

Binalarda Yükseklik/Genişlik Oranı ve Zemin Yatak Katsayısına Bağlı Devrilme Analizi

Orhan DOĞAN^{a*}, Mehmet Ali KALAYLI^b

^a. Kırıkkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, KIRIKKALE 71450, TÜRKİYE

^b. Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, KIRIKKALE 71450, TÜRKİYE

MAKALE BİLGİSİ

Alınma: 25.09.2019
Kabul: 15.12.2019

Anahtar Kelimeler:

Depremde Devrilen
Narin Binalar, Çekme
Almayan Temel,
Zemin-Yapı
Etkileşimi, Binalarda
Devrilme Tahkiki

***Sorumlu Yazar:**

e-posta:
odogan@kku.edu.tr

ÖZET

1999 Kocaeli depremi sırasında, zayıf zemin kuvveti olan bir alan üzerine inşa edilmiş dar yüzü betonarme yüksek binaların, yapısal bir zarar görmeden temelleri ile birlikte devrildiği görülmüştür. Bu davranış, temel taban basınç gerilmelerinin deprem sırasında değişken olduğunu göstermektedir. Temel tabanındaki farklı taban basıncı, zemin taşıma kapasitesini aşarak, temellerin bir tarafında zeminin plastik olarak çökmesine neden olurken, diğer tarafında zeminden ayrılmasına sebep olmaktadır. Devrilen bu binalar, deprem bölgelerinde dar yüzü yüksek binaların yapısal analizinden önce, devrilme analizi yapılmasının çok önemli ve gerekli olduğunu göstermiştir. Zeminin çekme gerilme mukavemeti sıfır olmasına rağmen, temel analizlerinde, zemin çekme ve basınçta aynı direnci gösteren yaylar olarak kabul edilmektedir. Bu çalışma kapsamında zeminin çekme dayanımı sıfır olarak kabul edilmiştir. Bir deprem sırasında, bir binanın temelindeki tek taraflı küçük fakat farklı oturmalar nedeniyle binanın tepesinde oluşan yanıl yer değiştirmenin, dar cephe yüksek binaların elastik deformasyonu sonucunda oluşan toplam yanıl yer değiştirmeden çok daha fazla olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada, bir binanın yükseklik/genişlik oranı (H/B) ile zemin yatak katsayısı (K, kN/m³) arasındaki korelasyonun belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu parametreler arasındaki ilişkiyi ve optimum H/B oranını belirlemek için, 4 farklı H/B oranının her biri için 5 farklı K katsayılı toplam 20 farklı bina modeli tasarlanmıştır. Her bir modelin analizleri STA4CAD V13.1 programı kullanılarak doğrusal yöntemle, ETABS 15.0.0 programı kullanılarak doğrusal ve P-δ etkisini dikkate alan doğrusal olmayan yöntemlerle yapılmıştır. 1999 Kocaeli depremi sırasında Sakarya'da devrilen dört farklı bina, benzer oranlardaki modellerin devrilme analiz sonuçları ile karşılaştırılmış ve bu binaların devrilme limitini aştığı görülmüştür.

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2019.03.11>

Overtuning Analysis Of Buildings Depending On Height/Width Ratio And Soil Spring Coefficient

ARTICLE INFO

Received:25.09.2019
Accepted:15.12.2019

Keywords:

Overtuned Buildings
In Earthquake,
Foundation with Zero
Tensile Strength, Soil-
Structure Interaction,
Overtuning
Determination of
Building

ABSTRACT

During the 1999 Kocaeli earthquake, it was observed that the narrow-facade reinforced concrete high buildings built on areas with weak soil strength were overturned together with their foundations without any structural damage. This behavior shows that the compression stresses at the bottom of the foundation are variable during the earthquake. While the compression stress exceeding the ultimate strength and causing residual plastic settlement of soil on one side of the foundations, it is separating from the ground on the other side. These overturned buildings showed that, before structural analysis of narrow-faced high buildings in earthquake areas, overturning analysis of the building is very important and should be compulsory. Although the tensile strength of the soil is zero, in foundation analyzes, the soil is being considered as springs showing the same resistance in tension and compression. In this study, the tensile strength of the soil is considered zero. During an earthquake, lateral displacement at the top of the building due to the small settlement on one the side of a building foundation was obtained more than the total lateral displacement concluded as a result of elastic deformation of narrow facaded high buildings. In this

Corresponding*Authors**

e-posta:

odogan@kku.edu.tr

study the determination of a correlation between the height and width ratio (H/B) of a building and the soil reaction coefficient (K, kN/m³) is aimed. In order to determine the relationship between these parameters and to determine the optimum H/B ratio, in total 20 different building models with 5 different K coefficients for each of the 4 different H/B ratios were designed. The analysis of each model is done using linear method with STA4CAD V13.1 program, linear and non-linear methods considering the P-δ effect with ETABS 15.0.0 program. Four overturned buildings in the Sakarya campus during the 1999 Kocaeli earthquake are compared with the similar models with the same ratio and soil properties. The results show that these buildings are exceeded overturning limits.

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2019.03.11>

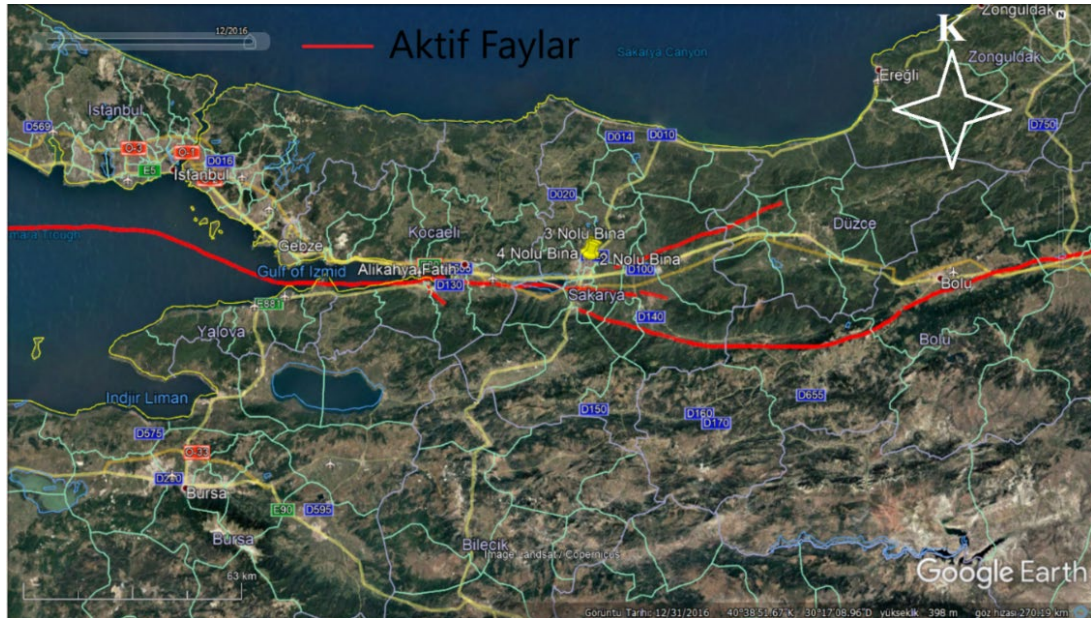
1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde betonarme binaların üst yapı analizlerinde, binanın temele ankastre tutulu olduğu kabulüyle üst yapı analizlerinin yapıldığı, daha sonra temel-zemin analizlerinde temelde meydana gelen farklı oturmalarından kaynaklı dönmelerin ihmal edildiği bilinmektedir. Üst yapının temel ve zemiyle birlikte modellenmemiş olması, üst yapı analizlerinde temeldeki dönmenin görece ötelenmelere etkisinin ihmal edilmesi, Sakarya özelinde deprem riski yüksek, zemini zayıf binaların hiç yapısal hasar görmeden toptan devrilmeleri sonucunu getirmiştir. Deprem sonrasında Sakarya ilinde yapılan gözlemsel incelemelerde, devrilen binaların sınırlama nedeniyle olduğu düşünülmüştür.

Ancak, örnek niteliğindeki seçilen bu binalara bitişik olan aynı katlı fakat daha geniş cephe ve aynı

zemine oturan komşu binalara bakıldığında, bu binalarda herhangi bir eğilme davranışına rastlanılmaması, bu devrilmelerin sadece zemin sınırlamasından kaynaklanmadığını göstermektedir [1].

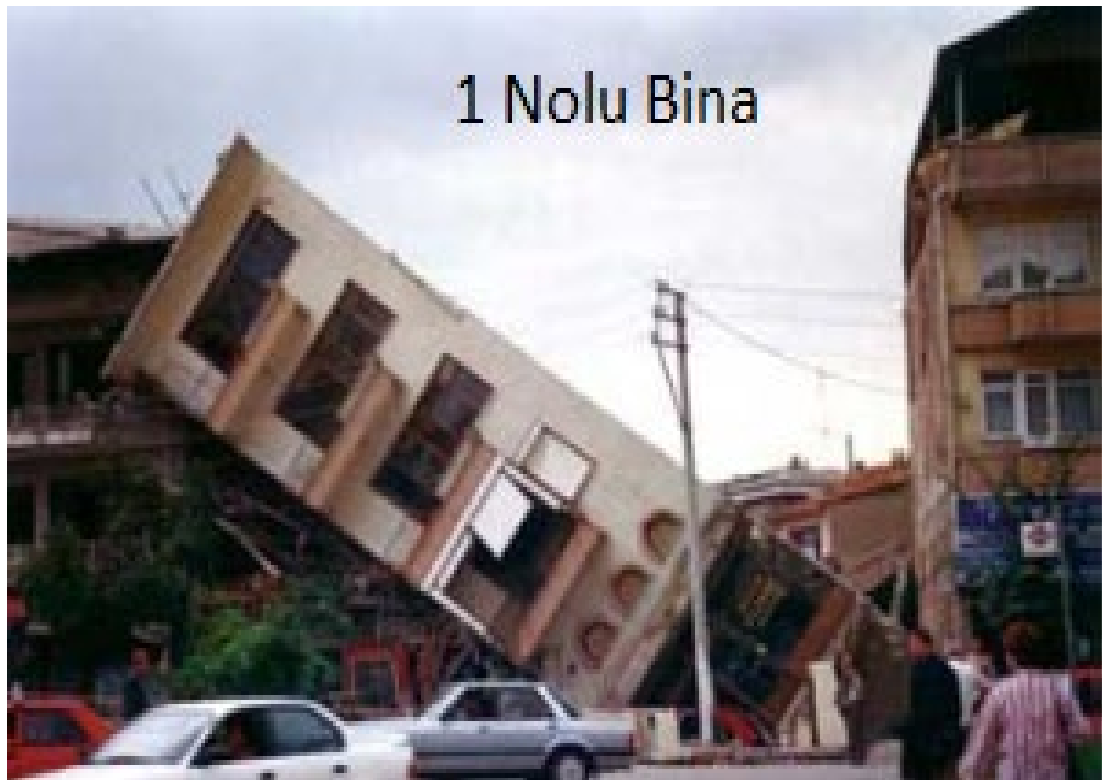
Şekil 1’de MTA’dan alınan Kuzey Anadolu Diri Fay haritasına bakıldığında, fayın doğu-batı yönünde Sakarya İl merkezinin güneyinden geçtiği görülmektedir. Şekil 2’de ise bu fay doğrultusuna paralel, dik sokak ve caddeler görülmektedir. Şekil 4, 6, 8 ve 10’da Adapazarı şehir merkezinde 1999 Kocaeli depreminde, fay doğrultusuna paralellik arz eden caddeler üzerindeki fay doğrultusuna dik ve dar cepheleli temeliyle birlikte toptan devrilen 4 adet örnek binanın yerleşim alanı, Şekil 3, 5, 7 ve 9’da ise bu binalara ait cephe görüntüleri yer almaktadır [16,17].



Şekil 1. Marmara Bölgesi Kuzey Anadolu Diri Fay Hattı, [2,16] (Marmara Region Northern Anatolia Active Fault Line)



Şekil 2. 1999 Depreminde Adapazarı'nda Devrilen 4 Adet Binanın Konumu, [2] (Location of 4 Buildings Which Were Overturned in 1999 Adapazarı Earthquake)



Şekil 3. Devrilen 1 Nolu Bina (Yükseklik:15.00 m, Genişlik:5.00 m), [1] (Overturned Building #1 (Height:15.00 m, Width:5.00 m))



Şekil 4. 1999 Adapazarı Depreminde Devrilen 1 Nolu Binanın Konumu, [2] (Location of Building #1 Which was Overturned in 1999 Adapazarı Earthquake)



Şekil 5. Devrilen 2 Nolu Bina (Yükseklik:13.50 m, Genişlik:7.50 m), [1] (Overturned Building #2 (Height:13.50 m, Width:7.50 m))



Şekil 6. 1999 Adapazarı Depreminde Devrilen 2 Nolu Binanın Konumu, [2] (Location of Building #2 Which was Overturned in 1999 Adapazarı Earthquake)



Şekil 7. Devrilen 3 Nolu Bina (Yükseklik:13.50 m, Genişlik:6.50 m), [1] (Overturned Building #3 (Height:13.50 m, Width:6.50 m))



Şekil 8. 1999 Adapazarı Depreminde Devrilen 3 Nolu Binanın Konumu, [2] (Location of Building #3 Which was Overturned in 1999 Adapazarı Earthquake)



Şekil 9. Devrilen 4 Nolu Bina (Yükseklik:12.00 m, Genişlik:6.00 m) [1] (Overturned Building #4 (Height:12.00 m, Width:6.00 m))



Şekil 10. 1999 Adapazarı Depreminde Devrilen 4 Nolu Binanın Konumu, [2] (Location of Building #4 Which was Overturned in 1999 Adapazarı Earthquake)

Günümüze kadar bu alanda yapılmış çalışmalar incelendiğinde, bina-temel-zemini birlikte modelleyen ve devrilme analizi yapımına ilişkin yeterli bir çalışma bulunmazken; Doğan (1993), statik ve dinamik düşey yükler etkisinde elastik ve elasto-plastik zeminler üzerine oturan sonlu kirişler için zeminin çekme almadığını düşünerek matematiksel analizler yapmış [3], Stewart, Seed ve Fenves (1998), farklı rijitlikteki zemin ve üst yapının etkileşimini, binanın temel tipi ve boyutlarına bağlı oluşabilecek ikincil etkileri ortaya koyarak; uzun periyotlu yapıların analizlerini yapmış [4], Giresini ve Sassu (2016), yatay olarak tutturulmuş rijit blokların deprem etkisindeki devrilme davranışını analitik olarak incelemiş [5], Aslam ve diğ. (1978), yapının sadece yükseklik/genişlik oranının devrilmeye olan etkilerini incelemiş [6], rijit blokların ve eklentilerinin devrilmesini inceleyen değişik çalışmalar da farklı araştırmacılar tarafından yapılmıştır [7], [8], [9], [10].

FEMA-356'da yapıların devrilme tahkikinde, toptan devrilmenin üst yapının rijitliğinden bağımsız bir davranış olduğu ve depremden yapıya gelen devirici kuvvetlerinin, rijitlik katsayısı olan R 'ye bölünmeden doğrudan etkilmesi gerektiği belirtilmektedir. Her ne kadar binaların yüksekliğini azaltmak veya genişliğini artırmak, devrilme riskini azaltan bir çözüm olsa da imar durumu gereği bu çözümün uygulanamadığı durumlarda, FEMA-274'te devrilme riski olan binalar için çeşitli zemin iyileştirme yöntemleri önerilmiştir [11]. Bu çalışmada, 17 Ağustos 1999'da Adapazarı İlimizde yaşanan depremde temeliyle birlikte devrilen binalardan dört adedi örnek alınarak, farklı

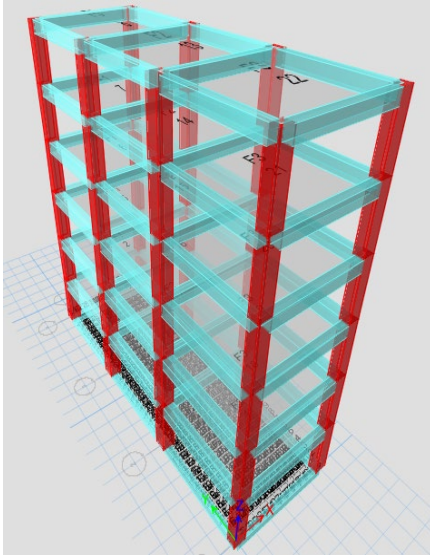
yükseklik/genişlik oranında ve farklı zemine oturan bina modellerinin analizleri yapılmıştır.

2. MATERYAL ve METOD (MATERIAL and METHOD)

Bu çalışmada, Şekil 11'de görüldüğü gibi devrilen binaların oturduğu zemin özellikleri, genişlik ve yükseklikleri referans alınarak, dar cepheli, aynı kat planına sahip 6, 8, 10 ve 12 katlı binalar modellenmiş, DBYBHY-2007'ye göre, 5000, 10000, 20000, 50000 ve 100000 kN/m³ yatak katsayısı için ETABS 15.0.0 ve STA4CAD V13.1 programları kullanılarak, 20 adet betonarme bina modeli hazırlanarak, lineer ve non-lineer analizleri yapılmış, ETABS 15.0.0 programında zemin yatak katsayısı (K) sadece basınca çalıştırılarak, binanın temeli ve tepe noktalarındaki deplasmanlar tespit edilmiş ve ayrıca direnen/deviren momentler karşılaştırılarak devrilme tahkiki yapılmıştır.

Betonarme bina analizi yapabilen STA4CAD V13.1 programı Ülkemizde yaygın olarak kullanılmakta olan paket programdır. Sonlu elemanlar metoduna göre hesap yapabilen ETABS 15.0.0 programı ise uluslararası kabul görmüş statik hesap programıdır. Çalışmaya esas teşkil eden devrilen binaların Ülkemizde yer alması ve bu binaların statik hesaplarının genellikle yerel programlarla yapılması sebebiyle STA4CAD programı, çıkan sonuçlar ile karşılaştırma yapılabilmesi için de gerçeğe daha yakın sonuçlar veren ETABS 15.0.0 programı tercih edilmiştir.

Seçilen bina modelleri, 6.00x18.00 m taban oturumunda ve Ülkemizdeki genel yapı stokunu dikkate alarak 6 katlı (18.00 m), 8 katlı (24.00 m), 10 katlı (30.00 m) ve 12 katlı (36.00 m) yüksekliklerinde tasarlanmıştır. Parametre olarak, TS498 Yönetmeliğine uygun olarak döşeme sabit ve hareketli yükleri 2.0 kN/m^2 , kirişlerde duvar yükü 19 cm^2 lik tuğla duvar için 9.0 kN/m^2 , yapı çelik sınıfı S420, beton sınıfı C20/25, 1.derece deprem bölgesi için $A_0=0.40g$, bina önem katsayısı $I=1.0$, spektrum karakteristik periyotları $T_A=0.20$ ve $T_B=0.90$, bina taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R=8.00$ alınarak, her bir bina modeli için yapı elemanlarında gevrek göçme olmayacak şekilde, yapının tüm katlarında döşeme kalınlıkları 15 cm, kolon boyutları 70x50 cm ve 70x70 cm, kiriş ebatları 40x60 cm ve 60x60 cm, temel kalınlığı 80 cm olarak seçilmiştir.



Şekil 11. Temel ve Zemin ile Birlikte Modellenen Örnek Binanın Kolon-Kiriş Çerçeve Sistemi (Column-Beam Frame System of Sample Building Modeled with Foundation and Soil)

20 adet bina modelinin, öncelikle STA4CAD V13.1 programı ve ETABS 15.0.0 programı ile lineer analizleri yapılmış, daha sonra P- δ etkisi dikkate alınarak ETABS 15.0.0 programı ile non-lineer analizleri yapılmış ve her iki programla yapılan analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Narin plan geometrisine sahip yapıların devrilme tahkikine esas modellemesi yapılırken, zemin çekme almayan ve basınçta elasto-plastik davranan yaylar şeklinde kabul edilmiştir. Böylece temelde meydana gelen aşırı dönmelerden kaynaklı tepe deplasmanları ve devrilme riskini

artıran büyük ikinci mertbe momentler elde edilmiştir.

Non-linear analizlerde, temel dönmesine bağlı olarak tepe deplasmanlarının, lineer analize kıyasla, sınır değerlerin de ötesinde çok büyük olduğu görülmüş ve devrilen binalarla da uyumlu sonuçlar vermiştir.

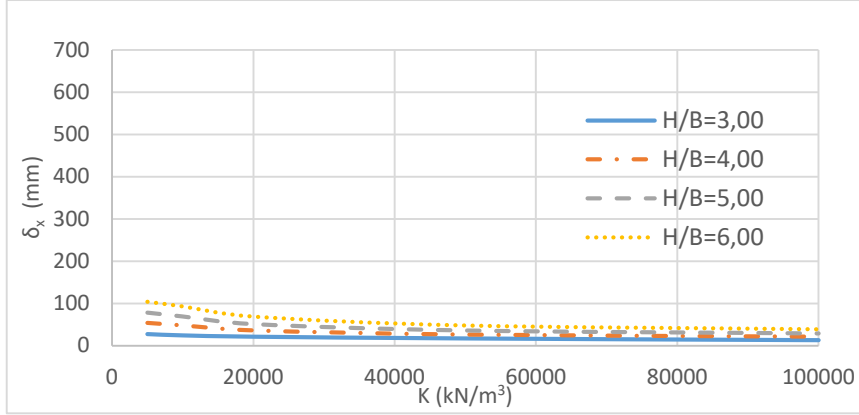
3. BULGULAR ve TARTIŞMA (CONCLUSIONS and DISCUSSION)

Tablo 1. Bina Modellerine ait Maksimum ve Minimum Tepe Deplasmanları (mm) (Maximum and Minimum Peak Displacements of Building Models (mm))

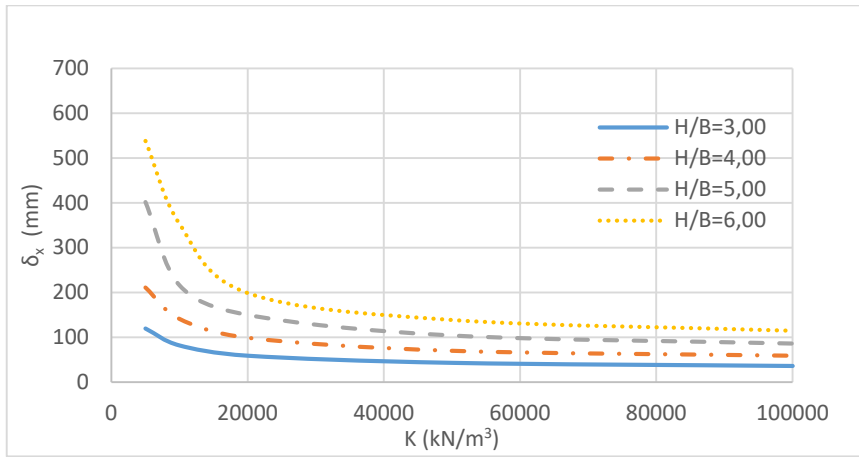
Bina Modelleri	STA4CAD Linear Analiz (mm)			ETABS Linear Analiz (mm)			ETABS Non-linear +P- δ Analiz (mm)		
	δ_x	δ_y	δ_z	δ_x	δ_y	δ_z	δ_x	δ_y	δ_z
H/B=3									
K=5000	27	1	-1	120	1	-13	117	96	-51
K=10000	24	1	-1	82	1	-6	84	96	-30
K=20000	21	1	-1	59	1	-3	64	7	-20
K=50000	17	1	-1	43	1	-2	49	6	-12
K=100000	13	1	-1	36	1	-2	42	5	-8
H/B=4									
K=5000	54	2	-2	211	1	-16	197	132	-66
K=10000	48	2	-1	141	1	-7	139	140	-39
K=20000	36	1	-1	99	1	-4	104	145	-25
K=50000	26	1	-1	70	2	-3	78	147	-16
K=100000	21	1	-1	59	2	-2	68	13	-12
H/B=5									
K=5000	78	3	-3	402	1	-11	352	169	-80
K=10000	69	2	-2	216	1	-9	208	179	-48
K=20000	51	2	-2	150	2	-5	153	186	-32
K=50000	36	1	-1	104	2	-3	113	191	-21
K=100000	29	1	-1	86	2	-3	97	192	-16
H/B=6									
K=5000	104	4	-4	538	2	-15	624	216	-83
K=10000	93	3	-3	353	2	-2	389	218	-62
K=20000	69	2	-3	199	2	-7	211	227	-38
K=50000	48	2	-2	139	3	-5	154	233	-25
K=100000	39	2	-2	115	3	-4	131	236	-20

Tablo 1’de, STA4CAD ve ETABS programlarının lineer analiz sonuçlarına bakıldığında δ_x değerinin sırasıyla 104 ve 538 mm olduğu, ETABS programının non-lineer analizinde bu deplasmanın 624 mm’ye çıktığı görülmekte, $K=5000 \text{ kN/m}^3$ için de δ_y ve δ_z

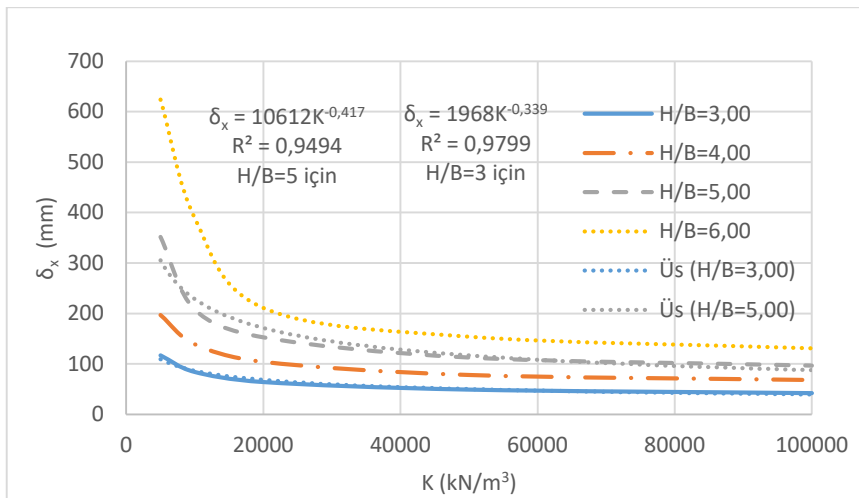
deplasmanlarının sırasıyla 4 ve 16 mm'nin altında ve çok küçük olduğu görülürken, ETABS programının non-linear analizinde bu deplasmanların yaklaşık 10 katı büyüyerek, sırasıyla 236 ve 83 mm'ye kadar çıktığı görülmektedir.



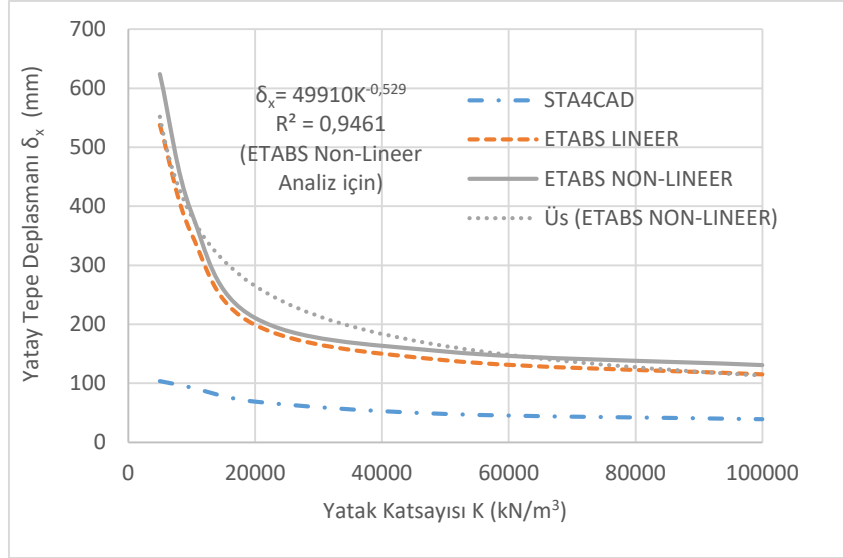
Şekil 12. K - δ_x Grafiği (STA4CAD Programı, Lineer Analiz) (Graphic of K - δ_x (STA4CAD, Linear Analysis))



Şekil 13. K - δ_x Grafiği (ETABS Programı, Lineer Analiz) (Graphic of K - δ_x (ETABS, Linear Analysis))



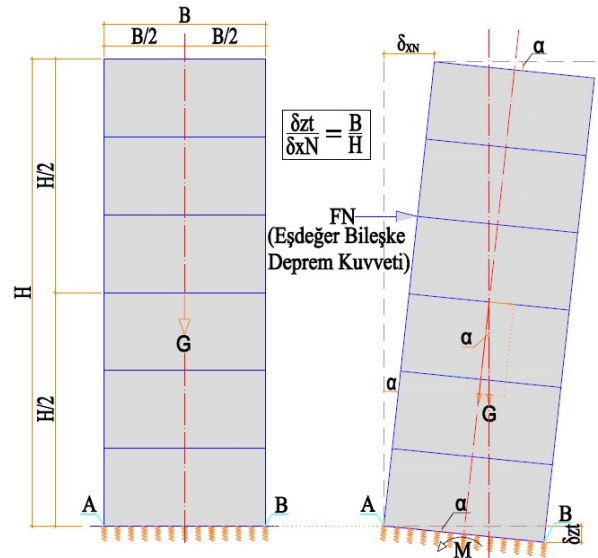
Şekil 14. K - δ_x Grafiği (ETABS Programı, Non-Linear Analiz) (Graphic of K - δ_x (ETABS, Non-Linear Analysis))



Şekil 15. H/B=6.00 için K- δ_x Grafiği (STA4CAD Linear Analiz, ETABS Linear ve Non-Linear Analiz) (Graphic of K- δ_x for H/B=6.00 (STA4CAD Linear Analysis, ETABS Linear and Non-Linear Analysis))

Diğer H/B oranlarına benzer olarak, Şekil 15'te H/B=6.00 için K- δ_x ilişkisi, STA4CAD programıyla lineer analizinin ve ETABS programıyla lineer ve non-linear analizlerinin sonuçları ayrı ayrı verilmiştir. STA4CAD programı üst yapıyı analiz ettikten sonra, temel analizini ayrıca yaptığı için sadece görece kat ötelenmelerini dikkate alarak yatay tepe deplasmanlarını hesaplar. ETABS programı üst yapıyı temel ve zeminiyle birlikte analiz ettiği için görece kat ötelenmelerine ek olarak, temelin dönmesinden kaynaklı tepe deplasmanlarını da dikkate almaktadır. Dolayısıyla K=10000 kN/m³ için STA4CAD programının 100 mm olarak verdiği tepe deplasmanının, ETABS programında yaklaşık 5 katı artarak, 500 mm olduğu görülmektedir.

Şekil 16'da görüldüğü üzere, deprem esnasında temelde meydana gelecek farklı oturma neticesinde temelin döndüğü ve buna bağlı olarak üst yapının da aynı açıyla döndüğü ve görece ötelenmelerin dolayısıyla taban eğilme momentinin arttığı görülmektedir.



Şekil 16. Bir Binanın Düşeyde Temel Dönmesine Bağlı Yatay Tepe Deplasmanı (Horizontal Peak Displacement Due to Vertical Rotation of a Building)

Tablo 2'de görüldüğü gibi binanın dar yönünde temelin A ve B noktalarındaki oturmalara bakıldığında temelde bir dönmenin olduğu, 6.00 metre cephe için oturma farkının 74-29=45 mm ve temeldeki dönme eğiminin 4.5/600=0.0075 olduğu, 36.00 m bina yüksekliği için 3600x0.0075=27 cm ek bir tepe deplasmanına neden olduğu görülmektedir.

Tablo 2. Temelin A ve B Noktalarındaki Maksimum Düşey Deplasmanları-ETABS Programı, Non-linear P- δ Analizi (*Vertical Displacements of Foundation at Point A and B with Respect to ETABS Nonlinear+P- δ Analysis*)

Model					
H/B	K=5000	K=10000	K=20000	K=50000	K=100000
3	(-13), (-47)	(-6), (-28)	(-2), (-17)	(-1), (-9)	(-1), (-7)
4	(-17), (-59)	(-7), (-35)	(-3), (-22)	(-1), (-12)	(-1), (-8)
5	(-22), (-64)	(-8), (-42)	(-3), (-26)	(-1), (-15)	(-1), (-10)
6	(-29), (-74)	(-9), (-52)	(-4), (-31)	(-2), (-17)	(-1), (-12)

Tablo 3. Temel Dönmesinden Dolayı Oluşan Tepe Deplasmanının Toplam Tepe Deplasmanı İçindeki Payı (*Share of Peak Displacement in Total Peak Displacement Due to Foundation Rotation*)

Model	H	δ_{XN}	$\delta_{zt} = \delta_1 - \delta_2$	B	$\alpha_{zt} = \delta_{zt}/B$	$\delta_{xt} = (\alpha_{zt}) \times H$	δ_{xt}/δ_{XN}
	cm (x100)	cm	cm	cm (x100)	(°)	cm	%
H/B=3							
K=5000	18	10.92	3.35	6	0.00558	10.05	92
K=10000	18	7.77	2.22	6	0.00370	6.66	86
K=20000	18	5.75	1.44	6	0.00240	4.32	75
K=50000	18	4.23	0.84	6	0.00140	2.52	60
K=100000	18	3.52	0.55	6	0.00092	1.65	47
H/B=4							
K=5000	24	18.02	4.21	6	0.00702	16.84	93
K=10000	24	12.87	2.83	6	0.00472	11.32	88
K=20000	24	9.44	1.87	6	0.00312	7.48	79
K=50000	24	6.81	1.08	6	0.00180	4.32	63
K=100000	24	5.74	0.73	6	0.00122	2.92	51
H/B=5							
K=5000	30	34.58	6.61	6	0.01102	33.05	96
K=10000	30	18.95	3.39	6	0.00565	16.95	89
K=20000	30	13.89	2.26	6	0.00377	11.30	81
K=50000	30	9.92	1.32	6	0.00220	6.60	67
K=100000	30	8.29	0.89	6	0.00148	4.45	54
H/B=6							
K=5000	36	61.76	9.87	6	0.01645	59.22	96
K=10000	36	38.20	5.86	6	0.00977	35.16	92
K=20000	36	19.89	2.74	6	0.00457	16.44	83
K=50000	36	13.90	1.58	6	0.00263	9.48	68
K=100000	36	11.49	1.07	6	0.00178	6.42	56

Bu tabloda;

H : Bina Yüksekliği (cm)

δ_{XN} : Depremden Dolayı X yönünde Oluşan Maksimum Tepe Deplasmanı (cm)

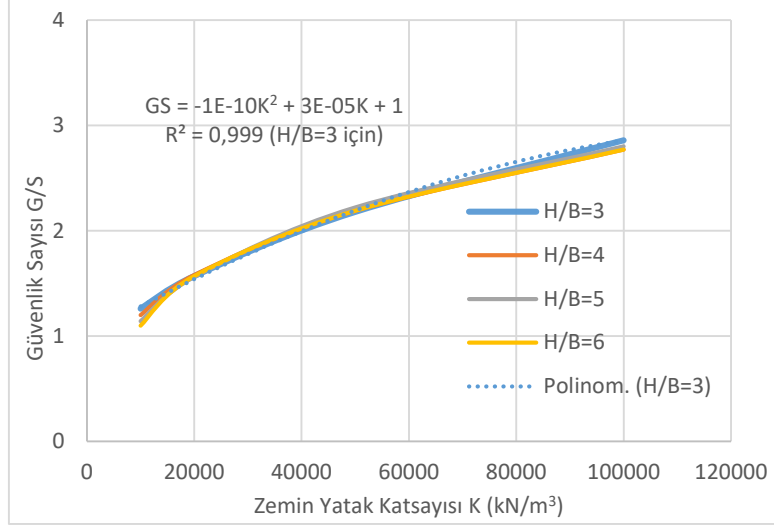
δ_{zt} : Depremden Dolayı Z Yönünde Temelde Oluşan Maksimum Düşey Deplasman (cm)

B : Bina Genişliği (cm)

α_{zt} : Temelin Dönmesinden Dolayı Bina Tabanında Oluşan Açık (°)

δ_{xt} : Temelin Dönmesinden Dolayı Tepede Oluşan Yatay Deplasman (cm)

δ_{xt}/δ_{XN} : Temelin Dönmesinden Dolayı Tepede Oluşturduğu Deplasmanın Toplam Deplasman İçindeki Payı Oranı (%)



Şekil 17. K-GS Grafiği (Graphic of K-GS)

Şekil 17'de görüldüğü üzere, H/B oranına nispeten yatak katsayısının 10000 kN/m³'ten 10 kat artmasıyla binanın 2.50 katı daha güvenli hale geldiği, farklı H/B oranları için güvenlik katsayısı eğrileri benzerlik gösterdiği, H/B=3 için yatak katsayısıyla güvenlik sayısı arasında $R^2 = 0,999$ ile Denklem-1 bağıntısının olduğu görülmüştür.

$$GS = -1E-10K^2 + 3E-05K + 1 \quad (1)$$

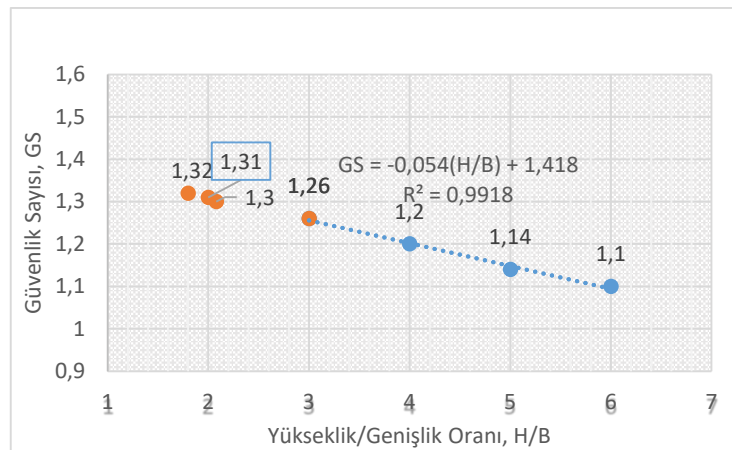
Tablo 4. $K=10000$ kN/m³ ve Farklı H/B Oranları İçin Güvenlik Katsayıları ($K=10000$ kN/m³ and Safety Factor For Different H/B Ratios)

Model	H	M_{dir}	M_{dev}	GS
	(m)	(tm)	(tm)	M_{dir}/M_{dev}
H/B=3	18	2280.83	1810.18	1.26
H/B=4	24	3802.49	3172.45	1.20
H/B=5	30	4706.16	4127.62	1.14
H/B=6	36	5466.99	4981.12	1.10

Tablo 4'te $K=10000$ kN/m³ için ETABS programı non-linear analiziyle direnen M_{dir} ve deviren M_{dev} momentler hesaplanmış ve güvenlik katsayıları verilmiş olup, binanın H/B oranının iki katına çıkması durumunda, devrilme güvenlik katsayısının yaklaşık %15 azaldığı görülmektedir.

Tablo 5. Devrilen 4 Binanın Yükseklik/Genişlik Oranları (Height / Width Ratio of 4 Overturned Buildings)

Bina No:	Yükseklik (H):	Genişlik (B):	H/B oranı
1	15.00	5.00	3.00
2	13.50	7.50	1.80
3	13.50	6.50	2.08
4	12.00	6.00	2.00



Şekil 18. K=10000 kN/m³ Zemini İçin (H/B) - GS Grafiği (For K=10000 kN/m³ Soil Graphic of (H/B) - FS)

Şekil 18’de, K=10000 kN/m³ ve H/B oranları 3, 4, 5 ve 6 olan modeller için güvenlik katsayısı ile H/B arasındaki ilişkiyi gösteren lineer bağıntı Denklem 2’de verilmiştir.

$$GS = -0.054(H/B) + 1.418 \quad (2)$$

Ayrıca Şekil 3,5,7 ve 9’da 1999 Adapazarı depreminde devrilen 4 adet binanın H/B oranlarına bağlı GS değerleri Şekil 18’de gösterilmiştir. H/B oranının arttıkça güvenlik sayısının azaldığı, devrilen binaların güvenlik sayılarının 1.26 ile 1.32 arasında olduğu görülmüştür. Güvenlik sayısının 1’den büyük olmasına rağmen binaların depremde devrilmiş olmasının nedenlerinden birincisinin binanın eğilmesiyle birlikte bina ağırlık merkezinin binanın taban geometrik ortasından topuk noktasına doğru ötelenmesi ve ikincisinin de zeminin elastik davranıştan plastik davranışa geçmesi (sıvılaşma) neticesinde binalardaki topuk noktasının binaların ağırlık merkezine doğru ötelenmesinden olduğu düşünülmektedir.

4. SONUÇ ve ÖNERİLER (CONCLUSION and SUGGESTION)

Bu çalışma ile belediyelerin imar şube ve müdürlüklerince binaların kat adedi belirlenirken, bina, dolayısı ile parsel genişliklerine ve zemin yatak katsayılarına çok dikkat etmeleri gerektiği ortaya konmuştur. Eski İmar Yönetmeliğine göre verilen 6.00 metre olarak verilen minimum cephe genişliğinin, yürürlükteki İmar Yönetmeliğinde 10 kat ve üzeri yapılar için 12.00 metre olarak değiştirilmiş olup, bu İmar Yönetmeliğine göre yapılacak 10 kat ve üzerindeki yapıların H/B oranının 3 ve üzeri olabileceğinden bahisle, bu yapılarda temeliye birlikte

toptan devrilme riskinin hala taşındığı görülmektedir. Bu riskin ortadan kaldırılabilmesi için bina genişliklerine göre bina yüksekliklerine sınırlandırılma getirilmesi önerilmektedir. Ayrıca mevcut bina analiz yöntemlerinde, üst yapı analiz edilerek, taban etkileri altında temel hesabının yapıyor olması, temeldeki deformasyonlardan üst yapının etkilenmediği gibi bir yanlış uygulamaya dikkat çekmek adına üst yapı ve temelin birlikte analizi yapılmış ve temel tabanındaki farklı taban basıncından kaynaklı meydana gelen farklı oturumların üst yapıya etkisi de göz önüne alınmıştır. Temelde farklı oturma ve dönmelerin meydana gelmesi, temel hesabı yapılırken zeminin çekme almadan modellenmesi gerektiğini ortaya koyarak, tepe deplasmanlarının da aşırı büyümesine neden olduğunu göstermiştir. Ayrıca, zeminin plastik davrandığı ve temelin rijit plak olmadığı, bir tarafı otururken diğer tarafında kalkarak zeminden ayrılabilceği de dikkate alınarak binanın tepe deplasmanları ve devrilmeye karşı güvenlik katsayıları ayrı ayrı karşılaştırılmıştır.

Burada bina yüksekliği arttıkça ve zemin yatak katsayısı azaldıkça binanın devrilme riskinin büyük oranda arttığı görülmüştür. Binanın H/B oranının iki katına çıkması durumunda, devrilme güvenlik katsayısının yaklaşık %15 azalırken, zemin yatak katsayısının 100.000 kN/m³’ten 10.000 kN/m³’e inmesiyle binanın 2.50 katı daha güvensiz hale geldiği görülmüştür.

Bu çalışmada devrilmeye karşı %26 ve %32 daha güvenli olan Adapazarı depreminde devrilen örnek binalara bakıldığında, analizlerde temelde topuk dönme noktasının gerçek yeri ve binanın eğilmesi ile değişen ağırlık merkezinin yeri tam olarak

belirlenemediği için devrilmeye karşı güvenlik katsayısının 1.50 ve üzeri bir değerde olması gerektiği ortaya konulmuştur.

Ayrıca bitişik nizam binaların tasarımında, standartlarca öngörülen dilatasyon ölçüleri verilirken, sadece üst yapıda gözlenecek görelî ötelenmelerin dikkate alınarak belirlendiği, ancak üst yapının temel ve zeminle birlikte analiz edildiğinde, temelde farklı oturmalar neticesinde eğilmenin meydana geldiği görülmüş ve bu eğilme neticesinde ötelenmelerin standartlarda belirtilen dilatasyon ölçülerinin 10 katından daha fazla olduğu, dolayısıyla döşemeleri farklı seviyelerde olan komşu binalar arasında çekiçleme etkisinin kaçınılmaz olduğu görülmüştür. Bu bakımdan çekiçleme etkisinin önlenmesi için binaların referans kotu (plankote) olan +0.00 kotunun, parsel bazında değil de ada bazında verilmesi ve kat yüksekliklerinin eşit tutulması büyük önem taşıyacaktır. İlgili idareler, binaların kaç katlı veya yüksekliğinin kaç metre olacağını belirlerken, cephe genişliklerini ve zemin sınıfını dikkate alarak, binaların devrilme tahkiki kontrollerini istemeleri gerekmektedir.

Şevli araziler üzerine yapılacak dar cepheli ve devrilme riski yüksek binalarda, temel tabanının az kazılmış ve çok kazılmış olması nedeniyle aynı temelin farklı taşıma kapasiteli zeminlere oturması sebebiyle, yukarıda arz edilene benzer şekilde temelde dönmelere neden olarak binada eğilme ve hatta devrilmelere sebebiyet verebilecektir.

Bu çalışmaya ek olarak, 2019'da yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) doğrultusunda, devrilme riskini arttıracığı düşünülen düşey deprem yükleri de dikkate alınarak, devrilme tahkiklerinin yeniden yapılması büyük önem arz etmektedir.

5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] M. A. Kalaylı, "Depremde Devrilmeye Karşı Bina Yükseklik/Genişlik Oranının Zemin Yatak Katsayısına Bağlı Olarak Bilgisayar Destekli Optimum Tasarımı" Yüksek Lisan Tezi, *Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Anabilim Dalı, Kırıkkale, Türkiye, 2017.*
- [2] Google Earth Pro 7.1
- [3] O. Doğan, "Elastik Zemine Üzerine Oturan Kirişler", Yüksek Lisans Tezi, *İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye, 1993.*
- [4] P. Stewart, R. B. Seed, G. L. Fenves, "Empirical Evaluation Of Internal Soil-Structure Interaction Effects", Los Angeles Department of Civil & Environmental Engineering, *Pacific Earthquake Engineering Research Center, Peer-98/07, University of California, Berkeley, USA, November 1998.*
- [5] L. Giresini, M. Sassu, "Horizontally Restrained Rocking Blocks: Evaluation Of The Role Of Boundary Conditions With Static And Dynamic Approaches", *Bull Earthquake Engineering Journal*, Vol.15, pp. 385-410, January 2017.
- [6] M. Aslam, W. G. Godden, D. T. Scalise, "Earthquake Rocking Response of Rigid Bodies", *California Digital Library, University of California, Berkeley, August 1978, (<https://escholarship.org/uc/item/07b7w0rv>).*
- [7] L. Sorrentino, R. Masiani, D. Decanini, "Overturning of rocking rigid bodies under transient ground motions", *Structural Engineering and Mechanics Journal*, Vol. 22, pp. 293-310, February 2006.
- [8] C. Casapulla, "On the Resonance Conditions of Rigid Rocking Blocks", *International Journal of Engineering and Technology Journal*, Vol. 7, pp. 760-771, April 2015.
- [9] J. Zhang, N. Makris, "Rocking response of free-standing blocks under cycloidal pulses", *Journal of Engineering Mechanics*, Vol. 127-5, pp. 473-483, May 2001.
- [10] T. Ther, L. P. Kollar, "Overturning of rigid blocks for earthquake excitation", *Bulletin Of Earthquake Engineering Journal*, Vol. 16-3, pp. 1607-1631, March 2018.
- [11] Federal Emergency Management Agency, FEMA 356, 2000, USA.
- [12] Sta4CAD V13.1, Sta Mühendislik Müşavirlik Ltd. Şti., 2017, Türkiye.
- [13] ETABS 15.0.0, CSI Computers and Structures, INC, Structural and Earthquake Engineering Software Company, USA, 2015.
- [14] 2007 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY), Ankara, Türkiye.

- [15] TS500, Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Ankara, Türkiye.
- [16] Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, (www.mta.gov.tr), Ankara, Türkiye
- [17] Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü, (www.tkgm.gov.tr), Ankara, Türkiye.
- [18] Plansız Alanlar Tip İmar Yönetmeliği, 02.11.1985 Tarihli Resmi Gazete, (https://www.resmigazete.gov.tr/arsiv/18916_1.pdf), Ankara, Türkiye, 1985.
- [19] Planlı Alanlar Tip İmar Yönetmeliği, (<https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2017/07/20170703-8.htm>), Ankara, Türkiye, 2017.

Mehmet Ali KALAYLI

Mehmet Ali KALAYLI, 1985'te Ankara'da doğdu. İlköğretim ve lise eğitimini Ankara'da tamamladı. 2008'de Balıkesir Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünü bitirdi. 2014 yılında Kırıkkale Üniversitesi Yapı A.B.D'de başladığı yüksek lisans eğitimini 2017 yılında tamamlayarak, yine aynı yıl doktora eğitimine başladı. 2013'e kadar yurt içi ve yurt dışında çeşitli firmalarda şantiye şefi ve proje mühendisi olarak çalıştı. Kamuda 2013 yılında inşaat mühendisi olarak başladığı görevine halen devam etmektedir. Çalışma alanları: betonarme, zemin-yapı etkileşimi (ZYE), güçlendirme, çelik ve geoteknik (iksa, zemin iyileştirme, şev stabilitesi) konularıdır.

Orhan DOĞAN

Orhan DOĞAN, 1967'de Kayseri'de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Kayseri'de tamamladı. 1989'da İTÜ Sakarya Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünü fakülte birinciliğiyle tamamlayarak, 1990'da Arş.Gör. oldu, 1993'te yüksek lisans eğitimini tamamladı. Kırıkkale Üniversitesi adına 1993-YÖK YLS Bursunu kazanarak, İngiltere Cardiff Üniversitesinde Yapı ABD'da doktora öğrenimini ve European Union-British Steel ortaklığındaki AB projesini 1997'de tamamladı. Kırıkkale Üniversitesi Yapı ABD'nda 1997'de Yrd.Doç, 2015'te Doç.Dr. unvanı ile Bölüm Başkanlığı görevine devam etmektedir. Dekan Yardımcılığı, Yapı-Zemin Araştırma Merkezi Müdürlüğü, Yapı İşleri Daire Başkanlığı gibi idari görevlerde bulunmuştur. Çok sayıda bilirkişilik, bina inceleme, güçlendirme, GES, RES, BES, HES projelerinde danışmanlık ve kabul komisyon üyeliği yapmıştır.