

Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği Bulunan Betonarme Binaların Deprem Performansının Araştırılması

Berk Uyan¹, R. Tuğrul Erdem^{1*}

¹Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Manisa, Türkiye.

*tuğrul.erdem@cbu.edu.tr

Özet

Türk Bina Deprem Yönetmeliği-2018'de (TBDY-2018) tanımlanan ve düşey doğrultuda düzensizlik durumlarından biri olan komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (yumuşak kat), özellikle zemin katları ticari amaçlar nedeniyle üst katlardan farklı tasarlanan mevcut betonarme binalarda yaygın olarak görülmektedir. Yumuşak kat düzensizliğinin bulunduğu katta yer alan kolonlarda, deprem etkisi altında oluşan yerdeğiştirmeler sonucunda kırılmalar gerçekleşmektedir. Bu çalışma kapsamında, yumuşak kat düzensizliğine sahip mevcut 3, 5 ve 7 katlı mevcut betonarme binaların taşıyıcı sistem güvenlikleri TBDY-2018'e göre incelenmiştir. Mevcut binalarda, kat planı, kesit ve malzeme özellikleri aynı olarak alınmıştır. Doğrusal olmayan yöntemlerinden sabit tek modlu itme yöntemi, binaların deprem performanslarını belirlemek için kullanılmıştır. Bilgisayar analizleri SAP2000 yapısal analiz programı ile gerçekleştirilmiştir. Farklı zemin sınıflarında bulunan binaların taşıyıcı sistem elemanlarında oluşacak hasar durumlarını belirlemek için, analizler iki farklı zemin sınıfı için yapılmıştır. Mevcut betonarme binaların performans düzeyleri, farklı kat adetleri ve zemin sınıflarına göre karşılaştırmalı olarak sunulmuş ve önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Deprem performansı, Hasar seviyeleri, TBDY-2018, Yumuşak kat

Investigation of Seismic Performance of Reinforced Concrete Buildings Having Stiffness Irregularity between Adjacent Floors

Abstract

Stiffness irregularity between adjacent stories (soft story) which is one of the irregularities in the vertical direction and defined in the Turkish Building Earthquake Code-2018 (TBEC-2018), is widely seen in existing reinforced concrete buildings, especially the ground floors of which are designed differently from the upper floors due to commercial purposes. Fractures occur in columns that exist in the soft story irregularity as a result of displacements under the influence of earthquakes. In the scope of this study, structural system safeties of 3, 5 and 7 storey existing reinforced concrete buildings having soft story irregularity are investigated according to TBEC-2018. Floor plan, section and material properties are taken as common in the existing buildings. Constant single mode pushover method that is one of the non-linear methods is utilized to determine the seismic performances of the buildings. Computer analyses are

performed by SAP2000 structural analysis software. Analyses are performed for two soil classes to determine the damage situations of the structural members of the buildings located in different soil classes. Performance levels of the existing reinforced concrete buildings are presented comparatively according to different story numbers and soil classes and suggestions are made in the end.

Keywords: Seismic performance, Damage levels, TBEC-2018, Soft story

1. GİRİŞ

Türkiye topraklarının önemli bir kısmı aktif deprem kuşağında bulunmaktadır. Bunun sonucu olarak, özellikle son zamanlarda ülkemizde yaşanan depremler can ve mal kayıplarına neden olmuştur. Mevcut binalarda deprem etkisinde oluşabilecek hasar seviyesine bağlı olarak değerlendirilen güvenlik durumu, deprem performansı olarak isimlendirilebilir. Taşıyıcı sistem düzensizliklerinin yanı sıra, beton kalitesinin düşük olması, donatı korozyonu, tasarım ve uygulama aşamasında yapılan hatalar mevcut betonarme binaların deprem performanslarını olumsuz olarak etkilemektedir.

Yumuşak kat düzensizliği, Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, bodrum katlar dışında, herhangi bir i'inci kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranına bölünmesi ile tanımlanan rijitlik düzensizliği katsayısının 2.0'den fazla olması durumu olarak TBDY-2018'de tanımlanmıştır [1]. Genel olarak, ticari amaç ile kullanılan katlardaki kat yüksekliklerinin fazla olması ve dolgu duvarların binadaki diğer katlara göre az olması yumuşak kat düzensizliğine sebep olmaktadır. Yumuşak kat düzensizliğinin bulunduğu katta, deprem etkisi altında büyük yatay yerdeğiştirmelerin olması sonucu, taşıyıcı sistemde hasarlar oluşmaktadır. Bu sebeple, yumuşak kat düzensizliğine sahip binaların deprem performanslarının farklı yönetmeliklere göre değerlendirildiği çalışmalar literatürde yer almaktadır.

Erdem (2016) çalışmasında, yumuşak kat düzensizliğine sahip mevcut betonarme binaların taşıyıcı sistem güvenliğini farklı şartnamelere göre araştırmıştır [2]. Çomaklı (2019) yaptığı tez çalışmasında, 4, 8 ve 12 katlı betonarme çerçeve binaları farklı zemin kat yükseklik değerlerini dikkate alarak modellemiş ve binalardaki hasar düzeylerini incelemiştir [3]. Altıntop (2007), yumuşak kat düzensizliği bulunan iki boyutlu, farklı kat ve açıklık sayısına sahip modelleri, artımsal itme ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemleriyle incelemiştir [4]. Şensoy (2018) tez çalışmasında, 4, 6 ve 8 katlı betonarme binalarda yumuşak kat düzensizliğini zaman tanım alanında yaptığı analizler ile incelemiştir [5]. Akansel V. H. (2017) doktora tez çalışmasında, düşeyde düzensiz betonarme binaların sismik tepkileri ile kod ve yönetmeliklerde tanımlanan yumuşak kat tanımlarının ne kadar etkin ve geçerli olduğunu araştırmıştır [6]. Kirac ve diğerleri (2011) çalışmalarında, yumuşak kat düzensizliği bulunan farklı kat sayısı ve kat yüksekliklerine sahip betonarme binaların deprem davranışını araştırmışlar ve çalışma sonucunda önerilerde bulunmuşlardır [7]. Colunga ve Garcia (2020) çalışmalarında, yumuşat veya zayıf kat düzensizliği bulunan basitleştirilmiş modeller üzerinde yaptıkları analiz sonuçlarını, Meksika deprem şartnamesi kapsamında değerlendirmiş ve önerilerde bulunmuşlardır [8]. Simpson ve Mahin (2018) çalışmalarında, taşıyıcı sistemde yumuşak kat etkisini azaltmak amacıyla deneysel ve nümerik olarak araştırma yapmışlardır [9].

Mevcut betonarme binaların deprem performansları doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlere göre belirlenebilmektedir. Bununla birlikte, elastik ötesi davranışın daha gerçekçi olarak incelendiği ve daha çok parametre ve ayrıntılı değerlendirme gerektiren doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin gerçeğe uygun sonuçlar verdiği bilinmektedir. Gelişen bilgisayar teknolojisiyle birlikte, mevcut binaların performans durumlarının doğrusal olmayan değerlendirme yöntemlerine göre araştırıldığı çalışmalara ilgi giderek artmaktadır.

Kap ve diğerleri (2019) makale çalışmalarında, 1999 Marmara ve Düzce depremlerinden etkilenmiş mevcut bir okul binasının analizini STA4-V14.1 programı ile yaparak, deprem performansını incelemiştir [10]. Soni ve Mistry (2006), farklı şartnamelere göre düşeyde düzensiz binaların deprem davranışlarının incelendiği çalışmaları ayrıntılı olarak incelemiştir [11]. Lee ve Ko (2007) yaptıkları çalışmalarında, betonarme perde duvar bulunan 17 katlı modellerin farklı düzensizlik durumları için deprem davranışlarını incelemiştir [12]. Verderame ve diğerleri (2010), mevcut betonarme davranışlarını yığılı plastik davranış modelini uygulayarak, doğrusal olmayan statik analiz yöntemi ile incelemiştir. Aksoylu ve diğerleri (2020) çalışmalarında, betonarme binaların deprem davranışlarını farklı zemin sınıfları için incelemiş ve yönetmeliklere göre karşılaştırmalı olarak sunmuşlardır. Bhole ve Dubal (2020), düzensiz çok katlı binaların analizlerini yaparak, sonuçları karşılaştırmalı olarak incelemiştir.

TBDY-2018'de ZA'dan ZF'ye kadar 6 adet yerel zemin sınıfı tanımlanmıştır. Bu çalışma kapsamında incelenen ZA yerel zemin sınıfı için zemin cinsi sağlam, sert kayalar olarak tanımlanmışken, ZD yerel zemin sınıfı için orta sıkı – sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları zemin cinsi olarak ifade edilmiştir. Toplam 5 adet zemin sınıfı için üst 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı, ortalama standart penetrasyon darbe sayısı ve ortalama drenajsız kayma dayanımı sayısal olarak açıklanmıştır. ZF zemin sınıfı ise, sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler olarak ifade edilmiştir.

Bu çalışmada, ülkemiz mevcut yapı stokunda önemli bir yer tutan orta katlı betonarme binaların deprem performansları, doğrusal olmayan tek modlu itme yöntemine göre incelenmiştir. Bu amaçla, mevcut betonarme binalar 3, 5 ve 7 katlı olarak modellenmiştir. Tüm binalarda yumuşak kat düzensizliği bulunmaktadır. Ayrıca, mevcut binaların farklı zemin sınıflarındaki davranışlarını incelemek amacıyla, analizler ZA ve ZD yerel zemin sınıfları için gerçekleştirilmiştir. Bilgisayar analizleri için SAP2000 yapısal analiz programı kullanılmıştır [16]. Literatürdeki çalışmalar değerlendirildiğinde, yapı stokunda önemli bir yere sahip farklı kat adetlerine sahip mevcut betonarme binaların taşıyıcı sistem güvenliği, bu çalışma kapsamında TBDY-2018'e göre değerlendirilmiştir. Ayrıca, deprem etkisinde yapısal hasarların sıklıkla görüldüğü yumuşak kat düzensizliğine sahip binalar, farklı zemin sınıfları için modellenmiştir. Mevcut betonarme binaların doğrusal olmayan performans analizlerin yapıldığı bu çalışmanın, literatüre katkıda bulunacağı değerlendirilmektedir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

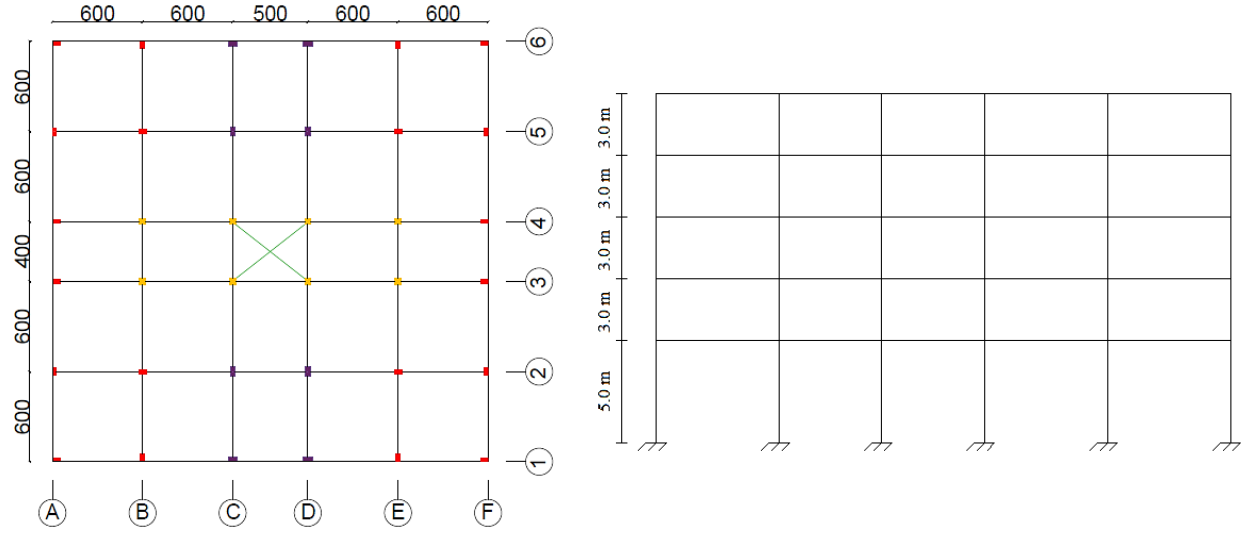
2.1 Yumuşak Kat Düzensizliği

Bölme duvarların kaldırılması, kat yüksekliğinin fazla olması gibi sebeplerle kat rijitliğinin azalması sonucunda, depremde yatay ötelenmelerin büyük olması sebebiyle betonarme binalarda hasarlara neden olan yumuşak kat düzensizliği, TBDY-2018'de aşağıda verilen denklemler ile belirlenmektedir. Denklemlerde ifade edilen rijitlik düzensizliği katsayısı (η_{ki}) değerinin 2.0'den büyük olması durumunda, yapıda yumuşak kat düzensizliği oluşmaktadır.

$$\eta_{ki} = \left(\Delta_i^{(x)} / h_i \right)_{ort} / \left(\Delta_{i+1}^{(x)} / h_{i+1} \right)_{ort} > 2 \text{ veya } \eta_{ki} = \left(\Delta_i^{(x)} / h_i \right)_{ort} / \left(\Delta_{i-1}^{(x)} / h_{i-1} \right)_{ort} > 2 \quad (1)$$

2.2 Binaların Özellikleri

Betonarme binalara ait ortak kat planı ve kat yükseklikleri Şekil 1'de sunulmuştur. Ayrıca, binaların kat yükseklikleri, taşıyıcı sistem geometrisi, taşıyıcı sistem elemanlarının malzeme ve kesit özellikleri ortaktır. Kat yüksekliği zemin katta 5.00 m, diğer katlarda ise 3.00 m'dir. Aks aralıkları x doğrultusunda 600-600-500-600-600 cm, y doğrultusunda 600-600-400-600-600 cm'dir.



Şekil 1. Binalara ait kat planı ve kat yükseklikleri

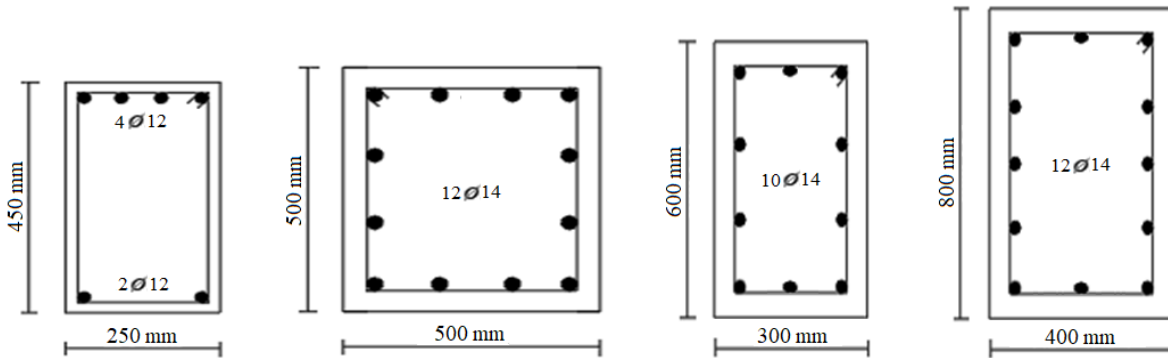
Kat planında üç farklı renk ile gösterilen kolon kesitleri 30x60 cm, 40x80 cm ve 50x50 cm, kiriş kesitleri 25x45 cm ve döşeme kalınlıkları 14 cm'dir. Malzeme olarak C20 beton sınıfı ve S420 donatı çeliği kullanılmıştır. Deprem yer hareketi düzeyi, 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan, "DD2" olarak uygulanmıştır. Tüm binalarda döşeme hareketli yük değerleri, son kat için 1.50 kN/m², diğer katlar için 2.00kN/m² olarak alınmıştır. Kolon ve kirişlerde 8 mm çapında çift kollu etriye kullanılmıştır. Kolonlarda etriyeler arası mesafe 15 cm iken, kirişlerde 20 cm'dir. Donatı pas payı değerleri 4 cm olarak alınmıştır. Kolon ve kiriş mesnet kesiti için boyuna donatı detayları Tablo 1 ve 2'de verilmiştir. Ayrıca, kesitler görsel olarak Şekil 2'de sunulmuştur.

Tablo 1. Kolon boyuna donatıları

Kesit boyutları	Boyuna donatı
30x60 cm	10Ø14
40x80 cm	12Ø14
50x50 cm	12Ø14

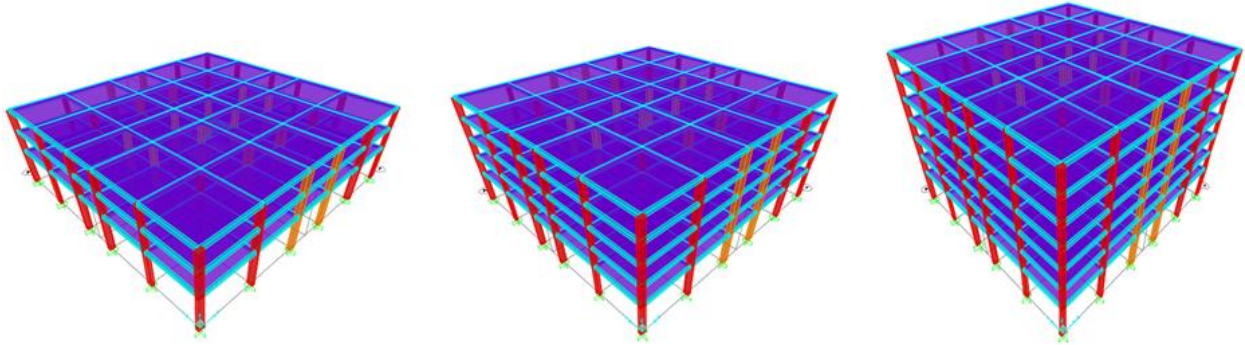
Tablo 2. Kiriş boyuna donatıları

Sol üst	Sol alt	Sağ üst	Sağ alt
4Ø12	2Ø12	4Ø12	2Ø12



Şekil 2. Kiriş ve kolon kesitleri

Mevcut betonarme binalar SAP2000 yapısal analiz programında 3, 5 ve 7 katlı olarak modellenmiştir. Binaların 3 boyutlu modelleri Şekil 3’te gösterilmiştir.



Şekil 3. Bina modelleri

Mevcut betonarme binalar için kolon, kiriş ve döşeme elemanları programda tanımlanmış ve ilgili kesitlere atanmıştır. Modal analiz sonuçlarına göre her bir doğrultu için elde edilen hakim periyot değerleri Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Periyot değerleri

Mevcut bina	Hakim periyot değerleri (s)	
	T_x	T_y
3 katlı model	0.872	0.917
5 katlı model	1.314	1.372
7 katlı model	1.749	1.819

Zemin kat yüksekliğinin diğer katlara göre fazla olması nedeniyle, Denklem (1) ile verilen zemin kat ortalama görel kat ötelemesi oranının, bir üst kattaki ortalama görel kat ötelemesi oranına bölünmesiyle rijitlik düzensizliği katsayısı hesaplanmıştır. Mevcut binalar için ZA ve ZD yerel zemin sınıflarına göre ayrı ayrı belirlenen değerler her bir doğrultu için Tablo 4’te sunulmuştur. Rijitlik düzensizliği katsayısı değerinin 2.0’den büyük olduğu için, tüm binalarda TBDY-2018’e göre yumuşak kat düzensizliği bulunmaktadır.

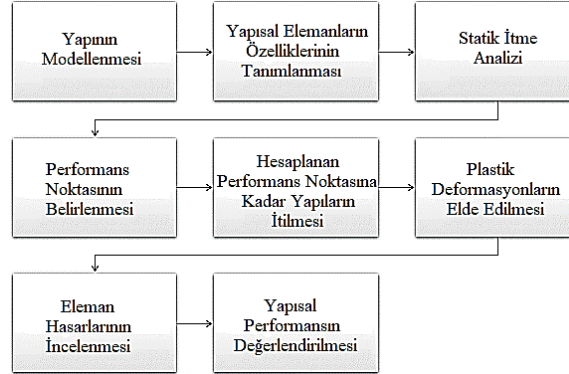
Tablo 4. Rijitlik düzensizliği katsayısı

Mevcut bina	ZA – x doğrultusu	ZD – x doğrultusu	ZA – y doğrultusu	ZD – y doğrultusu
3 katlı model	2.166	2.467	2.173	2.468
5 katlı model	2.244	2.441	2.279	2.558
7 katlı model	2.345	2.651	2.469	2.706

4. SABİT TEK MODLU İTME YÖNTEMİ

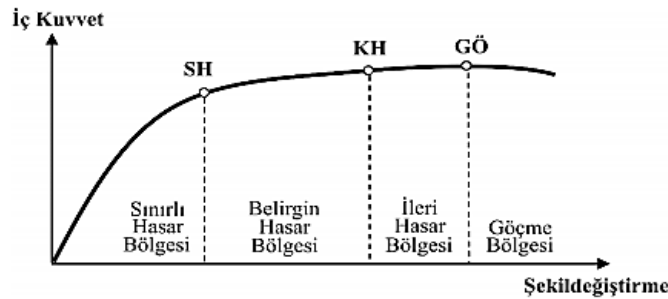
TBDY-2018’de tanımlanan sabit tek modlu itme yönteminde, göz önüne alınan deprem doğrultusunda her bir itme adımında, katlara etkiyen deprem yükü artımları, deprem dışı yüklemelerden sonraki birinci adımda belirlenen ve itme hesabı boyunca hiç değiştirilmeyen sabit mod şekli ile orantılı olarak tanımlanırlar. İtme hesabı sonucunda koordinatları tepe yerdediştirilmesi – taban kesme kuvveti olan itme eğrisi elde edilir. Daha sonra, bu eğriye uygulanan koordinat dönüşümü ile koordinatları modal yerdediştirme – modal sözde-ivme olan modal kapasite diyagramı elde edilir. Hesabın son aşamasında bu diyagram, tanımlanan deprem etkisi altında modal yerdediştirme talebinin ve buna bağlı olarak taşıyıcı sistemde meydana gelen iç kuvvet ve plastik şekil değiştirme taleplerinin hesaplanmasında esas alınır.

Statik itme analizi ile genel olarak yapıların yatay yükler altındaki performansları incelenmektedir [17]. Bu analiz ile taban kesme kuvveti ve tepe noktası deplasmanı arasındaki ilişkiyi ortaya koyan kapasite eğrisi ile yapısal davranış ortaya koyulmaktadır. Taşıyıcı sistem elemanlarının doğrusal olmayan özelliklerini dikkate alarak belirli adımlar halinde artırılan yatay yükler etkisi altında, yapının performans noktası olarak tanımlanan hedef yer değiştirme değerindeki performans sonuçlarını değerlendirilmektedir [18]. Bir yapı için modelleme aşamasından performans değerlendirilmesine kadar olan doğrusal olmayan analiz adımları Şekil 4'te sunulmuştur.



Şekil 4. Analiz adımları

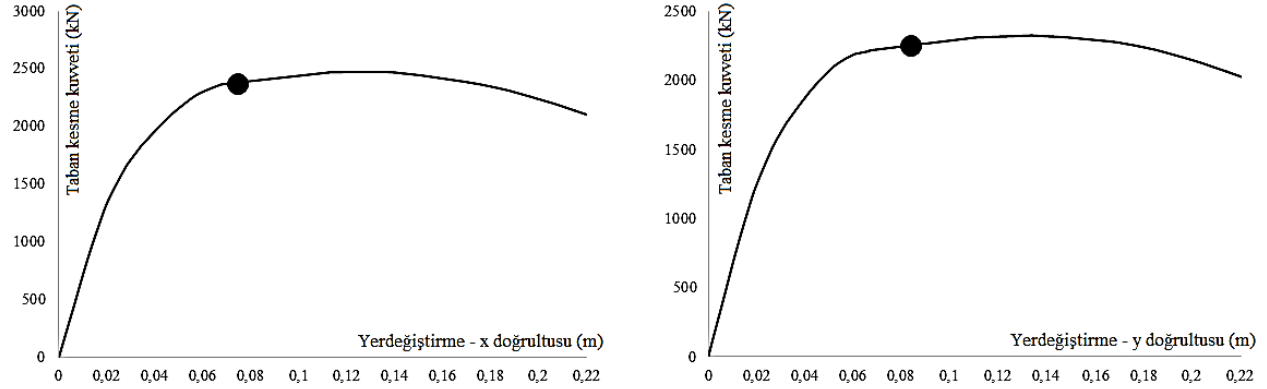
Doğrusal olmayan analiz ile taşıyıcı sistem elemanlarının kesit hasar bölgeleri TBDY-2018'e göre belirlenmektedir. Şekil 5'te verilen eğride tanımlanan sınırlar sırasıyla sınırlı hasar, kontrollü hasar ve göçmenin önlenmesi olarak ifade edilmiştir. Sınırlı hasar sınırında, yapısal elemanlarda bazı çatlaklar görülebilirken, kontrollü hasar sınırında bazı elemanlarda hasarlar oluşabilir. Göçmenin önlenmesi sınır düzeyinde ise iler düzeyde hasarlar oluşmaktadır. Kritik kesitlerinin hasarı sınırlı hasara ulaşmayan elemanlar Sınırlı Hasar Bölgesinde (SHB), sınırlı hasar ile kontrollü hasar arasında kalan elemanlar Belirgin Hasar Bölgesinde (BHB), kontrollü hasar ile göçmenin önlenmesi arasında kalan elemanlar İleri Hasar Bölgesinde (İHB) ve göçmenin önlenmesini aşan elemanlar ise Göçme Bölgesinde (GÖ) yer alırlar.



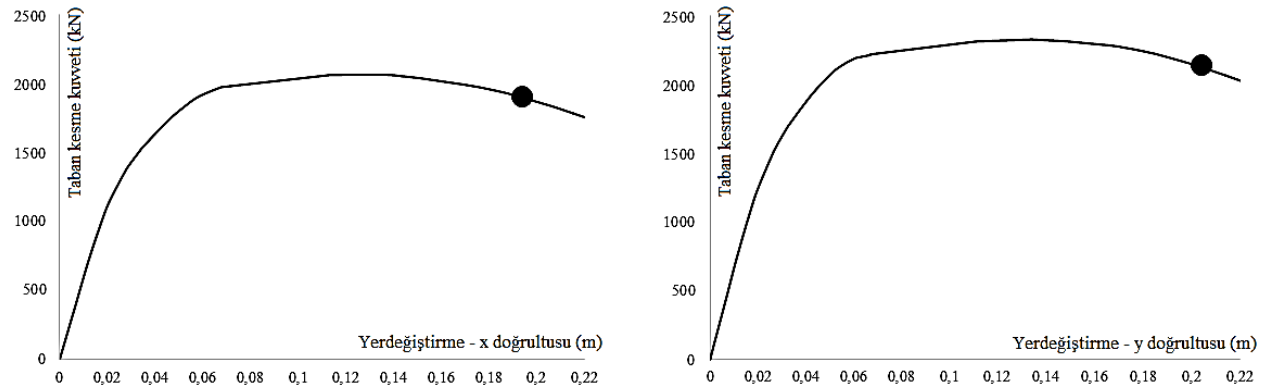
Şekil 5. Hasar bölgeleri

5. BULGULAR

Binalar her iki zemin sınıfı için belirlenen performans noktalarına kadar itilerek, taşıyıcı sistem güvenlikleri incelenmiştir. Örnek olması açısından, 5 katlı mevcut betonarme binanın her bir doğrultudaki taban kesme kuvveti – tepe noktası yer değiştirme eğrileri Şekil 6 ve 7'de gösterilmiştir. Hesaplanan performans noktaları şekiller üzerinde işaretlenmiştir [19].



Şekil 6. ZA zemin sınıfı için 5 katlı bina eğrileri



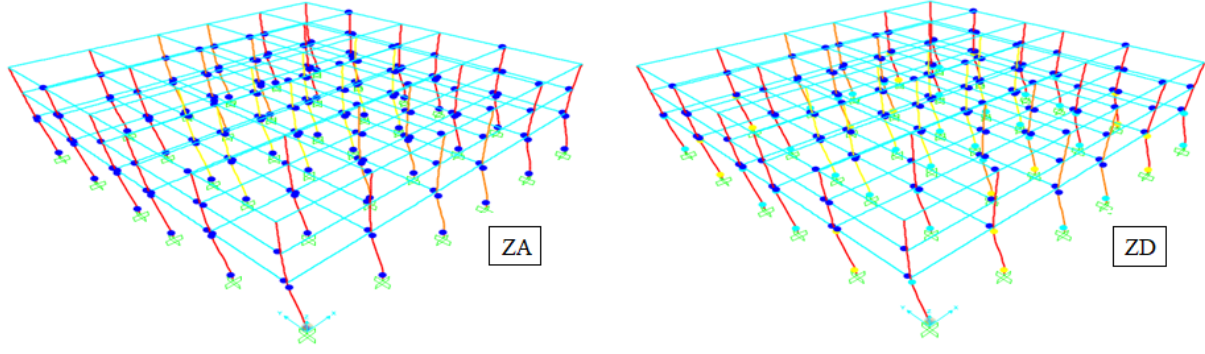
Şekil 7. ZD zemin sınıfı için 5 katlı bina eğrileri

Tüm mevcut betonarme binalar için hesaplanan performans noktaları, her bir doğrultu ve yerel zemin sınıfı için Tablo 5'te verilmiştir.

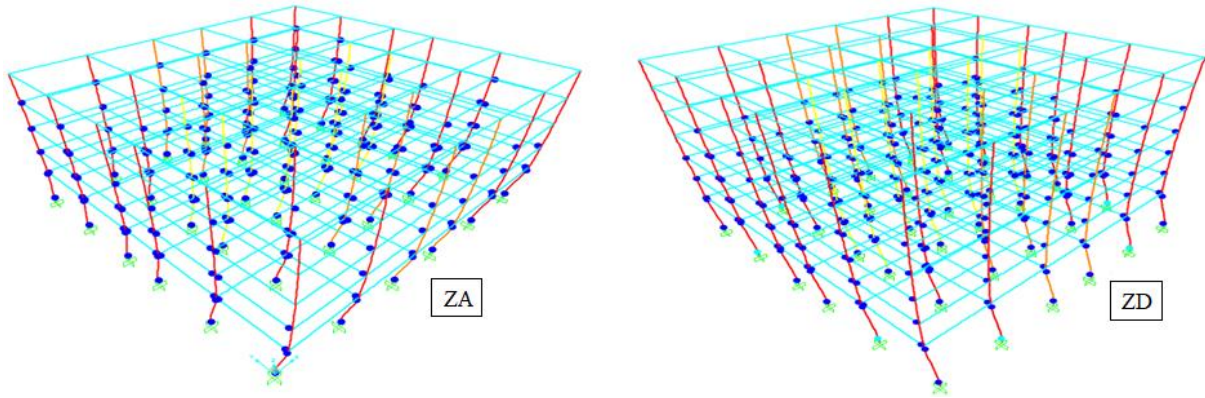
Tablo 5. Performans noktaları

Mevcut bina	ZA zemin sınıfı		ZD zemin sınıfı	
	X doğrultusu (m)	Y doğrultusu (m)	X doğrultusu (m)	Y doğrultusu (m)
3 katlı model	0.0520	0.0547	0.1300	0.1368
5 katlı model	0.0783	0.0818	0.1959	0.2046
7 katlı model	0.1043	0.1085	0.2609	0.2712

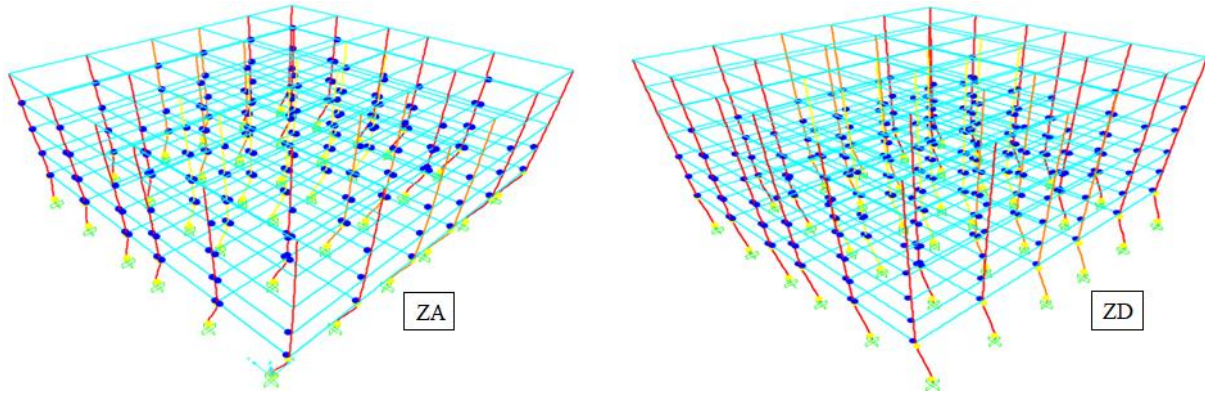
Doğrusal olmayan analizler ile hesaplanan performans noktalarında, kolon ve kiriş elemanlarda plastik mafsallar oluşmuştur. Performans noktası değerlerinin daha büyük çıktığı y doğrultusu için elde edilen plastik mafsallı dağılımları, zemin sınıflarına göre Şekil 8-10'da sunulmuştur [19].



Şekil 8. 3 katlı binada oluşan plastik mafsallar

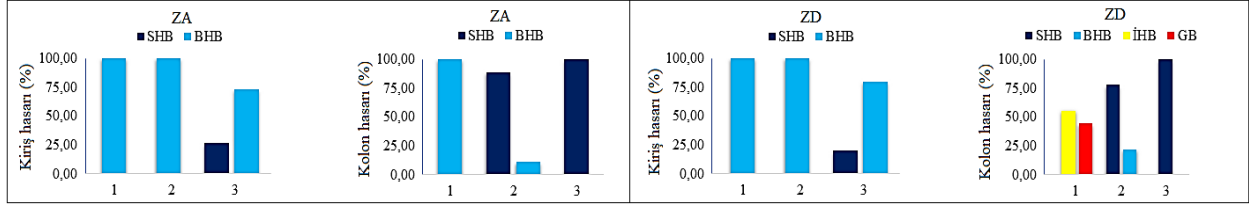


Şekil 9. 5 katlı binada oluşan plastik mafsallar

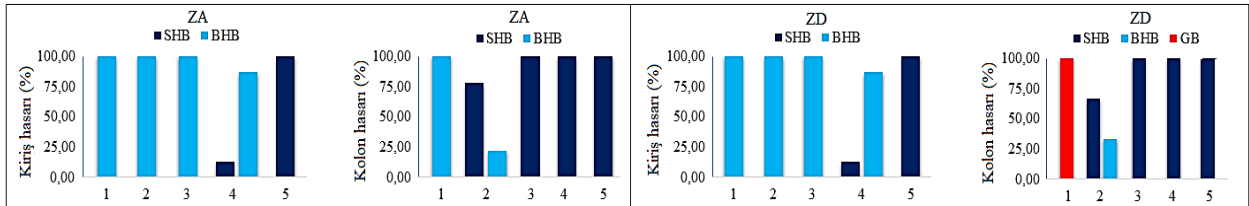


Şekil 10. 7 katlı binada oluşan plastik mafsallar

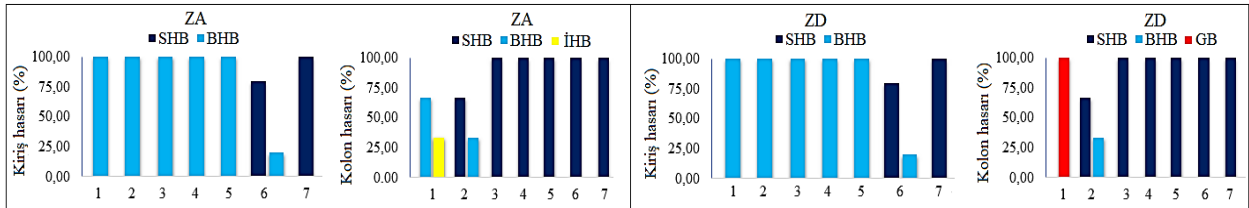
Mevcut betonarme binaların taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan hasar durumları, plastik mafsallara göre belirlenmiştir. Elemanlarda oluşan hasar dağılımları kat adetlerine ve zemin sınıflarına göre Şekil 11-13 arasında görsel olarak sunulmuştur.



Şekil 11. 3 katlı binada oluşan hasar oranları



Şekil 12. 5 katlı binada oluşan hasar oranları



Şekil 13. 7 katlı binada oluşan hasar oranları

3 katlı binada, ZA yerel zemin sınıfı için x doğrultusunda kolonların %63'ü SHB, %37'si BHB, kirişlerin %9'u SHB, %91'i BHB, y doğrultusunda kolonların %67'si SHB, %33'ü BHB, kirişlerin %16'sı SHB ve %84'ü BHB'de yer almaktadır. ZD yerel zemin sınıfı için x doğrultusunda kolonların %59'u SHB, %41'i BHB, kirişlerin %7'si SHB, %93'ü BHB, y doğrultusunda kolonların %67'si SHB, %22'si İHB ve %11'i GB, kirişlerin %16'sı SHB ve %84'ü BHB'de yer almaktadır.

5 katlı binada, ZA yerel zemin sınıfı için x doğrultusunda kolonların %76'sı SHB, %24'ü BHB, kirişlerin %23'ü SHB, %77'si BHB, y doğrultusunda kolonların %77'si SHB, %23'ü BHB, kirişlerin %23'ü SHB ve %77'si BHB'de yer almaktadır. ZD yerel zemin sınıfı için x doğrultusunda kolonların %73'ü SHB, %7'si BHB ve %20'si GB, kirişlerin %23'ü SHB, %77'si BHB, y doğrultusunda kolonların %76'sı SHB, %4'ü BHB ve %20'si GB, kirişlerin %25'i SHB ve %75'i BHB'de yer almaktadır.

7 katlı binada, ZA yerel zemin sınıfı için x doğrultusunda kolonların %81'i SHB, %14'ü BHB ve %5'i İHB, kirişlerin %26'sı SHB, %74'ü BHB, y doğrultusunda kolonların %83'ü SHB, %14'ü BHB ve %3'ü İHB, kirişlerin %30'u SHB ve %70'i BHB'de yer almaktadır. ZD yerel zemin sınıfı için x doğrultusunda kolonların %81'i SHB, %5'i BHB ve %14'ü GB, kirişlerin %26'sı SHB, %74'ü BHB, y doğrultusunda kolonların %83'ü SHB, %3'ü BHB ve %14'ü GB, kirişlerin %33'ü SHB ve %67'si BHB'de yer almaktadır.

Mevcut betonarme binaların taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan hasarlar, her bir zemin sınıfı için aşağıdaki tablolarda sunulmuştur. Oluşan hasar durumları, hasarın daha fazla olduğu kritik doğrultu için verilmiştir [19].

Tablo 6. ZA zemin sınıfı için 3 katlı binada oluşan hasar durumları

Eleman	Kat no	SHB	BHB	İHB	GB
Kolon	1	–	36	–	–
	2	32	4	–	–
	3	36	–	–	–
Kiriş	1	–	30	–	–
	2	–	30	–	–
	3	8	22	–	–

Tablo 7. ZD zemin sınıfı için 3 katlı binada oluşan hasar durumları

Eleman	Kat no	SHB	BHB	İHB	GB
Kolon	1	–	–	20	16
	2	28	8	–	–
	3	36	–	–	–
Kiriş	1	–	30	–	–
	2	–	30	–	–
	3	6	24	–	–

Tablo 8. ZA zemin sınıfı için 5 katlı binada oluşan hasar durumları

Eleman	Kat no	SHB	BHB	İHB	GB
Kolon	1	–	36	–	–
	2	28	8	–	–
	3	36	–	–	–
	4	36	–	–	–
	5	36	–	–	–
Kiriş	1	–	30	–	–
	2	–	30	–	–
	3	–	30	–	–
	4	4	26	–	–
	5	30	–	–	–

Tablo 9. ZD zemin sınıfı için 5 katlı binada oluşan hasar durumları

Eleman	Kat no	SHB	BHB	İHB	GB
Kolon	1	–	–	–	36
	2	24	12	–	–
	3	36	–	–	–
	4	36	–	–	–
	5	36	–	–	–
Kiriş	1	–	30	–	–
	2	–	30	–	–
	3	–	30	–	–
	4	4	26	–	–
	5	30	–	–	–

Tablo 8. ZA zemin sınıfı için 7 katlı binada oluşan hasar durumları

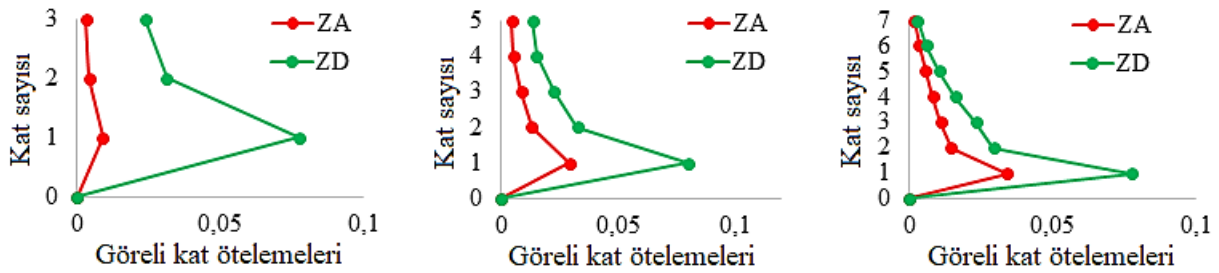
Eleman	Kat no	SHB	BHB	İHB	GB
Kolon	1	–	24	12	–
	2	24	12	–	–
	3	36	–	–	–
	4	36	–	–	–
	5	36	–	–	–
	6	36	–	–	–
	7	36	–	–	–
Kiriş	1	–	30	–	–

2	–	30	–	–
3	–	30	–	–
4	–	30	–	–
5	–	30	–	–
6	24	6	–	–
7	30	–	–	–

Tablo 8. ZD zemin sınıfı için 7 katlı binada oluşan hasar durumları

Eleman	Kat no	SHB	BHB	İHB	GB
Kolon	1	–	–	–	36
	2	24	12	–	–
	3	36	–	–	–
	4	36	–	–	–
	5	36	–	–	–
	6	36	–	–	–
	7	36	–	–	–
Kiriş	1	–	30	–	–
	2	–	30	–	–
	3	–	30	–	–
	4	–	30	–	–
	5	–	30	–	–
	6	24	6	–	–
	7	30	–	–	–

Hasar dağılımlarının yanı sıra, binalarda oluşan yerdeğiştirmeyi katlara göre incelemek için görel kat ötelemeleri belirlenmiştir. Her bir bina için oluşturulan eğriler iki farklı zemin sınıfı için Şekil 14’te verilmiştir [19]. Yumuşak katın görel kat ötelemeleri üzerindeki etkisi şekilde görülmektedir. Ayrıca, sağlam zeminden gevşek zemine doğru gidildikçe, eğriler arasındaki fark belirginleşmektedir.



Şekil 14. Binalarda oluşan görel kat ötelemeleri

4. SONUÇ

Bu çalışma kapsamında, ülkemiz yapı stokunda önemli bir yere sahip kolon-kiriş çerçeve sistemden oluşan orta katlı mevcut betonarme binaların deprem performansları TBDY-2018’e göre incelenmiştir. Binalarda, geçmiş depremlerde önemli yapısal hasarlara neden olan yumuşak kat düzensizliği bulunmaktadır. Ayrıca, taşıyıcı sistem güvenliğinin belirlenmesinde daha gerçekçi sonuç alabilmek için doğrusal olmayan analiz yöntemlerinden olan tek modlu itme yöntemi kullanılmıştır. Binaların farklı zemin sınıflarında yer alacağı göz önünde bulundurularak, analizler ZA ve ZD yerel zemin sınıflarına göre gerçekleştirilmiştir.

Yumuşak kat düzensizliği içeren farklı kat adedi ve bina yüksekliğine sahip 3, 5 ve 7 katlı mevcut betonarme binaların deprem davranışı ve deprem performansları incelendiğinde, sağlam kaya ZA yerel zemin sınıfı üzerinde inşa edilmiş binaların kontrollü hasar performans düzeyini sağladığı

gözlemlenmiştir. Orta sıkı kum, çakıl ve çok katı killi zemin (ZD) yerel zemin sınıfında bulunan tüm binalarda ise yumuşak katın bulunduğu katta göçme durumu oluşmuştur. Bu durum, zemin parametrelerinin bina performansı üzerindeki etkilerini ortaya koymaktadır.

Analiz sonuçlarına göre, kat adetlerindeki farklılık binalarda oluşan görece kat ötelemelerini etkilemektedir. Ayrıca, komşu katlar arası rijitlik düzensizliğinin bulunduğu katlarda oluşan görece kat ötelemeleri, tüm binalar için belirgin şekilde ortaya çıkmaktadır. Böylece, yatay yükler etkisinde yumuşak katta oluşan büyük yerdeğiştirmeler görülmektedir. Bununla birlikte, zemin parametrelerine bağlı olarak tüm katlarda oluşan öteleme değerleri farklılık göstermektedir.

Sonuç olarak, TBDY 2018’de tanımlanan ve düşeyde düzensizlik durumlarında yumuşak kat düzensizliğine sahip olan 3, 5 ve 7 katlı mevcut betonarme binaların deprem performansları incelendiğinde, hiçbir binada sınırlı hasar performans düzeyi sağlanamamıştır. ZA yerel zemin sınıfında bulunan binaların kontrollü hasar performans düzeyini sağladığı gözlemlenmiştir. Binaların ZD yerel zemin sınıfında bulunması durumunda, tüm binalarda yumuşak kat düzensizliğinin bulunduğu katta göçme durumu oluşmuştur. Deprem yüklerinin betonarme çerçeveler ile karşılandığı düzensiz binalarda, zeminin etkisi göz önünde bulundurulduğunda, taşıyıcı sistemde perde duvarların bulunması binaların deprem performansında iyileştirme sağlayacaktır. Bu çalışma, farklı düzensizlik durumları ve zemin sınıfları incelenerek geliştirilebilir.

REFERANSLAR

- [1] TBDY-2018, (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.
- [2] Erdem R.T. (2016). “Performance evaluation of reinforced concrete buildings with softer ground floors.” *Gravevinar* 68(1), 39-49.
- [3] Çomaklı, B. (2019). Düşük ve Orta Yükseklikteki Betonarme Binalarda Yumuşak Kat Düzensizliğinin ve Zemin Yapı Etkileşiminin Araştırılması. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- [4] Altıntop, M. A. (2007). Analysis of Building Structures with Soft Storeys. Atılım University, The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Civil Engineering Department, M.Sc. Thesis.
- [5] Şensoy, E. Z. (2018). Betonarme Yapılarda Yumuşak Kat Etkilerinin Doğrusal Elastik Olmayan Analizle Belirlenmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- [6] 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.
- [7] Kirac, N., Dogan M., Ozbasaran, H (2011). “Failure of weak-storey during earthquakes.” *Engineering Failure Analysis* 18(2), 572-581.
- [8] Tena-Colunga, A., Hernandez-Garcia, D. A. (2020). “Peak seismic demands on soft and weak stories models designed for required code nominal strength.” *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 129, 1-17.
- [9] Simpson, B. G., Mahin, S. A. (2018). “Experimental and numerical investigation of strongback braced frame system to mitigate weak story behavior.” *Journal of Structural Engineering*, 144(2), 1-14.

- [10]Kap, T., Özgan E., Uzunoğlu M. (2019). “Betonarme bir okul binasının 2018 deprem yönetmeliğine göre incelenmesi.” Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi 7(3), 1140-1150.
- [11]Soni, D. P., Mistry, B. B. (2006). “Qualitative review of seismic response of vertically irregular building frames.” Iset Journal of Earthquake Technology 43(4), 121-132.
- [12]Lee, H. S., Ko, D. W. (2007). “Seismic response characteristics of high-rise rc wall buildings having different irregularities in lower stories.” Engineering Structures 29 (11), 3149-3167.
- [13]Verderame, G. M., Polese, M., Mariniello, C., Manfredi, G. (2010). “A simulated design procedure for the assessment of seismic capacity of existing reinforced concrete buildings”. Advances in Engineering Software 41(2), 323-335.
- [14]Aksoylu, C., Arslan, M. H., Mobark, A., Erkan, İ. H. (2020). “A comparative study on ASCE 7-16, TBEC-2018 and TEC-2007 for reinforced concrete buildings.” Revista de la Construcción 19(2), 282-305.
- [15]Bhole, T. S., Dubal, R. (2020). “Seismic analysis of vertical irregular building.” International Journal of Advance Scientific Research and Engineering Trends 5(12), 234-238.
- [16]Sap2000, (1998). Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures Basic Analysis Reference Manual. Computers and Structures Inc., Berkeley, California.
- [17]Golghate, K. Vijay, B., Amit, S. (2013). “Pushover analysis of 4 storey’s reinforced concrete building.” International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology 2(3), 80-84.
- [18]Kara, K. (2021). Mevcut Betonarme Bir Binanın TB DY-2018’e Göre Deprem Performansının İncelenmesi ve Güçlendirilmesi. Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- [19]Uyan, B. (2021). Planda ve Düşeyde Düzensiz Mevcut Betonarme Binaların Doğrusal Olmayan Analizi. Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.