



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



17 ağustos 1999 kocaeli depreminde adapazarı şehir merkezinde devrilen binaların devrilmeye karşı optimum yükseklik/genişlik oranının belirlenmesi

Determination of the optimum height/width ratio of overturned buildings in the adapazarı city center during august 17th, 1999 kocaeli earthquake

Yazar(lar) (Author(s)): Orhan DOĞAN¹, Mehmet Ali KALAYLI²

ORCID¹: 0000-0002-4942-1725

ORCID²: 0000-0003-2776-4740

To cite to this article: Doğan O. ve Kalaylı M.A., “17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminde Adapazarı şehir merkezinde devrilen binaların devrilmeye karşı optimum yükseklik/genişlik oranının belirlenmesi”, *Journal of Polytechnic*, 27(1): 59-68, (2024).

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz: Doğan O. ve Kalaylı M.A., “17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminde Adapazarı şehir merkezinde devrilen binaların devrilmeye karşı optimum yükseklik/genişlik oranının belirlenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 27(1): 59-68, (2024).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.1056428

17 Ağustos 1999 Kocaeli Depreminde Adapazarı Şehir Merkezinde Devrilen Binaların Devrilmeye Karşı Optimum Yükseklik/Genişlik Oranının Belirlenmesi

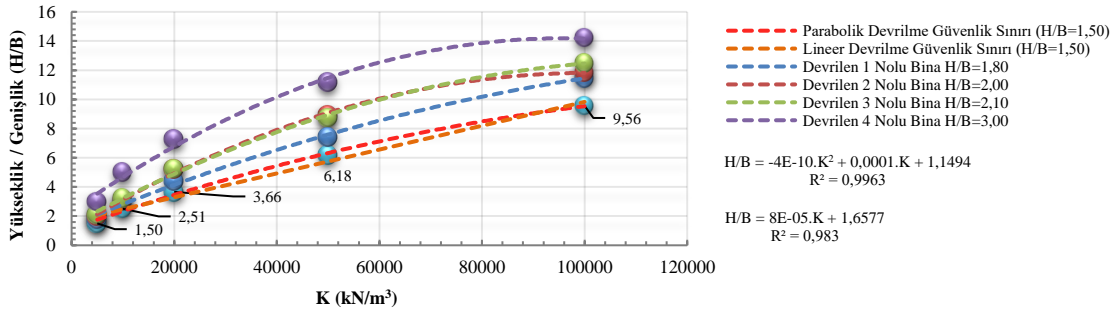
Determination of the Optimum Height/Width Ratio of Overturned Buildings in the Adapazarı City Center during the August 17th, 1999 Kocaeli Earthquake

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Adapazarı Merkezi'nde Devrilen Narin Binalar / Slender Buildings Overturned in Adapazarı Center
- ❖ Bina Devrilme Analizi / Building Overturning Analysis
- ❖ Sallanan Rijit Bloklar / Rocking Rigid Blocks
- ❖ Zeminden Ayrılan Temel / Foundation Uplift
- ❖ Çekme Almayan Temel / Foundation with Zero Tensile Strength

Grafik Özet (Graphical Summary)

Zemin yatak katsayısına göre devrilmeye karşı optimum bina yükseklik/genişlik oranı bağıntısı elde edilmiştir.



Şekil. Optimum H/B Oranının Binalar İçin Belirlenmesi / Figure. Determination of Optimum H/B Ratio for Buildings

Amaç (Aim)

Adapazarı Şehir Merkezinde binaların devrilmemesi için uygulanması gereken maksimum bina H/B oranının belirlenmesi amaçlanmıştır. / The aim of this study is to determine the maximum building H/B ratio that should be applied in order not to overturn the buildings in Adapazarı City Center.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Farklı zemin yatak katsayılarında Adapazarı'nda devrilen 4 tane bina modellenerek devrilme davranışı araştırılmıştır. / The overturning behavior at different soil bearing coefficients was investigated for 4 overturned buildings which were modeled in Adapazarı.

Özgünlük (Originality)

Zemin yatak katsayısına göre binalarda devrilmeye karşı H/B oranını belirleyen ilk bilgisayar destekli çalışmadır. / It is the first computer-aided study that determines the H/B ratio against overturning in buildings according to the soil bearing coefficient.

Bulgular (Findings)

Adapazarı özelinde, binaların devrilmemesi için yapılması gereken maksimum bina H/B oranını veren bağıntı $R^2=0,9963$ regresyonla tespit edilmiştir. / For Adapazarı, the relationship that gives the maximum building H/B ratio to prevent the buildings from overturning has been determined with a regression of $R^2 = 0.9963$.

Sonuç (Conclusion)

Adapazarı'nda devrilmeye karşı bina H/B sınırı farklı zemin yatak katsayıları için belirlenmiştir. / The building H/B limit against overturning in Adapazarı has been determined for different soil bearing coefficients.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The authors of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

17 Ağustos 1999 Kocaeli Depreminde Adapazarı Şehir Merkezinde Devrilen Binaların Devrilmeye Karşı Optimum Yükseklik/Genişlik Oranının Belirlenmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Orhan DOĞAN^{1*}, Mehmet Ali KALAYLI²

¹Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale, Türkiye

² Sosyal Güvenlik Kurumu, İnşaat ve Emlak Daire Başkanlığı, Ankara, Türkiye

(Geliş/Received : 11.01.2022 ; Kabul/Accepted : 29.03.2022 ; Erken Görünüm/Early View : 09.06.2022)

ÖZ

17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminde, Adapazarı şehir merkezinde dar cepheli, yüksek ve narin onlarca binanın hasar görmeden temeliyle birlikte devrildiği görülmüştür. Bu davranışın en büyük sebebi, deprem yüküne bağlı artan taban basıncı ile zemin taşıma kapasitesinin ve elastik yatak katsayısının aşılmasıdır. Binaların, zemindeki farklı oturmalarından kaynaklı artan tepe deplasmanları ve ikinci mertebe taban momentleri nedeniyle devrildiği anlaşılmıştır. Bu çalışma ile 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminde Adapazarı şehir merkezinde devrilen farklı yükseklik/genişlik (H/B) oranlarına sahip 4 adet binanın, 5 farklı zemin yatak katsayılı (K) zemin için ETABS 18.1.1 programı kullanılarak, ayrı ayrı non-lineer (itme) analizi ve devrilme tahkikleri yapılmıştır. Devrilen bu binalardan en düşük H/B oranına sahip binanın tepe yer değiştirmeleri ve zemin yatak katsayıları dikkate alınarak, farklı H/B ve zemin yatak katsayısına sahip 20 model için %96 regresyonla lineer ve %99 regresyonla parabolik iki bağıntı elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bina devrilme analizi, adapazarı şehir merkezi'nde devrilen narin binalar, sallanan rijit bloklar, zeminden ayrılan temel, çekme almayan temel.

Determination of the Optimum Height/Width Ratio of Overturned Buildings in the Adapazarı City Center during the August 17th 1999 Kocaeli Earthquake

ABSTRACT

After the August 17th, 1999 Kocaeli earthquake, it was observed that dozens of narrow-fronted, high and slender buildings in the city center of Adapazarı overturned with their foundations being undamaged. The main reason for this behavior is the increased base pressure due to earthquake load and the excess of soil bearing capacity and elastic bearing coefficient. It was understood that the buildings were overturned due to the increased top displacements and second order base moments due to different settlements in the soil. In this study, overturning analysis of overturned 4 buildings in the city center of Adapazarı after the August 17th, 1999 Kocaeli earthquake with different height/width ratios (H/B) ratios, were made using the ETABS 18.1.1 program separately for the soil with 5 different soil bearing coefficients (K). Considering the top displacements and soil bearing coefficients of the building with the lowest H/B ratio among these overturned buildings, a linear relationship with 96% regression and a parabolic relationship with 99% regression were obtained for 20 models with different H/B ratios and soil bearing coefficients.

Keywords: Overturning analysis, slender overturned buildings adapazarı city center, rocking rigid blocks, uplift foundation, foundation with zero tensile strength.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi sonrasında, Adapazarı şehir merkezinde zayıf zemindeki bazı narin binaların temelleriyle birlikte devrildiği görülmüştür. Üst yapının hasar görmemesine rağmen binaların devrilmesinin, binaların narin olması (H/B≥1,80~2,00) ve zemin taşıma kapasitesinin de yetersiz olmasından kaynaklandığı belirtilmiştir [1]. Konuyla ilgili literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, betonarme binaların temel analizinde

zeminin çekme gerilme mukavemeti değerinin sıfır olmasına rağmen, temel altındaki zemin yayları hem çekme hem de basınçta aynı direnci gösteren elemanlar

gibi tanımlanmaktadır. Ancak bu davranışı analizlerle inceleyen Ishiyama [2], Psycharis ve diğ. [3], Koh ve diğ. [4] ile Makris ve Roussos [5], Göktepe ve diğ. [6], zeminin çekme alamayacağını, dar cepheli yüksek katlı devrilmeye karşı narin yapıların deprem esnasında rijit blok şeklinde sallanma davranışı göstererek zayıf zeminlerde devrilebileceğini, rijit zeminlerde ise temelin topuk noktasından dönerek temelin zeminden ayrılacaklarını ortaya koymuştur. Düşey yük altında elastik ve elasto-plastik zeminler üzerine oturan sonlu kirişleri inceleyen Doğan [7], zeminin çekme almayacak şekilde matematiksel modelini yaparak, temelin zeminden ayrıldığını dikkate alarak daha güvenli sonuçlar elde etmiştir. Şili (1960), Alaska (1964), San Fernando (1971), Atina (1999) ve Kocaeli (1999)

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : odogan67@hotmail.com

depremlerinde, zeminin çekme almaması sonucu çok sayıda yapının temeliyle birlikte zeminden ayrıldığı rapor edilmiştir [8]. Sallanan sığ temellerin yük-deformasyon davranışını santrifüj deneyiyle inceleyen Gajan ve diğ. [9], yapıya gelen yanal yükün genliğinin büyümesiyle yapının daha çok sallanacağını, böylece zeminin akmasıyla birlikte temelin zeminden de ayrılabilceğini göstermiştir.

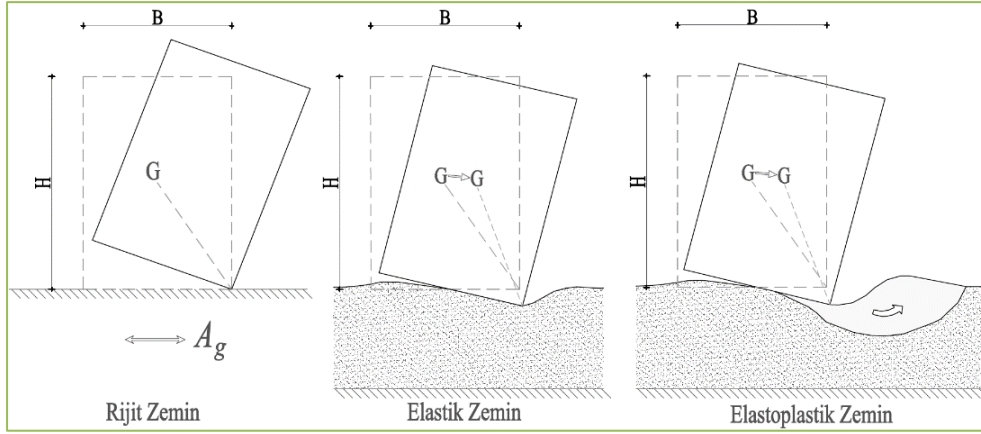
Bazı araştırmacılar her ne kadar Adapazarı'ndaki binaların sıvılaşma nedeniyle devrildiğinden bahsetse de [10, 11], Gazetas ve diğ. [12], tarafından deprem sonrası yapılan incelemede Adapazarı yerleşkesinde yer yer sıvılaşmanın görüldüğü ancak, depremden saatler sonra devrilen binaların oturduğu zeminlerde fiziksel olarak sıvılaşmanın olmadığını ifade etmiştir. Yapılan bazı çalışmalarda Adapazarı'ndaki sıvılaşmanın belirli bölgelerde olduğu, zayıf ve yumuşak zeminin binalara gelen deprem yükünü azaltan bir izolatör görevi gördüğü de raporlanmıştır [13].

Gazetas ve diğ. [14], 1999 Kocaeli depremi sonrasında, Adapazarı özelinde devrilen binaları yerinde inceledikten sonra, devrilmelerin direkt olarak sıvılaşmadan kaynaklanmadığını vurgulayarak, H/B oranı yaklaşık 2,00 olan bitişik nizam iki özdeş binanın ve H/B oranı 1,80 ve üzeri olan ayırık nizam binaların devrildiğini ortaya koymuştur. Arabpanahan ve diğ. [15], temel gömme derinliği ile üst yapıdaki H/B oranı arasındaki etkileşimin yanal performansa olan etkilerini incelemiş, temel gömme derinliğini artırıp H/B oranını azaltarak temeldeki dönme ve oturmaların üst yapıya etkisinin azaldığını görmüştür. Anastasopoulos ve diğ. [16], narinliğin arttıkça temel dönmesine bağlı yapının devrilme davranışını incelemiş ve H/B oranı arttıkça devrilme riskinin artabileceği sonucuna ulaşmıştır. Kohezyonlu zemin üzerindeki sığ temelin davranışını zemin-yapı etkileşimi ile inceleyen Cremer ve diğ. [17], zeminin aktığını ve temelin yükseldiğini görmüş, devrilme momentinin düşey deplasman, zeminden ayrılma ve dönme ile olan ilişkisini hazırladıkları model ve yaptıkları analizler ile incelemiştir. Allotey ve diğ. [18], Winkler zemin modeliyle rijit bir temelin farklı rijitlikteki zemin türlerinde moment ile dönme tepkisi arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Drosos ve diğ. [19], bir köprü ayağının temel-zemin-yapı etkileşimi davranışını incelemiş, zeminin akma ve yükselme limitini etkileyen en önemli parametrenin narinlik (H/B) olduğunu vurgulamıştır. Loli ve diğ. [20], kum zemin modeli ile yaptıkları deneysel çalışmada, faylanma doğrultusu ve temelin genişlik ve uzunluk boyutlarının devrilmeye olan etkilerini incelemiş, temelin aşırı yanal deplasman yaparak dönmesi sonucu, zeminin akmasına bağlı olarak

devrilebileceğini ortaya koymuşlardır. Gajan ve Kutter [21], yapı-temel sisteminin, narinlik (H/B) oranının deprem esnasındaki belirgin davranışın belirlenmesinde temel parametre olduğunu bulmuştur. Panagiotidou ve diğ. [22], narin binaların P-Δ etkisi altında devrilme davranışını inceleyerek zemin-temel-yapı sisteminin çökme koşullarına vurgu yapmıştır. Latcharote ve diğ. [23], Japonya'da 2011 yılında meydana gelen tsunamide, zemin iyileştirmesi yapılan, bodrum katı olmayan H/B oranı 1,80 ve üzerinde olan narin binaların devrilmesi davranışını incelemiştir. Farklı H/B oranındaki bina modellerine farklı zemin yatak katsayısına sahip zeminle birlikte devrilme analizi yapan Doğan ve Kalaylı [24], 1999 Kocaeli depreminde, Adapazarı yerleşkesinde devrilen binalar ile uyumlu sonuçlar elde etmiş ve bodrum katı olmayan H/B oranı 1,80 ve üzerinde olan narin binaların devrildiğini ortaya koymuştur.

1999 Kocaeli depreminde, Adapazarı şehir merkezinde herhangi bir zemin iyileştirmesi yapılmayan, zayıf zeminin üzerine inşa edilmiş, H/B oranı 1,80 ve üzerinde, bodrum katı olmayan, radye temelli binalardan bazılarının üst yapısında deformasyon oluşarak, bazılarının da üst yapısında herhangi bir deformasyon oluşmadan temelleriyle birlikte toptan devrildiği görülmüştür. Depremde binaların temelleriyle birlikte dönerek devrilmesinin en önemli sebeplerinden birisi, zemin-temel-yapı etkileşimi analizinin yapılmamasıdır. Bu çalışmada, üst yapısında herhangi bir hasar oluşmadan temeliyle birlikte devrilen ve H/B oranı 1,80, 2,00, 2,10 ve 3,00 olan 4 farklı bina modellenerek incelenmiştir.

Deprem etkisiyle yapıya gelen yanal yükler üst yapıdan temele, temelden de zemine aktarılır. Temel aracılığıyla zemine aktarılan üst yapı ve temel düşey yükleri, zayıf zeminde aşırı oturmalara ve göçmeye sebebiyet verebilmekte ve geoteknik mühendisliği açısından büyük sorunlar teşkil edebilmektedir. Temelin, güvenlik sınırları içerisinde görevini yerine getirebilmesi için zeminde oluşan temel taban basıncının ($q_{sınır}$) zeminin emniyet gerilmesini (σ_{zem}) aşmaması gerekir [25, 26]. Devrilen binalarda $q_{sınır} \geq \sigma_{zem}$ şartının sağlanamamasından dolayı zeminin, temel sınırları içerisinde elastik davranıştan elastoplastik davranışa geçerek akmasına sebep olmaktadır. Şekil 1'de rijit, elastik ve elastoplastik zeminlerde bulunan binanın temeliyle birlikte sallanarak dönme, çökme, zeminden ayrılma ve devrilme davranışları gösterilmiştir. Deprem sırasında temel altındaki zeminin plastikleşmesi temelde dönmelerin daha da artmasına, binanın ağırlık merkezinin değişmesine, ikinci mertbe momentlerin artmasına ve buna bağlı olarak da binanın rijit bir blok şeklinde temeliyle birlikte devrilmesine sebep olur [27].



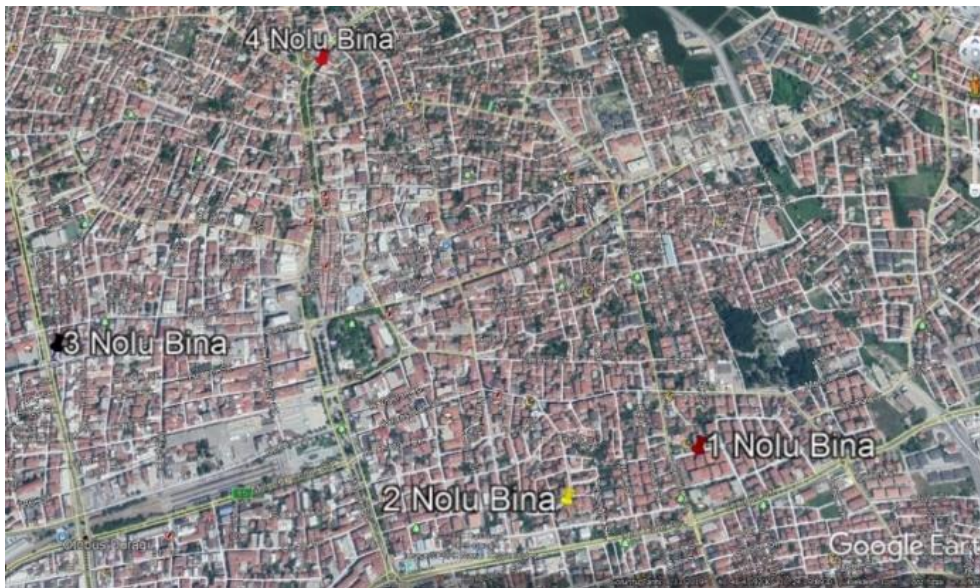
Şekil 1. Devrilmeye zorlanan binaların farklı rijitlikteki zemin ile birlikte davranışları [27] (Behavior of buildings forced to overturn with soil of different stiffness [27])

Devrilen binaların üst yapısında hiç hasar olmaması, binanın yekpare yığma blok gibi davrandığını, binaya gelen deprem kuvvetinin üst yapı karkas taşıyıcı sistemi tarafından azaltılmadığını, deprem yüklerinin temel aracılığıyla direkt olarak üstyapıya aktarıldığını göstermektedir. Bu da sünek tasarlanmış bir binanın bölme duvarları yıkılmadığı müddetçe yığma bir bina gibi davrandığının, sünek davranmadığının, gerçekte de deprem yükünün herhangi bir azalmaya uğramadan binaya etkidiğini göstermektedir. Bu yüzden devrilme riski olan bir binanın devrilme tahkiki yapılırken taşıyıcı sistem davranış katsayısının $R=1,00$ alınarak tasarımının yapılmasının daha sağlıklı olacağı düşünülmektedir.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

Bu çalışmada, 1999 Kocaeli depreminde üst yapısı zarar görmeden devrilmiş, Adapazarı şehir merkezinde

lokasyonları Şekil 2’de verilen ve H/B oranı 1,80, 2,00, 2,10 ve 3,00 olan dört bina incelemeye alınmış ve bu binaların ilk üçü 3 katlı, dördüncüsü ise 4 katlı olarak modellenmiştir. Toptan devrilen binalardaki zemin-yapı etkileşimini inceleyebilmek için bu modellerde zemin: farklı yatak katsayılarına (K) sahip çekme alamayan yaylar şeklinde modellenmeye dahil edilmiştir. Devrilen binaların oturduğu zeminler zayıf olduğu için K’sı yaklaşık 5000 kN/m^3 ’ten başlatılarak 10000, 20000, 50000 ve 100000 kN/m^3 olan zeminler için ETABS 18.1.1 programı kullanılarak sonlu elemanlar metoduna göre nonlineer (push-over) analizleri ayrı ayrı yapılmıştır. Temeldeki dönmelere bağlı olarak binanın tepe ötelenmeleri ve buna da bağlı olarak ikinci mertebeden taban devrilme momentlerindeki artışlar bulunmuş, aşağıda verilen 4 örnek bina modeli üzerinden (K) yatak katsayısına bağlı olarak devrilmeye karşı emniyetli H/B oranı belirlenmiştir (Şekil 3-6).



Şekil 2. Devrilen 4 adet binanın yer bulduru haritası (2003 yılı) [28] (Location map of 4 collapsed buildings (year 2003) [28])



Şekil 3. Devrilen bina No:1 (H=13,50 m, B=7,50 m), (H/B=1,80) [24] (Overturned building No:1 (H=13,5 m, B=7,50 m), (H/B=1,80) [24])



Şekil 4. Devrilen bina No:2 (H=10,00 m, B=5,00 m), (H/B=2,00) [24] (Overturned building No:2 (H=10,00 m, B=5,00 m), (H/B=2,00) [24])

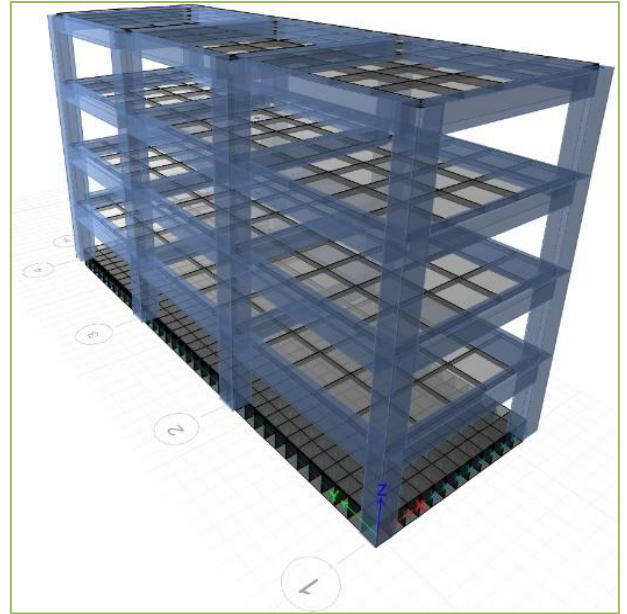


Şekil 5. Devrilen bina No:3 (H=13,50 m, B=6,50 m), (H/B=2,10) [24] (Overturned building No:3 (H=13,50 m, B=6,50 m), (H/B=2,10) [24])



Şekil 6. Devrilen bina No:4 (H=15,00 m, B=5,00 m), (H/B=3,00) [24] (Overturned building No:4 (H=15,00 m, B=5,00 m), (H/B=3,00) [24])

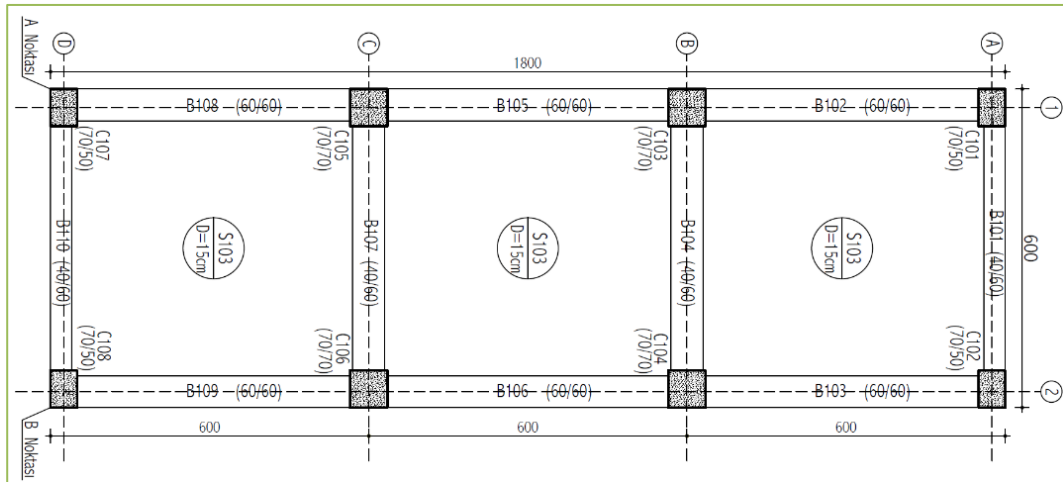
Seçilen ilk üç bina 6,00 x 18,00 m taban oturumunda ve 10,80 m, 12,00 m ve 12,60 m yüksekliğinde 4'er katlı olarak modellenmiş, dördüncü bina ise aynı oturum alanında ve 18,00 m yüksekliğinde 6 katlı olarak tasarlanmıştır. TS498 [29] yönetmeliğine uygun olarak parametreler; döşeme kaplama yükü 2,00 kN/m², hareketli yük 5,00 kN/m², kirişlerde duvar yükü 19 cm tuğla duvar için 3,20 kN/m², yapı çelik sınıfı S420, beton sınıfı C20/25, bina önem katsayısı I=1,00, spektrum karakteristik periyotları T_A=0,20 sn, T_B=0,90 sn, taşıyıcı sistem davranış katsayısı R=1,00 olarak seçilmiştir. TS500 [30] ve DBYBHY-2007 [31] yönetmeliklerine uygun olarak gevrek göçme olmayacak şekilde eleman boyutları; döşeme kalınlıkları 15 cm, kolon boyutları 70x50 cm ve 70x70 cm, kiriş ebatları 40x60 cm ve 60x60 cm, temel kalınlığı da 80 cm olarak modellenmiştir.



Şekil 7. Temel ve zemin ile birlikte tasarlanan örnek modelin BA taşıyıcı sistemi [33] (The RC load-bearing system of the sample model designed with foundation and soil [33])

Çizelge 1. Deprem etkisinde temel dönmesinden dolayı oluşan tepe deplasmanının toplam tepe deplasmanı içindeki payı (The ratio of the peak displacement due to the rotation of the foundation under the effect of the earthquake in the total peak displacement)

Model	K (kN/m ³)	H (cm)	Δ_{XN} (cm)	$\Delta_{ZT}=\Delta_1-\Delta_2$ (cm)	B (cm)	$\alpha_{ZT}=\Delta_{ZT}/B$	θ (°)	$\Delta_{XT}=\alpha_{ZT}\cdot H$ (cm)	Δ_{XT}/Δ_{XN} (%)
H/B=1,80	5000	1080	42,21	21,54	600	0,0359	2,06	38,77	91,86
	10000	1080	27,36	13,12	600	0,02187	1,25	23,62	86,32
	20000	1080	16,90	7,25	600	0,01208	0,69	13,05	77,22
	50000	1080	10,09	3,36	600	0,0056	0,32	6,05	59,94
	100000	1080	7,64	2,04	600	0,0034	0,19	3,67	48,06
H/B=2,00	5000	1200	46,88	21,45	600	0,03575	2,05	42,90	91,51
	10000	1200	30,36	12,99	600	0,02165	1,24	25,98	85,57
	20000	1200	18,76	7,16	600	0,01193	0,68	14,32	76,33
	50000	1200	11,31	3,51	600	0,00585	0,34	7,02	62,07
	100000	1200	7,65	1,48	600	0,00247	0,14	2,96	38,69
H/B=2,10	5000	1260	49,22	21,42	600	0,0357	2,04	44,98	91,39
	10000	1260	31,85	12,93	600	0,02155	1,23	27,15	85,25
	20000	1260	19,68	7,11	600	0,01185	0,68	14,93	75,87
	50000	1260	11,81	3,33	600	0,00555	0,32	6,99	59,21
	100000	1260	8,27	1,58	600	0,00263	0,15	3,32	40,12
H/B=3,00	5000	1800	70,33	21,39	600	0,03565	2,04	64,17	91,24
	10000	1800	45,57	13,03	600	0,02172	1,24	39,09	85,78
	20000	1800	28,13	7,13	600	0,01188	0,68	21,39	76,04
	50000	1800	16,82	3,26	600	0,00543	0,31	9,78	58,15
	100000	1800	12,65	1,83	600	0,00305	0,17	5,49	43,40



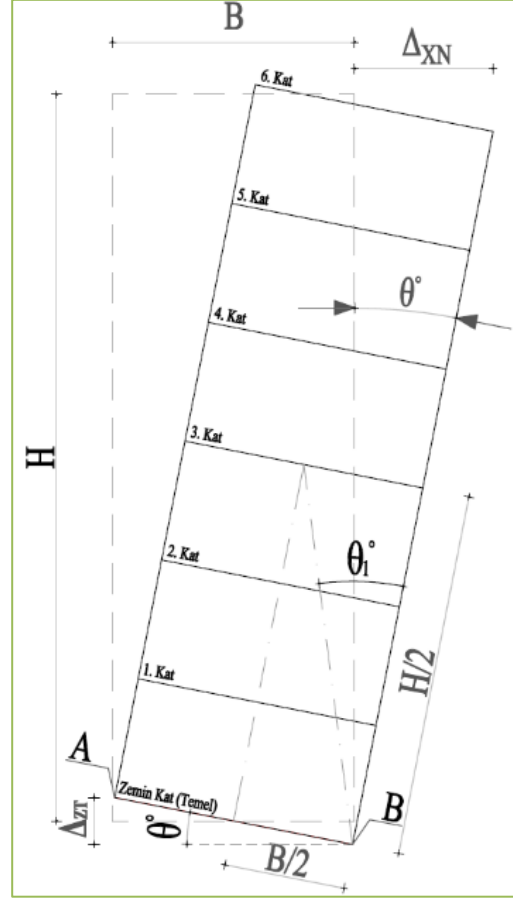
Şekil 8. ETABS programında hazırlanan modellerin kalıp planı (Ölçüler cm cinsinden verilmiştir.) [33] (Mold plan of the models prepared in the ETABS program (Dimensions are given in cm.) [33])

3. BULGULAR ve DEĞERLENDİRME (FINDINGS AND EVALUATION)

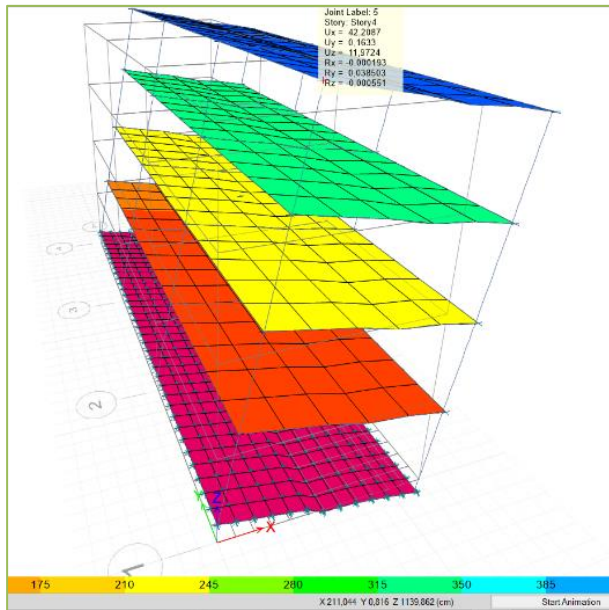
Zemin çekme almadığı için yapılan analiz sonuçlarıyla oluşturulan Çizelge 1’de, farklı zemin oturmalarına bağlı olarak temelde meydana gelen eğimden (α_{ZT}) dolayı binanın tepe noktasında oluşan yatay deplasman miktarı ($\alpha_{ZT}.H$) ve bu deplasmanın toplam tepe deplasmanına oranı verilmiştir. Bu oranın, bina H/B oranı küçüldükçe ve zemin rijitleştikçe yaklaşık %92 seviyesinden %39’lara indiği görülmektedir.

Bu çizelgede;

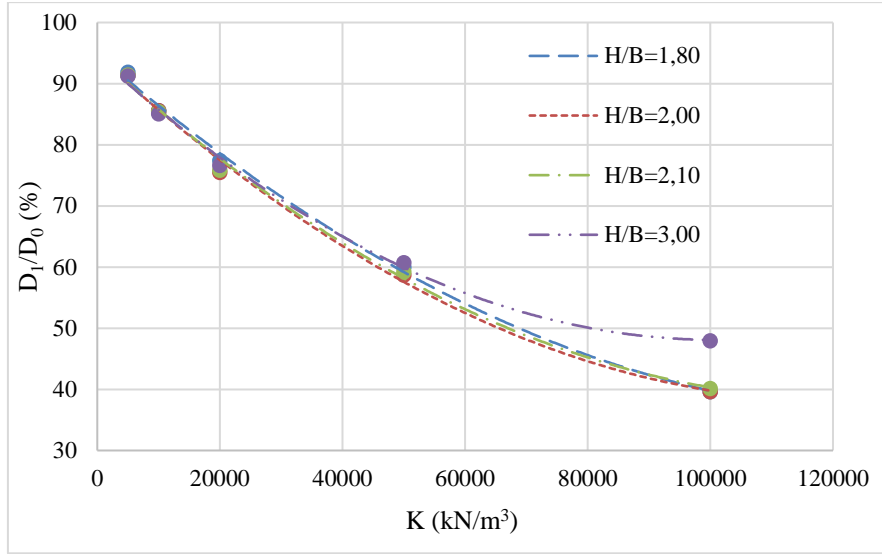
- H :Bina Yüksekliği (cm)
 Δ_{XN} :Deprem Etkisinde +X yönünde Oluşan Maksimum Tepe Deplasmanı (cm)
 Δ_{ZT} :Deprem Etkisinde +Z Yönünde Temelde Oluşan Maksimum Düşey Deplasmanların Farkı (cm)
 B :Bina Genişliği (cm)
 α_{ZT} :Deprem Etkisinde Temelin Dönmesinden Dolayı Bina Tabanında Oluşan Eğim (%)
 θ :Deprem Etkisinde Temel Dönmesinden Dolayı Bina Tabanında Oluşan Açı (°)
 Δ_{XT} :Deprem Etkisinde Temelin Dönmesinden Dolayı Tepede Oluşturduğu Yatay Deplasman (cm)
 Δ_{XT}/Δ_{XN} :Deprem Etkisinde Temelin Üstyapıyla Birlikte Dönmesinden Dolayı Tepede Oluşturduğu Deplasmanın, Toplam Tepe Deplasmanı İçindeki Oranı (%)



Şekil 10. Temeliyle birlikte devrilen binanın şematik gösterimi (Schematic of the collapsed building with its foundation notation)



Şekil 9. H/B=1.80 modelinin K=5000 kN/m³ yatak katsayısı için ETABS 18.1.1 analiz sonucu [33] (ETABS 18.1.1 analysis result for K=5000 kN/m³ bed coefficient of H/B=1.80 model [33])



Şekil 11. Temelin dönmesinden dolayı oluşan tepe deplasmanının (D_1) toplam tepe deplasmanına (D_0) oranı (Ratio of the peak displacement (D_1) due to the rotation of the foundation to the total peak displacement (D_0))

Aynı H/B oranları için K değerinin azalması ile zayıf zemine oturan binalarda D_1/D_0 oranının %90'ın üzerine çıktığı, zeminin iyileşmesi ile parabolik olarak azaldığı görülmüştür. $K=100000$ kN/m³ için H/B=3,00 olması durumunda bu oranın %90 civarından %48-50 dolaylarına indiği, diğer daha düşük H/B oranlı devrilen binalar için bu oranın %40 civarına indiği görülmüştür (Şekil 11). Sonuç olarak zayıf zeminlere oturan bina tabanında oluşacak ikinci mertebeden momentler için en önemli parametrenin göreceli ötelenmeler değil temeldeki dönmenin olduğu anlaşılmaktadır. Hatta $K=100000$ kN/m³ gibi iyi bir zeminde dahi göreceli ötelenmelere oranla en büyük tepe ötelenmesindeki payın temel dönmesinden kaynaklandığı açıkça görülmektedir.

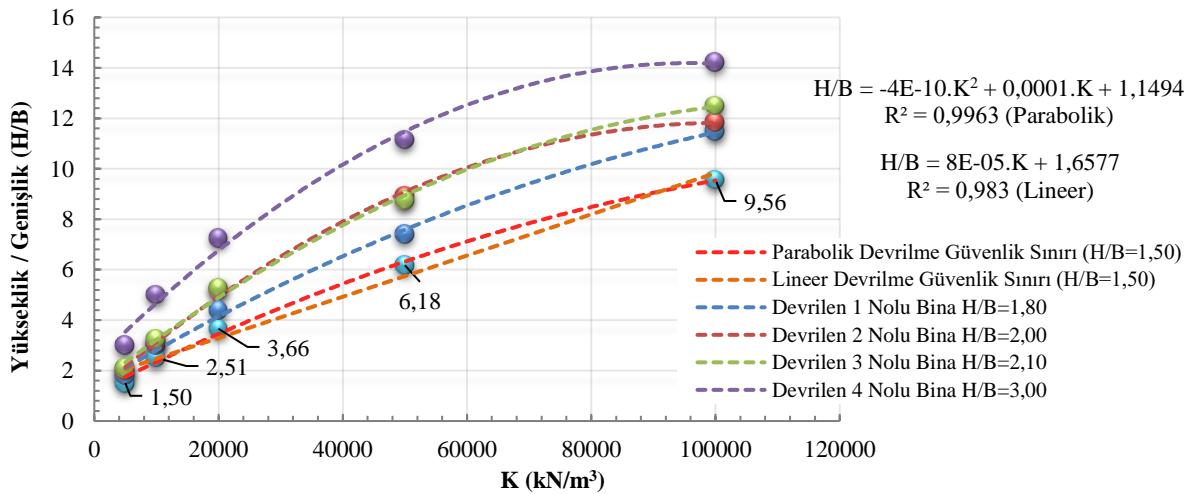
Şekil 12'de $K=5000$ kN/m³ zemin üzerine oturan ve 1999 Kocaeli depreminde Adapazarı'nda devrilen farklı H/B oranına sahip 4 tane binanın farklı K'lar için devrilme grafikleri ve $K=5000$ kN/m³ için H/B=1,50 alınarak yeni bir devrilme güvenlik sınırını veren $R^2=0,9963$ regresyonla parabolik ve $R^2=0,983$ regresyonla lineer bağıntılar elde edilmiştir (Bağıntı-1 ve Bağıntı-2).

$$H/B = -4E-10.K^2 + 0,0001.K + 1,1494$$

$$R^2 = 0,9963 \quad (1)$$

$$H/B = 8E-05.K + 1,6577$$

$$R^2 = 0,983 \quad (2)$$



Şekil 12. K'ya bağlı bina optimum H/B oranının belirlenmesi grafiği (Graph of determining the optimum H/B ratio of the building depending on K)

Çizelge 2. Devrilmenin önlenmesi için cephe genişliğine ve K'ya bağlı maksimum bina kat adedi (Maximum number of building floors depending on facade width and K to prevent overturning)

B (m)	K (kN/m ³)				
	5000	10000	20000	50000	100000
6	3	4	6	10	14
7	3	4	7	12	16
8	4	5	8	13	19
9	4	6	9	15	21
10	5	7	10	17	23
11	6	7	11	18	26
12	6	8	12	20	28
13	7	9	13	22	31
14	7	9	14	24	33
15	8	10	14	25	35
16	8	11	15	27	38

Adapazarı şehir merkezi özelinde bina kat yükseklikleri 3,00 metre alınarak, devrilmenin önlenmesi için cephe genişliğine ve K'ya bağlı maksimum bina kat adetleri Çizelge 2'de verilmiştir. Burada Sakarya gibi zemin yapısı oldukça zayıf bir yerleşke olduğu için B=6,00 metre bina cephe bodrumsuz en fazla yapılabilecek kat adedi 3 olarak tespit edilmiştir. Sakarya ilinde mevcut imar durumu 5 veya 6 kat olup, bu durum dikkate alındığında zeminin iyileştirilmesinin zorunlu olduğu anlaşılmaktadır. Zemini iyi olan başka yerleşkelerde (K=100000 kN/m³) B=6,00 metre bina cephesi için 14 kata kadar bina yapılabileceği anlaşılmaktadır. Bina cephesinin 2 katına çıkması durumunda kat adedinin de benzer oranda iki katına çıktığı görülmüştür.

Ülkemizde yürürlükteki Planlı Alanlar Tip İmar Yönetmeliği'nde [32], minimum cephe genişliğine göre yapılabilecek maksimum kat adedi Çizelge 3'te verilmiştir. Kat yükseklikleri ortalama 3,00 metre kabul edildiğinde, cephe genişliği 6,00 ve 9,00 metre olan binalar için sırasıyla H/B oranı 2,00 ve 3,00, cephe genişliği 12,00 metre olan bina için ise H/B oranı sınırlaması verilmemiştir. Ayrıca kat adedi verilirken yapının kat yüksekliği arttıkça, H/B oranı da artacaktır. Bununla birlikte binalara bodrum kat yapılması ile ilgili bir zorunluluk da bulunmamaktadır. Zaten bodrum kat yapılmak istenilmeyen arazilerin de genellikle Adapazarı şehir merkezi gibi yeraltı su seviyesi yüksek, inşaat aşamasında su drenajının sağlanmasının zor olduğu alüvyon türü taşıma gücü düşük ve sıvılaşma riski olan araziler olduğu göz ardı edilmemelidir.

Çizelge 3. Minimum cephe genişliğine göre yapılabilecek kat adedi [32Ü (The number of floors that can be built according to the minimum facade width [32])

Minimum Bina Genişliği (m)	İzin Verilen Kat Sayısı
6,00	4 Kata Kadar
9,00	9 Kata Kadar
12,00	10 Kat ve Üzeri

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER (CONCLUSIONS AND SUGGESTIONS)

Bu çalışma ile Adapazarı şehir merkezinde 1999 Kocaeli depreminde devrilen farklı H/B oranına sahip 4 adet bina modellenerek ve zeminin çekme almadığı yaklaşımla tasarlanarak, her bir binanın P-Δ etkisini de dikkate alan non-lineer analizleri yapılmıştır. Yapılan modellemeler sonucunda zayıf zeminlere oturan narin binaların temelde meydana gelen dönmelere bağlı olarak tepe deplasmanlarının çok büyük olduğu ve görelî ötelenmelerden kaynaklanan ikinci mertebeden taban momentlerinin temelde meydana gelecek dönmeden kaynaklı ikinci mertebeden taban momentlerine kıyasla çok düşük olduğu görülmüştür. Hatta K=100000 kN/m³ gibi iyi bir zeminde dahi temel dönmesinden kaynaklı ötelenmelerin görelî ötelenmelere oranla büyük olduğu görülmüştür.

17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminde Adapazarı şehir merkezinde devrilen farklı yükseklik/genişlik (H/B) oranlarına sahip 4 adet binanın, 5 farklı zemin yatak katsayılı (K) zemin için ETABS 18.1.1 programı kullanılarak, ayrı ayrı non-lineer (itme) analizi ve devrilme tahkikleri yapılmıştır. Devrilen bu binalardan en düşük H/B oranına sahip binanın tepe yer değiştirmeleri ve zemin yatak katsayıları dikkate

alınarak, farklı H/B ve zemin yatak katsayısına sahip 20 model için %96 regresyonla lineer ve %99 regresyonla parabolik iki bağıntı elde edilmiştir.

Temeldeki farklı oturmalarla bağlı maksimum tepe deplasmanının tasarım limitleri içerisinde kalacak şekilde olması gereken K değerlerinden hareketle devrildiği bilinen ve H/B oranı 1,80, 2,00, 2,10 ve 3,00 olan bina modellerine ait anlamlı bağıntılar elde edilmiştir. Her dört modelin dar olan (+x) ekseninde, H/B oranının 1,80 ve üzeri olduğu için maksimum tepe deplasmanının çok büyük olduğu görülmüştür. Zemin yatak katsayısı $K=5000 \text{ kN/m}^3$ ve altı zayıf zeminler ve daha tehlikeli yerleşkeler için devrilme limiti olarak H/B oranının 1,50 alınması uygun olacaktır. Bu durumda Sakarya gibi zemin yapısı oldukça zayıf bir yerleşkede $B=6,00$ metre cepheli bodrumsuz binalar için en fazla yapılabilecek kat adedi 3 olarak tespit edilmiştir. Sakarya ilinde mevcut imar durumunun 5 kat, ticari parsellerde ise 6 kat olduğu dikkate alındığında zeminin iyileştirilmesinin zorunlu olduğu anlaşılmaktadır. Zemini iyi olan başka yerleşkelerde ($K=100000 \text{ kN/m}^3$) $B=6,00$ metre bina cephesi için 14 kata kadar bina yapılabileceği görülmüştür. Bina cephesinin 2 katına çıkması durumunda kat adedinin de benzer oranda iki katına çıkması gerektiği öngörülmektedir.

Sonuç olarak, binaların devrilme tahkiki için sunulan bu iki denklemlerle, binanın imar durumuna bakılarak binanın dar cephe genişliği ve yüksekliği bilineceğinden, belirlenecek zemin yatak katsayısı ile devrilme limitinin aşılmış aşılmadığı kontrol edilebilecektir. Devrilme tahkiki sonucunda devrilme limitinin aşılmaması durumunda;

- Zeminin fore kazık vb. yöntemlerle iyileştirilerek zemin taşıma kapasitesinin artırılması,
- Komşu parselde tevhide gidilerek bina cephesinin büyütülmesi,
- Bodrum kat yapılarak temel gömme derinliğinin artırılması,
- Daha hafif inşaat malzemelerinin kullanılması,
- Bina yüksekliğinin azaltılması gibi çözüm önerilerine başvurulmalıdır.

Bu veriler ışığında bu çalışmada hazırlanan modeller, binaların depremde gerçek davranışının görülebilmesi adına itme analizi üzerinden değerlendirmeye alınmıştır. Sonraki yapılacak çalışmalarda devrilme konusu, TBDY-2018 [34] Bölüm-16'ya göre zemin-temel-yapı etkileşimi kapsamında değerlendirilecektir. Dar cephesi deprem doğrultusunda olmayan, bodrum katı bulunan, kamu binası olarak tasarlanan ve taşıyıcı sistemi betonarme harici yapılar bu çalışma kapsamı dışında tutulmuştur.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Orhan DOĞAN: Binaları bilgisayarda modelleyerek sonuçlarını analiz etmiş ve makalenin yazım kısmında görev yapmıştır.

Mehmet Ali KALAYLI: Binaları bilgisayarda modelleyerek sonuçlarını analiz etmiş ve makalenin yazım kısmında görev yapmıştır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Gazetas G., Apostolu M., Anastasopoulos J., Newson T. A., "Seismic Uplifting of Foundations on Soft Soil, with Examples from Adapazari (İzmit 1999 Earthquake)", *Second BGA International Conference on Foundations*, Dundee, Scotland, 1:37-49, 2-5 September, (2003). 60: 1-7, (2013).
- [2] Ishiyama Y., "Motions of Rigid Bodies and Criteria for Overturning by Earthquake Excitations", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 10(1): 635-650, (1982).
- [3] Psycharis I. N., and Jennings P. C., "Rocking of Slender Rigid Bodies Allowed to Uplift", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 11: 57-76, (1983).
- [4] Koh A. S., Spanos P. D., Roesset J. M., "Harmonic Rocking of Rigid Block on Flexible Foundation", *Journal of Engineering Mechanics*, 112(11), (1986).
- [5] Makris N., Roussos Y. S., "Rocking Response of Rigid Blocks Under Near-Source Ground Motions", *Géotechnique*, 50 (3), 243-262, (2000).
- [6] Göktepe F., Çelebi E., Küçük H.S., "Doğal Arazi Koşullarında Yapı-Zemin Dinamik Etkileşim Deneyi", *Politeknik Dergisi*, 20 (2), 303-311, (2017).
- [7] Doğan O., "Elastik Zemine Üzerine Oturan Kirişler", *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye, (1993).
- [8] Gazetas G., Apostolu M., "Nonlinear Soil-Structure Interaction: Foundation Uplifting and Soil Yielding", *Proceedings Third UJNR Workshop on Soil-Structure Interaction*, Menlo Park, California, USA., March 29-30, (2004).
- [9] Gajan S., Kuttera B. L., Phalena J. D., Hutchinson T. C., Martinc G. R., "Centrifuge Modeling of Load-Deformation Behavior of Rocking Shallow Foundations", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 25, 773-783, (2005).
- [10] Erdik, M., "Report on 1999 Kocaeli and Düzce (Turkey) Earthquakes", in *Structural Control for Civil and Infrastructure Engineering*, Ed.by, F. Casciati, G. Magonette, World Scientific, (2001).
- [11] Yoshida N., Tokimatsu K., Yasuda S., Kokusho T., Okimura T., "Geotechnical Aspects of Damage in Adapazari City During 1999 Kocaeli, Turkey Earthquake", *Soils and Foundations Journal*, Japanese Geotechnical Society,.41(4):25-45,(2001).

- [12] Gazetas G., Anastasopoulos I., Gerolymos N., "Overturning of Buildings in Adapazarı, During The 1999 Kocaeli Earthquake", *Second International Conference on Urban Earthquake Engineering Tokyo Institute of Technology*, Tokyo, Japan, March 7-8, (2005).
- [13] Sadık B., "Zeminlerin Sismik Yapı Hasarı Üzerindeki Etkileri: Adapazarı'ndan Öğrenilenler", *İMO 1. Geoteknik Sempozyumu*, 151-168, (2005).
- [14] Gazetas G., Apostolou M., Anastasopoulos J., "Seismic Bearing Capacity Failure and Overturning Of 'Terveler' Building in Adapazarı 1999", *Fifth International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering*, New York, April 13-17, (2004).
- [15] Arabpanahan M., Mirghaderi S.R., Hosseini A., Ghalandarzadeh A., Sharif A. P., "Hysteretic Cyclic Response Of "SDOF-Embedded Foundation" Systems Rocking on Sand: An Experimental Study", *Bulletin of Earthquake Engineering*, 17:5897-5928, (2019).
- [16] Anastasopoulos I., Gazetas G., Loli M., Apostolou M., Gerolymos N., "Soil Failure Can Be Used for Seismic Protection of Structures", *Bulletin of Earthquake Engineering*, 8:309-326, (2010).
- [17] Cremer C., Pecker A., Davenne L., "Cyclic Macro-Element for Soil-Structure Interaction: Material and Geometrical Non-Linearities", *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 25:1257-1284, (2001).
- [18] Allotey N., Naggar M. H. E., "Analytical Moment-Rotation Curves for Rigid Foundations Based on a Winkler Model", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 23, 367-381, (2003).
- [19] Drosos V., Georgarakos T., Loli M., Anastasopoulos I., Zarzouras O., Gazetas G., "Soil-Foundation-Structure Interaction with Mobilization of Bearing Capacity: Experimental Study on Sand", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 138(11), November 1, (2012).
- [20] Loli M., Georgiou I., Garini E., Gazetas G., "Hybrid Foundations Used for Protection Against Reverse Fault Rupture", *16th European Conference on Earthquake Engineering*, Thessaloniki, 18-21 June (2018).
- [21] Gajan S., Kutter B. L., "Effects of Moment-To-Shear Ratio on Combined Cyclic Load Displacement Behavior of Shallow Foundations from Centrifuge Experiments", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 135(8):1044-1055, (2009).
- [22] Panagiotidou A. I., Gazetas G. Gerolymos N., "Pushover and Seismic Response of Foundations on Stiff Clay: Analysis with P-Delta Effects", *Earthquake Spectra*, 28(4): 1589-1618, November (2012).
- [23] Latcharote P., Suppasri A., Yamashita A., Adriano B., Koshimura S., Kai Y., Imamura F., "Possible Failure Mechanism of Buildings Overturned during the 2011 great east Japan Tsunami in the Town of Onagawa", *Frontiers in Built Environment*, 3(16), (2017).
- [24] Doğan O., Kalaylı M. A., "Binalarda Yükseklik/Genişlik Oranı ve Zemin Yatak Katsayısına Göre Devrilme Analizi", *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 5(3): 300-314, (2019).
- [25] Ateş B., Şadoğlu E., "Donatılı Kum Zeminlerde Düzlem Deformasyon Koşullarında Düşey Gerilme Dağılışı", *İMO Teknik Dergi*, 9967-9985, Yazı 575, (2020).
- [26] Temür R., Öser C., "Düşey Yük Altındaki Kazık Gruplarının Bozkurt Optimizasyon Algoritması ile Optimizasyonu", *Politeknik Dergisi*, 22 (1): 19-32, (2019).
- [27] Apostolou M., Gazetas G., Garini E., "Seismic Response of Slender Rigid Structures with Foundation Uplifting", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 27: 642-654, (2007).
- [28] Google Earth Pro 7.1, <https://www.google.com/intl/tr/earth/index.html>.
- [29] TS498, "Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye Kasım, (1987).
- [30] TS500, "Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye, (2000).
- [31] DBYBHY-2007, "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik", Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara, (2007).
- [32] "Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği, Resmî Gazete", Sayı: 30113, Ankara, Türkiye, 03.07.2017.
- [33] ETABS 18.1.1, CSI Computers and Structures, INC, Structural and Earthquake Engineering Software Company, USA, (2018).
- [34] TBDY-2018, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Resmî Gazete Mükerrer:30364, Ankara, Türkiye, (2018).