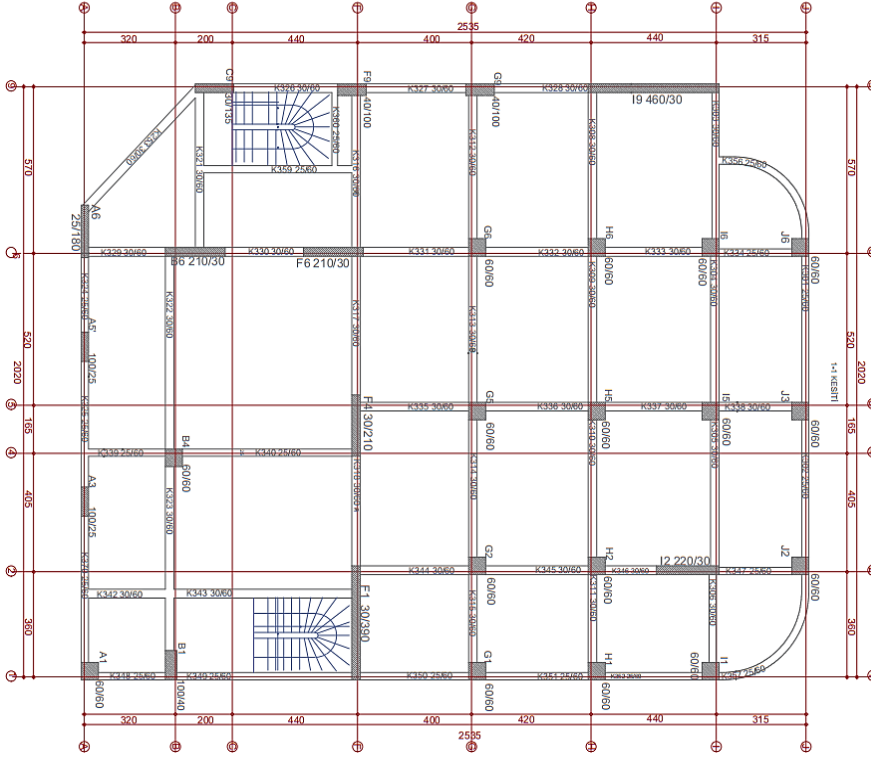
2 Materyal ve metod

Bu çalışmada Zonguldak Merkez bölgesinde bulunan, kullanım amacı ve konumu itibarıyla şehir için önemli bir yere sahip Öğretmenevi binası ele alınmıştır. İnşa edildiği yıllardan itibaren birçok misafire konaklama imkânı sunmuş ve sayısız etkinliğe ev sahipliği yapmış olan bu bina için yapı işletmecisinin ilave kat talebi üzerine 2007 Deprem Yönetmeliği esaslarına göre inşa edilmiş olan yapının depreme karşı performansı irdelenmiştir.

2.1 Yapı ve model bilgisi

Yapı, öğrenci pansiyonu (A Blok), konferans salonu (B Blok), restoran-kafeterya (C Blok) ve çok amaçlı salon (D Blok) olmak üzere 4 bloktan oluşmaktadır. İlave katın uygulanabilirliği üzerine mimari gereksinimler düşünülmüş ve çalışmaların restoran-kafeterya (C Blok) bölümü için yapılması uygun görülmüştür.

Bu çalışma kapsamında 3 farklı model oluşturulmuştur. Mevcut betonarme yapı 1. modeli, mevcut yapı üzerine betonarme ilave kat 2. modeli, çelik ilave kat ise 3. modeli temsil etmektedir. Mevcut yapının plan ölçüleri 20.60 x 25.55 m'dir. Kat yüksekliği 2.80 m olan 2 bodrum kat, 4 m olan 1 zemin kat, 4 m olan 1 normal kat olmak üzere toplam 4 kattan oluşmaktadır. Toplam yapı yüksekliği 13.60 metredir. Mevcut yapıyı temsil eden 1. modele ait tip statik kat planı Şekil 1'de verilmiştir. Yapısal elemanların kesitleri ve donatı oranları da Şekil 1'de yer almaktadır. İlave katlı yapı tasarımlarını temsil eden Model 2 ve Model 3 için kullanılabilirlik durumu incelenerek mevcut yapıya uygun bir mimari kat planı hazırlanmıştır. Her iki modelde ilave edilen kat yüksekliği 4 metre olup toplam yapı yüksekliği 17.60 metreye yükselmiştir.



Şekil 1. Mevcut yapıya ait tip statik kat planı

Malzeme	
Beton	C20
Donatı	S420
Kesit	
Kolon (cm*cm)	Donatı Oranı
60x60	0.0113
40x100	0.0102
25x100	0.0143
30x135	0.0113
Perde (cm*cm)	Donatı Oranı
25x180	0.0068
30x210	0.0068
30x220	0.0089
30x390	0.0070
30x460	0.0062
Kiriş (cm*cm)	
25x60	
30x60	
Döşeme (cm)	
15	

Çelik ve betonarme ek katın taşıyıcı sistemi mimari ve statik gereksinimler gözetilerek tasarlanmıştır. Bununla birlikte ilave katların taşıyıcı sistemleri modellenirken düşeyde rijitlik süreksizliği, zımbalama etkisi, kısa kolon etkisi, boyuna donatı süreksizliği gibi oluşabilecek tasarım hatalarından kaçınılmıştır. Model 2 ve 3'e ait betonarme ve çelik ilave kat statik planları Şekil 2 ve Şekil 4'te sırasıyla verilmiştir.

Tablo 1. Mevcut yapıya ait deprem ve analiz parametreleri

Yapı Koordinatları	E:41.454245 B:31.76111
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD2
Zemin Sınıfı	ZD
Zemin Taşıma Gücü (qt)	20 tf/m ²
Yatak Katsayısı(ks)	2500 tf/m ³
Kısa Periyot Tasarım İvme Katsayısı (SDS)	0.731
Tasarım İvme Katsayısı (SD1)	0.363
Kısa Periyot Spektral İvme Katsayısı (SS)	0.175
Spektral İvme Katsayısı (S1)	0.061
En Büyük Yer İvmesi (PGA)	0.226 cm/sn ²
En Büyük Yer Hızı (PGV)	13.768 cm/sn
Spektrum Köşe Periyodu (TA)	0.099 sn
Spektrum Köşe Periyodu (TB)	0.496 sn

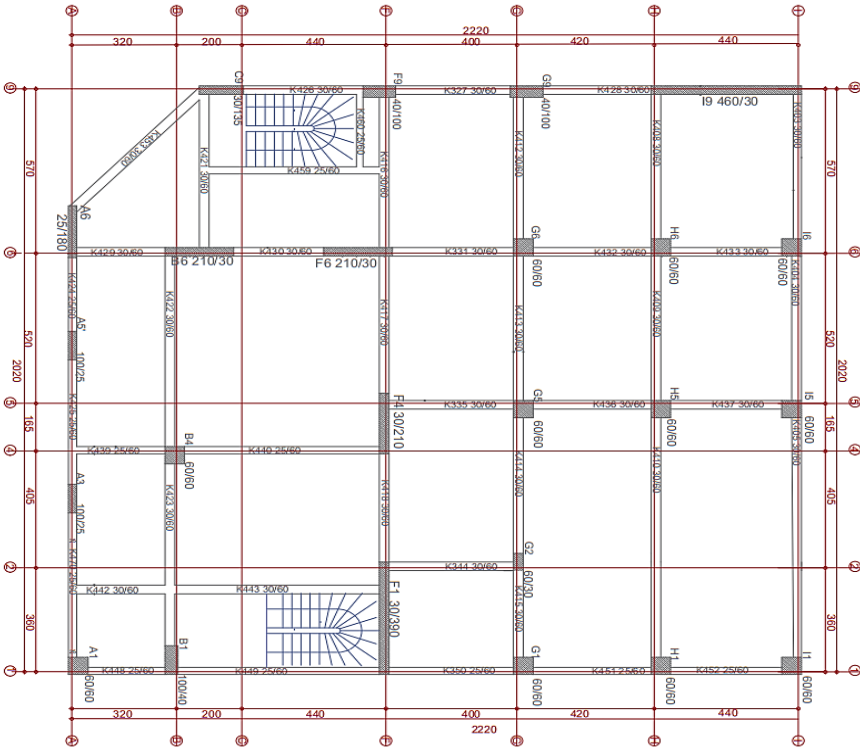
2.2 Analiz yöntemi

Modeller İdeCAD Statik V10 [31] programı ortamında sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilmiştir. Mevcut yapı,

onaylı mimari, statik proje ve raporlardan elde edilen plan, malzeme, donatı ve zemin bilgileri doğrultusunda programda birebir oluşturulmuş ve analiz edilmiştir. Mevcut yapının bulunduğu bölge ve zemine ait parametreler Tablo 3'te verilmiştir.

Mevcut yapının dinamik analizlerinde kullanılan karakteristik veriler AFAD [32] ve jeoteknik raporlardan elde edilmiş ve Tablo 1'de sunulmuştur. Yapıya ait yatay ve düşey elastik tasarım spektrumları Şekil 3'te verilmiştir. Şekildeki tasarım spektrumları 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan DD2 deprem yer hareketi düzeyi ve ZD sınıfı zemin tipi için elde edilmiştir. Mimari ve statik ilave kat planları oluşturulan Model 2 ve Model 3 birbirinin alternatifi niteliğindeki 2 farklı yapı modelidir. Modeller, farklı tip kat modellerinin eklenmesi sonucu yapının deprem performansındaki değişimi inceleyebilmek amacıyla, mevcut ve yeni yapılacak bölüm olarak ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Modellerin ilave kat bölümleri güncel yönetmelik ve standartlara uygun olacak şekilde analiz edilmiş ve boyutlandırılmıştır.

Çelik yapı eleman ve birleşimlerinin tasarımı ve boyutlandırılmasında TBDY 2018 ve TÇY 2018 [33] esasları dikkate alınmış ve YDKT (Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım) yaklaşımı uygulanmıştır. Kar ve rüzgâr yüklerinin hesabı TS EN 1991-1-3 [34] ve TS 498 [35] standartlarına göre yapılmıştır. Neticede birbiri ile kıyaslanacak ilave kat içeren yapılar mevcut standartlara göre asgari koşulları sağlayacak optimum tasarım yaklaşımına göre boyutlandırılmıştır.



Şekil 2. Betonarme ilave kata ait statik kat planı

Malzeme	
Beton	C25
Donatı	S420
Kesit	
Kolon (cm*cm)	Donatı Oranı
30x60	0.0103
60x60	0.0103
40x100	0.0100
25x100	0.0111
30x135	0.0106
Perde (cm*cm)	Donatı Oranı
25x180	0.0073
30x210	0.0069
30x390	0.0058
30x460	0.0055
Kiriş (cm*cm)	
25x60	
30x60	
Döşeme (cm)	
15	

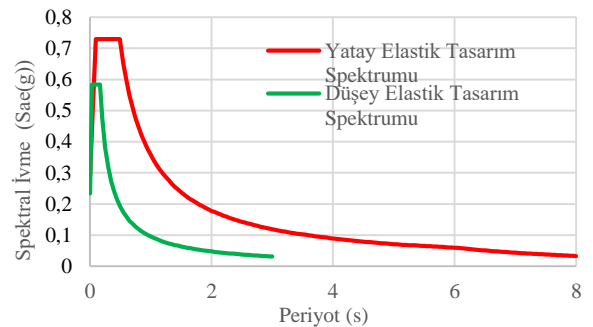
İlave kat inşası ile farklı taşıyıcı sistemlerin meydana getireceği düzlem içi ve düzlem dışı şekil değiştirmelerin hesaba katıldığı yarı rijit diyafram döşeme kabulü ile sonlu elemanlar analiz modeli oluşturulmuştur.

TBDY 2018'e göre her iki deprem doğrultusu (x, y) için modellerin taşıyıcı sistem tipi ve buna bağlı olarak Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R) ve Dayanım Fazlalığı Katsayısı (D) belirlenmiştir. Modellerin ilave kat bölümleri yeni yapı olarak tasarlandığından rijitlik, öteleme ve yük olarak mevcut yapı performansına etkileri incelenmiş ve performans değerlendirmesine dâhil edilmemiş, yalnızca ilave kat hariç olan mevcut bölümleri performans değerlendirmesine tabi tutulmuştur. Mevcut yapıdan elde edilen bilgilerin yapıya ait proje ve raporlarla sınırlı kalması ve yerinde malzeme dayanımı ve özelliklerinin deneye tabi tutulmaması sebebi ile performans analizleri yapının proje ve raporlara uygun olarak yapıldığı varsayımına dayalı olarak gerçekleştirilmiştir. Modellere ait analiz ve malzeme bilgileri Tablo 3'te verilmiştir. Analizlerde kullanılan malzeme modelleri ve etkin kesit rijitlikleri TBDY 2018'de belirtilen esaslara uygun olarak belirlenmiştir.

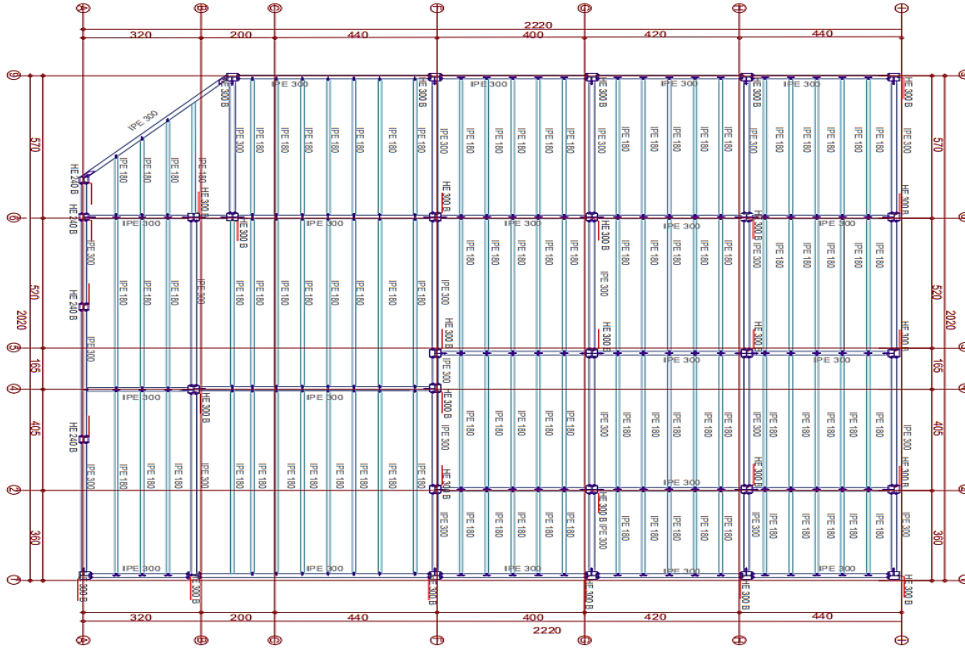
TBDY 2018 kapsamında yapıların sismik performans tespiti için doğrusal ve doğrusal olmayan hesap olmak üzere iki farklı yöntem kullanılabilmektedir. Fakat taşıyıcı sistem yapısı ve davranışına göre doğrusal hesap yöntemleri sınırlı yapı türleri için uygulanabilmektedir. Yapı TBDY 2018 Bölüm 15'te belirtilen doğrusal hesap yönteminin uygulanması kapsamındaki süneklik ve kesme kuvveti koşullarını sağlayamadığından bu çalışmada yapılacak analizler için doğrusal hesap yöntemlerinin uygun olmadığı

belirlenmiş ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile analiz modelleri oluşturulmuştur.

Mevcut yapıların değerlendirilmesinde kullanılacak doğrusal olmayan hesap yöntemleri, Tek Modlu İtme Yöntemleri, Çok Modlu İtme Yöntemleri ve Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemidir. Çözümleme hızı ve modelleme kolaylığı gibi pratik özellikler sunmasından dolayı bu çalışmada doğrusal olmayan itme hesap yöntemleri tercih edilmiştir. Modellerin TBDY 2018 Bölüm 5'te belirtilen tek modlu itme analizi için gerekli olan TBDY Bölüm 3, Tablo 3.5'e göre hesaplanan burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} < 1.4$ ve doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan hâkim titreşim moduna ait taban kesme kuvveti etkin kütlelerinin toplam yapı kütlelerine oranının en az 0.70 olması koşullarını sağlayamaması üzerine çok modlu artımsal itme yöntemi ile analizler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. Bölgeye ait tasarım spektrum eğrileri



Malzeme	
Yapı Çeliği	S235
Kesit	
Kolon (mm)	
HE300B	
HE240B	
Kiriş (mm)	
IPE180	
IPE300	
Kompozit Döşeme (cm)	
10	

Şekil 4. Çelik ilave kata ait statik kat planı

Modellerin deprem performans düzeylerinin tayininde Aydınoglu (2003) [36] tarafından geliştirilen ve çok modlu itme analizi yöntemlerinden biri olan ARSA metodu kullanılmıştır. Bu yöntemde yönetmeliklerde belirtilen elastik davranış spektrumu esas alınmaktadır. ARSA analizleri öncesi mevcut düşey yükler altında modellerin statik analizleri yapılarak itme analizlerinin başlangıç koşulları oluşturulmaktadır. Her bir itme adımında hesap edilen doğrusal olmayan spektral yer değiştirmelere bağlı modal yer değiştirme artımları belirlenerek her mod için iç kuvvet ve yer değiştirme değerleri elde edilir.

Her bir mod TBDY 2018 Bölüm Ek 4B.2.4'de belirtilmiş olan "Tam Karesel Birleştirme Kuralı" ile birleştirilmekte ve doğrusal olmayan modal yer değiştirmeler için ise "Eşit Yer Değiştirme Kuralı" kullanılmaktadır [36, 37].

Mevcut yapıların değerlendirilmesi aşamasında deprem performansını etkileyen hususlardan biri olan çatlamış kesite ait etkin kesit rijitliklerinin belirlenmesi önem arz etmektedir. Bu konuda yapılan çalışmalar çatlamış kesit rijitlik hesaplarının yapıya etkileyecek deprem kuvvetlerini dolayısıyla yapı periyodu ve görel kat ötelemelerini ve bununla birlikte yapılan performans analizleri neticesinde elde edilen hedef deplasman ve buna karşılık gelen taban kesme kuvveti değerlerini büyük ölçüde etkilediğini göstermektedir [38, 39].

TBDY 2018'de etkin kesit rijitlik değerleri, şekil değiştirmeye ve dayanıma göre tasarım aşamalarında kullanılmak üzere iki farklı hesap sunmaktadır. Mevcut yapıların deprem performansının değerlendirilmesi aşamasında kullanılacak etkin kesit rijitlik çarpanları TBDY 2018 Bölüm 4.5.8'de belirtilen esaslara göre uygulanacaktır. İtme analizlerinde mevcut yapıların sismik performans hesaplarında alınacak etkin kesit rijitlik çarpanları için

yönetmelikteki Tablo 4.2'de belirtilen değerler kullanılmıştır. Kullanılan değerler Tablo 2'de verilmiştir. Doğrusal olmayan analizlerde yapısal sistemlerin incelenmesinde, iki ana davranış modeli kullanılmaktadır. Bu modeller yayılı ve yığılı plastik davranış modeli olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bu çalışma, taşıyıcı sistem içerisinde bulunan çubuk sonlu elemanlar (kolon, kiriş) için yığılı plastik davranış modelini, perde elemanları için ise yayılı plastik davranış modelini uygulamaktadır. Kabuk sonlu elemanlar olarak modellenen perde elemanlarında kullanılan yayılı plastik davranış modelinde tüm eleman uzunluğu boyunca ya da sonlu uzunluktaki uç bölgelerinde doğrusal olmayan şekil değiştirmeler sürekli bir biçimde dikkate alınmaktadır. Bu hipotez kapsamında, kabuk sonlu elemanlar, kesit hücresi (lif) olarak modellenmekte ve kesit hücrelerindeki Tablo 3'te tanımlı gerilme ve şekil değiştirme ilişkileri kullanılarak elde edilmektedir [4].

Tablo 2. Etkin kesit rijitlik çarpanları (TBDY 2018)

Betonarme Yapı Elemanı	Etkin Kesit Rijitliği Çarpanı	
	Eksenel	Kayma
Düzlem İçi	0.50	0.50
Perde	0.50	0.50
Bodrum Perdesi	0.80	0.50
Döşeme	0.25	0.25
Düzlem Dışı	Eğilme	Kesme
Perde	0.25	1.00
Bodrum Perdesi	0.50	1.00
Döşeme	0.25	1.00
Çubuk Eleman	Eğilme	Kesme
Bağ Kirişi	0.15	1.00
Çerçeve kirişi	0.35	1.00
Çerçeve kolonu	0.70	1.00
Perde (eşdeğer çubuk)	0.50	0.50

Tablo 3. Analiz ve malzeme bilgileri

Analiz Bilgileri	Model 1	Model 2	Model 3
Taşıyıcı Sistem Tipi	Betonarme	Betonarme	Betonarme, Çelik
Kat Sayısı	4 kat	5 kat	5 kat
Yapı Yüksekliği	13.60 m	17.60 m	17.60 m
Bina Önem Katsayısı (I)		1	
Bina Kullanım Sınıfı (BKS)		3	
Deprem Tasarım Sınıfı (DTS)		2	
Bina Yükseklik Sınıfı (BYS)	6	5	5
Davranış Katsayısı (R)	7	7	8
Dayanım Fazlalığı Katsayısı (D)	2	2	3
Diyafram Tipi		Yarı Rijit Diyafram	
Tasarım Yaklaşımı		Şekil değiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım	
Analiz Yöntemi		Artımsal Spektrum Analizi (ARSA)	
Yapı Bilgi Düzeyi		Sınırlı	
Malzeme Bilgileri	Model 1	Model 2	Model 3
Beton Sınıfı	C20	C20, C25	C20
Donatı Çeliği Sınıfı	S420		
Yapı Çeliği Sınıfı	-	-	S235

Yığılı plastik davranış modelinde ise, doğrusal olmayan şekil değişimleri, ilgili kesit yüksekliğinin yarısı olan 'h' değeri kadar bir alanda meydana geldiği ve 'L_p' olarak adlandırılan plastik mafsallık boyu içerisinde oluştuğu kabul edilir. Plastik mafsallar, bu alanın orta bölgesi olan (L_p/2) noktasında modellenmektedir. Plastik mafsalların modellenmesi aşamasında kesitlerin moment-eğrilik analizi kullanılır. Moment-eğrilik analizi sonucunda, yapısal elemanlardaki betonarme kesitlerin eğilme ve eksenel kuvvet etkisi altındaki akma momenti (M_y) ve akma eğriliği (φ_y), göçme momenti (M_u) ve göçme öncesi eğriliği (φ_u) değerleri elde edilir [4].

$$\phi_p = \phi_u - \phi_y \quad (1)$$

$$\theta_p = \phi_p L_p \quad (2)$$

Plastik şekil değişimleri, yapısal elemanlarda akma noktasında başlamakta ve göçme noktasında maksimum değere ulaşmaktadır. Şekil 6'da gösterildiği gibi idealleştirilmiş moment-eğrilik ilişkisi üzerinden plastik mafsallık momentleri (M_p) ve plastik dönme değerleri belirlenebilmektedir. Denklem 1'de plastik şekil değiştirme (φ_p) eğriliği, Denklem 2'de ise plastik dönme (θ_p) değeri için bir bağıntı sunulmuştur.

Tablo 3. Birim şekil değiştirme ve plastik dönme sınır değerleri (TBDY 2018)

	Birim şekil değiştirme sınırı		Plastik dönme sınırı
	ε _c (Beton)	ε _s (Donatı Çeliği)	θ _p
GÖ	ε _c ^(GÖ) (Denk.4)	0.4ε _{su}	θ _p (Denk.5)
KH	0.75ε _c ^(GÖ)	0.75ε _s ^(GÖ)	0.75θ _p ^(GÖ)
SH	0.0025	0.0075	0

Analiz sonucunda, kesitte meydana gelen akma eğriliği ve göçme eğriliği değerleri, maksimum plastik şekil değiştirme

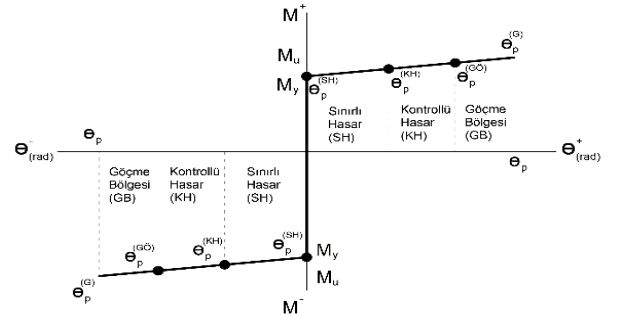
eğrisine ulaşmak için temel veriler sağlamaktadır. Bu değerler, elde edilen plastik şekil değiştirme eğrisi ve plastik mafsallık boyutuyla birlikte, plastik mafsalda oluşacak maksimum plastik dönme değerini belirlemek için kullanılmaktadır. Tablo 3'te TBDY 2018'e göre yapısal elemanlardaki birim şekil değiştirme ve plastik dönme sınır değerleri verilmiştir.

$$\epsilon_s^{(GÖ)} = 0.4\epsilon_{su} \quad (3)$$

$$\epsilon_c^{(GÖ)} = 0.0035 + 0.04\sqrt{\omega_{we}} \leq 0.018 \quad (4)$$

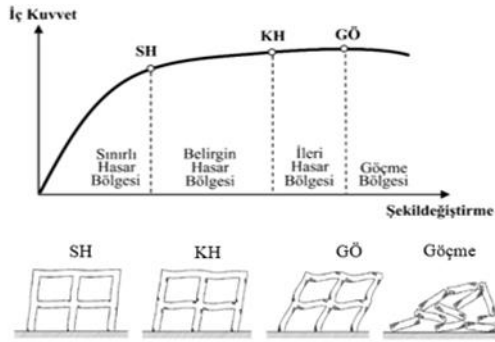
$$\theta_p^{(GÖ)} = \frac{2}{3} \left[(\phi_u - \phi_y)L_p \left(1 - 0.5 \frac{L_p}{L_s} \right) + 4.5\phi_u d_b \right] \quad (5)$$

Göçme öncesi sınır değerleri Denklem 3, 4, 5'te belirtilmiştir. Denklem 3'te belirtilen ε_{su} çekme dayanımına karşılık gelen birim uzamayı ifade etmektedir. Denklem 4'te verilen ω_{we}, etkin sargı donatısının mekanik donatı oranıdır ve TBDY 2018 Bölüm 5.8'de detayları ve bağıntıları verilmiştir. Denklem 4'te tanımlanan simgelere ek olarak L_s, kesme açıklığını, d_b ise düğüm noktasına kenetlenen donatı çeliğinin ortalama çapını ifade etmektedir. Plastik mafsallara ait bu değerler elde edildikten sonra, Şekil 5'te verilen tipik plastik mafsallık eğrisi oluşturulmakta ve ilgili eleman için hasar düzeyi ve kategorisi tayin edilmektedir.



Şekil 5. Plastik mafsallık eğrisi (TBDY 2018)

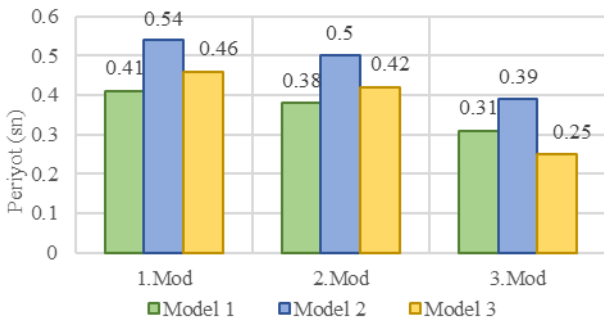
Kesitlerin hasar bölgeleri analiz sonucundan elde edilen iç kuvvet ve şekil değiştirmeler ile TBDY 2018 esaslarına göre verilen kesit hasar sınırlarının karşılaştırılması neticesinde belirlenmiştir. Modellerin performans düzeylerinin tayini ve karşılaştırılması aşamasında en kritik hasar mertebelerine ulaşılan yük durumları referans alınmıştır. Yönetmelikte sünek elemanlar için kesit düzeyinde Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH) ve Göçme Öncesi Hasar (GÖ) durumları ve bunların sınır değerleri tanımlanmıştır. Yapı elemanlarının hasarı SH' ya ulaşmayan elemanlar Sınırlı Hasar Bölgesi'nde, SH ile KH arasında kalan elemanlar Belirgin Hasar Bölgesi'nde, KH ile GÖ arasında kalan elemanlar İleri Hasar Bölgesi'nde, GÖ'yü aşan elemanlar ise Göçme Bölgesi'nde yer alırlar [4]. Yapısal elemanların hasar bölgelerinin tespit edilmesiyle modellere ait yapı performans düzeyleri belirlenmiştir. TBDY 2018'e göre kesit hasar sınır ve bölgeleri Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Görsel kesit hasar sınırları (TBDY 2018)

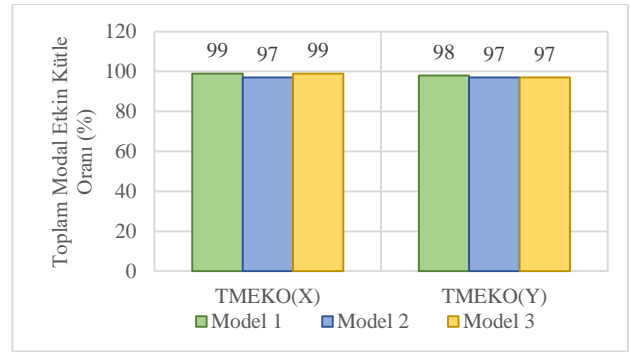
3 Bulgular ve tartışma

Modellere ait yapılan normal statik ve dinamik analizler neticesinde ilk 3 moda ait periyot değerleri Şekil 7'de gösterilmiştir. Elde edilen değerler incelendiğinde ilk 3 mod için Model 2'nin en yüksek periyot değerine ulaştığı görülmüştür. Bunun yanında modellerin X ve Y doğrultuları için ayrı ayrı Toplam Modal Etkin Kütle Oranları (TMEKO) Şekil 8'de verilmiştir. Şekil 8'de her bir mod için hesaplanan taban kesme kuvveti modal etkin kütlelerinin toplamının bina toplam kütlelerinin %97'sinin üzerinde olduğu görülmektedir. Sonuç olarak deprem yükü altında farklı modellerde oluşması beklenen plastik mafsalların toplam etkin kütle katılımından etkilenmediği söylenebilir.



Şekil 7. İlk 3 moda ait periyot değerleri

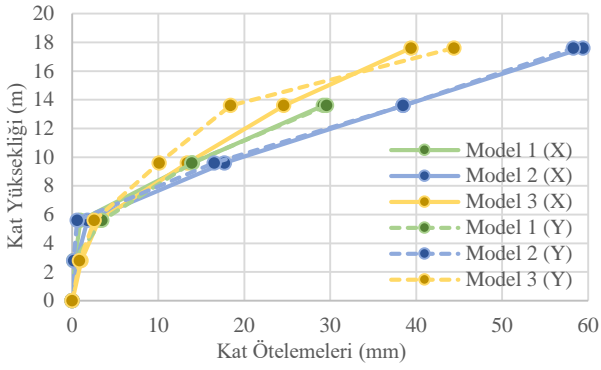
Analiz aşamasında, ilgili deprem doğrultusundaki deprem yükü ve bu doğrultuya dik deprem yükünün %30 katkısı dikkate alınarak her iki doğrultuda toplam 8 adet doğrusal olmayan yük kombinasyonu oluşturulmuştur ($\pm X \pm 0.3Y$ ve $\pm Y \pm 0.3X$). Analizler neticesinde X ve Y doğrultuları için en elverişsiz hasar düzeyini veren kombinasyonlar dikkate alınmıştır. Her bir modele ait hedef performans noktalarına karşılık gelen kat öteleme değerleri Şekil 9'da, görece kat ötelemeleri ise Şekil 10'da verilmiştir. Hem kat ve hem de görece kat ötelemelerinde, X doğrultusunda modellerin maksimum deplasmanlara ulaştığı yük kombinasyonu $X+0.3Y$, Y doğrultusunda ise $-Y+0.3X$ olarak tespit edilmiştir.



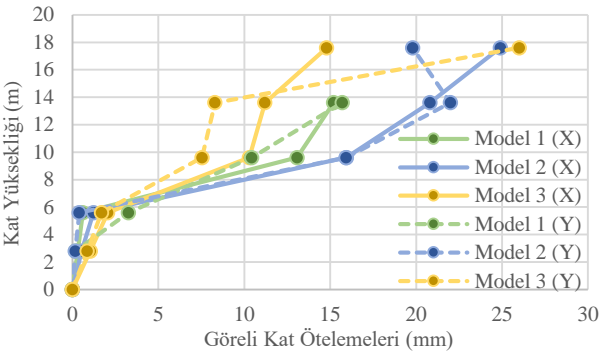
Şekil 8. Modellere ait toplam modal etkin kütle oranları (TMEKO)

Şekil 9 ve Şekil 10'da verilen grafikler incelendiğinde rijit bodrum perdeleriyle çevrelenmiş olan bodrum katlardaki kat ötelemelerinin normal katlara nispeten daha az olduğu görülmüştür. Bunun yanında mevcut yapı yüksekliğindeki kat ve görece kat ötelemeleri referans alındığında her iki doğrultuda da en fazla kat ve görece öteleme değerleri Model 2'de, en az kat ve görece öteleme değerleri ise Model 3'te gözlemlenmiştir. Esas yapı yüksekliği (13.60 m) referans alındığında mevcut yapıda çelik malzemesinin kullanılması kat ötelemelerini X yönünde %16.6, Y yönünde %37.8 kadar azalttığı hesap edilmiştir.

Beklenenin aksine Model 3 ile birlikte 2, 3 ve 4. katlarda kat ve görece kat ötelemeleri Model 1'e kıyasla giderek azalmaktadır. Model 2 için ise bu davranışın tam tersi görülmektedir. Sonuç olarak çelik taşıyıcı sistemin ara katlarda ötelemeleri sınırlayıcı olduğu ve beklenen aksine ötelemeler anlamında nispi olumlu bir katkısının olduğu söylenebilir. Farklı bir yaklaşımla çelik ilave kat yapımı betonarme ilave kata göre katlar arası yük dağılımını ve yapısal dinamik davranışı farklı etkilediği açıktır. Dinamik analiz sonuçlarının yorumlanması için özellikle, kat yüksekliğinin, toplam kütle, rijitliğin ve yapısal sönüm oranının modeller arası farklılaşması gibi dinamik analiz parametrelerinin daha detaylı incelenmesi gereklidir. Farklı parametrelerle bağlı dinamik analizler bu çalışma kapsamı dışında ele alınmalıdır. Elde edilen sonuçla Model 3'te oluşturulan çelik ek katın mevcut yapıda kat ötelemeleri ve plastik mafsalları dikkate alındığında kesit zorlanmalarını sınırladığı ortaya çıkmıştır.



Şekil 9. Modellere ait maksimum kat ötelemeleri



Şekil 10. Modellere ait maksimum görece kat ötelemeleri

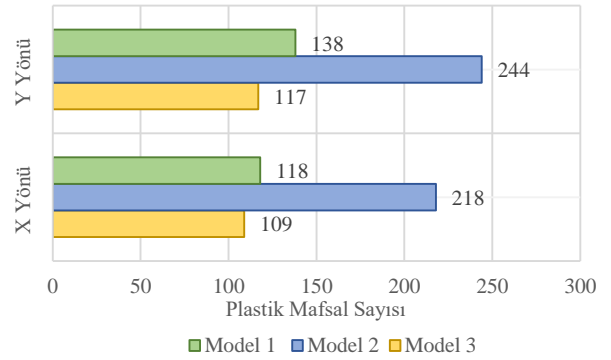
Yapısal elemanlarda tanımlı plastik mafsalları, 8 farklı yük kombinasyonu altında her bir itme adımında ayrı ayrı incelenmiştir. Baskın yönlerde oluşan maksimum plastik mafsalları Şekil 11’de verilmiştir

Bu bulgular neticesinde maksimum plastik mafsalları oluşumu, kat ve görece kat ötelemeleri sonuçlarını veren yük kombinasyonlarının aynı kombinasyonlar olduğu görülmüştür. En fazla plastik mafsalları oluşumu Model 2’de gözlenirken, en az plastik mafsalları oluşumu Model 3’te gözlemlenmiştir. Beklendiği üzere, kat ve görece kat ötelemelerinin artması ile plastik mafsalları sayılarının da arttığını göstermiştir. Mevcut yapıda çelik malzemenin kullanılması plastik mafsalları sayılarını X yönünde %15.22, Y yönünde %7.63 kadar azalttığı elde edilmiştir.

Her bir model ve farklı yön yük kombinasyonları için kapasite, talep ve doğrusal olmayan itme eğrileri elde edilmiş ve performans noktaları karşılaştırılmıştır. Maksimum deplasmanı veren performans noktalarının, kat deplasmanlarının ve plastik mafsalları sayılarının en fazla olduğu yük kombinasyonları her iki doğrultuda baskın yük kombinasyonu olarak (X+0.3Y, -Y+0.3X) tespit edilmiştir. Performans noktalarında sonlandırılmış biçimde oluşturulan itme eğrileri Şekil 12’de verilmiştir. Baskın yön kombinasyonları için oluşturulan itme eğrilerinin performans noktaları karşılaştırıldığında her iki doğrultu için tepe deplasmana karşılık gelen maksimum taban kesme kuvveti talebine Model 3’te, minimum taban kesme kuvveti talebine ise Model 2’de rastlanılmıştır. Performans noktalarındaki maksimum tepe yer değiştirmelerinin ve taban kesme kuvveti taleplerinin ise X ve Y yönleri için

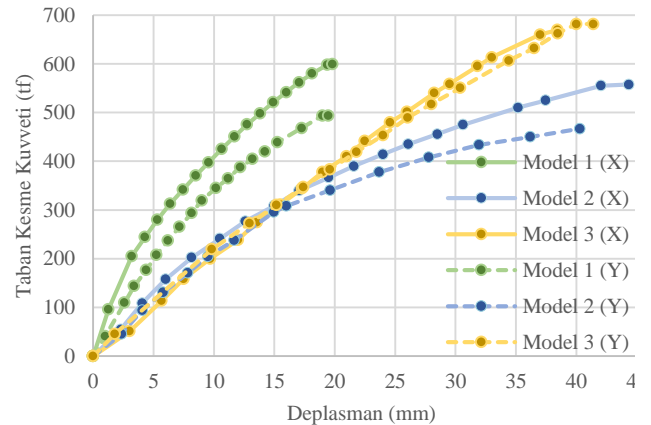
farklılık gösterdiği Şekil 12’de görülmektedir. Taban kesme kuvveti talepleri X ve Y yönleri için Model 1’de %21.41 ve Model 2’de %19.40 oranında belirgin farklılık gösterirken, Model 3’te bu farkın neredeyse ortadan kalktığı gözlemlenmektedir.

Şekil 9, 10, 11 ve 12’de verilen grafikler karşılaştırıldığında modellerin kat ötelemelerinin ve plastik mafsalları sayılarının artmasıyla, performans noktalarındaki taban kesme kuvveti büyüklüklerinin azaldığı görülmektedir. Nitelik yapının sünek davranışı sonucu yer değiştirmeler artmış ve yapı daha fazla taban kesme kuvvetine talep gösterememiştir.

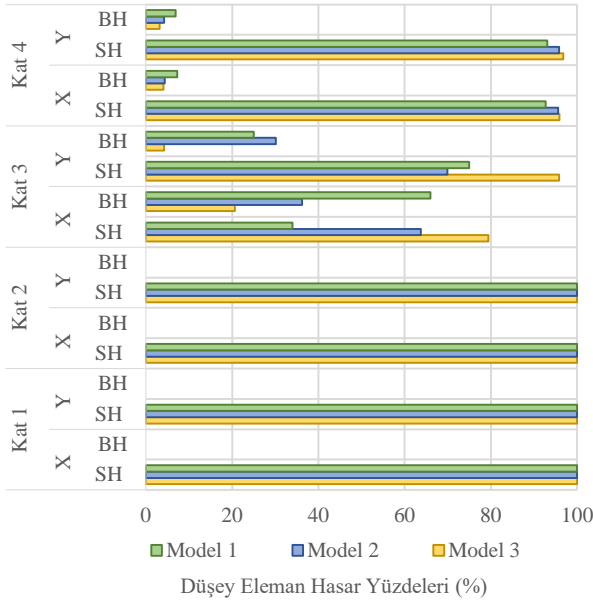


Şekil 11. Modellere ait plastik mafsalları sayısı

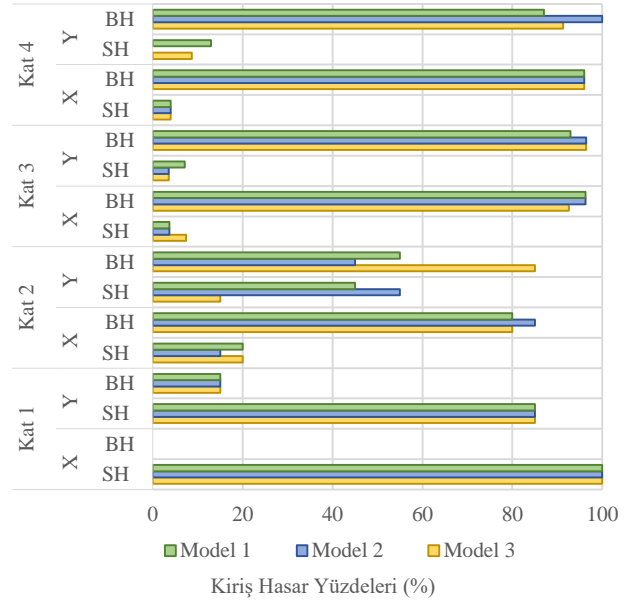
TBDY 2018 Bölüm 15.8’de mevcut binaların deprem performansının belirlenmesi detaylı olarak ele alınmıştır. İlgili bölümdeki esaslar dikkate alındığında, yapı performans düzeyinin tayininde kiriş elemanlarının hasar durumlarının ve hasar durumuna göre düşey yapı elemanlarının kesme kuvvetine katkılarının belirleyici nitelikte olduğu görülmektedir. Yapılan analizler sonrasında en elverişsiz sonuçların elde edildiği baskın yönlerde ait kiriş hasar yüzdeleri her model ve kat için ayrı ayrı sonuçlandırılarak grafikleri oluşturulmuştur. Düşey elemanların (kolon-perde) hasar yüzdeleri ise Şekil 13.a’da, yatay elemanların (kirişler) hasar yüzdeleri ise Şekil 13.b’de verilmiştir.



Şekil 12. Modellere ait kuvvet-deplasman eğrileri



(a)



(b)

Şekil 13.a Düşey eleman b. Kiriş eleman hasar yüzdeleri (X: x-ekseni, Y: y-ekseni, SH: Sınırlı Hasar, BH: Belirgin Hasar)

Hasar durumları için en elverişsiz sonuçların elde edildiği yük kombinasyonları X doğrultusunda $X+0.3Y$, Y doğrultusunda ise $-Y+0.3X$ 'tir. Bu kombinasyonlarının maksimum kat ile görel kat ötelemeleri ve plastik mafsalları veren yük kombinasyonlarının aynı olduğu görülmektedir. Bununla birlikte üst katlara çıktıkça yapısal elemanlardaki hasar düzeylerinde artış gözlenmiştir. Bu anlamda mevcut yapının ilk iki katının rijit bodrum perdeleri ile çevrili olması ve kat yüksekliğinin üst katlarda bodrum katlara nispeten artmış olması ilgili katta oluşacak öteleme, plastik mafsalları oluşumu ve hasar düzeylerini sınırlanmıştır. Bu durum üst katlardaki plastik dönmeleri dolayısıyla hasar düzeyini artırmıştır.

TBDY 2018 Bölüm 15.8'de belirtilen performans değerlendirmesi tanımına göre, modellerin sınırlı hasar performans düzeyini sağlayabilmesi için, herhangi bir katta kirişlerin %20'sinden fazlası belirgin hasar bölgesine geçmemeli ve diğer taşıyıcı elemanların tümü sınırlı hasar bölgesinde olmalıdır. Model 1'de herhangi bir katta belirgin hasar bölgesine geçen maksimum kiriş yüzdesi %96.3, Model 2'de %100 ve Model 3'te ise %96.4 olarak tespit edilmiştir. Kiriş belirgin hasar yüzdelerinin %20 sınırını aşmasından dolayı modellerin hiçbiri sınırlı hasar performans düzeyini sağlamamıştır. Bununla birlikte oluşturulan modellerdeki yapısal elemanların yalnızca sınırlı ve belirgin hasar bölgesinde davranış gösterdiği tespit edilmiş olup ileri hasar ve göçme bölgesine geçen herhangi bir yapı elemanı bulunmamaktadır.

Dolayısıyla ele alınan yapısal modellerin ilgili bölümde belirtilen kontrollü hasar düzeyi sınırlarını gevrek davranış gösteren yapı elemanlarının güçlendirilmesi koşulu ile sağladıkları görülmüştür. İlave katlı modellerde aynı kiriş elemanının gevrek davranış gösterdiği ve bu kirişin sağ ucunda süneklik koşullarının sağlanmadığı görülmüştür. Kirişin düşey hareketli ve zati yüklerin en fazla olduğu katta

bulunduğu ve birleşim noktasına yakın bölgede tali bir kirişin bu gevrek kirişe saplandığı tespit edilmiştir.

Buradan, tekil yük yoğunlaşması neticesinde bu kirişin performans noktasındaki kesme kuvveti değerini artırmış olduğu ve yönetmelikte belirtilen süneklik koşullarını sağlayamadığı düşünülebilir. Sonuç olarak ilave kat uygulaması öncesinde bu kirişin zorlanan kısmının yönetmeliğe uygun olarak güçlendirilmesi gerekmektedir.

4 Sonuçlar

Bu çalışmada mevcut betonarme bir yapının deprem etkileri altında performansı incelenmiş ve yapı işletmecisinin ilave kat talebi üzerine mevcut yapı için çelik ve betonarme olmak üzere 2 farklı ek kat tasarımı yapılmıştır. Oluşturulan 3 model için doğrusal olmayan artımsal itme analizi yapılarak deprem performansları karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir. Artımsal itme analizleri öncesi modellerin mevcut yükler altında yapılan statik ve modal analizleri sonucunda elde edilen grafikler incelendiğinde betonarme ek katlı modelin yapı kütlelerinin diğer modellere göre daha fazla olduğu diğer taraftan çelik yapı sisteminin betonarme sisteme göre mevcut yapıya hafiflik özelliği ile katkı sağladığı görülebilmektedir. İlk 3 moda ait periyot değerleri ise beklenildiği gibi yapı yüksekliğinin artması ile artış göstermiştir. Bununla birlikte 3 model içinde en yüksek periyot değerlerine betonarme ek katlı model ulaşmıştır.

Kritik yük kombinasyonları için elde edilen kat ötelemeleri karşılaştırıldığında bodrum katlarda oluşan deplasman değerlerinin normal katlara nispeten çok daha az olduğu görülmektedir. Mevcut yapının bodrum katlarının rijit perdelerle çevrili olması ve bu katlarda oluşacak kat deplasmanlarını sınırlamıştır. Bununla birlikte betonarme ek katlı modelin diğer modellere göre maksimum kat deplasman değerlerine ulaştığı gözlenmiştir.

Baskın yük kombinasyonları için elde edilen kuvvet-deplasman eğrilerinde her bir itme adımı sonucunda plastik mafsalların oluşmasıyla eğrinin eğiminin yani deplasmana karşılık gelen taban kesme kuvvetlerinin görece olarak azaldığı belirlenmiştir. Her bir itme adımında plastik mafsalların sayılarının artması, sistemin deplasmanlara karşı koyma direncinin azalmasına neden olmuştur. Performans noktalarında elde edilen plastik mafsalların oluşumları ile taban kesme kuvvetleri sonuçları değerlendirildiğinde en fazla plastik oluşumunun betonarme ilave katlı modelde en azının ise çelik ilave katlı modelde olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte performans noktasına en fazla taban kesme kuvveti ile çelik ilave katlı modelin, en az ise betonarme ilave katlı modelin ulaştığı görülmüştür. Modellerin performans noktalarındaki plastik mafsalların sayıları ile tepe deplasmana karşılık gelen taban kesme kuvveti taleplerinin arasında ters bir ilişki olduğu görülmektedir. Betonarme ve çelik ilave katlı modellerin performans noktalarındaki tepe deplasman değerlerinin, mevcut yapı modeline kıyasla artış gösterdiği görülmektedir. Sonuçta yapı yüksekliğinin artması ile modellerin performans noktalarındaki deplasman değerlerinin de arttığı gözlemlenmiştir.

Yapılan artımsal itme analizleri neticesinde TBDY Bölüm 15.8’de verilen esaslara göre tüm modellerin gevrek hasar gören yapı elemanlarının güçlendirilmesi koşulu ile Kontrollü Hasar Performans Düzeyi’nde olduğu görülmüştür. Eleman bazında kesit birim şekil değiştirme ve plastik dönme sonuçları irdelendiğinde bodrum katlarda kesme kuvveti taşıyan düşey elemanların tamamının sınırlı hasar bölgesinde kaldığı kiriş elemanlarının hasar seviyelerinin ise üst katlara çıktıkça arttığı gözlemlenmiştir. Modellerde İleri Hasar ve Göçme Bölgesi’ne geçen herhangi bir yapı elemanı bulunmamıştır. En fazla Belirgin Hasar yüzdesine ise betonarme ek katlı modelde rastlanılmıştır.

2007 Deprem Yönetmeliği esaslarına göre tasarlanmış ve inşa edilmiş olan 4 katlı (ilave kat ile birlikte 5 katlı) mevcut yapıda taşıyıcı sistem düzeni olarak her yönde deprem kuvvetini karşılayacak perdelerin bulunması, düşey taşıyıcı elemanları her yönden kirişlerle birbirini bağlayan çerçeve mekanizmasının oluşturulması, yapının kütle ve rijitlik merkezinin yakın olması, yapıda önemli düzensizliklerinin bulunmaması, yapısal elemanları zorlayacak kapalı çıkma vb. durumlarının olmaması, yük aktarımı ve deprem performansı açısından iyi sonuçlar elde edilmesine katkı sağlamıştır. Bu sonuç, projesine uygun ve deprem yönetmeliğine bağlı olarak inşa edilmiş yapılarda olası deprem hasar oluşumlarını uygulamalarda yapılmış hatalarda aranması gerektiği sonucunu ortaya çıkarmaktadır.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı (iThenticate): %14

Kaynaklar

[1] E. Atabey, Türkiye'nin Depremselliği (Sismisitesi), "Deprem". MTA, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye, sayfa 27-32, 2000.

- [2] H. Can, B. Özmen, Türkiye'nin Deprem Gerçeği Paneli. Gazi Üniversitesi Deprem Araştırma Ve Uygulama Merkezi, Ankara, Türkiye, 2010.
- [3] AFAD, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Aletsel Dönem Deprem Kataloğu, <https://deprem.afad.gov.tr/event-instrumental>, Erişildi 17.03.2023.
- [4] TBDY 2018, Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı için Esaslar, T.C. Resmi Gazete, Sayı: 30364, Ankara, 18 Mart 2018.
- [5] ATC-40, Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Building, Applied Technology Council, Redwood City, California, 1996.
- [6] FEMA-273, NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C. , 1997.
- [7] FEMA-274, NEHRP Commentary On The Guidelines For The Seismic Rehabilitation Of Buildings, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C. ,1997.
- [8] FEMA 356, Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, ASCE for the Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C. , 2000.
- [9] FEMA 440, Improvements of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C, 2005.
- [10] ASCE 41-06, Seismic Rehabilitation of Existing Buildings, American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia,2006.
- [11] Eurocode 8, Design of Structures for Earthquake Resistance Design of structures for earthquake resistance, European Committee for Standardization; Brussels, 2003.
- [12] A. K. Chopra, Structural Dynamics in Building Evaluation Guidelines, Dynamic of Structures and Earthquake Engineering. 4th ed, USA: Pearson Education , pp. 880-881, 2013.
- [13] H. Sucuoğlu, 2007 deprem yönetmeliği performans esaslı hesap yöntemlerinin karşılaştırmalı değerlendirilmesi. Türkiye Mühendislik Haberleri, 4 (5), 24-36, 2006.
- [14] A. Kadid, A. Boumrkik, Pushover Analysis of Reinforced Concrete Frame Structures. Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing), Technical Note, 9 (1), 75-83, 2008.
- [15] A. K. Chopra, R. K. Goel, Modal Pushover Analysis Procedure to Estimate Seismic Demands for Buildings: Theory and Preliminary Evaluation. College of Engineering University of California Berkeley, Pacific Earthquake Engineering Research Center, PEER, California, Report CMS-9812531, January, 2001.
- [16] H. Bilgin, Seismic performance evaluation of an existing school building in Turkey. Challenge Journal Of Structural Mechanics, 1 (4), 161-167, 2015. <https://doi.org/10.20528/cjsmec.2015.07.020>
- [17] H. O. Kaya, E. Alakavuk, Mevcut bir kamu binasının deprem güvenliğinin incelenmesi. Türk Deprem Araştırma Dergisi, 4 (1), 61-72, 2022. <https://doi.org/10.46464/tdad.995988>

- [18] A Turkay, K. Guler, Bir okul binasının tasarımı ve deprem performansının değerlendirilmesi. *International Journal of Innovative Engineering Applications*, 1 (2), 27-37, 2017.
- [19] T. Kap, E. Özgan, M. M. Uzunoğlu, Betonarme bir okul binasının 2018 deprem yönetmeliğine göre incelenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7 (3), 1140-1150, 2019. <https://doi.org/10.29130/dubited.506373>
- [20] M.F. Altan, S. Cansız, O. Kaya, Ç. Turna, Türkiye bina deprem yönetmeliğine göre mevcut betonarme binanın performansının ve zemin etkileşiminin değerlendirilmesi. *BŞEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 7(2), 1004-1014, 2020. <https://doi.org/10.35193/bseufbd.727437>
- [21] Ö. Çavdar, M. Ceylan, Mevcut çelik bir spor salonunun performans analizi. *Uluslararası Katılımlı 7. Çelik Yapılar Sempozyumu*, Türkiye, 2017.
- [22] R. Jamal, S. B. Yüksel, Betonarme karma taşıyıcı sistemlerin TBDY 2018 ve ASCE 41- 17'ye göre doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile performans analizi ve elde edilen sonuçların karşılaştırması. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 10 (2), 567-581, 2022. <https://doi.org/10.29130/dubited.927086>
- [23] İ. Dalyan, B. Şahin, Mevcut betonarme bir binanın 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerine göre deprem yükleri altındaki taşıyıcı sistem performansının değerlendirilmesi. *Türk Deprem Araştırma Dergisi*, 1 (2), 134-147, 2019. <https://doi.org/10.46464/tdad.631998>
- [24] Ö. Çavdar, Seismic performance of a high-rise building by using linear and nonlinear methods. *Natural Hazards*, 112 (2), 1359-1378, 2022. <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05231-z>
- [25] Y. Alashker, S. Nazar, M. A. Ismaiel, Effects of building configuration on seismic performance of rc buildings by pushover analysis. *Open Journal of Civil Engineering*, 5 (02), 203-213, 2015. <http://dx.doi.org/10.4236/ojce.2015.52020>
- [26] X. K. Zou, C. M. Chan, Optimal seismic performance-based design of reinforced concrete buildings using nonlinear pushover analysis. *Engineering Structures*, 27 (8), 1289-1302, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2005.04.001>
- [27] M. N. Aydınoglu, G. Önem, Artımsal spektrum analizi (ARSA) ile köprülerin nonlinear performanslarının değerlendirilmesi. *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, sayfa 153-162, İstanbul, Türkiye, 2007.
- [28] S. Bekiroğlu, B. Sevim, A. Şahin, Y. Ayvaz, Betonarme yapı üzerine çelik taşıyıcı sisteme sahip çok amaçlı salon tasarımı. *5.Çelik Yapılar Sempozyumu*, sayfa 297-305, İstanbul, Türkiye, 2013.
- [29] M. İnel, H. B. Özmen, H. Bilgin, Türkiye’de yaşanan deprem hasarları ve yapı stoğunun değerlendirilmesi. *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, sayfa 249-260, İstanbul, Türkiye, 2007.
- [30] H. Aksel, Ö. Eren, Discussion on the advantages of steel structures in the context of sustainable construction. *International Journal of Contemporary Architecture “ The New ARCH”*, 2 (3), 46-53, 2015. <http://doi.org/10.14621/tna.20150405>
- [31] İdeCAD, Bilgisayar Programı, V10.94, ideYAPI, Bursa, Türkiye, 1988.
- [32] AFAD, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Türkiye Deprem Tehlike Haritası İnteraktif Web Uygulaması, <https://tdth.afad.gov.tr/>, Erişildi 17.03.2023.
- [33] TÇY, Çelik Yapıların Tasarım Hesap ve Yapımına Dair Esaslar, T.C. Resmi Gazete, Sayı: 30333, 15 Şubat, Ankara, 2018.
- [34] TS EN 1991-1-3, Yapılar Üzerindeki Etkiler- Bölüm 1-3: Genel Etkiler-Kar Yükleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2007.
- [35] TS 498, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1997.
- [36] M. N. Aydınoglu, Yapıların deprem performanslarının değerlendirilmesi için artımsal spektrum analizi (ARSA) yöntemi. *5. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, sayfa 141-142, İstanbul, Türkiye, 2003.
- [37] A. Korkmaz, M. Düzgün, Doğrusal olmayan yapısal analiz yöntemlerinin değerlendirilmesi. *İTÜ Dergisi Seri D:Mühendislik*, 6 (3), 11-23, 2007.
- [38] E. B. Çağatay, Yeni betonarme yapıların tasarımında ve mevcut betonarme yapıların değerlendirilmesinde kullanılan etkin kesit rijitliklerinin irdelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, Türkiye, 2021.
- [39] Ö. F. Taş, E. Sayın, M. E. Öncü, Yeni betonarme binalar için etkin kesit rijitlikleri ve statik itme analizleri. *Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi*, 34 (2), 505-516, 2022. <https://doi.org/10.35234/fumbd.1074221>

