

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜZEYE YAKIN YUMUŞAK ZEMİNLERDE YAPILAN
BETONARME BİNALARIN DEPREM DAVRANIŞINA
BODRUM KAT ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmet Hamdi SERDAR

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : YAPI
Tez Danışmanı : Doç. Dr. Naci ÇAĞLAR

Eylül 2015

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜZEYE YAKIN YUMUŞAK ZEMİNLERDE YAPILAN
BETONARME BİNALARIN DEPREM DAVRANIŞINA
BODRUM KAT ETKİSİNİN İNCELENMESİ

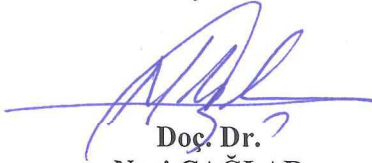
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmet Hamdi SERDAR

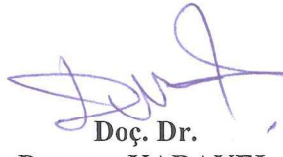
Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : YAPI

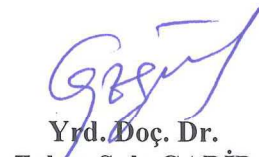
Bu tez 18/09/2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.



Doç. Dr.
Naci ÇAĞLAR
Jüri Başkanı



Doç. Dr.
Durmuş KARAYEL
Üye



Yrd. Doç. Dr.
Zehra Şule GARİP
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Ahmet Hamdi SERDAR

16.02.2015

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım süresince kendisinden her türlü desteği gördüğüm ve öğrencisi olmakla her zaman gurur duyduğum sayın danışman hocam Doç. Dr. Naci ÇAĞLAR'a, tez çalışmamda kullanmış olduğum program ve geoteknik alanına dair tecrübelerini benimle paylaşarak her türlü desteği gördüğüm sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Sedat SERT'e içten bir teşekkürü borç biliyorum.

Hayatım boyunca beni her konuda destekleyen, hayatta attığım her adımda bana güvenen ve ihtiyacım olduğu anda her türlü desteği veren sevgili aileme sonsuz sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak öğrenim süresince bana emeği geçen Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nün tüm öğretim üyelerine ve öğretim görevlilerine ve aynı şekilde benden desteklerini esirgemeyen Düzce Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü öğretim üyeleri ve öğretim görevlilerine teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ÖZET.....	xiii
SUMMARY	xiv

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
1.1. Konu İle İlgili Çalışmalar	3
1.2. Amaç ve Kapsam	5

BÖLÜM 2.

ZEMİN YAPI ETKİLEŞİMİ	7
2.1 Yapı-Zemin Etkileşim Problemlerinde Çözüm Yöntemleri	10
2.1.1. Direkt metod	11
2.1.2. Viskoz sınır şartı	12
2.2. Yerel Zemin Koşulları.....	13
2.2.1. Yerel zemin kalınlığı	15
2.2.2. Zemin spektrumları	16
2.2.3. Zemin periyodu ve zemin özelliklerinin üst yapıya etkisi	17
2.2.4. Deprem-temel ilişkisi	17
2.2.5. Zemin sıvılaşması.....	18

BÖLÜM 3.

SONLU ELEMANLAR METODU VE PLAXIS PROGRAMI	19
---	----

3.1. Sonlu Elemanlar	19
3.2. İki boyutlu İzoparametrik Elemanlar	20
3.2.1. Şekil fonksiyonları	20
3.2.2. Eleman rijitlik matrisi	20
3.3. Plaxis Programı.....	27
BÖLÜM 4.	
SAYISAL ÖRNEKLER	28
4.1. Yapı-Zemin Sonlu Eleman Modelleri.....	29
4.1.1. Yapı-zemin sonlu eleman modelinin üst yapısı	29
4.1.2. Yapı-zemin sonlu eleman modelinin alt yapısı	32
4.2. Sonlu Eleman Modelinin Doğrulanması.....	34
4.3. Sonlu Eleman Analiz (Plaxis) Sonuçları.....	35
4.3.1. H/B=0,50 olan yapı-zemin modeli	35
4.3.2. H/B=0,75 olan yapı-zemin modeli	42
4.3.3. H/B=1,00 olan yapı-zemin modeli	52
4.3.4. H/B=1,25 olan yapı-zemin modeli	60
4.3.5. H/B=1,50 olan yapı-zemin modeli	69
4.3.6. H/B=2,00 olan yapı-zemin modeli	76
BÖLÜM 5.	
SONUÇ VE ÖNERİLER	85
KAYNAKLAR	87
ÖZGEÇMİŞ	90

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A	: Etkili Alan
B	: Bina Genişliği
[C]	: Sistemin Sönüm Matrisi
c	: Sönüm/Kohezyon
e	: Boşluk Oranı
E	: Elastisite Modülü
EA	: Eksenel Rijitlik
EI	: Eğilme Rijitliği
G	: Kayma Modülü
H	: Bina Yüksekliği
H _z	: Hertz (Frekans)
k	: Eleman Rijitlik Matrisi
[K]	: Sistem Rijitlik Matrisi
m	: Eleman Kütlesi
m	: Metre
[M]	: Kütle Matrisi
[N]	: Şekil Fonksiyonları Matrisi
OCR	: Aşırı Konsolide Oranı
SEM	: Sonlu Eleman Modeli
t	: Zaman
T	: Periyot
u	: Deplasman
v _s	: Zeminin Kayma Dalgası Hızı
YASS	: Yer Altı Su Seviyesi
YZE	: Yapı Zemin Etkileşimi

ϕ'	: İçsel Sürtünme Açısı
ψ	: Kayma Açısı
ρ	: Kütleli Yoğunluk
ν	: Poisson Oranı
ω	: Açısız Frekans
ξ	: Sönüm Oranı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Dinamik sınırsız ortam-yapı etkileşimi.....	8
Şekil 2.2.	12 Katlı bir sistemde zeminin (a) rijit (b) zemin kayma dalgası hızı 50 m/sn olması durumunda ilk beş mod şeklinin ve frekansının değişimi.....	9
Şekil 2.3.	Zemin modelleme şekilleri.....	10
Şekil 2.4.	Yapı zemin etkileşim analiz metotları	11
Şekil 2.5.	Zemin yüzeylerinin kesilmesi.....	11
Şekil 2.6.	Direkt metotta sınır şartları (viskoz sınırlar).....	12
Şekil 2.7.	Birim kayma deformasyonun kayma modülü ve sönüm oranına göre değişimi.....	14
Şekil 2.8.	Yerel zemin kalınlığının maksimum temel kesme kuvvetine etkisi.....	15
Şekil 2.9.	Değişik zeminler için spektral ivme periyot ilişkisi.....	16
Şekil 2.10.	Herhangi bir temelde meydana gelen yer değiştirmenin tüm sistemi etkilemesi.....	17
Şekil 2.11	Marmara (1999) depreminde sıvılaşma sebebiyle meydana gelen yapı hasarları.....	18
Şekil 3.1.	Dört noktalı izoparametrik eleman	20
Şekil 4.1.	Yapı-zemin modeli.....	28
Şekil 4.2.	Yapı-zemin modelinin sonlu eleman modeli (PLAXIS 2D).....	29
Şekil 4.3.	Rijit eleman ve girdi parametreleri temsili gösterimi.....	30
Şekil 4.4.	Temel taşıma gücü aşılmasına örnek ve sonlu eleman modeli.....	34
Şekil 4.5.	H/B=0,50 olan yapı-zemin modelinde (sert zemin) üstyapının zemin üst kotu (B noktası)'nın bodrumlu ve bodrumsuz yapıdaki düşey yer değiştirmeleri.....	36
Şekil 4.6.	H/B=0,50 olan yapı-zemin modelinde (sert zemin) üstyapının tepe noktası (A noktası) ile zemin üst kotundaki (B noktası) yatay yer	

	değiştirmeleri.....	37
şekil 4.7.	H/B=0,50 olan yapı zemin modelinde üstyapının tepe noktasının (A noktası) zemin üst kotuna göre (B noktası) görelı yatay yer değiştirmeleri.....	38
şekil 4.8.	H/B=0,50 olan yapı-zemin modelinde (yumuşak zemin) üstyapının zemin üst kotu (B noktası)'nın bodrumlu ve bodrumsuz yapıdaki düşey yer değiştirmeleri.....	39
şekil 4.9.	H/B=0,50 olan yapı-zemin modelinde (yumuşak zemin) üstyapının tepe noktası (A noktası) ile zemin üst kotundaki (B noktası) yatay yer değiştirmeleri.....	40
şekil 4.10.	H/B=0,50 olan yapı-zemin modelinde (yumuşak zemin) üstyapının tepe noktasının (A noktası) zemin üst kotuna göre (B noktası) görelı yatay yer değiştirmeleri.....	41
şekil 4.11.	H/B=0,50 olan yapı-zemin modellerinde katların zemin üst kotuna göre (B noktası) görelı yatay yer değiştirmeleri.....	43
şekil 4.12.	H/B=0,75 olan yapı-zemin modelinde (sert zemin) üstyapının zemin üst kotu (B noktası)'nın bodrumlu ve bodrumsuz yapıdaki düşey yer değiştirmeleri.....	44
şekil 4.13.	H/B=0,75 olan yapı-zemin modelinde (sert zemin) üstyapının tepe noktası (A noktası) ile zemin üst kotundaki (B noktası) yatay yer değiştirmeleri	45
şekil 4.14.	H/B=0,75 olan yapı zemin modelinde üstyapının tepe noktasının (A noktası) zemin üst kotuna göre (B noktası) görelı yatay yer değiştirmeleri.....	46
şekil 4.15.	H/B=0,75 olan yapı-zemin modelinde (yumuşak zemin) üstyapının zemin üst kotu (B noktası)'nın bodrumlu ve bodrumsuz yapıdaki düşey yer değiştirmeleri.....	47
şekil 4.16.	H/B=0,75 olan yapı-zemin modelinde (yumuşak zemin) üstyapının tepe noktası (A noktası) ile zemin üst kotundaki (B noktası) yatay yer değiştirmeleri.....	48
şekil 4.17.	H/B=0,75 olan yapı-zemin modelinde (yumuşak zemin) üstyapının tepe noktasının (A noktası) zemin üst kotuna göre (B noktası) görelı yatay	

	yer değiştirmeleri.....	49
şekil 4.18.	H/B=0,75 olan yapı-zemin modellerinde katların zemin üst kotuna göre (B noktası) görelı yatay yer değiştirmeleri.....	51
şekil 4.19.	H/B=1,00 olan yapı-zemin modelinde (sert zemin) üstyapının zemin üst kotu (B noktası)'nın bodrumlu ve bodrumsuz yapıdaki düşey yer değiştirmeleri	53
şekil 4.20.	H/B=1,00 olan yapı-zemin modelinde (sert zemin) üstyapının tepe noktası (A noktası) ile zemin üst kotundaki (B noktası) yatay yer değiştirmeleri	54
şekil 4.21.	H/B=1,00 olan yapı zemin modelinde üstyapının tepe noktasının (A noktası) zemin üst kotuna göre (B noktası) görelı yatay yer değiştirmeleri	55
şekil 4.22.	H/B=1,00 olan yapı-zemin modelinde (yumuşak zemin) üstyapının zemin üst kotu (B noktası)'nın bodrumlu ve bodrumsuz yapıdaki düşey yer değiştirmeleri.....	56
şekil 4.23.	H/B=1,00 olan yapı-zemin modelinde (yumuşak zemin) üstyapının tepe noktası (A noktası) ile zemin üst kotundaki (B noktası) yatay yer değiştirmeleri.....	57
şekil 4.24.	H/B=1,00 olan yapı-zemin modelinde (yumuşak zemin) üstyapının tepe noktasının (A noktası) zemin üst kotuna göre (B noktası) görelı yatay yer değiştirmeleri.....	58
şekil 4.25.	H/B=1,00 olan yapı-zemin modellerinde katların zemin üst kotuna göre (B noktası) görelı yatay yer değiştirmeleri.....	60
şekil 4.26.	H/B=1,25 olan yapı-zemin modelinde (sert zemin) üstyapının zemin üst kotu (B noktası)'nın bodrumlu ve bodrumsuz yapıdaki düşey yer değiştirmeleri.....	61
şekil 4.27.	H/B=1,25 olan yapı-zemin modelinde (sert zemin) üstyapının tepe noktası (A noktası) ile zemin üst kotundaki (B noktası) yatay yer değiştirmeleri.....	62
şekil 4.28.	H/B=1,25 olan yapı zemin modelinde üstyapının tepe noktasının (A noktası) zemin üst kotuna göre (B noktası) görelı yatay yer değiştirmeleri.....	63

Şekil 4.29.	H/B=1,25 olan yapı-zemin modelinde (yumuşak zemin) üstyapının zemin üst kotu (B noktası)'nın bodrumlu ve bodrumsuz yapıdaki düşey yer değiştirmeleri.....	64
Şekil 4.30.	H/B=1,25 olan yapı-zemin modelinde (yumuşak zemin) üstyapının tepe noktası (A noktası) ile zemin üst kotundaki (B noktası) yatay yer değiştirmeleri.....	65
Şekil 4.31.	H/B=1,25 olan yapı-zemin modelinde (yumuşak zemin) üstyapının tepe noktasının (A noktası) zemin üst kotuna göre (B noktası) görelî yatay yer değiştirmeleri.....	64
Şekil 4.32.	H/B=1,25 olan yapı-zemin modellerinde katların zemin üst kotuna göre (B noktası) görelî yatay yer değiştirmeleri	68
Şekil 4.33.	H/B=1,50 olan yapı-zemin modelinde (sert zemin) üstyapının zemin üst kotu (B noktası)'nın bodrumlu ve bodrumsuz yapıdaki düşey yer değiştirmeleri	69
Şekil 4.34.	H/B=1,50 olan yapı-zemin modelinde (sert zemin) üstyapının tepe noktası (A noktası) ile zemin üst kotundaki (B noktası) yatay yer değiştirmeleri.....	70
Şekil 4.35.	H/B=1,50 olan yapı zemin modelinde üstyapının tepe noktasının (A noktası) zemin üst kotuna göre (B noktası) görelî yatay yer değiştirmeleri.....	71
Şekil 4.36.	H/B=1,50 olan yapı-zemin modelinde (yumuşak zemin) üstyapının zemin üst kotu (B noktası)'nın bodrumlu ve bodrumsuz yapıdaki düşey yer değiştirmeleri.....	72
Şekil 4.37.	H/B=1,50 olan yapı-zemin modelinde (yumuşak zemin) üstyapının tepe noktası (A noktası) ile zemin üst kotundaki (B noktası) yatay yer değiştirmeleri.....	73
Şekil 4.38.	H/B=1,50 olan yapı-zemin modelinde (yumuşak zemin) üstyapının tepe noktasının (A noktası) zemin üst kotuna göre (B noktası) görelî yatay yer değiştirmeleri.....	74
Şekil 4.39.	H/B=1,50 olan yapı-zemin modellerinde katların zemin üst kotuna göre (B noktası) görelî yatay yer değiştirmeleri.....	76
Şekil 4.40.	H/B=2,00 olan yapı-zemin modelinde (sert zemin) üstyapının zemin üst	

	kotuna (B noktası)'nın bodrumlu ve bodrumsuz yapıdaki düşey yer değiştirmeleri.....	77
Şekil 4.41.	H/B=2,00 olan yapı-zemin modelinde (sert zemin) üstyapının tepe noktası (A noktası) ile zemin üst kotundaki (B noktası) yatay yer değiştirmeleri.....	78
Şekil 4.42.	H/B=2,00 olan yapı zemin modelinde üstyapının tepe noktasının (A noktası) zemin üst kotuna göre (B noktası) görelî yatay yer değiştirmeleri.....	79
Şekil 4.43.	H/B=2,00 olan yapı-zemin modelinde (yumuşak zemin) üstyapının zemin üst kotu (B noktası)'nın bodrumlu ve bodrumsuz yapıdaki düşey yer değiştirmeleri.....	80
Şekil 4.44.	H/B=2,00 olan yapı-zemin modelinde (yumuşak zemin) üstyapının tepe noktası (A noktası) ile zemin üst kotundaki (B noktası) yatay yer değiştirmeleri.....	81
Şekil 4.45.	H/B=2,00 olan yapı-zemin modelinde (yumuşak zemin) üstyapının tepe noktasının (A noktası) zemin üst kotuna göre (B noktası) görelî yatay yer değiştirmeleri.....	82
Şekil 4.46.	H/B=2,00 olan yapı-zemin modellerinde katların zemin üst kotuna göre (B noktası) görelî yatay yer değiştirmeleri.....	84

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 4.1.	Betonarme üst yapının elemanlarına ait teknik özellikler	29
Tablo 4.2.	Yumuşak zemin parametreleri.....	31
Tablo 4.3.	Sert zemin parametreleri.....	32
Tablo 4.4.	Yapı zemin sonlu eleman modellerinin matrisi.....	33

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Yumuşak zemin, bodrum kat, deprem davranışı, betonarme yapı, yapı-zemin etkileşimi, sonlu elemanlar yöntemi

1999 Marmara depremi sonrasında yapılan incelemelerde deprem hasarlarının alüvyon zeminler üzerinde bulunan yapılarda yoğunlaştığı gözlemlenmiştir. Fakat bu hasarların başlıca sebebinin alüvyonlu zemin yapısından ziyade betonarme yapıların temel tasarımı ile ilişkili olduğu belirlenmiştir. Özellikle Adapazarı ve çevresinde yapılan gözlemlerde bodrum katlı yapıların deprem açısından çok daha iyi bir davranış sergilediği gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada yüzeye yakın yumuşak zeminler üzerinde yapılan betonarme binaların deprem davranışı incelenmiştir. Bu yapıların bodrum katlı veya bodrum katsız olarak yapılmalarının deprem davranışı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla yapı-zemin modelleri oluşturulmuş ve bu yapı modellerinin zaman tanım alanındaki dinamik analizleri PLAXIS 2D paket program yardımıyla yapılmıştır.

Elde edilen sayısal sonuçlar ile, yüzeye yakın yumuşak zeminler üzerinde yapılan betonarme yapıların bodrumlu yapılması halinde deprem davranışlarının olumlu etkilendiği ve deprem hasarlarının azaldığı gösterilmiştir.

THE INVESTIGATION OF BASEMENT FLOOR EFFECT TO THE SEISMIC BEHAVIOUR OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES BUILT UPON SECTIONS CONTAINING ALLUVIAL ORIGINATED SOFT SOILS

SUMMARY

Keywords: soft soil, basement, seismic behavior, reinforced concrete structure, soil-structure interaction, finite element method.

After the 1999 Marmara Earthquakes, the biggest earthquake damages on the structures have been observed on the buildings which were built on alluvial soils. But the main cause of these damages was determined to be associated with the foundation design of reinforced concrete structures although top layers of alluvial soils of Adapazari were blamed at the beginning. The structures with basement in terms of earthquake were observed to exhibit much better behavior in Adapazari and near vicinity.

In this study, the earthquake behavior of reinforced concrete structures settled on the soft soils near the surface are examined. The effect of constructing these buildings with or without basement was investigated. For this purpose, some structure-soil models have been modeled and dynamic analysis in time domain were made by using PLAXIS 2D software.

Thereby, numerical results show that constructing reinforced concrete buildings with basement on the soft soils near the surface effects positively the seismic behavior of the structure and decrease the earthquake damages.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Yapıların statik ve dinamik yükler etkisi altında tasarımları yapılırken mevcut yönetmeliklere göre mesnetlerin tümünün temele tek rijit blok ile bağlı olduğu kabul edilmektedir. Dolayısıyla yapı-zemin arasındaki etkileşim hesaba katılmamakta ve bundan yola çıkılarak zeminle bağlantısının aynı kaldığı ve deprem hareketinin, üzerindeki yapıyı etkilemeyen yatay birim öteleme hareketinden ibaret olduğu kabulleri yapılmaktadır. Hâlbuki deprem anında yapı ve zeminin farklı şekillerde hareket etmesinden dolayı zemin ve yapı birbirlerinin davranışını etkilemektedir.

Bazı özel yapılarda (nükleer santraller, yeraltı tünelleri, barajlar, yeraltı depoları, askeri sığınaklar ve hizmet yeteneği bakımından özel yapılar), özellikle dinamik analiz yapılırken, yapı ile zemin arasında meydana gelen etkileşim önemli etkilere yol açabilmektedir. Dolayısıyla, özellikle bu tür yapıların analizleri yapılırken yapı ile zemin arasındaki etkileşim mutlaka hesaplarda dikkate alınmalıdır.

Yapı sistemlerin statik yüke maruz kalmaları halindeki çözümlerinde bile, temel elemanlarında çökme ve dönmeler oluşmaktadır. Yapılara deprem gibi bir dinamik yük etki etmesi durumunda yapı, zemin ile birlikte hareket edebileceği gibi yapı ve zemin zıt yönlerde de hareket edebilir, bundan dolayı temeller dinamik yüklemeye karşı karşıya kaldığında farklı konumlarda bulunabilmektedir. İşte bu durumlardan yola çıkarak temellerin ankastre kabul edilip, yer değiştirme ve dönmelerin olmayacağı kabulünü yapmak çok yanlış olacaktır. Ülkemizde özellikle 2007 Deprem Yönetmeliği'nin ortaya çıkmasıyla, çözümlerlere yapı-zemin etkileşiminin de eklenmesi gündeme gelmiştir. Yönetmelikte bulunan betonarme yapıların güçlendirilmesiyle ilgili kısımda bu konu irdelenmiş ve zemin koşullarının yapı çözümlemesinde dikkate alınmasının gerekli olacağı belirtilmiştir.

Yapı-zemin etkileşimi deprem mühendisliği açısından da oldukça önemlidir. Deprem, yer kabuğu içindeki kırılmalar nedeniyle ani olarak ortaya çıkan titreşimlerin (S ve P dalgaları) dalgalar halinde yayılarak geçtikleri ortamları ve yer yüzeyini sarsma olayıdır. Mühendislik hesaplamalarında çoğunlukla S dalgalarından dolayı meydana gelen yatay yer hareketleri dikkate alınır. Deprem dalgaları, genellikle yukarıya doğru etkisini azaltan zemin tabakalarının içinden geçerek ilerlerken, genlikleri de değişmektedir. Sert zemin tabakalarında bu farklılık dikkate alınmayabilecek düzeylerde kalırken yumuşak zeminlerde ivmelerin genliklerinde artışlara sebep olabilir. Taban kayasında tespit edilen depremden ötürü meydana gelen yer hareketinden oluşan ve zemin ortamı içinde yayılarak yapı temeline nüfuz eden deprem dalgaları, kısmen yapı temelinden yansiyarak geri dönerler, bu dalgaların bir kısmı da üstyapıya geçerek onun titreşimine yol açarlar ve burada da yapıdan geri yansiyarak tekrar zemin ortamına dönerler [1]. Bu nedenlerden dolayı zemin yapının periyot ve mod şekillerinde önemli değişikliklere sebep olmaktadır. Eğer bu etkileşim sırasında yapı ile zemin periyotları çakışır veya birbirlerine çok yaklaşırlarsa yapıda rezonans meydana gelecek ve bunun sonucunda da üst yapı çok büyük zorlanmalar oluşacaktır.

Yapı-zemin etkileşimi, üst yapı ve zeminin karşılıklı olarak etkileşime girmesi olarak tanımlanabilir. Özellikle de yumuşak ve orta sertlikteki zemin tabakaları, üstyapılarda ilave kesit tesirlerine sebebiyet vermektedir. Yumuşak zeminler üzerine inşa edilen yapıların tepe noktasındaki yer değiştirmeleri ölçüldüğünde, orta sert ve sert zeminlere nazaran daha büyük değerler gözlenir, orta sert zeminlerde zemin periyodu, yapı yüksekliğinden ötürü yapı periyodu ile genellikle çakışabilmektedir. İşte tüm bu nedenlerden ötürü yapı-zemin etkileşimi göz ardı edilemeyecek, ihmal edilmesi olumsuz sonuçlara yola açabilecek kadar önemli bir olaydır.

Yapı-zemin etkileşimi yumuşak zemin tabakalarında çok daha büyük önem taşımaktadır. Ülkemizde yaşanan büyük depremler sonrası yapılan incelemelerde deprem hasarlarının yumuşak zeminler üzerinde inşa edilen çok katlı yapılarda daha yoğun olduğu rapor edilmiştir. Bu hasarların oluşmasını engellemek ve yapı davranışını iyileştirmek amacıyla deprem bölgelerinde çeşitli çalışmalar yapılmakta

ve yapı kat sayısının sınırlandırılması veya yapıların bodrum katlı olarak yapılması gibi öneriler sunulmaktadır [2].

Geçmiş yıllarda birkaç kez şiddetli depremlere maruz kalan Adapazarı ve çevresinde depremin ardından yapılmış olan zemin etütleri ve araştırmalar 5 ila 15 metre derinlikte yoğun kum ve sıkı kil tabakalarının olduğunu göstermiştir. Dolayısıyla en üstte bulunan zemin emniyeti açısından elverişsiz olan tabakadan kaçılması yâda gerekli tedbirlerin alınması halinde yüksek katlı yapıların güvenle inşa edilebileceği önerilmektedir. Bu bağlamda, yapının bodrum katlı olarak inşa edilmesinin yapı davranışını olumlu yönde etkileyeceği ve yapıda oluşması muhtemel ağır hasarları engelleyeceği düşünülmektedir [3].

1.1. Konu İle İlgili Çalışmalar

Yapı-zemin etkileşimi ile ilgili rapor edilen ilk çalışma, üçüncüsü 1965 yılında düzenlenen Dünya Deprem Mühendisliği Konferansı'nda sunulan bir konferans bildirisidir. Bugüne kadar bu konuyla ilgili yapılan birçok akademik çalışma bulunmaktadır. Bu bölümde bu çalışmaların bazıları hakkında kısa bir bilgi vermekle yetinilecektir.

Sürekli ortam yaklaşımı olarak da adlandırılan yaklaşımda ilk çalışmalar Parmelee tarafından gerçekleştirilmiştir. Parmelee çalışmalarında zemini yarı sonsuz, izotrop, lineer elastik, homojen olarak kurgulamıştır. Üstyapı temelini bu kuramın yüzeyinde rijit, dairesel bir plak olarak idealleştirmiştir [4]. Bu yöntem, geometrik sönüm koşullarını bünyesinde barındırması, az sayıda serbestlik derecesini kullanarak tüm zemin ortamının temsiliyetini sağlamasından dolayı oldukça dikkat çekmiştir.

İlerleyen yıllarda bu sistemin sonlu elemanlarla da entegrasyonu yapılarak birçok bilim adamı tarafından kullanılmıştır. Alt sistem yaklaşımı yüzeysel üstyapıların inşasında kullanışlı bir yöntemdir [5]. Gutierrez, Rosset ve Kausel gibi araştırmacılar yakın bölgede yapı-zemin etkileşimi problemi çözümlenmesi yaparken Sonlu Eleman formülasyonunu kullanmışlardır. Bu yöntemde deprem doneleri yapı-zemin etkileşim arakesitinde serbest zemin yer hareketi olarak girilmiştir.

Alt sistem yaklaşımı ile ilgili en kapsamlı çalışmalar M.Nuray Aydınoğlu tarafından gerçekleştirilmiştir [6]. Kendisi bu sistem aracılığıyla, zemin ortamını sürekli ortam veya ayrık ortam olmak üzere 2 grup halinde idealleştirmek yerine karma bir ortam düşünüp iki modelin üstünlüklerini bir araya getirmiştir. Aydınoğlu çalışmasında zemini belli bir derinlik seviyesine kadar sonlu elemanlarla, bu derinlikten sonrasını da tek tabakalı ortam olarak idealleştirmiştir.

Gupta ve ark. tarafından idealleştirilen modelde, zeminin üstyapıya yakın kısımları sonlu elemanlarla, kalan kısmı ise yarı sonsuz ortam olarak modellenmiştir. İki bölgenin arakesiti yarı küresel yüzey gibi düşünülerek alınmıştır. Yarı küresel yüzeyle sınırlanan sürekli ortamda yapılan çözümlemede kesin çözüm sadece burulma durumunda elde edilebilmiş, diğer yükleme durumları için yaklaşık çözümden istifade edilmiştir [7].

Ortak sistem yaklaşımıyla alt sistem yaklaşımının çözümlemelerde kullanılmaya başlaması yaklaşık aynı dönemlerde. Bu yöntemin kullanılmasıyla temelin zemin tabakasına gömülü olması, zemin tabakasının mekanik özelliklerinin değişimleri ve geometrik süreksizlikler gibi durumlar kolayca ele alınabildiği için çok tercih edilen bir yöntem haline gelmiştir. Ancak yöntemin en büyük sıkıntısı dalga enerjisinin sönmelenmesidir. Çünkü dinamik analiz esnasında kaynaktan saçılan dalgalar yapay sınırlara çarparak bir kısmı tekrar ortama geri dönerek etki eder ve bu durum sonucunda bir takım hatalara meydana gelir. Lysmer ve Kuhlemeyer'in bu konu hakkında yaptığı çalışmada, dalga enerjisinin yutulmasıyla ilgili probleminin çözümünde ilk çalışmaları gerçekleştirmiş ve viskoz sınır şartları olarak adlandırdıkları bir yapay sınır modeli idealize etmişlerdir [1]. Ancak viskoz dalgalar sadece belirli doğrultudaki dalgaları soğurabildiği ve sınır boyunca yer değiştirmelerin karşılıklı etkisini göz önünde bulunduramadığı için yetersiz kalmıştır.

Statik ve harmonik yükler için Bettess ve Zienkiewicz Sonsuz Eleman Modeli'ni ortaya çıkarmıştır [6]. Medina da sonsuz elemanlardan yapı zemin etkileşimi modellerinin çözümünde faydalanmıştır [8].

Kutunis doktora çalışmasını yaparken yapı-zemin ortak sistemini, yakın bölge ve uzak bölge olmak üzere ikiye ayırmıştır. Bu bölgeler birbirlerinden etkileşim ara kesiti aracılığıyla ayrılmaktadır. Dinamik analizler sonlu elemanlar metodu yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Yapı davranışı üzerinde üst yapının dinamik özelliklerinin, zemin ortamının, incelenen depremin karakterinin ve özellikle de frekans içeriğinin önemli etkisi olduğunu söylemiştir [7].

M. Pala Yapay Sınır Ağları Modelini (YSA) kullanarak yapı-zemin etkileşimi üzerine çalışma yapmıştır. YSA modelinden istifade ederek yapı davranışı üzerinde farklı zemin özellikleri ve yerel zemin tabaka kalınlıklarının etkisini incelemiştir. Zemin özellikleri, yerel zemin tabaka kalınlığı ve bina kat adedini değişken olarak analizler gerçekleştirmiş ve binaların son kat yatay yer değiştirme, ivme ve periyot değerlerinin değişimi üzerine çalışma yürütmüştür [9].

Zehra Ş.Garip çalışmasında depreme maruz kalan betonarme yapıların davranışına zemin özelliklerinin etkisini sonlu elemanlar metodundan istifade etmiş, iki boyutlu ve lineer çözümlene yaparak incelemiştir. Yapının yer değiştirmesinde ve yer altı su seviyesinin bulunmasında etkili olduğunu gözlemlemiş, rezonansın önemini ve üst yapının rezonansa yol açmayacak şekilde modellenmesi gerektiğini belirtmiştir [10].

1.2. Amaç ve Kapsam

Bu çalışmadaki amaç, özellikle yüzeye yakın yumuşak zeminler üzerinde inşa edilen ve depreme maruz kalan betonarme binaların deprem davranışına bodrum kat etkisini incelemektir. Bu amaçla yapı-zemin modelleri oluşturulmuş ve bu modellerin zaman tanım alanındaki dinamik analizleri sonlu elemanlar yöntemine dayalı olarak çalışan PLAXIS paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada özellikle zemin tabakalarının doğrusal olmayan davranış özelliklerinin de dikkate alınmasıyla gerçek zemin davranışı modellenmeye çalışılmıştır. Yapı-zemin modellerinin üst yapıları 2-3-4-5-6-8 katlı olmak üzere bodrumlu ve bodrumsuz olarak oluşturulmuştur. Yapı davranışlarını karşılaştırabilmek amacıyla aynı özelliklerdeki üst yapılar sert zemin koşulları içinde gerçekleştirilmiştir. Yapı temellerinin düşey yer

değiştirmesi (temel oturmaları) ve üst yapıların yatay yer değiştirmeleri grafikler halinde sunularak değerlendirilmiştir.

Çalışmanın birinci bölümünde konuya ait genel bilgilere ve geçmişte gerçekleştirilen konuyla ilgili çalışmalara yer verilmiştir.

İkinci bölümde yapı-zemin etkileşimi detaylı irdelenmiş, yapı-zemin etkileşimi problemleri ve çözüm yolları üzerine bilgilendirme yapılmıştır.

Üçüncü bölümde sonlu elemanlar yöntemi ve PLAXIS paket programı hakkında bilgi verilmiştir.

Dördüncü bölümde yapı-zemin modellerinin dinamik analiz sonuçları grafikler halinde sunularak değerlendirilmiştir.

Beşinci bölümde ise sonuçlar ve öneriler sunulmuştur.

BÖLÜM 2. ZEMİN YAPI ETKİLEŞİMİ

Aralarında zayıf veya kuvvetli bağlar bulunan ve kendi aralarında etkileşim halinde bulunan sistemler “Bileşik sistemler” olarak adlandırılır. Bu sistemlerde çözüme gidildiğinde sistemlerin hiçbiri diğerinden ayrı çözülemez ve de diferansiyel denklem düzeyinde bulunan bağımsız değişkenler ihmal edilemez. Analiz yapılırken her sistemin birbirinden ayrı olarak değerlendirilmesi yapılır ve sonuçlar ışığında sistemlerin birbirine olan etkileri göz önüne alınarak çözüme gidilir. Bileşik sistemler yaygın olarak iki grup halinde incelenir [11].

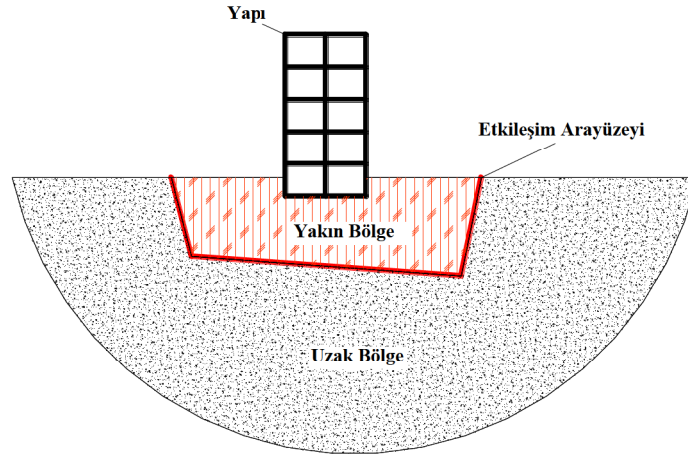
- a) Sadece yüzeyler yolu ile oluşan birleşik sistemler. Akışkan yapı etkileşimi örnek gösterilebilir.
- b) Farklı alanların (sistemlerin) tamamen ya da kısmen iç içe veya üst üste gelmesiyle oluşan bileşik sistemlerdir. Yapı-zemin etkileşimi buna örnek olarak gösterilebilir.

Bu çalışmada deprem etkisine maruz kalan betonarme üst yapıların yapı-zemin etkileşimi inceleyeceğinden “b” grubuna giren bileşik sistem problemleri incelenecektir.

Yapı-zemin sisteminde kuvvet ve yüklemeler, hesap kolaylığı sağlamak amacıyla çeşitli gruplara ayrılıp, değişik şekillerde modellenen ortamlar aracılığıyla iletilir.

Sınırsız Ortam: Herhangi bir çalışma sırasında zemin ortam boyutları sonsuz olarak kabul edilmektedir. Bileşik sistem analizinde sınırsız ortamları gerçek boyutlarıyla modelleme imkanımız olmadığından belirli bir bölge referans kabul edilerek problem kurgulanır. Sınırsız ortam, yapının dinamik rijitlik matrisine empedans katsayılarının dahil edilmesiyle karakterize edilir [10]. Sonsuz ve yarı sonsuz ortam analizleri

yapılırken depremler, yer altı patlamaları, karayolu ve demiryolu titreşimleri, vb gibi dinamik yüklemeler sınırsız ortam yoluyla tanımlanır.



Şekil 2.1. Dinamik sınırsız ortam-yapı etkileşimi [10]

Sınırlı Ortam: Yakın bölge olarakta adlandırılabilir. Yapı sınırsız ortam ile etkileşime girmektedir. Malzeme davranışlarında büyük şekil değiştirme ve gerilmelerin meydana geldiği, zemin davranışının doğrusal olmayan davranış gösterdiği kabulüyle zemin davranışının doğrusal davranış sergilediği etkileşim ara yüzeyine kadar olduğu kabul edilen bölgedir.

Yapıda sınırsız ortam ile etkileşimde burada olmaktadır. Malzeme davranışı açısından da gerilme ve şekildeğiştirmelerin yüksek değerlere ulaştığı, doğrusal olmayan davranış gösterdiği kabulü yapılan ve zeminin doğrusal davranışa başladığı etkileşim ara yüzeyine kadar olan bölgedir.

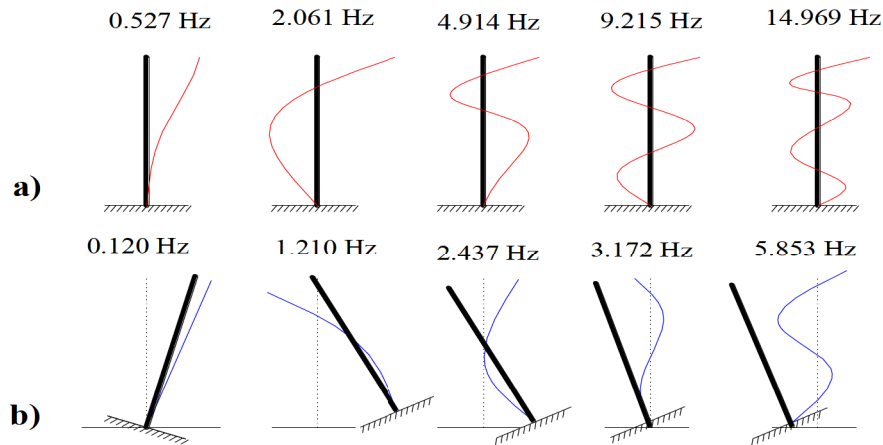
Etkileşim Arayüzeyi: Yapı zemin etkileşiminin analizi uygun biçimde modellenmesini gerektiren ara yüzeyini içerir. Sınırsız ortam ve etkileşim ara yüzeyinin etkileştiği kurgusal yüzeydir. Yapı-zemin problemleri çözülürken dinamik özellikler burada tanımlanır [10].

Sınırlı ya da sınırsız ortamlarda hesap yapılırken her iki ortam birlikte düşünülür. Sisteme zamana bağlı yük etkimektedir. Dinamik açıdan sınırsız ortam ile etkileşime

girer. Dolayısıyla sınırsız ortamlarda yapı-zemin etkileşim probleminin çözümü en iyi dinamik etkileşim analizi ile kurgulanabilir.

Yakın bölge ve yapının kendisi doğrusal olmayan davranış gösterir. Yarı sonsuz sınırsız zemin ortamının ise doğrusal davranış gösterdiği kabulü yapılır. Zemin davranışının doğrusal olmayan davranıştan, doğrusal davranışa geçiş yaptığı etkileşim ara yüzeyine kadar olan bölgenin yapı ile bitişik sınırlı zemin ortamının büyüklüğü olarak kabul edilir[6].

Bir yapının üst yapı, deprem kaynağı temel özellikleri, zemin şartları gibi sismik davranışını etkileyen unsurlar vardır. Yapı-zemin etkileşimi yapının kütle ve rijitliğine etki ederek, sistemin frekans ve mod şekilleri üzerinde etki yapmaktadır. YZE göz önüne alınarak Şekil 2.2 incelendiğinde ankastre zeminde; kayma dalga hızı m/s olan 12 katlı bir kulenin frekansları mod şekilleri görülmektedir [9].



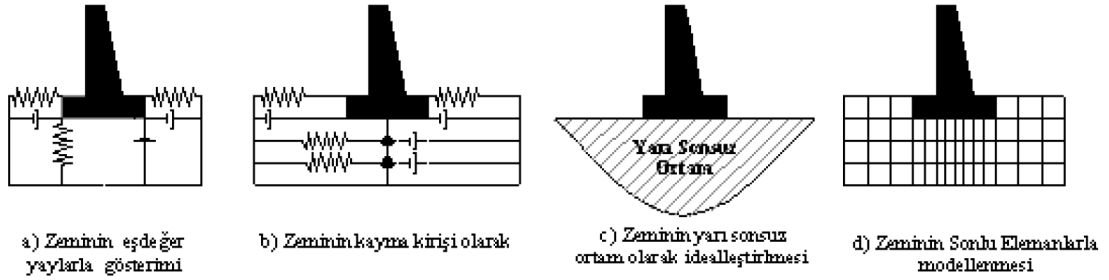
Şekil 2.2. 12 Katlı bir sistemde zeminin (a) rijit (b) zemin kayma dalgası hızı 50 m/sn olması durumunda ilk beş mod şeklinin ve frekansının değişimi

Tasarım aşamasında genel olarak yapının zemine rijit bağlı olduğu kabulü yapılmaktadır. Tek başına bu çözüm için yeterli değildir. Gerçekte olduğu gibi hesaplamalarda da YZE dikkate alınmalıdır.

2.1. Yapı–Zemin Etkileşim Problemlerinde Çözüm Yöntemleri

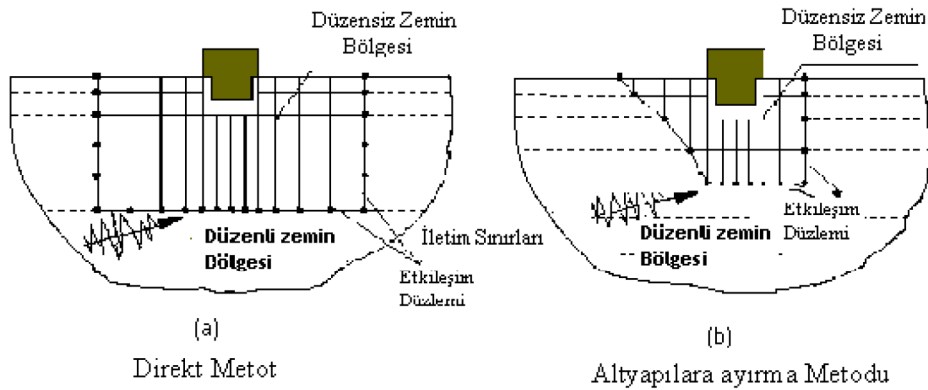
Yapı-zemin etkileşim problemi, sınırsız zemin ortamında dinamik enerjinin yayılması, zemin sönümünün yapısı, yapının zeminin davranışını etkilemesi, sismik yükler altında zeminin sıvılaşma potansiyeli, zeminin doğrusal olmayan davranışı gibi durumlardan ötürü çözümü son derece karmaşık bir problemdir. Ayrıca zemindeki süreksizlikler, zeminin yarı sonsuz bir ortam olması, zemindeki tabakalaşma ve bu tabakaların değişkenliği, zemindeki yeraltı sularının varlığı, zeminin çekme gerilmesine karşı dayanıksız bir malzeme olması gibi olgular yapı zemin etkileşim problemlerini klasik analiz problemlerinden farklılaştıran özelliklerdir.

YZE değerlendirilirken zemin ortamı çeşitli şekillerde modellenmekte ve çeşitli hesap yöntemlerinden faydalanılmaktadır. Yapı-zemin etkileşiminin göz önüne alındığı analizlerde, kayma kirişi, zemin yay, yarı sonsuz ortam olarak modellenebilmektedir (Şekil 2.3). Analiz için seçilen matematik modeli çeşitli avantaj ve dezavantajlar taşımaktadır [13].



Şekil 2.3. Zemin modelleme şekilleri [10]

Dinamik zemin yapı sistemi analizleri genellikle a) Direkt metot ve b) Çok Adımlı Çözüm Yöntemleri adlı iki metottan faydalanılarak yapılmaktadır (Şekil 2.4). Bu çalışmada zemin sonlu elemanlar yöntemi yardımıyla modellendiğinden direkt metot kullanılmıştır Sadece bu metodun açıklanmasıyla devam edilecektir.

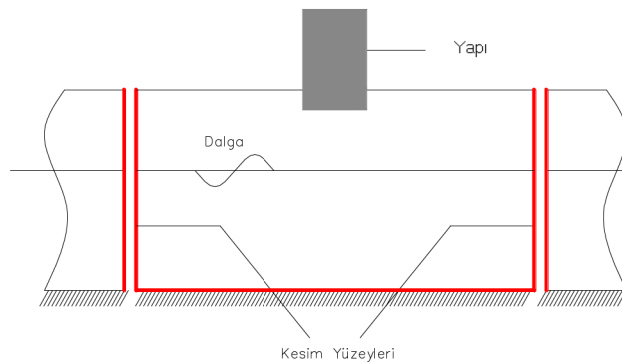


Şekil 2.4. Yapı zemin etkileşim analiz metodları [1]

2.1.1. Direkt metot

Bu metotta dinamik yükleme etkisi altında zemin yapı sisteminde, yer değiştirme, mod şekilleri ve kesit tesirleri zaman ve frekansa bağlı olarak tek adımda SEM kullanılarak bulunmaktadır. Zamana bağlı çözümlerde ise hareket denklemi, modal analiz ve direkt integrasyon yönteminden istifade edilmektedir. Frekans uzayında, hareket denklemi frekansın bir fonksiyonu olarak çözülür, ardından Fourier dönüşümü uygulanarak zamana bağlı değerler elde edilir[10].

Sonsuza uzanan zemin, kesim yüzeyleri ile kesilerek (Şekil 2.5) kesim yüzeylerine yarı sonsuz zeminin özelliklerini taşımasını sağlayacak özel sınır şartları konur.



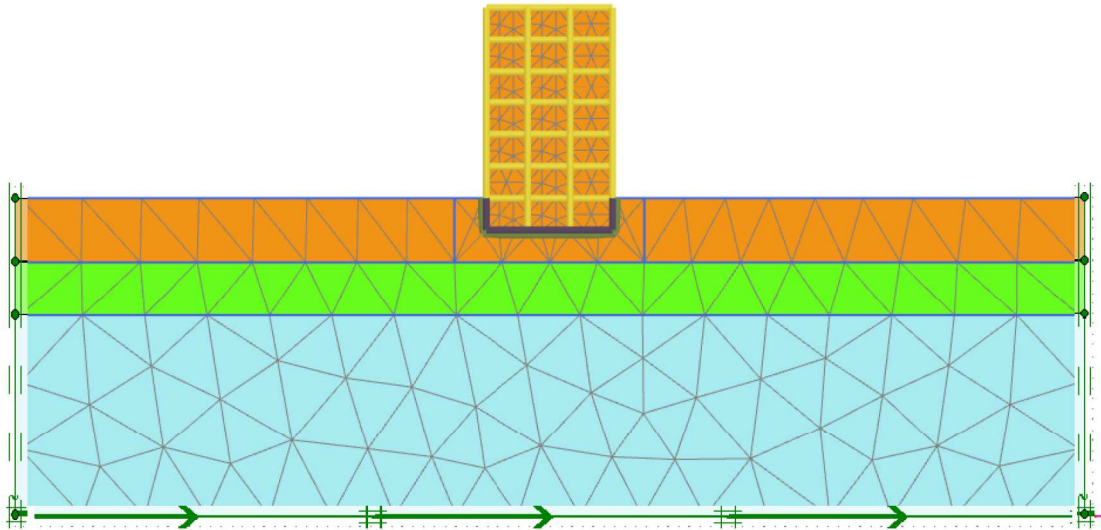
Şekil 2.5. Zemin yüzeylerinin kesilmesi [10]

Direkt analiz metodunda, gerçeğe yakın sonuçlar elde edilebilmesi için kesim yüzeylerinin seçimi maksadıyla kesim sınırlarının özel sınır şartları ile dalga geçirirliğini sağlayacak şekilde, denemeler yapıp uygun ölçüler seçilmelidir.

Direkt metot kullanılarak sistemin doğrusal olmayan özelliğinin analizi çok iyi şekilde sağlanabilmektedir.

2.1.2. Viskoz sınır şartı

Viskoz sınır şartı, yapıdan belirli bir mesafeden sonra kesilmesiyle elde edilen zeminin sınır yüzeylerine uygulanmaktadır [14]. Viskoz sınır şartının kullanılabilmesi için, düzlem dalga yayılışının izotrop olması ve lineer elastik bir ortamda gerçekleşebilmelidir. Ayrıca dalgaların sınıra çarpma açısını küçültmek için yapay sınırların yapıdan oldukça uzak bir bölgede tanımlanması gerekmektedir. Bunu sağlamak için yakın bölge çok daha yoğun olarak sonlu elemanlarla modellenerek temsil edilmektedir(Şekil 2.6). Özellikle büyük ölçekli problemlerde eleman sayısı artmakta ve bu da bilinmeyen sayısını arttırarak çözümü güçleştirmekte ve çözüm süresini arttırmaktadır.



Şekil 2.6. Direkt metotta sınır şartları (viskoz sınırlar)

Dinamik analizlerde modellemesi yapılan viskoz sınır şartı efektif rijitlik ve efektif sönüm değerlerini tanımlamaktadır. Efektif rijitlik tanımlanırken ilgili noktanın bir birimlik yerdeğiştirmesi için gereken kuvvet alınmıştır.

Efektif sönüm:

$$c = \rho V_s A \quad (2.1)$$

ρ , birim hacim ağırlık, V_s , zeminin kayma dalga hızı ve A ise etkili alandır.

Zeminin kayma dalgası;

$$V_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (2.2)$$

G , zeminin kayma modulüdür ve bu değer;

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (2.3)$$

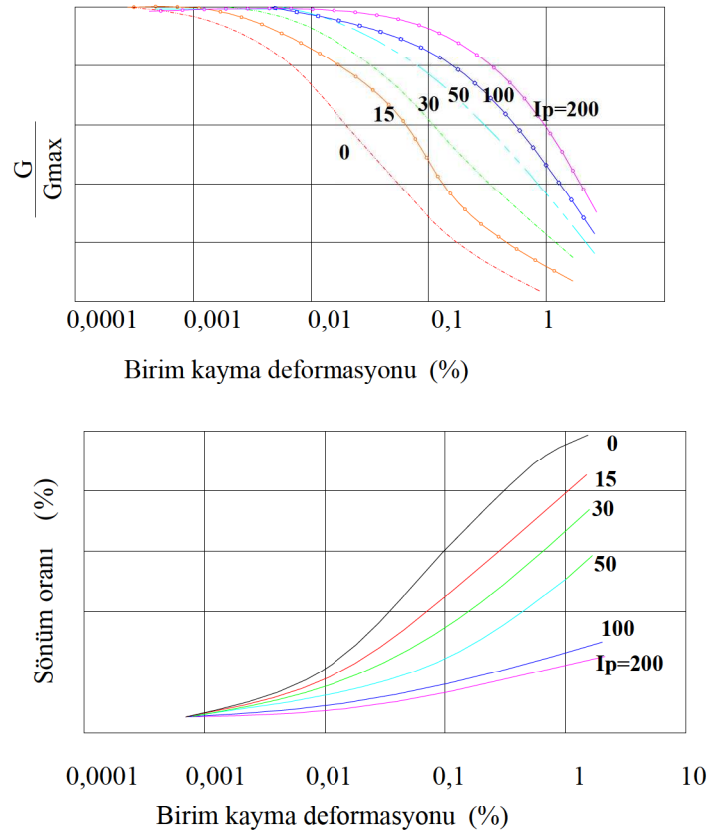
olarak tanımlanmıştır. Burada E , zeminin elastisite modülüdür [22].

2.2. Yerel Zemin Koşulları

Deprem hareketi altında, yapılarda hasara neden olan en önemli faktörlerden birisi de yerel zemin koşullarıdır. Deprem etkisi altında yerel zeminler, sıvılaşma, göçme, oturma gibi nedenlerden dolayı yapısal hasarlara sebep oldukları gibi yerel zeminlerin dinamik özellikleri de zeminlerin deprem hareketi altındaki davranışını belirleyerek yapı hasarları üzerinde önemli rol oynamaktadır. Zemin, yapıya etkiyen deprem ivmesini büyütürken hasarın da büyümesine neden olur. Bu olay zeminin büyütme etkisi (amplifikasyon) olarak tarif edilir.

Yapı-zemin etkileşimi için seçilen analitik ve matematik modeller, yerel zemin koşullarının zeminlerin dinamik karakteristiklerine ve rijitliklerine bağlı olduğu için yapı özellikleriyle birlikte zemin özelliklerini de hassasiyetle yansıtmaktadır.

Plastisite indisi, kayma modülü ve sönüm oranı zeminlerin dinamik yükleme etkisindeki en önemli dinamik özellikleridir. Sönüm oranı ve kayma modülü belirlenmesinde başlıcaları arazi ve laboratuvar deneyleri olmak üzere çeşitli yöntemler [16] geliştirilmiştir (Şekil 2.7). Plastisite indisinin maksimum kayma gerilmesi (G_{max}) ve sönüm oranına göre değişimini inceleyerek, sönüm oranı ile plastisite indisi arasında ters orantılı bir ilişki olduğunu ortaya koydular. Zeminin dinamik davranışı, kalıcı yer değiştirmeler olmadığı takdirde, zeminin kayma modülü ve sönüm karakteristiklerine bağlı olarak hesaplanabilir [16].

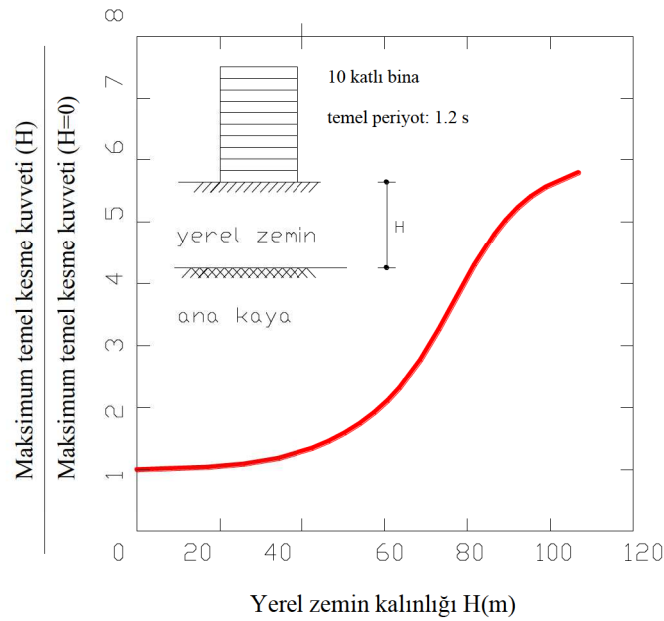


Şekil 2.7. Birim kayma deformasyonunun kayma modülü ve sönüm oranına göre değişimi [16]

2.2.1. Yerel zemin kalınlığı

Yerel zemin tabaka kalınlıkları üst yapıda oluşan hasarları etkileyen çok önemli bir faktördür. Yerel zemin tabaka kalınlığının yapı ve zemin özelliklerine bağlı olarak üst yapıda farklı kesit tesirlerine sebep olduğu görülmüştür[10].

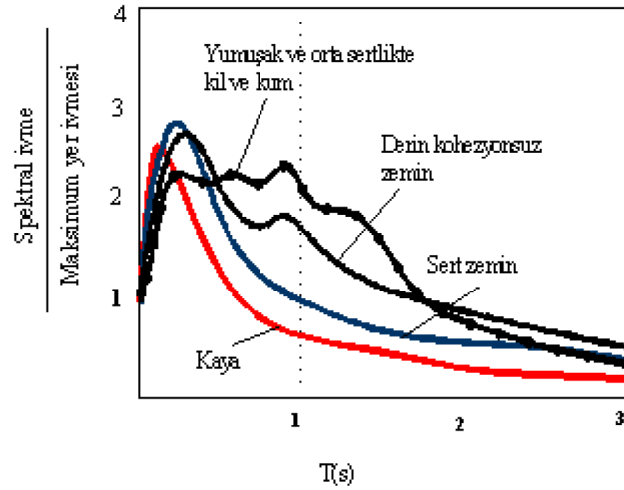
Yerel zemin kalınlığına bağlı olarak, yapı elemanlarındaki yer değiştirme, ivme, maksimum taban kesme kuvveti ve taban devrilme momenti de etkilenmektedir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Yerel Zemin kalınlığının maksimum temel kesme kuvvetine etkisi [24].

2.2.2. Zemin spektrumları

Zeminlerin farklılaşmasıyla spektrum eğrileri de farklılaşır, özellikle periyot 0,5 saniyeden büyükse spektrum eğrilerinde ciddi farklar oluşur (Şekil 2.9)[10]. Spektral değerlerin, yumuşak ve orta sertlikteki kil dolgusu ve kohezyonsuz zeminlerde, 0.5 sn'den büyük periyotlar için, sert zeminler ve kayaya göre daha büyük olduğu görülmektedir. Bu durum söz konusu zeminlerin uzun periyoda ait titreşim bileşenlerinin daha büyük oranlarda yer hareketi ile etkileşime girdiğini gösterir.



Şekil 2.9. Değişik zeminler için spektral ivme periyot ilişkisi [10]

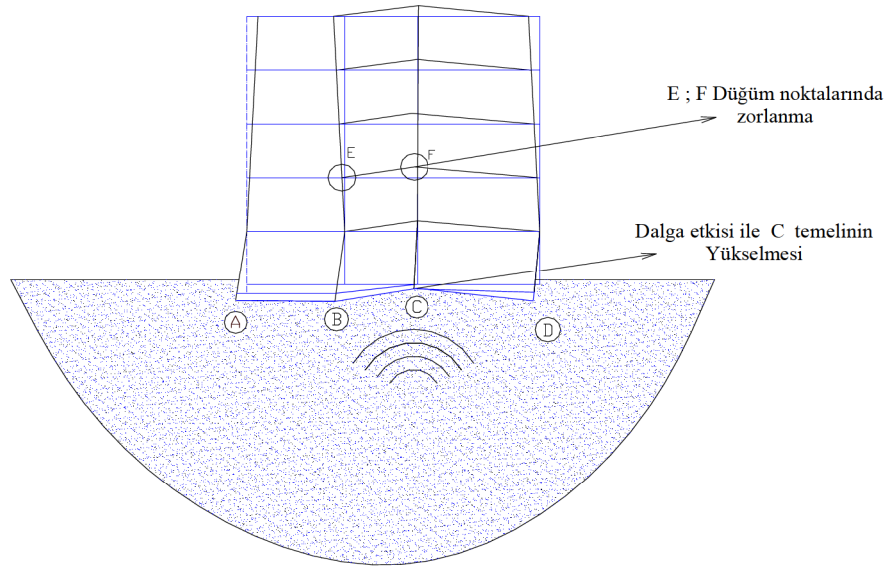
2.2.3. Zemin periyodu ve zemin özelliklerinin üst yapıya etkisi

Deprem dalgaları etkisiyle yapı ve zemin salınımına başlar. Yapı ve zeminin periyotlarının yaklaşık olarak aynı olması halinde yapı ve zemin arasında rezonans olarak adlandırılan durum meydana gelir ve yapıda ciddi hasarlara sebebiyet verir.

Deprem dalgalarının periyotları merkez üssünden uzaklaştıkça etkisini arttırarak yapılarda hasara sebep olabilmektedir. Meksika Depremi(1985) bu duruma önemli bir örnektir. Merkez üssünden 350 km uzaktaki yerleşim yerlerinde büyük çaplı hasarlar meydana gelmiştir.

2.2.4. Deprem-temel ilişkisi

Sismik tasarımlarda genel olarak yatay ivmeler dikkate alınırken, deprem dalgalarının düşey bileşenleri ihmal edilmektedir. Temelin zemine aktardığı kuvvet vektörü, maruz kaldığı düşey dalga bileşenlerinden daha büyük veya eşit ise temelde deplasman oluşmaz ve üst yapı etkilenmez. Fakat temelin maruz kaldığı kuvvet, temelin zemine aktardığı kuvvetten büyük ise gerilme farkı sebebiyle temel altında hacim artışı oluşur, buda temeli eski seviyesinden bir miktar yükselterek, üst yapıda ciddi zararlara neden olur (Şekil 2.11) [17].



Şekil 2.10. Herhangi bir temelde meydana gelen yer değiştirmenin tüm sistemi etkilemesi [17]

2.2.5. Zemin sıvılaşması

Zemin sıvılaşması; kohezyonsuz, suya doymuş, uygun dane dağılımına sahip zeminlerde yer hareketleriyle danelerin birbirine yaklaşmaya çalışması sonucu arasında bulunan suyun herhangi bir yere gitmesinin mümkün olmadığı durumlarda ortaya çıkmaktadır. Dinamik yüklemenin ardından daneler arasında hidrostatik basınç yükselmekte ve bu yükselişin düşey doğrultuda etkisini gösteren jeolojik basınca eşitlenmesiyle sıfırlanan efektif gerilmelerin zeminin sıvı gibi davranmasına yol açması sonucu meydana gelmektedir [17]. Genellikle bu olayla suya doymuş kalın kum tabakalarının bulunduğu bölgelerde karşılaşmaktayız. Zemin sıvılaşmasının olumsuz sonuçları yakın geçmişimizde örneğin 1999 Marmara Depremi'nde görülmüştür (Şekil 2.11). Üst yapının deprem yönetmeliğine uygun olarak yapılması halinde dahi sıvılaşma sonucunda yapılar kullanılamaz hale gelebilmektedir.



Şekil 2.11. Marmara (1999) depreminde sivilaşma sebebiyle meydana gelen yapı hasarları

3. SONLU ELEMANLAR VE PLAXIS PROGRAMI

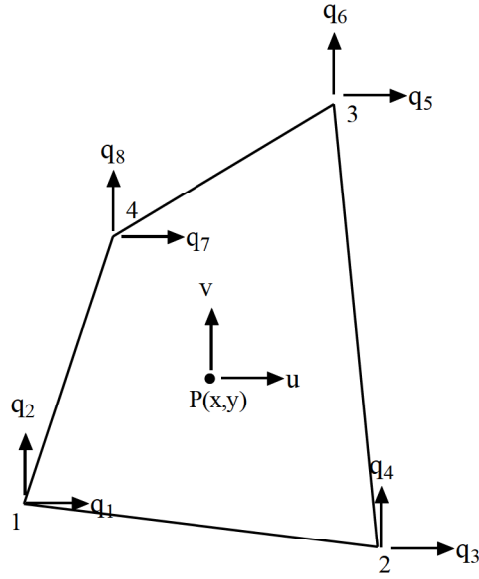
3.1. Sonlu Elemanlar

Sonlu elemanlar yöntemi, mühendislik problemlerinin sayısal çözümünde yaygın bir şekilde kullanılan çok güçlü bir araçtır. Sonlu elemanlar yönteminin uygulama alanları otomotiv, uçak, yapı elemanları, betonarme ve çelik yapılar gibi mühendislik alanının birçok sahasını içermektedir. Deformasyon, gerilme analizi, ısı akışı, akışkan akışı, magnetik akış, sızıntı ve diğer akış problemlerinin alan analizleri gibi birçok analiz yöntemini kuşatır.

Sonlu elemanlar yönteminde, bir sürekli ortamı tanımlayan kompleks bir bölge, sonlu elemanlar adı verilen basit geometrik şekillere bölünmektedir. Malzeme özellikleri ve çözüm bağıntıları, bu sonlu elemanlar üzerinde düşünülmekte ve her sonlu elemanın köşelerindeki düğüm noktalarında bilinmeyen değerler cinsinden ifade edilmektedir. Sınır şartları ve yüklemelerin uygun bir şekilde göz önüne alınmasıyla denklemler sistemi elde edilmekte ve ortamın yaklaşık olarak davranışı bu denklemlerin çözümü ile elde edilmektedir [2].

Sonlu elemanlar yönteminde çözümler, yapıyı meydana getiren her eleman için ayrı ayrı formüle edilmekte ve bu sonuçlar bir araya getirilerek tüm yapının davranışı elde edilmektedir. Böylelikle yapılacak işlem sayısı, temel yapıyı oluşturan sonlu eleman sayısına bağlı olarak artmasına rağmen analiz yöntemi oldukça basitleştirilmektedir. Bu nedenle gereken işlemler ancak bilgisayarlar yardımıyla yapılabilmektedir. Sonlu elemanlarda genellikle iki boyutlu üçgen veya dörtgen elemanlar kullanılmaktadır.

3.2. İki boyutlu İzoparametrik Elemanlar



Şekil 3.1 Dört noktalı izoparametrik eleman

3.2.1. Şekil fonksiyonları

Burada, lokal eksen takımı ξ, η ile, global eksen takımı x, y ile tanımlanmıştır. Şekil fonksiyonları kurulurken Lagrange şekil fonksiyonu $N_i=1$, i noktasında birim şekil değiştirme ve diğer noktalarda sıfır yazılarak elde edilir:

$$N_1 = 1 \quad (1 \text{ nolu düğümünde})$$

$$N_1 = 0 \quad (2, 3 \text{ ve } 4 \text{ nolu düğümlerde})$$

$$N_1 = \alpha_1 + \alpha_2 \xi + \alpha_3 \eta + \alpha_4 \xi \eta$$

$$N_1 = c(1 - \xi)(1 - \eta) \quad (3.2)$$

$$1 = c[1 - (-1)][1 - (-1)]$$

$$1 = c(2)(2) \quad c = 1/4 \quad (3.3)$$

1.düğüm noktası için şekil fonksiyonu

$$N_1 = 1/4(1 - \xi)(1 - \eta) \quad (3.4)$$

olarak tanımlanır ve kalan tüm noktalar için de aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$N_2 = 1/4(1 + \xi)(1 - \eta)$$

$$N_3 = 1/4(1 + \xi)(1 + \eta) \quad (3.5)$$

$$N_4 = 1/4(1 - \xi)(1 + \eta)$$

$$N_i = 1/4(1 + \xi\xi)(1 + \eta\eta)$$

ξ_i, η_i i noktasının koordinatlarıdır.

Yer değiştirme terimini Noktasal değerlerle tanımlarsak:

$$u = \sum N_i q_i \quad (3.6)$$

$$u = N_1 q_1 + N_2 q_3 + N_3 q_5 + N_4 q_7$$

$$v = N_1 q_2 + N_2 q_4 + N_3 q_6 + N_4 q_8 \quad (3.7.a)$$

matris formunda yazılışı:

$$u = Nq \quad (3.7.b)$$

$$u = [u, v]^T$$

$$\mathbf{q} = [q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, \dots, q_8]^T$$

$$\mathbf{N} = \begin{bmatrix} N_1 & 0 & N_2 & 0 & N_3 & 0 & N_4 & 0 \\ 0 & N_1 & 0 & N_2 & 0 & N_3 & 0 & N_4 \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

İzoparametrik formülasyonda, değiştirme fonksiyonları N_i , ayrıca noktasal koordinatlı bir elemanın bir noktasının koordinatlarını da ifade eder.

$$x = N_1x_1 + N_2x_2 + N_3x_3 + N_4x_4$$

$$y = N_1y_1 + N_2y_2 + N_3y_3 + N_4y_4 \quad (3.9)$$

$$u = \sum N_i u_i \quad x = \sum N_i x_i$$

$$v = \sum N_i v_i \quad y = \sum N_i y_i$$

$$\mathbf{f} = \mathbf{f}_{(x,y)}$$

$$\begin{matrix} x^{(\xi,\eta)} \\ y^{(\xi,\eta)} \end{matrix} \Rightarrow \mathbf{f} = \mathbf{f}[x^{(\xi,\eta)}, y^{(\xi,\eta)}]$$

türevlemenin zincir kuralından hareketle;

$$\frac{\partial \mathbf{f}}{\partial \xi} = \frac{\partial \mathbf{f}}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial \xi} + \frac{\partial \mathbf{f}}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial \xi}$$

$$\frac{\partial \mathbf{f}}{\partial \eta} = \frac{\partial \mathbf{f}}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial \eta} + \frac{\partial \mathbf{f}}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial \eta} \quad (3.10)$$

ya da

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial f}{\partial \xi} \\ \frac{\partial f}{\partial \eta} \end{Bmatrix} = \mathbf{J} \begin{Bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{Bmatrix} \quad (3.11)$$

şeklinde ifade edilir.

Jakobiyen matrisi

$$\mathbf{J} = \begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial \xi} & \frac{\partial y}{\partial \xi} \\ \frac{\partial x}{\partial \eta} & \frac{\partial y}{\partial \eta} \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{J} &= \frac{1}{4} \begin{bmatrix} -(1-\eta)x_1 + (1-\eta)x_2 + (1+\eta)x_3 - (1+\eta)x_4 & -(1-\eta)y_1 + (1-\eta)y_2 + (1+\eta)y_3 - (1+\eta)y_4 \\ -(1-\xi)x_1 - (1+\xi)x_2 + (1+\xi)x_3 + (1-\xi)x_4 & -(1-\xi)y_1 - (1+\xi)y_2 + (1+\xi)y_3 + (1-\xi)y_4 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} J_{11} & J_{12} \\ J_{21} & J_{22} \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (3.13)$$

şeklinde ifade edilir.

(3.11) denkleminin şu şekilde tersi alınabilir;

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{Bmatrix} = \mathbf{J}^{-1} \begin{Bmatrix} \frac{\partial f}{\partial \xi} \\ \frac{\partial f}{\partial \eta} \end{Bmatrix} \quad (3.14)$$

ya da

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{Bmatrix} = \frac{1}{\mathbf{detJ}} \begin{bmatrix} J_{22} & -J_{12} \\ -J_{21} & J_{11} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{\partial f}{\partial \xi} \\ \frac{\partial f}{\partial \eta} \end{Bmatrix} \quad (3.15)$$

Bu ifadeler elemanın rijitlik matrisinde kullanılacaktır.

3.2.2. Eleman rijitlik matrisi

Dörtgen elemanın rijitlik matrisi gövdedeki gerilme enerjisinden türetilebilmektedir;

$$U = \int_v \frac{1}{2} \sigma^T \epsilon dV \quad (3.16)$$

ya da

$$U = \sum_e t_e \int_e \frac{1}{2} \sigma^T \epsilon dV \quad (3.17)$$

t_e e elemanının kalınlığını temsil etmektedir.

Gerilme ve yer değiştirme ilişkisi

$$\epsilon = \begin{Bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \\ \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \end{Bmatrix} \quad (3.18)$$

$f \equiv u$ ise denklem (3.15) de

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial u}{\partial y} \end{Bmatrix} = \frac{1}{\det \mathbf{J}} \begin{bmatrix} J_{22} & -J_{12} \\ -J_{21} & J_{11} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial \xi} \\ \frac{\partial u}{\partial \eta} \end{Bmatrix} \quad (3.19.a)$$

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial v}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \end{Bmatrix} = \frac{1}{\det \mathbf{J}} \begin{bmatrix} J_{22} & -J_{12} \\ -J_{21} & J_{11} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{\partial v}{\partial \xi} \\ \frac{\partial v}{\partial \eta} \end{Bmatrix} \quad (3.19.b)$$

olur.

Denklem (3.18) ve (3.19.a,b)

$$\varepsilon = A \begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial \xi} \\ \frac{\partial u}{\partial \eta} \\ \frac{\partial v}{\partial \xi} \\ \frac{\partial v}{\partial \eta} \end{Bmatrix} \quad (3.20)$$

A;

$$A = \frac{1}{\det \mathbf{J}} \begin{bmatrix} J_{22} & -J_{12} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -J_{21} & J_{11} \\ -J_{21} & J_{11} & J_{22} & -J_{12} \end{bmatrix} \quad (3.21)$$

olur.

Enterpolasyon denklemleri (3.7a) dan

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial \xi} \\ \frac{\partial u}{\partial \eta} \\ \frac{\partial v}{\partial \xi} \\ \frac{\partial v}{\partial \eta} \end{Bmatrix} = \mathbf{Gq} \quad (3.22)$$

$$\mathbf{G} = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} -(1-\eta) & 0 & (1-\eta) & 0 & (1+\eta) & 0 & -(1+\eta) & 0 \\ -(1-\xi) & 0 & -(1+\xi) & 0 & (1+\xi) & 0 & (1-\xi) & 0 \\ 0 & -(1-\eta) & 0 & (1-\eta) & 0 & (1+\eta) & 0 & -(1+\eta) \\ 0 & -(1-\xi) & 0 & -(1+\eta) & 0 & (1+\xi) & 0 & (1-\xi) \end{bmatrix} \quad (3.23)$$

(3.20) ve (3.22) denklemleri

$$\varepsilon = \mathbf{Bq} \quad (3.24)$$

$$\mathbf{B} = \mathbf{AG} \quad (3.25)$$

ifadeleri elde edilir.

Gerilme denklemi ise

$$\sigma = \mathbf{DBq} \quad (3.26)$$

Olur.

D matrisinin boyutu 3×3 dür.

(3.17) denkleminde verilen gerilme enerjisi

$$U = \sum_e \frac{1}{2} \mathbf{q}^T \left[t_e \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \mathbf{B}^T \mathbf{DB} \det J d\xi d\eta \right] \mathbf{q} \quad (3.27.a)$$

$$= \sum_e \frac{1}{2} \mathbf{q}^T \mathbf{k}^e \mathbf{q} \quad (3.27.b)$$

$$\mathbf{k}^e = t_e \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \mathbf{B}^T \mathbf{D} \mathbf{B} \det J d\xi d\eta \quad (3.28)$$

3.3. Plaxis Programı

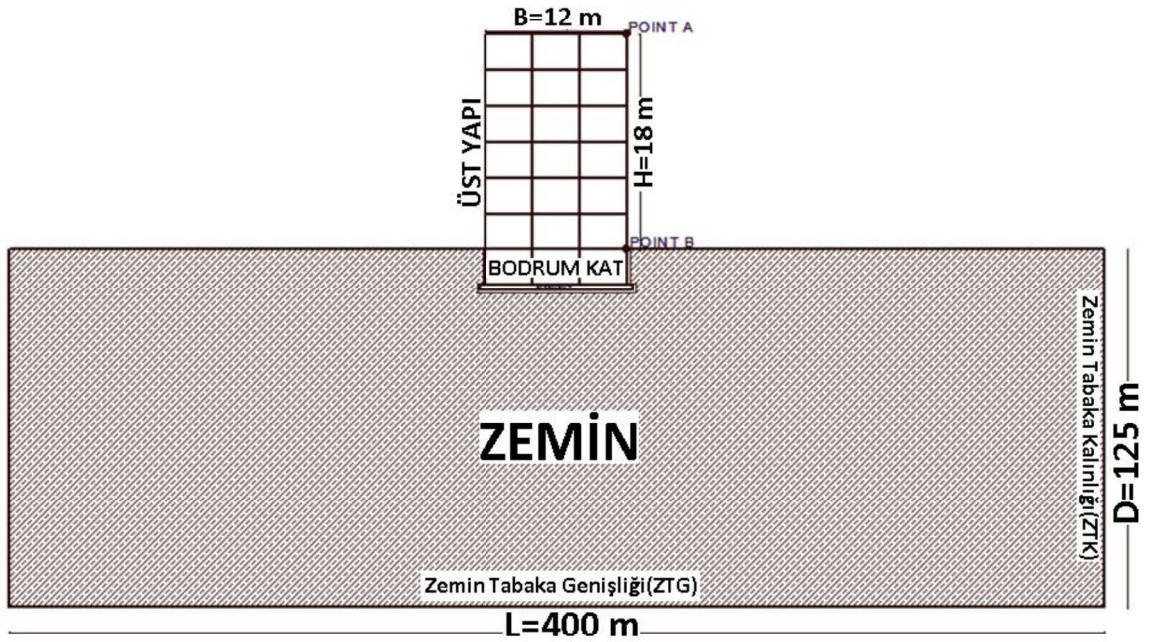
Bu çalışmada sonlu elemanlar yöntemine dayalı olarak çalışan Plaxis (Finite Element Code for Soil and Rock Analysis) paket programı kullanılmıştır. Bu program 1987 yılında yumuşak zemin üzerindeki dolguların sonlu elemanlar yöntemi ile analizlerinin gerçekleştirilebilmesi amacıyla Hollanda Delf Üniversitesi'nde geliştirilmiştir. Daha sonra programda güncellemeler yapılarak 1993 yılında ticari bir yazılım haline dönüştürülmüş ve 1998 yılında programın Windows sürümü piyasaya sürülmüştür. Günümüzde dinamik analizler, deformasyon analizleri, zamana bağlı davranış analizleri, stabilite analizleri, v.b yapan sonlu elemanlar paket programı olarak yaygın olarak kullanılmaktadır.

Plaxis paket programı, birçok alanda kullanılmanın yanı sıra yapı-zemin etkileşimi çalışmalarında gün geçtikçe popülerleşmektedir. Bunun en belirgin sebeplerinden biri, plaxis paket programının, üst yapının inşa edilecek olduğu zemin tabakalarına ait değerleri herhangi bir kabul yapmaksızın gerçeğe uygun modelleyebilmesidir.

Yapı-zemin etkileşimi problemlerinde zemin tabakalarının doğrusal olmayan özellikleri hesaba katılmaksızın yapılan analizlerde bulunan sonuçlar pekte tutarlı değildir. Analizler sonucunda, doğru ve güvenilir sonuçlar elde edebilmek için zemin tabakalarının doğrusal olmayan özelliklerini de dikkate alabilen bir programdan istifade edilmelidir. Bu sebeplerden ötürü analizlerimizde Plaxis paket programından istifade edilmiştir.

BÖLÜM 4. SAYISAL ÖRNEKLER

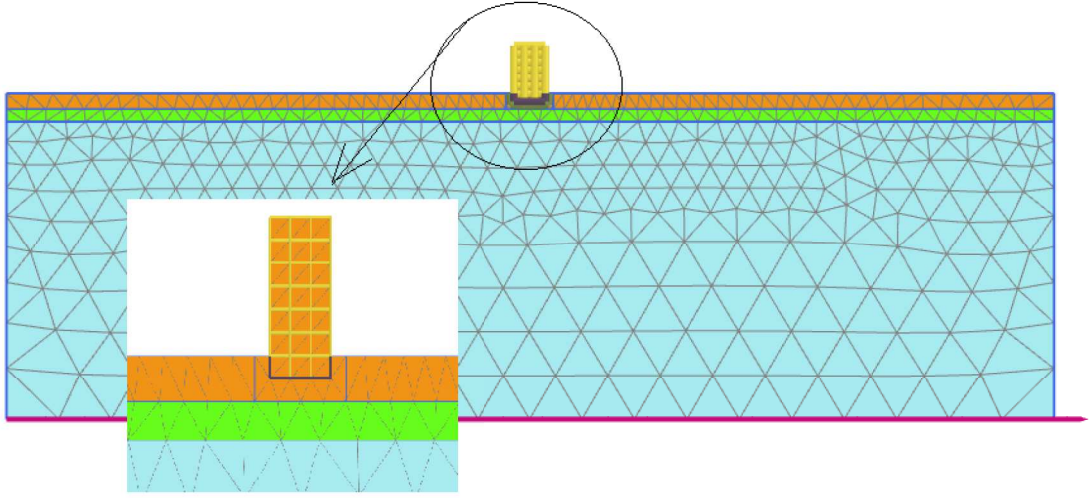
Bu çalışmada, yumuşak zeminler üzerine inşa edilen betonarme binaların deprem davranışına bodrum katın etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla bodrum katı bulunan ve bulunmayan iki farklı gerçek yapı seçilmiş ve bu yapıların sonlu eleman prensibine dayalı yapı-zemin modelleri oluşturulmuştur. Sonlu eleman modelleri üzerinde yapı planları ve özellikleri sabit tutularak kat sayıları değiştirilmiş ve bu yapıların sert ve yumuşak zemin üzerinde bodrumlu ve bodrumsuz yapılmaları durumundaki deprem davranışları incelenmiştir.



Şekil 4.1. Yapı-zemin modeli

4.1. Yapı-Zemin Sonlu Eleman Modelleri

Yapı-zemin modeli, üst yapı ve alt yapı olmak üzere iki ana kısımdan oluşmaktadır (Şekil 4.2). Sonlu elemanlar prensibine dayalı olarak çalışan PLAXIS 2D programı kullanılarak yapı-zemin modellerinin zaman tanım alanındaki dinamik analizleri yapılmıştır.



Şekil 4.2. Yapı-zemin modelinin sonlu eleman modeli (PLAXIS 2D)

4.1.1. Yapı-zemin sonlu eleman modelinin üst yapısı

Yapı-zemin modelinin üst yapısı betonarme yapıya karşılık gelmektedir.

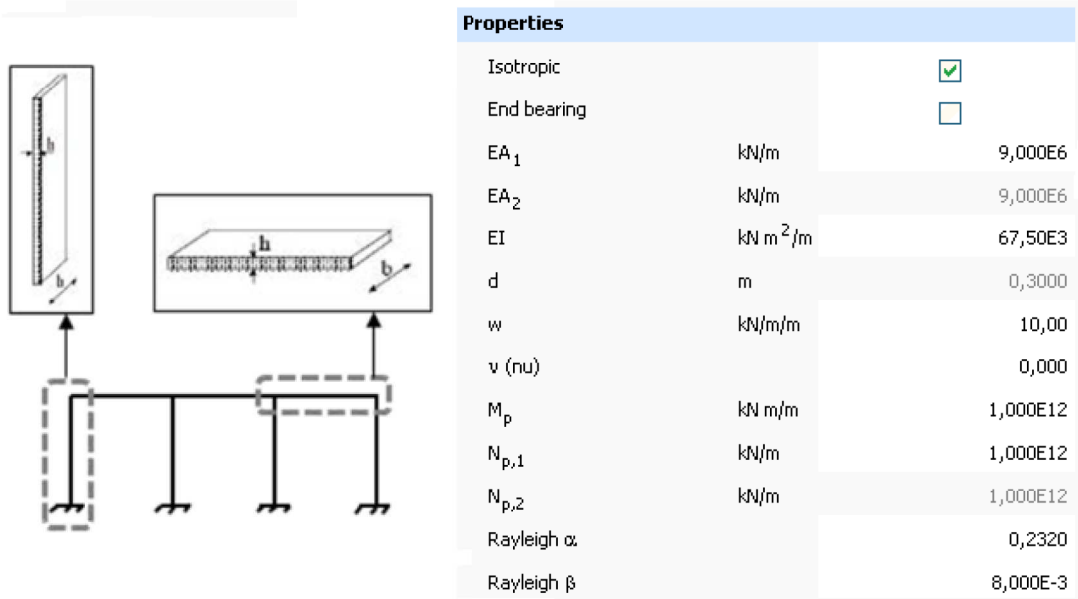
Tablo 4.1. Analizlerde kullanılan betonarme üstyapının yapı elemanlarına ait teknik özellikler

		Kolon/Kiriş	Temel
Eksenel Rijitlik	EA (kN/m)	$9,00 \times 10^6$	$12,00 \times 10^6$
Eğilme Rijitliği	EI (kNm ² /m)	$6,75 \times 10^4$	$16,00 \times 10^4$

Sonlu eleman modellerinin çözümünde kullanılacak olan PLAXIS 2D programının yapısı gereği üst yapı modelinin idealleştirilerek uygun hale getirilmesi gerekmektedir. Sayısal uygulamalarda, üstyapının oturduğu zeminin beklenen

mekanik davranışı elasto-plastik malzeme modeli ile eşleştirilmiş ve gerekli parametreler tanımlanmıştır.

PLAXIS 2D paket programında, üstyapı elemanlarında genişlikleri 1 m ve kalınlıkları d kadar olan düzlemsel rijit elemanlarla oluşturulmaktadır. Bu elemanların tanımlanabilmesi için; normal (EA) ve eğilme (EI) rijitliği, eleman kalınlığı (d) ve ağırlığı (w) program girdileri bölümüne dahil edilmektedir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Rijit eleman ve girdi parametreleri temsili gösterimi

Düzlem çerçeve sistemini meydana getiren üstyapı elemanları PLAXIS 2D paket programında rijit eleman olarak tanımlanırken, eleman rijitliklerinin aynı kalmasına özen gösterilmelidir.

Modelde dinamik davranışı değerlendirmeye tabi tutulan üstyapıda kullanılan beton sınıfı C25'tir.

Sayısal uygulamalardan sonra elde edilen bu değerlere göre, üstyapı-zemin ortak sisteminin, zaman bölgesindeki çözümü için PLAXIS 2D programında analizi gerçekleştirilmiştir. Farklı yükseklikteki yapılar için PLAXIS 2D programında

gerçekleştirilen analizlerde zemin ortamının şekil değiştirme özelliğini ifade eden zemin parametreleri dikkate alınmıştır.

PLAXIS 2D paket program yazılımı girdileri 1m kalınlığında kabul eder. Zemin tabakalarında bu durum değerleri değiştirmezken, üstyapı elemanlarında A, EA, EI da değişimler meydana gelir. Dolayısıyla, kalınlık sabit olduğundan genişlik değeri modellemede kullanılacak betonarme elemanın boyutlarından yola çıkarak hesaplanmış olan değerlerden hareketle değiştirilir. Böylece, elemana ait çözüm için gerekli verileri doğru bir şekilde elde edebiliriz.

Tablo 4.2. Yumuşak Zemin Parametreleri

Derinlik (m)	0-6	6-11	11-...
Tabaka ismi	Siltli-Kil	Yoğun Kum	Kil
Material Model	Hardening Soil Model	Hardening Soil Model	Hardening Soil Model
Material Type	Undrained	Undrained	Undrained
ρ_{unsat} (kN/m ³)	17.5	17	17
ρ_{sat} (kN/m ³)	18	18	20
e_0	0.9	0.6	0.9
E_{50}^{ref} (kPa)	5000	60000	15000
E_{oed}^{ref} (kPa)	5000	60000	15000
Power, m	0.8	0.5	0.9
c' (kPa)	10	1	20
ϕ' (°)	20	38	25
ψ (°)	0	8	0
E_{ur}^{ref} (kPa)	15000	180000	45000
U'_{ur}	0.2	0.2	0.2
p^{ref} (kPa)	100	100	100
K_n^{nc}	0.658	0.384	0.577
$c'_{increment}$ (kPa)	1	0	1
y_{ref} (m)	0	0	-11
R_f	0.9	0.9	0.9
OCR	3	2	1.5

Tablo 4.3. Sert zemin parametreleri

Derinlik (m)	0-...
Tabaka ismi	Yoğun Kum
Material Model	Hardening Soil Model
Material Type	Undrained
ρ_{unsat} (kN/m ³)	24
ρ_{sat} (kN/m ³)	26
e_0	0.6
E_{50}^{ref} (kPa)	60000
E_{oed}^{ref} (kPa)	60000
Power, m	0.5
c' (kPa)	1
ϕ' (°)	38
ψ (°)	8
E_{ur}^{ref} (kPa)	180000
ν'_{ur}	0.2
p^{ref} (kPa)	100
K_n^{nc}	0.384
$c'_{increment}$ (kPa)	0
y_{ref} (m)	0
R_f	0.9
OCR	2

4.1.2. Yapı-zemin sonlu eleman modelinin alt yapısı

Yapı-zemin modelinin alt yapısı zemine karşılık gelmektedir. Zemin alt yapı modelleri oluşturulurken yumuşak zemin literatürden (Sedat SERT,2005) seçilmiş ve bu zeminde bulunan Yer altı su seviyesi (YASS)(-15m) dikkate alınmıştır.

Tablo 4.4. Yapı-zemin sonlu eleman modellerinin matrisi

	H/B	Zemin Sınıfı	Bodrum Kat
Model 1	0,50	Sıkı kum	var
Model 2			yok
Model 3		alüvyon	var
Model 4			yok
Model 5	0,75	Sıkı kum	var
Model 6			yok
Model 7		alüvyon	var
Model 8			yok
Model 9	1,00	Sıkı kum	var
Model 10			yok
Model 11		alüvyon	var
Model 12			yok
Model 13	1,25	Sıkı kum	var
Model 14			yok
Model 15		alüvyon	var
Model 16			yok
Model 17	1,50	Sıkı kum	var
Model 18			yok
Model 19		alüvyon	var
Model 20			yok
Model 21	2,00	Sıkı kum	var
Model 22			yok
Model 23		alüvyon	var
Model 24			yok

4.2. Sonlu Eleman Modelinin Doğrulanması

Çalışmada kullandığımız sonlu eleman modellerinden elde ettiğimiz sonuçların gerçeğe uygun olup olmadıklarını anlamak maksadıyla, 1999 Marmara Depremi sonucu yüksek miktarda oturma yapan bir betonarme bina seçilmiş ve benzer bir betonarme bina programda modellenmiş ve üst yapıya 1999 Marmara Depremi etkittirilmiştir. Gerçek depremde ölçülen değerler ve programdan elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Temel taşıma gücü aşılmasına örnek ve sonlu eleman modeli

Şekilde de açıkça görüldüğü gibi, modellemesi yapılan üst yapı gerçeğe oldukça yakın sonuçlar vermiştir.

4.3. Sonlu Eleman Analiz (Plaxis) Sonuçları

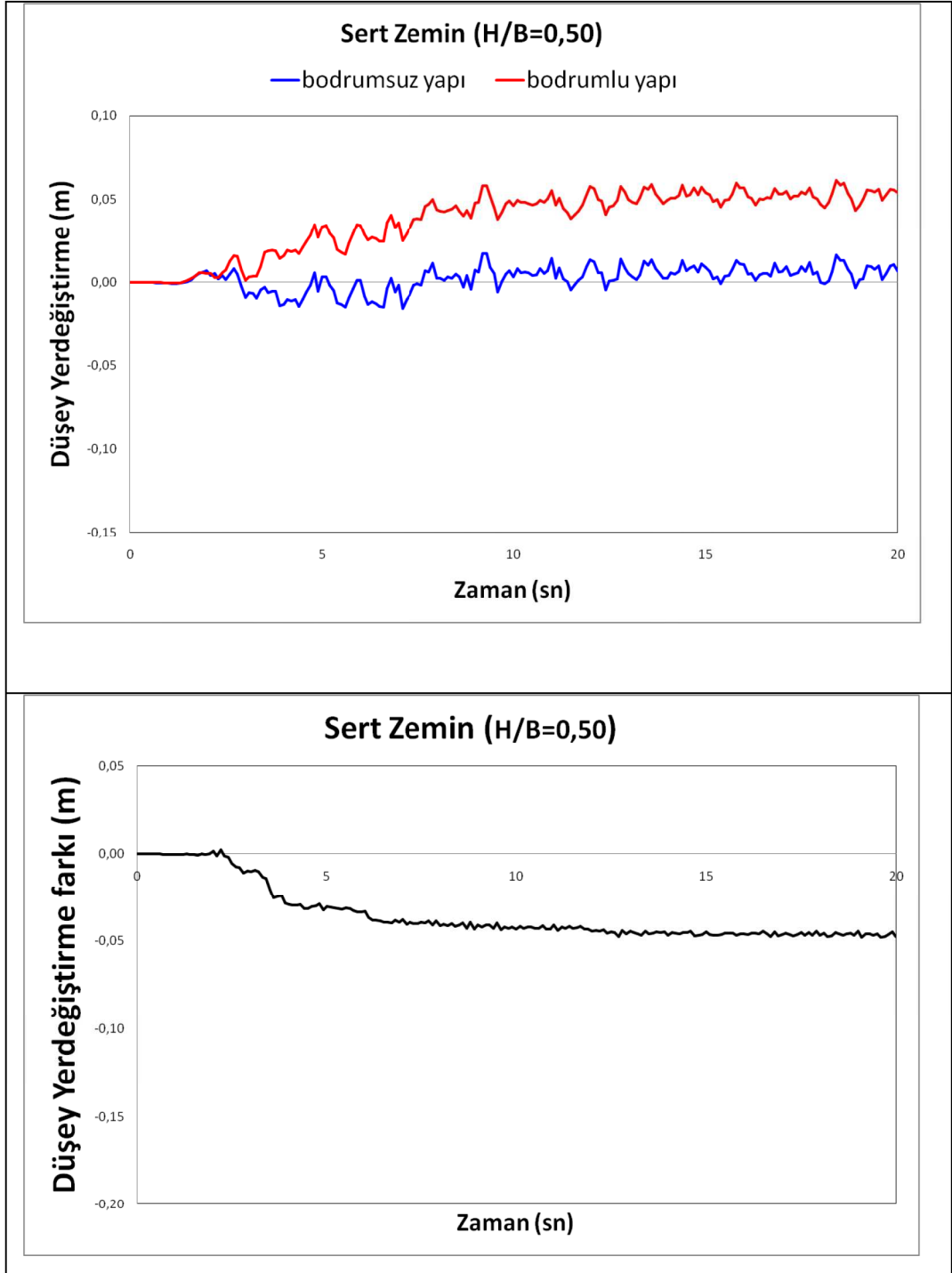
Yapı-zemin modellerinin tamamında üst yapı özellikleri sabit tutulmuş sadece bina kat sayısı değiştirilmiştir. Aynı yükseklikteki binalar yumuşak ve sert zemin üzerine her biri bodrumlu ve bodrumsuz olmak üzere inşa edilmiş ve kullanılan programın zemin tabakalarının doğrusal olmayan özelliklerini de dikkate alarak çözüm yapabilme kabiliyeti vasıtasıyla gerçeğe en yakın sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır.

Her bir yapı tipi bünyesinde barındırdığı kat sayısına göre gruplara ayrılmış ve bu gruplar kendi aralarında birbirleriyle kıyaslanarak yorumlanmıştır.

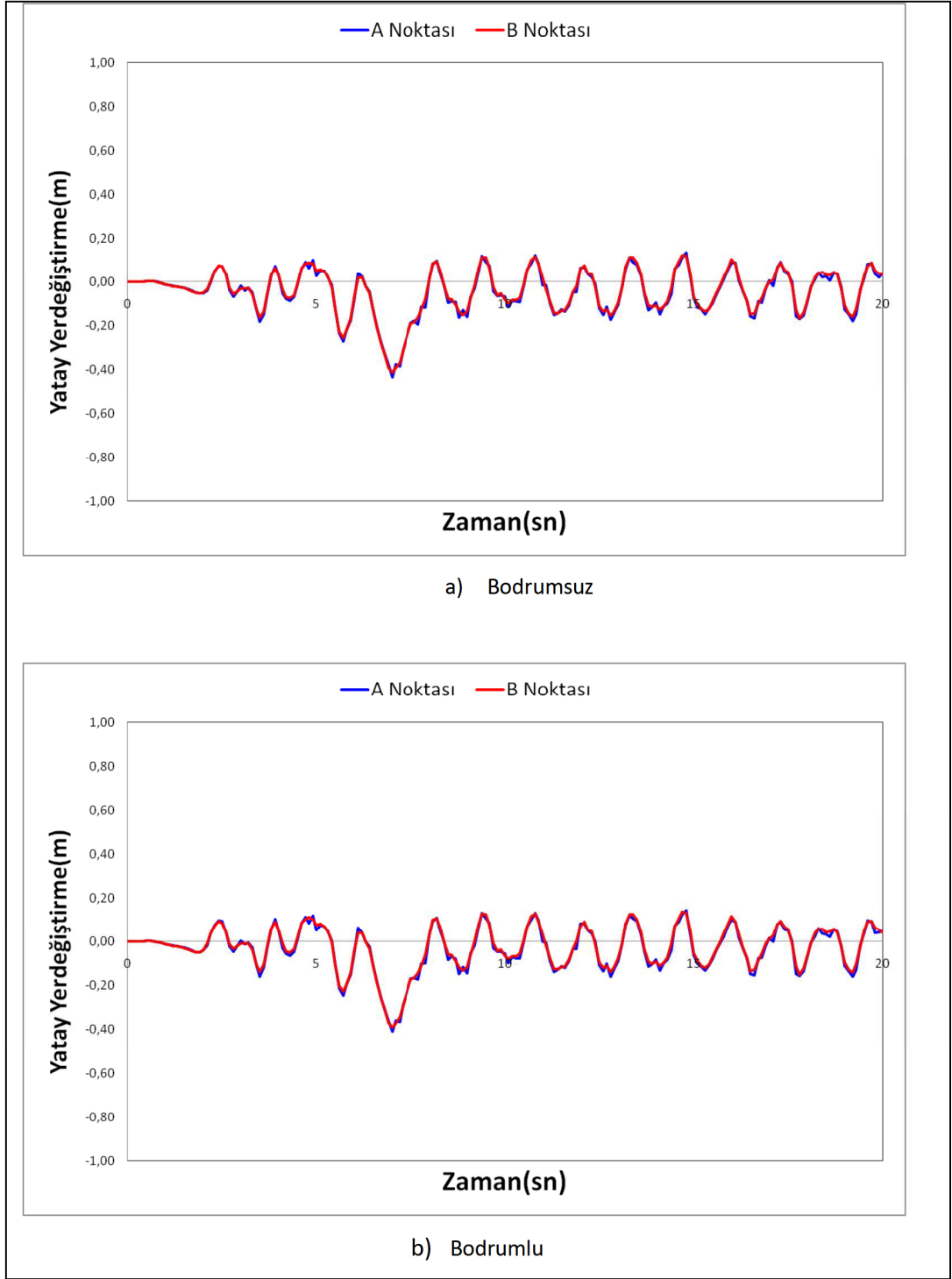
4.3.1. H/B=0,50 olan yapı-zemin modeli

H/B=0,50 olan yapı zemin modellerinde üst yapı iki katlı olarak belirlenmiştir. Kat yükseklikleri 3m seçildiği için yapı yüksekliği 6m ve yapı yüksekliğinin yapı genişliği B=12m ye oranı 0,50 ye karşılık gelmektedir. H/B=0,50 olan yapı-zemin modellerinin tamamının zaman tanım alanındaki dinamik analizleri Plaxis sonlu eleman programı ile yapılmıştır.

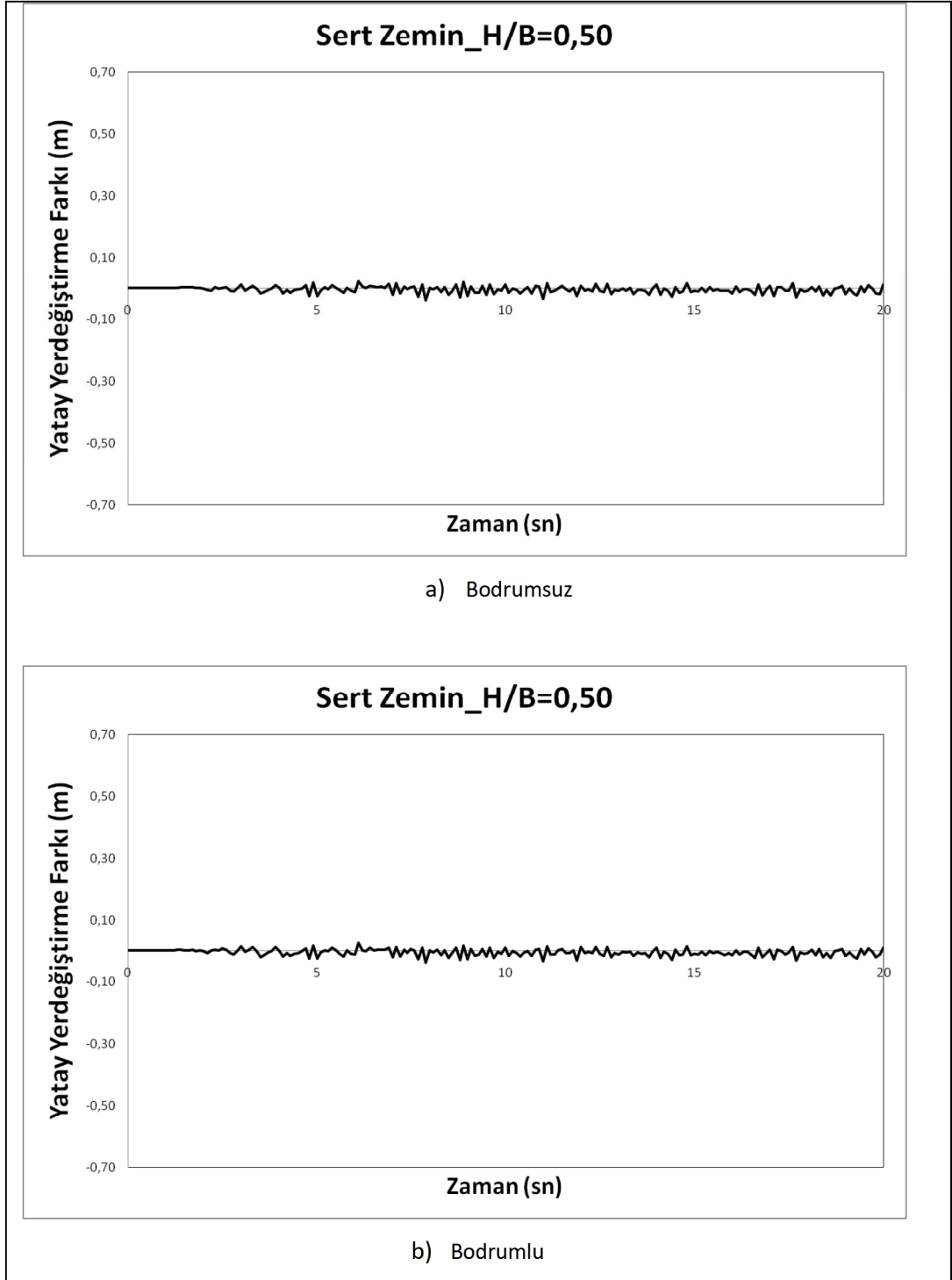
Bu analizler sonucunda yapı temelının düşey yer değiştirmesi Şekil 4.5 ve Şekil 4.8'de ve yapı tepe noktasının temele göre görelî yatay yer değiştirmeleri Şekil 4.7'de sert ve Şekil 4.10'da yumuşak zemin için grafikler halinde sunulmuştur. Ayrıca yapının görelî kat yer değiştirmelerinin maksimum değerleri Şekil 4.11'de tüm yapı-zemin modelleri için gösterilmiştir.



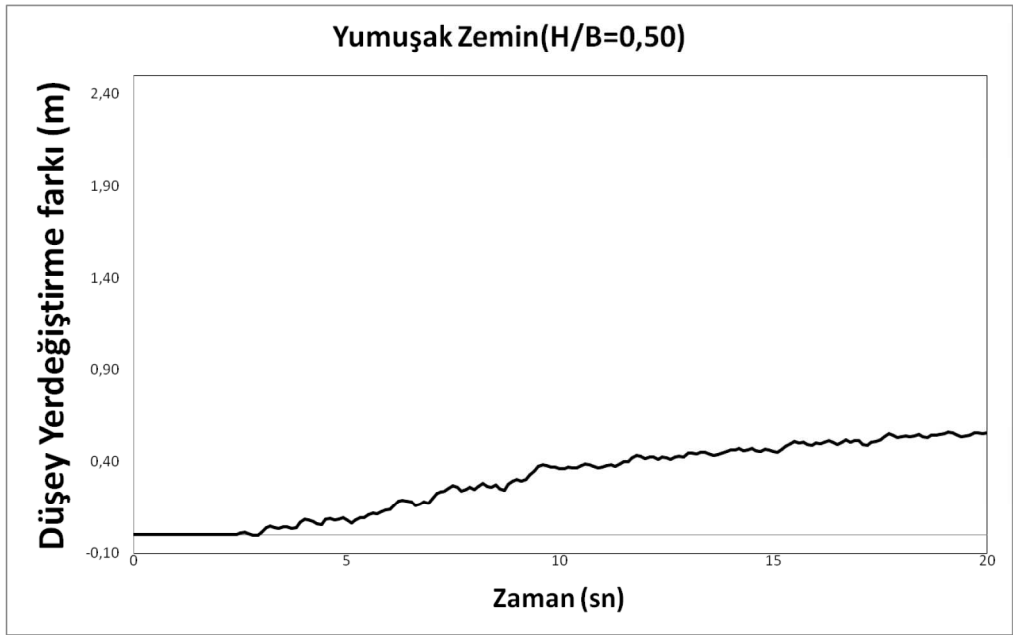
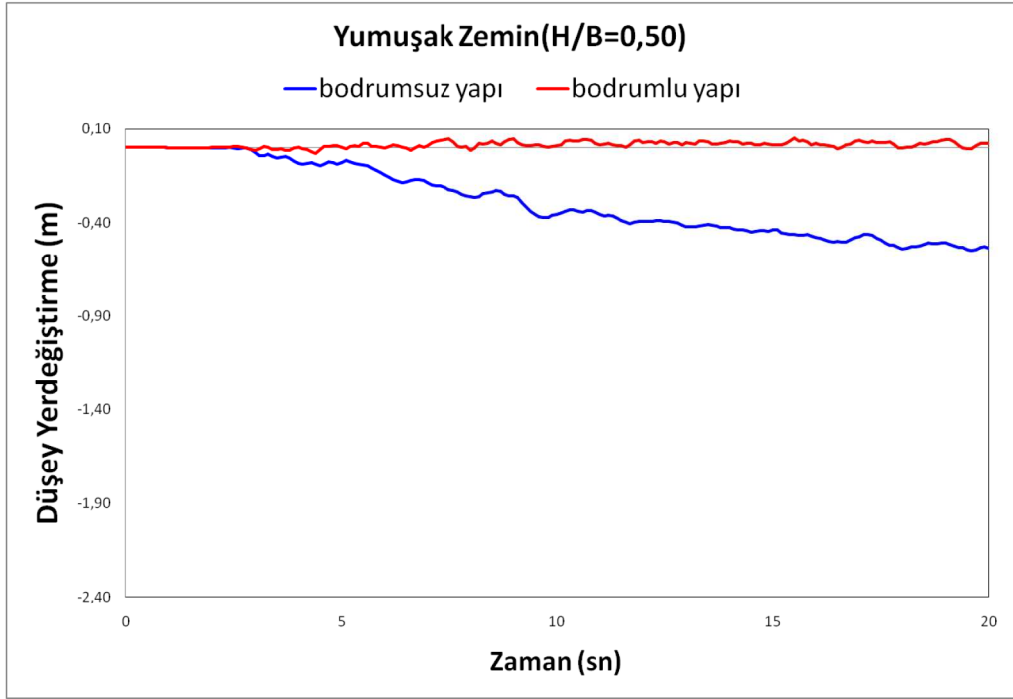
Şekil 4.5. $H/B=0,50$ olan yapı-zemin modelinde (sert zemin) üstyapının zemin üst kotu (B noktası)'nın bodrumlu ve bodrumsuz yapıdaki düşey yer değiştirmeleri



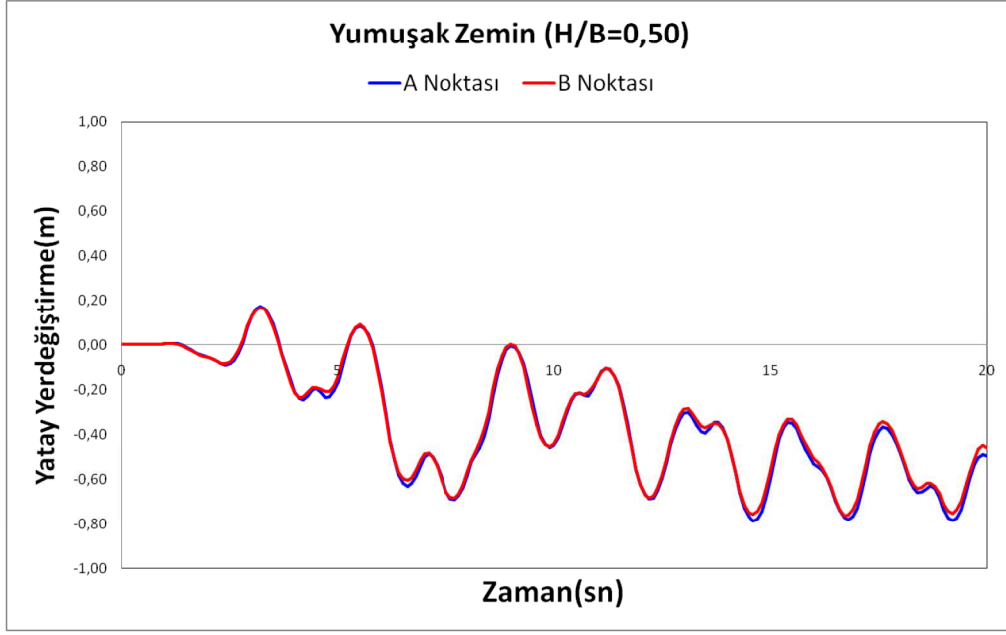
Şekil 4.6. $H/B=0,50$ olan yapı-zemin modelinde (sert zemin) üstyapının tepe noktası (A noktası) ile zemin üst kotundaki (B noktası) yatay yer değiştirmeleri



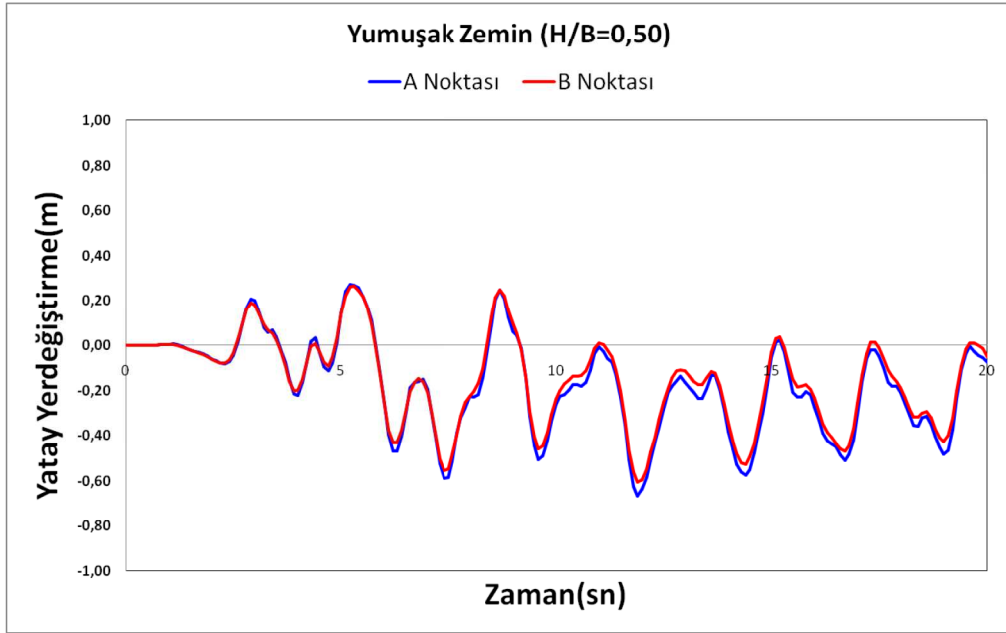
Şekil 4.7. $H/B=0,50$ olan yapı zemin modelinde üstyapının tepe noktasının (A noktası) zemin üst kotuna göre (B noktası) görelî yatay yer değiştirmeleri



Şekil 4.8. H/B=0,50 olan yapı-zemin modelinde (yumuşak zemin) üstyapının zemin üst kotu (B noktası)'nın bodrumlu ve bodrumsuz yapıdaki düşey yer değiştirmeleri

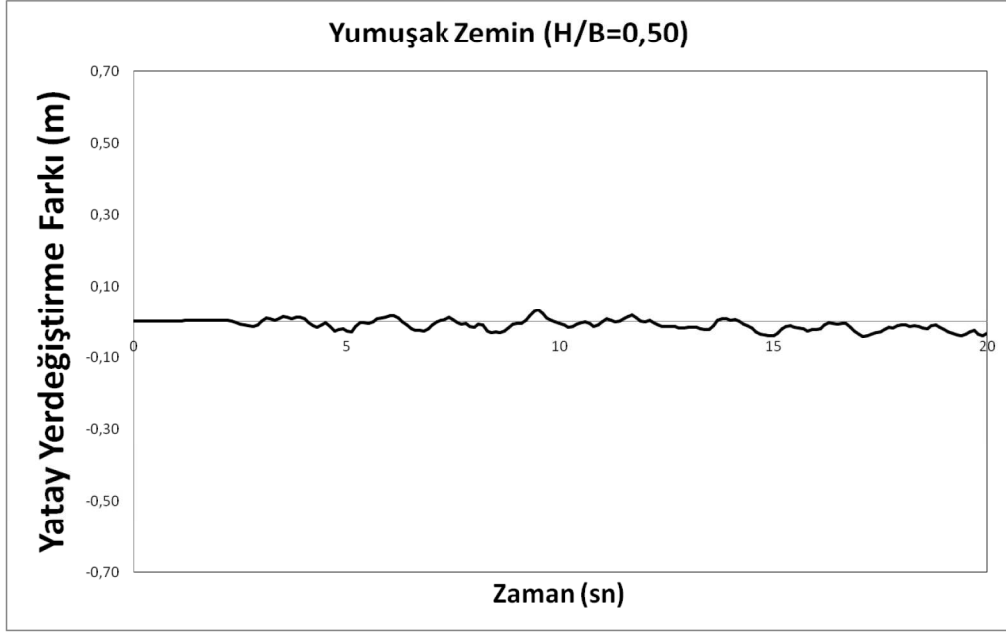


a) Bodrumsuz

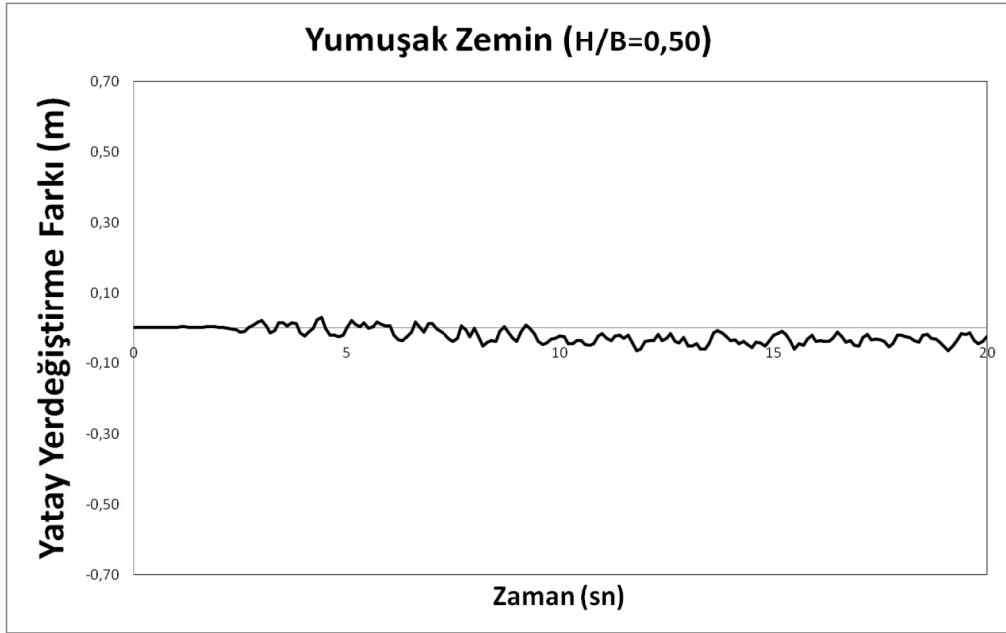


a) Bodrumlu

Şekil 4.9. H/B=0,50 olan yapı-zemin modelinde (yumuşak zemin) üstyapının tepe noktası (A noktası) ile zemin üst kotundaki (B noktası) yatay yer değiştirmeleri



a) Bodrumsuz



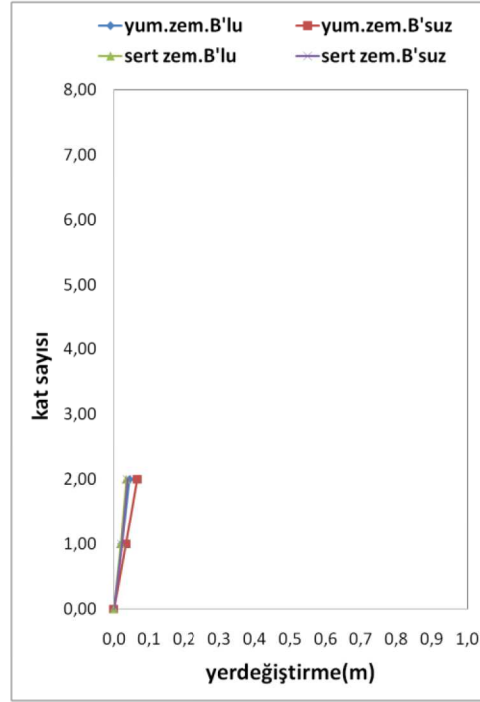
a) Bodrumlu

Şekil 4.10. H/B=0,50 olan yapı-zemin modelinde (yumuşak zemin) üstyapının tepe noktasının (A noktası) zemin üst kotuna göre (B noktası) görelî yatay yer değişirmeleri

Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de de açıkça görüldüğü gibi H/B oranının 0,50 olduğu binaların sert zemin üzerine yapılması durumunda bu binaların bodrum katlı olup olmamasının yapı davranışında önemli bir etkisi bulunmamaktadır. Bodrum katı olan bina ile bodrum katı olmayan binaların deprem etkisi altındaki davranışları hemen hemen aynıdır. Yapının bodrumsuz olması halinde yapı tepe noktasının görelî yer değıştirmesi 0,038 m ve yapının bodrumlu olması halinde ise 0,035 m civarlarındadır.

Düşey yer değıştirmelerde de durum pek farklı değildir. Yapı bodrumlu ve bodrumsuz olması durumunda oturmalar arasındaki fark yaklaşık 0,05 m civarındadır, dolayısıyla yapı davranışını üzerinde olumsuz bir durum yoktur diyebiliriz.

Şekil 4.9 ve Şekil 4.10’da da açıkça görüldüğü gibi H/B oranının 0,50 olduğu binaların yumuşak zemin üzerine yapılması durumunda da bodrum katı olan bina ile bodrum katı olmayan binaların deprem davranışları yaklaşık aynıdır. Bununla birlikte, Şekil 4.9 dikkatle incelendiğinde yumuşak zemin üzerindeki bu yapıların temellerinde kaymalar oluşmaktadır. Bina temelinde oluşan bu kaymalar düşük seviyelerde kalmaktadır. Yapının bodrumsuz olması halinde yapı tepe noktasının görelî yer değıştirmesi 0,066 m ve yapının bodrumlu olması halinde ise 0,043m civarlarındadır. Dolayısıyla, H/B=0,50 olması durumunda yapıların bodrum katlı olmasının yapı davranışında önemli bir etkisi bulunmamaktadır.



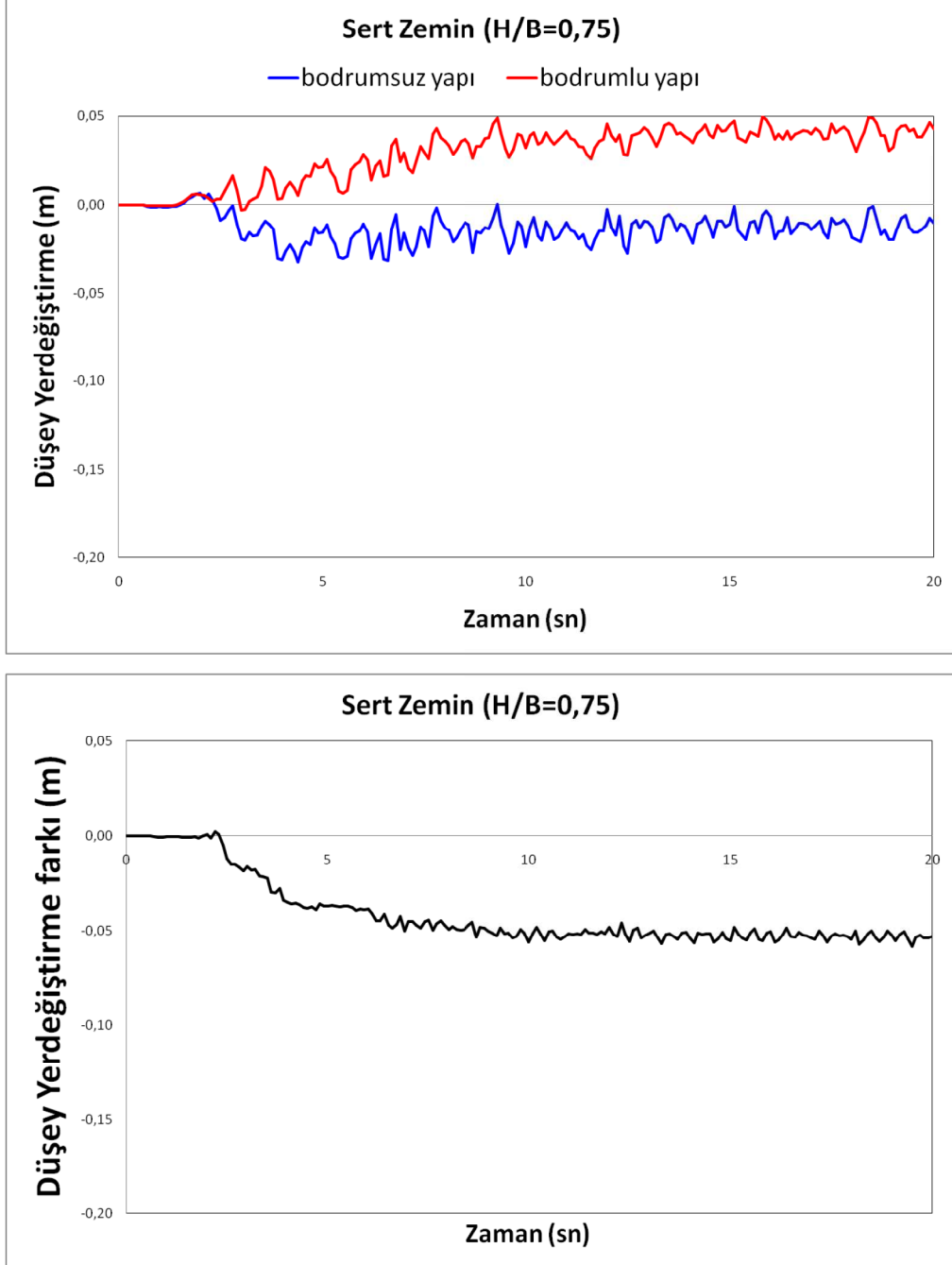
Şekil 4.11. H/B=0,50 olan yapı-zemin modellerinde katların zemin üst kotuna göre (B noktası) görelî yatay yer değiştirmeleri

Şekil 4.5, Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Şekil 4.10 incelendiğinde üst yapının iki katlı ve bodrumsuz inşa edilmesi durumunda, hem yumuşak zeminde hem de sert zeminde yatay ve dūřey yer değiştirmeler tehlike oluşturmayacak miktarlarda kalmaktadır. Aynı üst yapılar bodrumlu inşa edildiğindeki yatay ve dūřey yer değiştirme miktarlarında azalma gözlemlenirse de bu değerler dūřük kalmaktadır. Grafikler ve açıklamalardan da H/B=0,50 olan yapı-zemin modellerinin hem sert zemin üzerinde hem de yumuşak zemin üzerinde üst yapılarının bodrum katlı olup olmaması yapı davranışlarına önemli bir etkisi yoktur.

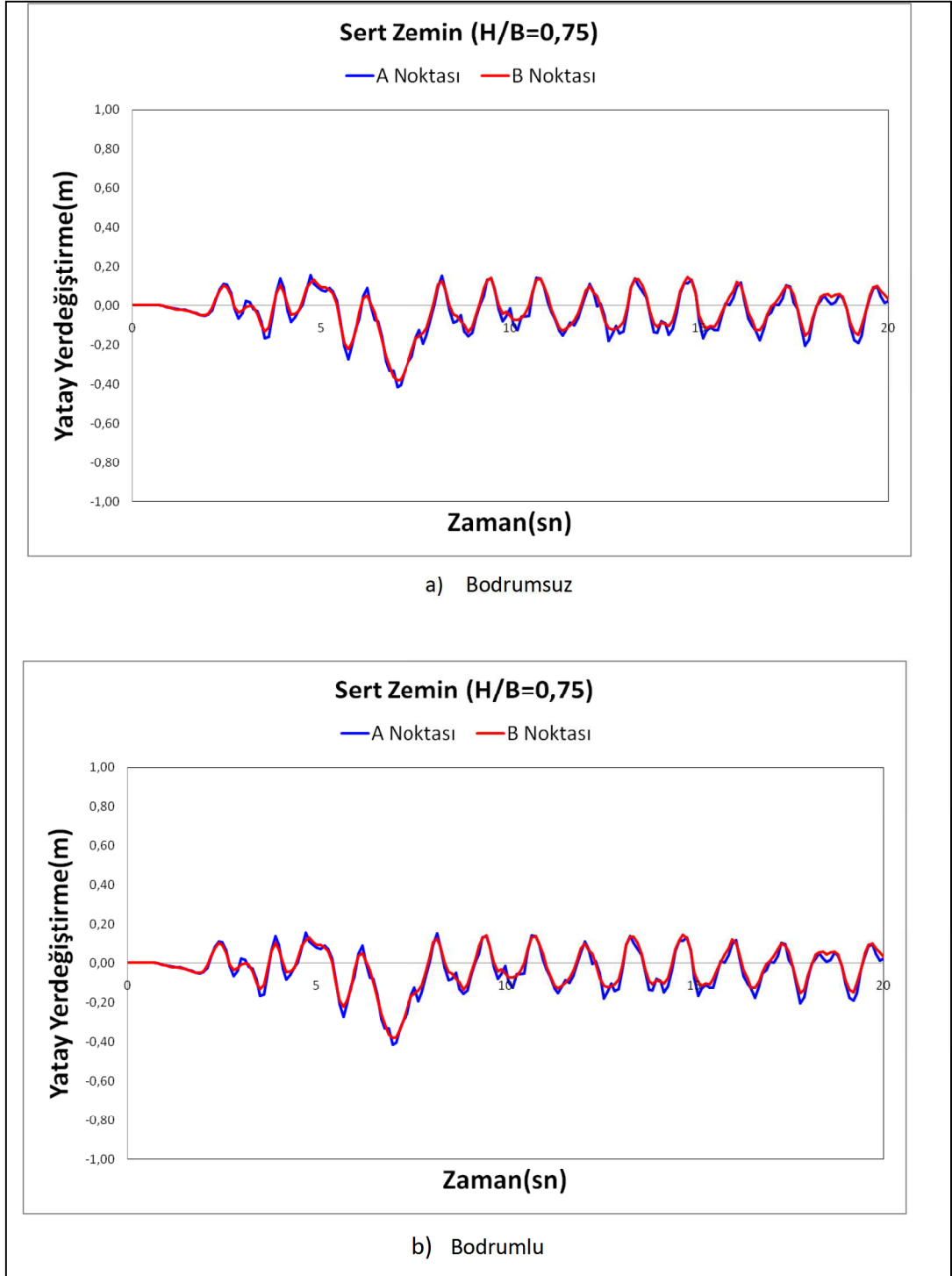
4.3.2. H/B=0,75 olan yapı-zemin modeli

H/B=0,75 olan yapı zemin modellerinde üst yapı üç katlı olarak belirlenmiştir. Kat yükseklikleri 3m seçildiği için yapı yüksekliği 9m ve yapı yüksekliğinin yapı genişliği B=12m ye oranı 0,75 e karşılık gelmektedir. H/B=0,75 olan yapı-zemin modellerinin tamamının zaman tanım alanındaki dinamik analizleri Plaxis sonlu eleman programı ile yapılmıştır.

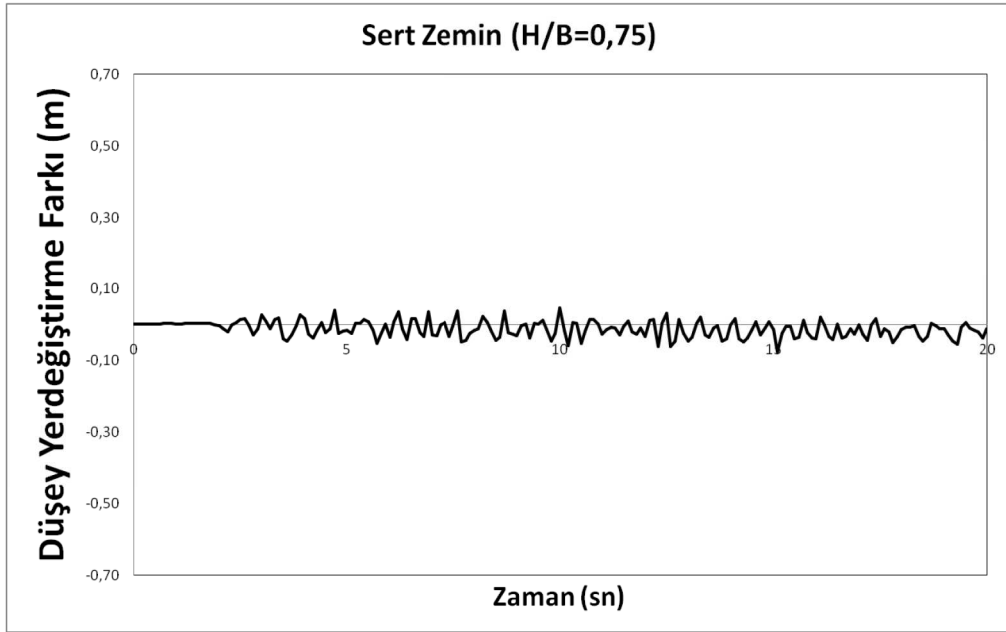
Bu analizler sonucunda yapı temelinin düşey yer değiştirmesi Şekil 4.12 ve Şekil 4.15'te, yapı tepe noktasının temele göre görelî yatay yer değiştirmeleri (Şekil 4.14'te sert ve Şekil 4.16'da yumuşak zemin için grafikler halinde sunulmuştur. Ayrıca yapının görelî kat yer değiştirmelerinin maksimum değerleri Şekil 4.18'de tüm yapı-zemin modelleri için gösterilmiştir.



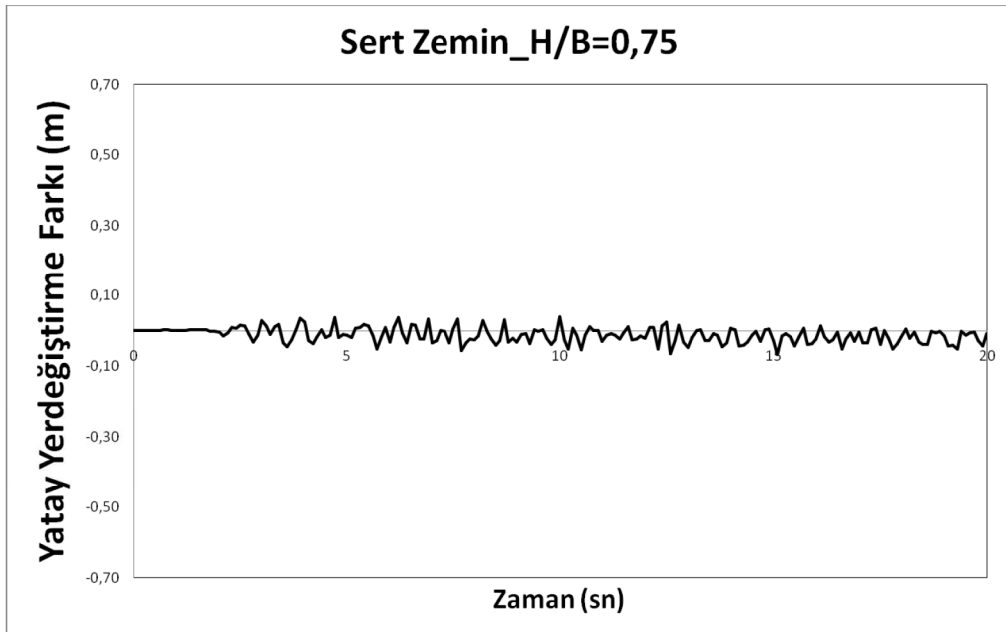
Şekil 4.12. $H/B=0,75$ olan yapı-zemin modelinde (sert zemin) üstyapının zemin üst kotu (B noktası)'nın bodrumlu ve bodrumsuz yapıdaki düşey yer değiştirmeleri



Şekil 4.13. H/B=0,75 olan yapı-zemin modelinde (sert zemin) üstyapının tepe noktası (A noktası) ile zemin üst kotundaki (B noktası) yatay yer değiştirmeleri

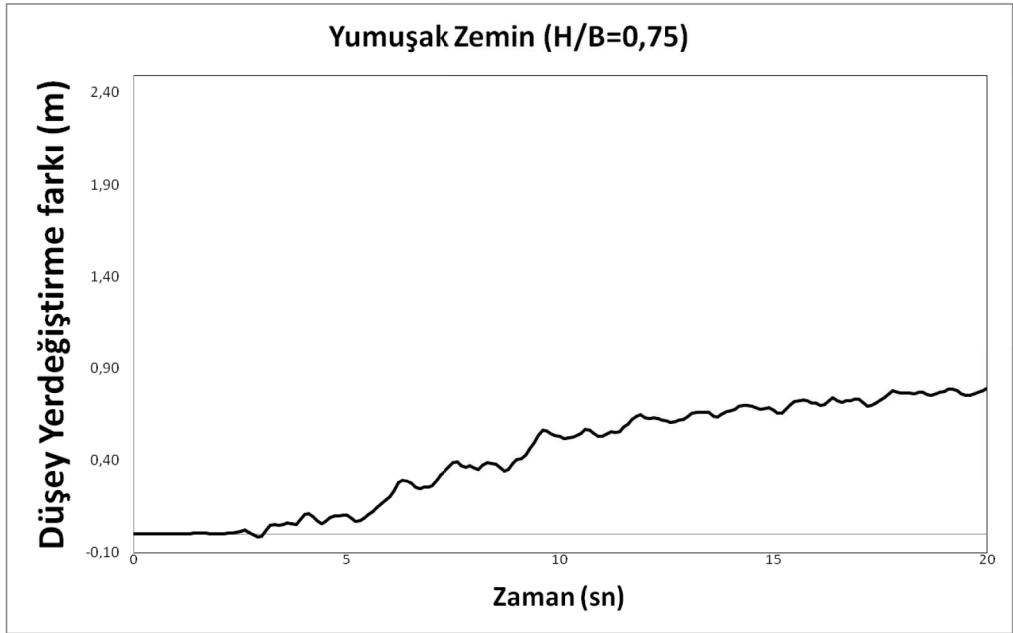
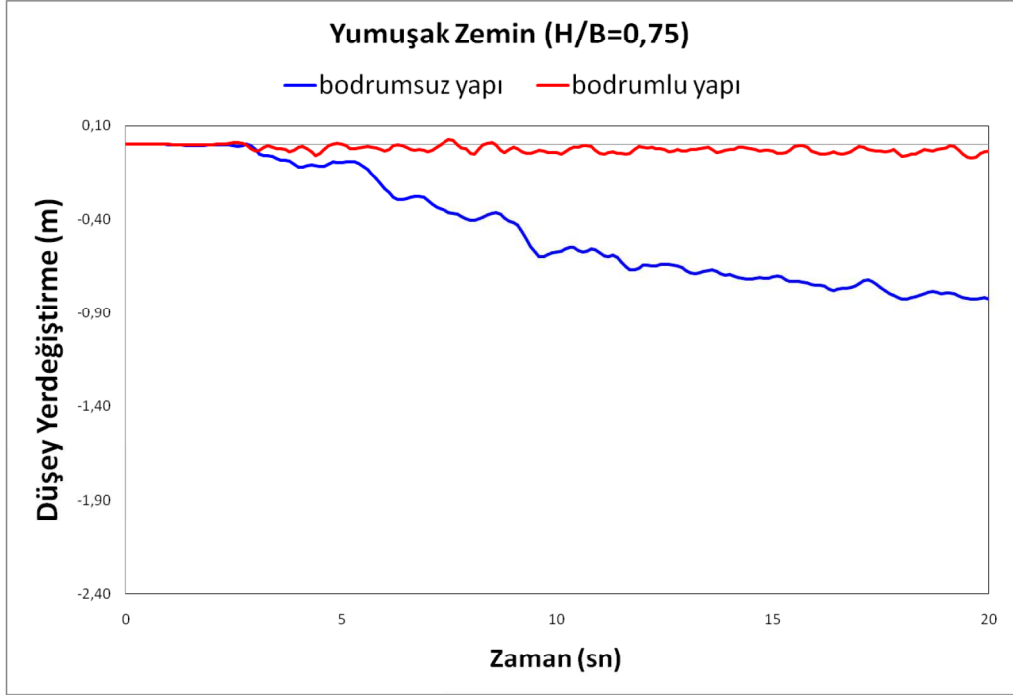


a) Bodrumsuz

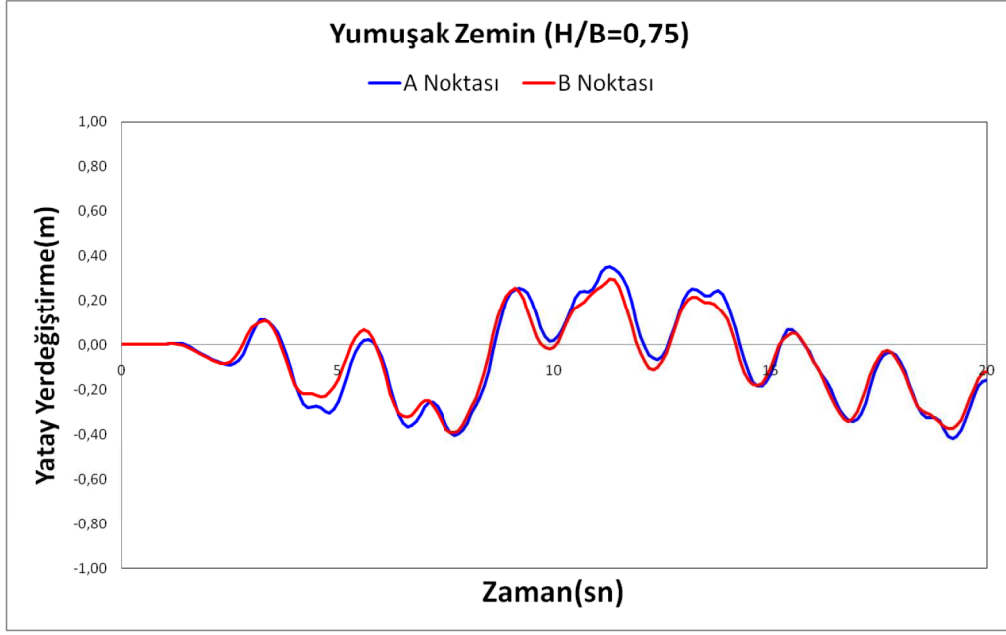


b) Bodrumlu

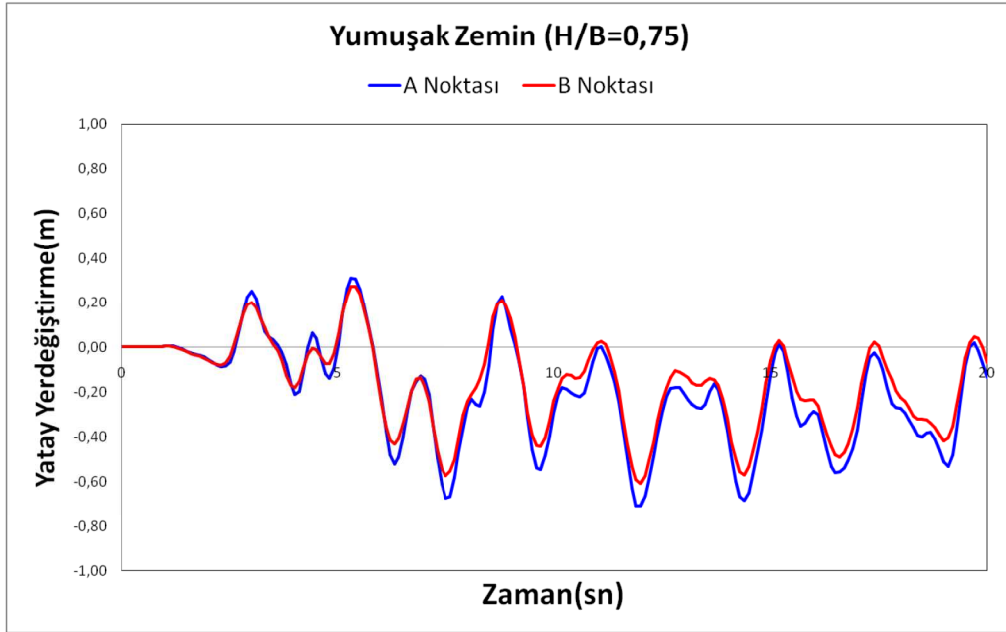
Şekil 4.14. $H/B=0,75$ olan yapı zemin modelinde üstyapının tepe noktasının (A noktası) zemin üst kotuna göre (B noktası) görelî yatay yer değiştirmeleri



Şekil 4.15. H/B=0,75 olan yapı-zemin modelinde (yumuşak zemin) üstyapının zemin üst kotu (B noktası)'nın bodrumlu ve bodrumsuz yapıdaki düşey yer değiştirmeleri

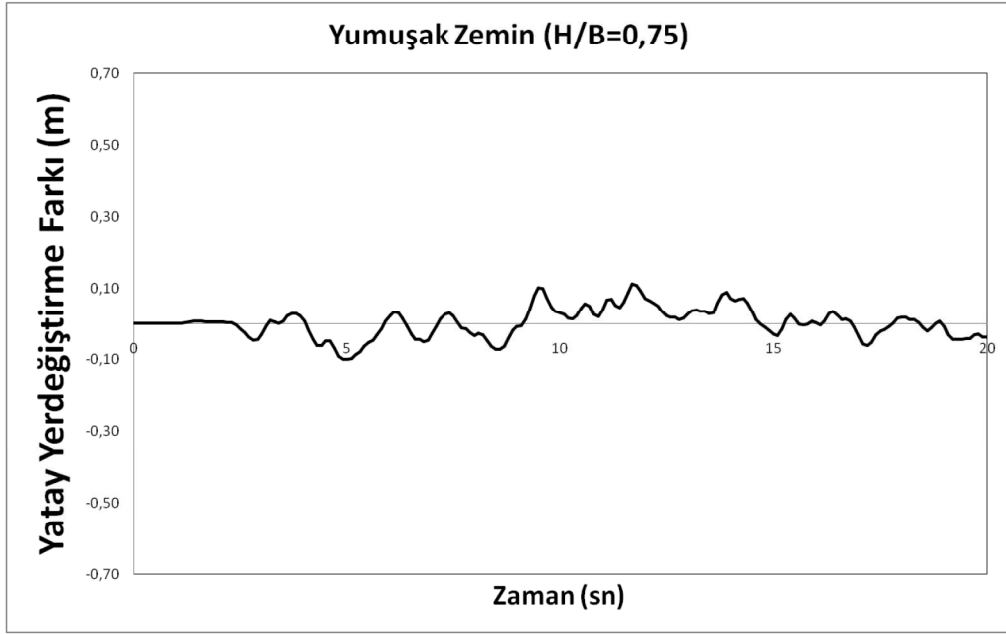


a) Bodrumsuz

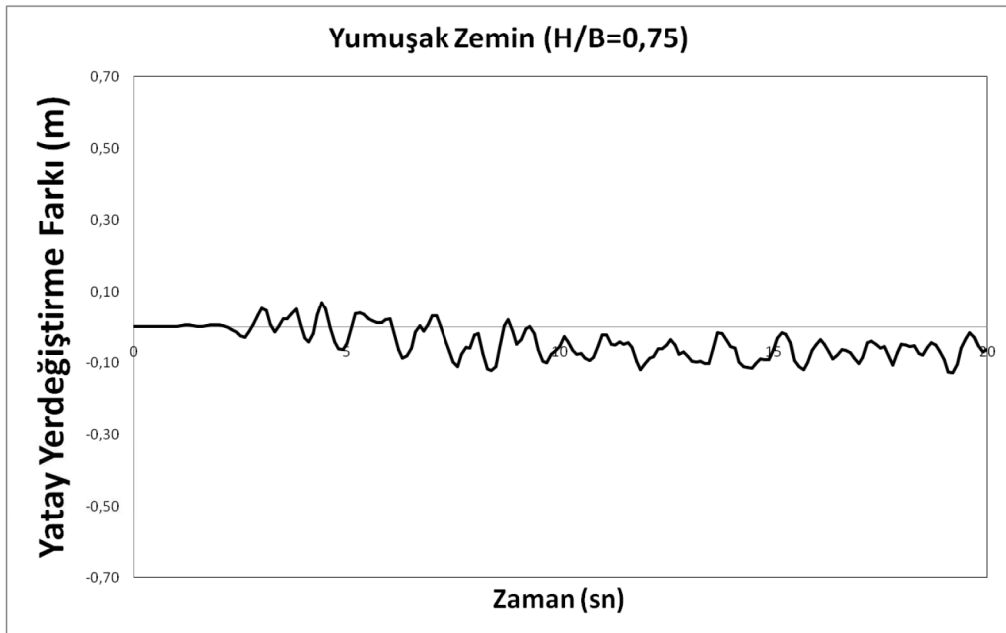


a) Bodrumlu

Şekil 4.16. H/B=0,75 olan yapı-zemin modelinde (yumuşak zemin) üstyapının tepe noktası (A noktası) ile zemin üst kotundaki (B noktası) yatay yer değiştirmeleri



a) Bodrumsuz



a) Bodrumlu

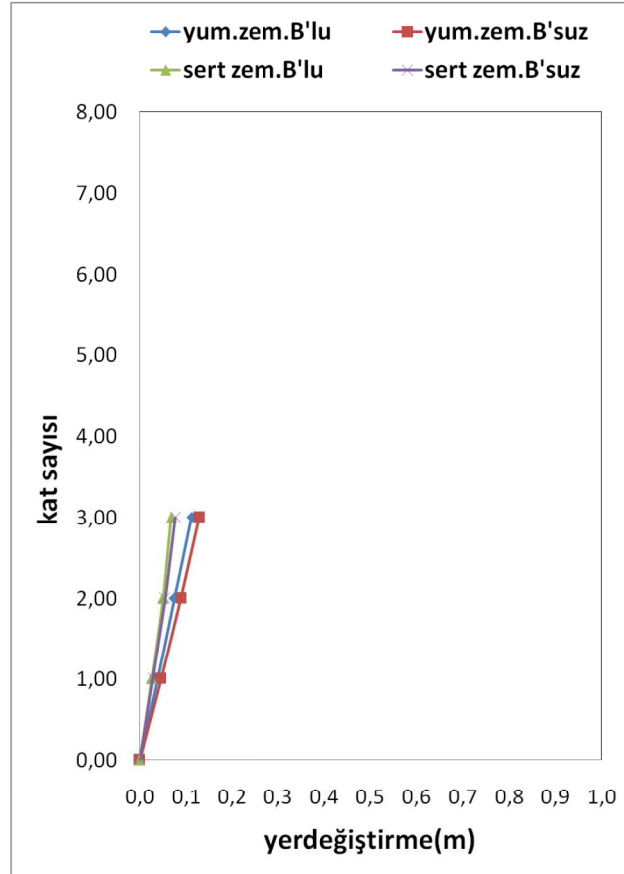
Şekil 4.17. H/B=0,75 olan yapı-zemin modelinde (yumuşak zemin) üstyapının tepe noktasının (A noktası) zemin üst kotuna göre (B noktası) görelî yatay yer değiştirmeleri

Şekil 4.13 ve Şekil 4.14 de de açıkça görüldüğü gibi H/B oranının 0,75 olduğu binaların sert zemin üzerine yapılması durumunda bu binaların bodrum katlı olup

olmamasının yapı davranışında önemli bir etkisi bulunmamaktadır. Bodrum katı olan bina ile bodrum katı olmayan binaların deprem etkisi altındaki davranışları hemen hemen aynıdır. Yapının bodrumsuz olması halinde yapı tepe noktasının görelî yer değıştirmesi 0,068 m ve yapının bodrumlu olması halinde ise bu değer 0,077 m civarlarındadır.

Yapı temelının düşey yer değıştirmelerinde de durum pek farklı değildir. Yapı bodrumlu ve bodrumsuz olması durumunda oturmalar arasındaki fark yaklaşık 0,06 m civarındadır, dolayısıyla yapı davranışı üzerinde olumsuz bir durum yoktur diyebiliriz.

Şekil 4.16 ve Şekil 4.17'den de açıkça görüldüğü gibi H/B oranının 0,75 olduğu binaların yumuşak zemin üzerine yapılması durumunda da bodrum katı olan bina ile bodrum katı olmayan binaların deprem davranışları farklılıklar göstermektedir. Bununla birlikte, Şekil 4.16 dikkatle incelendiğinde yumuşak zemin üzerindeki bu yapıların temellerinde kaymalar oluşmaktadır. Bina temelinde oluşan bu kaymalar H/B=0,50 olan yapıya nazaran belirgin hale gelmektedir. Yapının bodrumsuz olması halinde yapı tepe noktasının görelî yer değıştirmesi 0,129 m ve yapının bodrumlu olması halinde ise 0,112 m civarlarındadır. Dolayısıyla, H/B=0,75 olması durumunda yapıların bodrum katlı olması yapıya deprem davranışında katkı sağlamaktadır.



Şekil 4.18. $H/B=0,75$ olan yapı-zemin modellerinde katların zemin üst kotuna göre (B noktası) görelî yatay yer değiştirmeleri

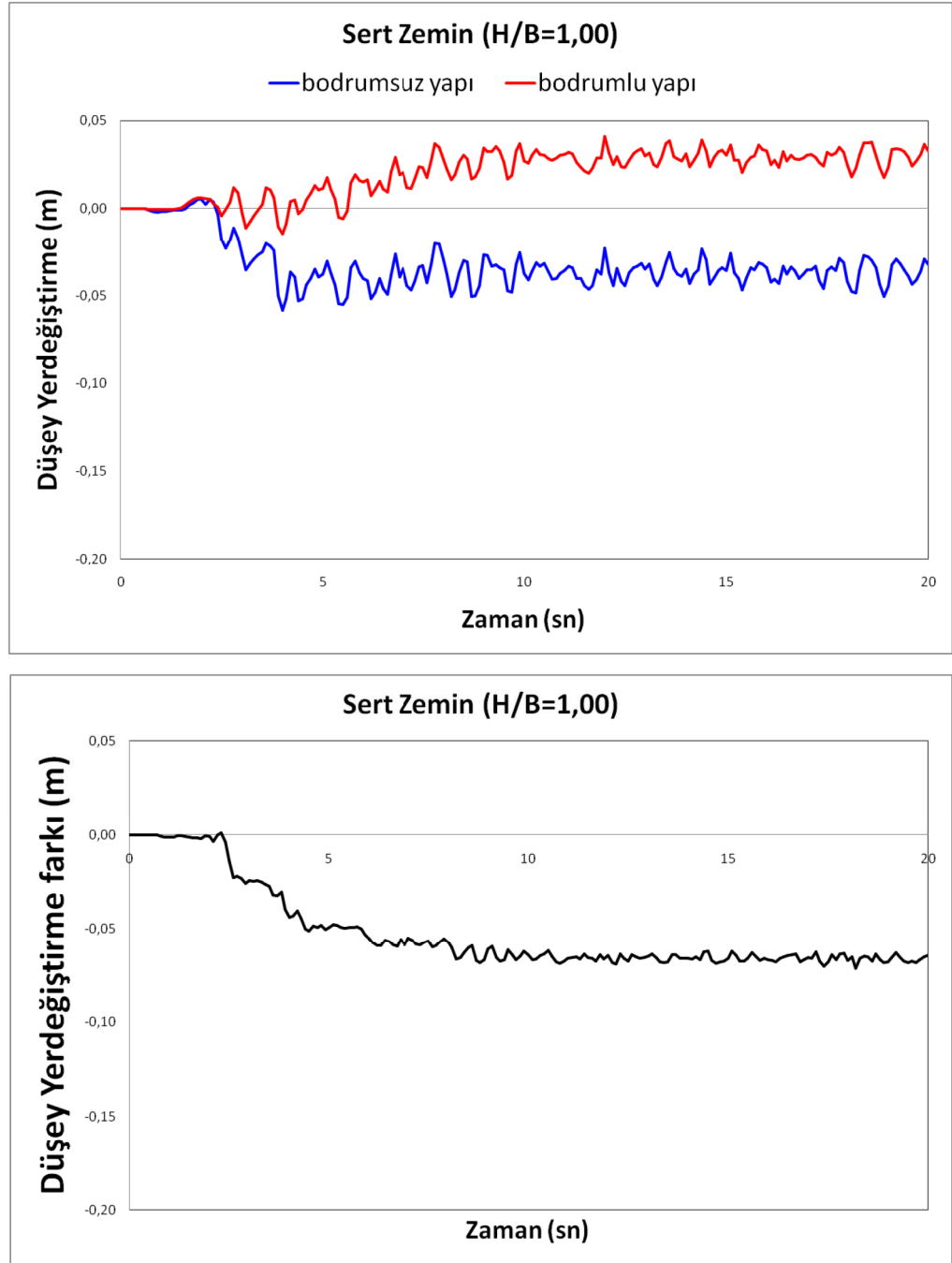
Şekil 4.12, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15 incelendiğinde anlaşılacağı gibi $H/B=0,75$ olan yapı-zemin modellerinin hem sert zemin üzerinde hem de yumuşak zemin üzerinde üst yapılarının bodrum katlı olup olmaması yapı davranışlarına önemli bir etkisi yoktur.

Şekil 4.12 ve Şekil 4.15'te de görüldüğü gibi $H/B=0,75$ olan yapı-zemin modellerinin sert zeminde yapılmaları durumunda bodrum katlı olup olmamalarının yapı davranışında önemli bir etkisi yok iken ,yumuşak zeminde yapılmaları halinde bodrum katın yapı davranışına katkı sağladığı gözlenmektedir.

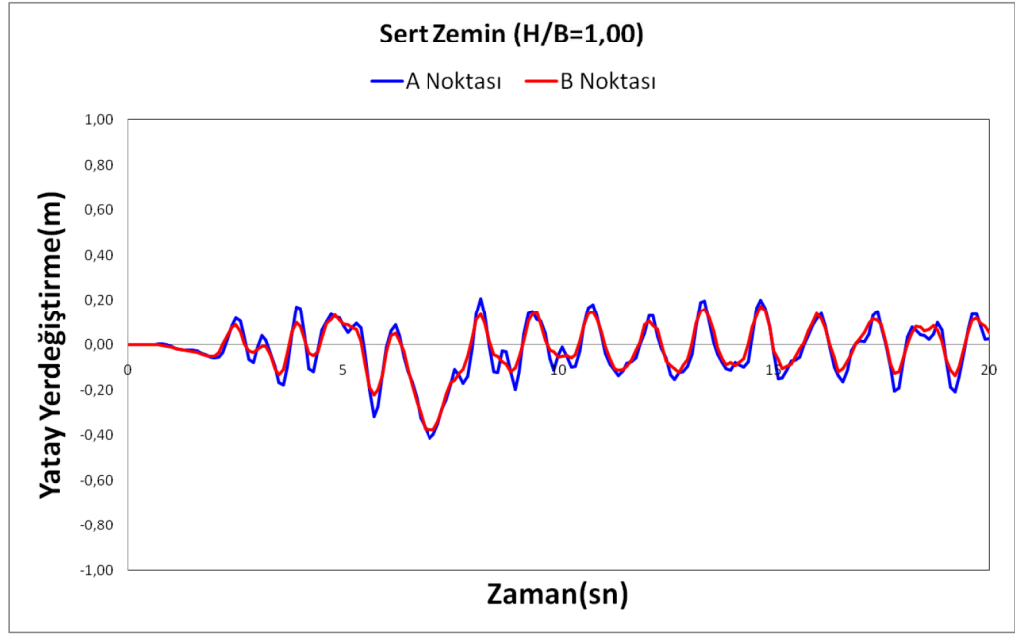
4.3.3. H/B=1,00 olan yapı-zemin modeli

H/B=1,00 olan yapı zemin modellerinde üst yapı dört katlı olarak belirlenmiştir. Kat yükseklikleri 3m seçildiği için yapı yüksekliği 12m ve yapı yüksekliğinin yapı genişliği B=12m ye oranı 1,00 e karşılık gelmektedir. H/B=1,00 olan yapı-zemin modellerinin tamamının zaman tanım alanındaki dinamik analizleri Plaxis sonlu eleman programı ile yapılmıştır.

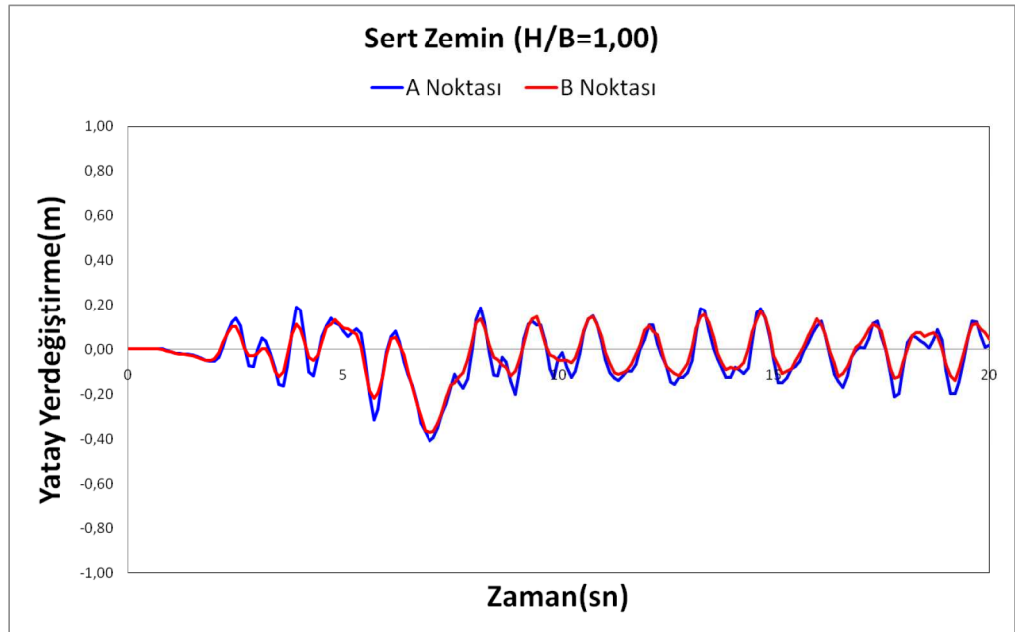
Bu analizler sonucunda yapı temelinin düşey yerdeğiştirmesi Şekil 4.19 ve Şekil 4.22'de ve yapı tepe noktasının temele göre görelî yatay yer değiştirmeleri Şekil 4.20'de sert ve Şekil 4.23'te yumuşak zemin için grafikler halinde sunulmuştur. Ayrıca yapının görelî kat yer değiştirmelerinin maksimum değerleri Şekil 4.25'te tüm yapı-zemin modelleri için gösterilmiştir.



Şekil 4.19. H/B=1,00 olan yapı-zemin modelinde (sert zemin) üstyapının zemin üst kotu (B noktası)'nın bodrumlu ve bodrumsuz yapıdaki düşey yer değiştirmeleri

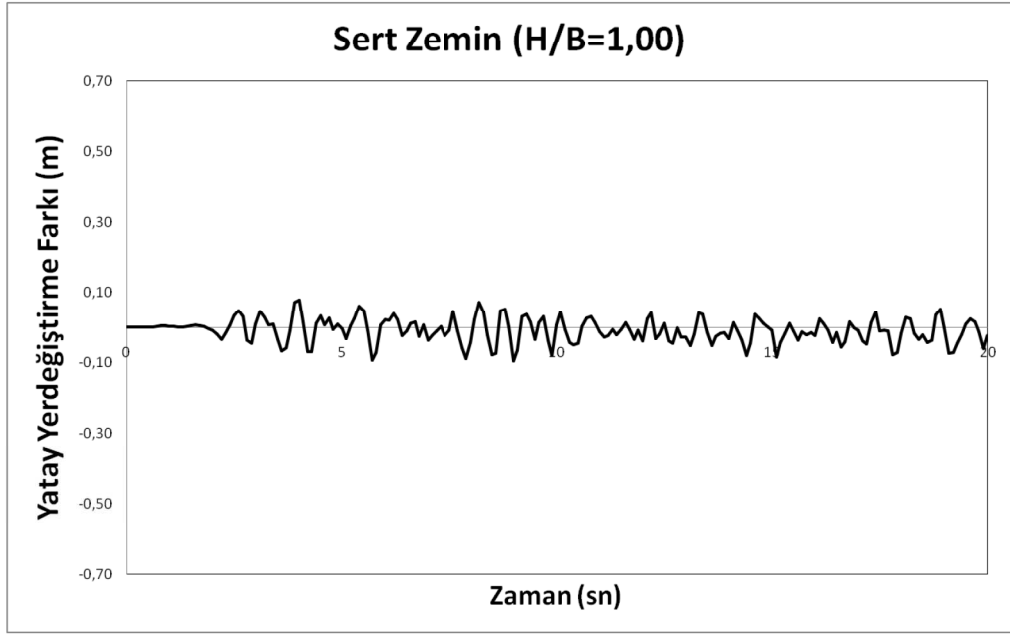


a) bodrumsuz

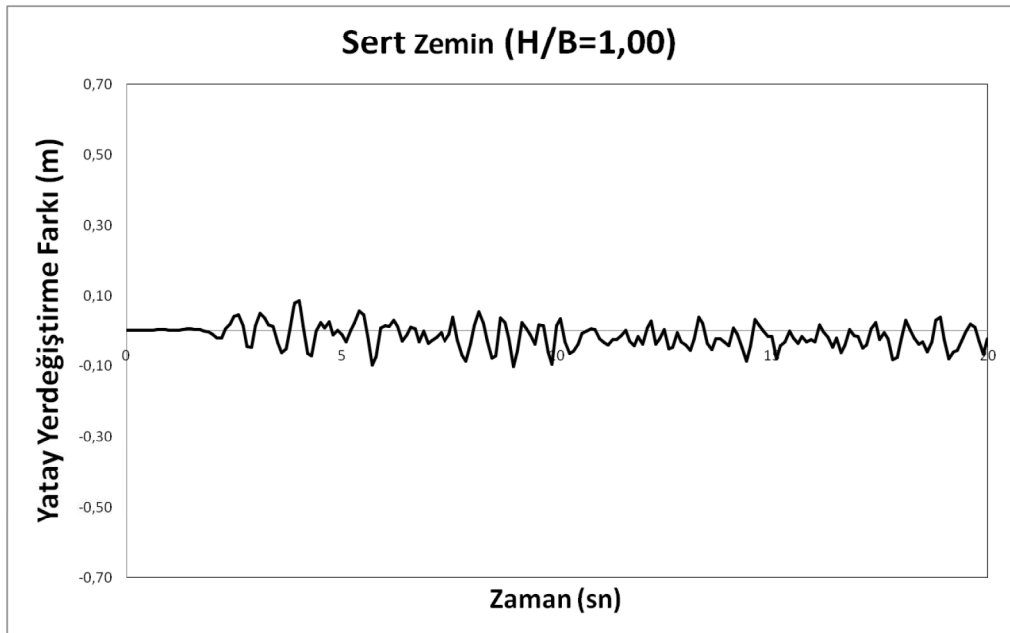


b) bodrumlu

Şekil 4.20. H/B=1,00 olan yapı-zemin modelinde (sert zemin) üstyapının tepe noktası (A noktası) ile zemin üst kotundaki (B noktası) yatay yer değiştirmeleri

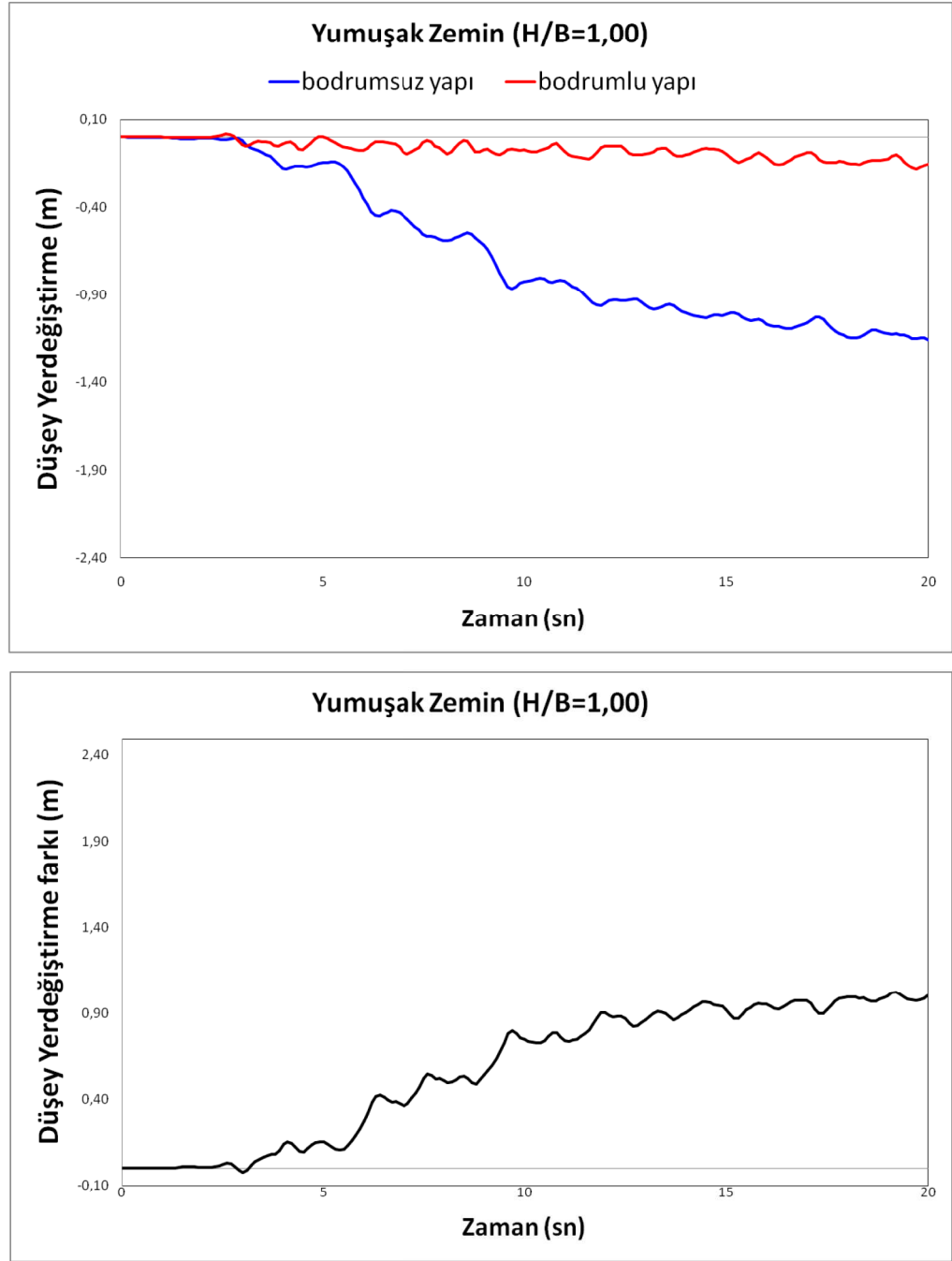


a) Bodrumsuz

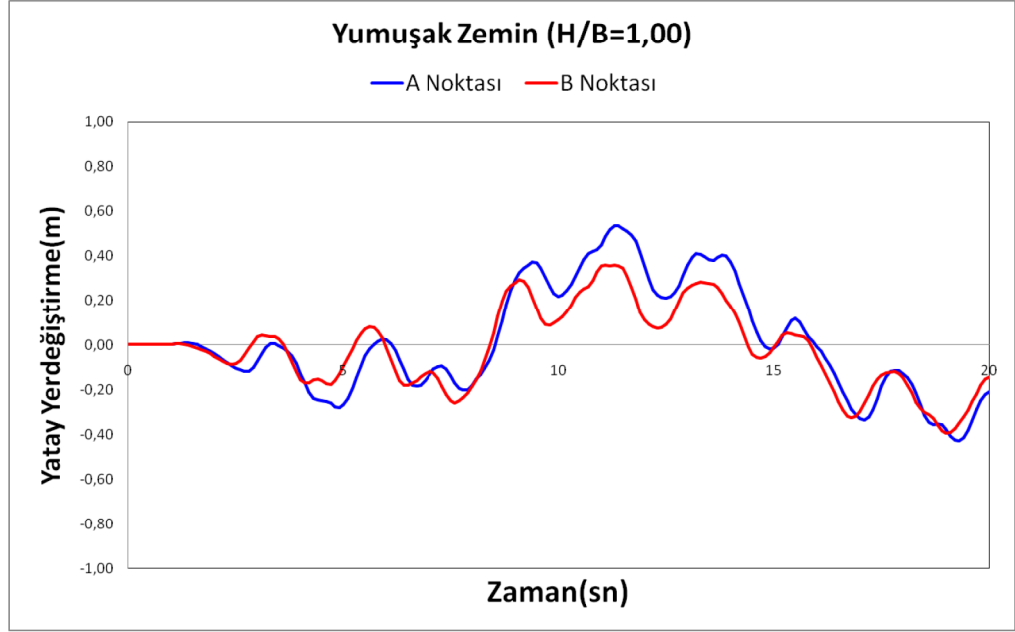


b) Bodrumlu

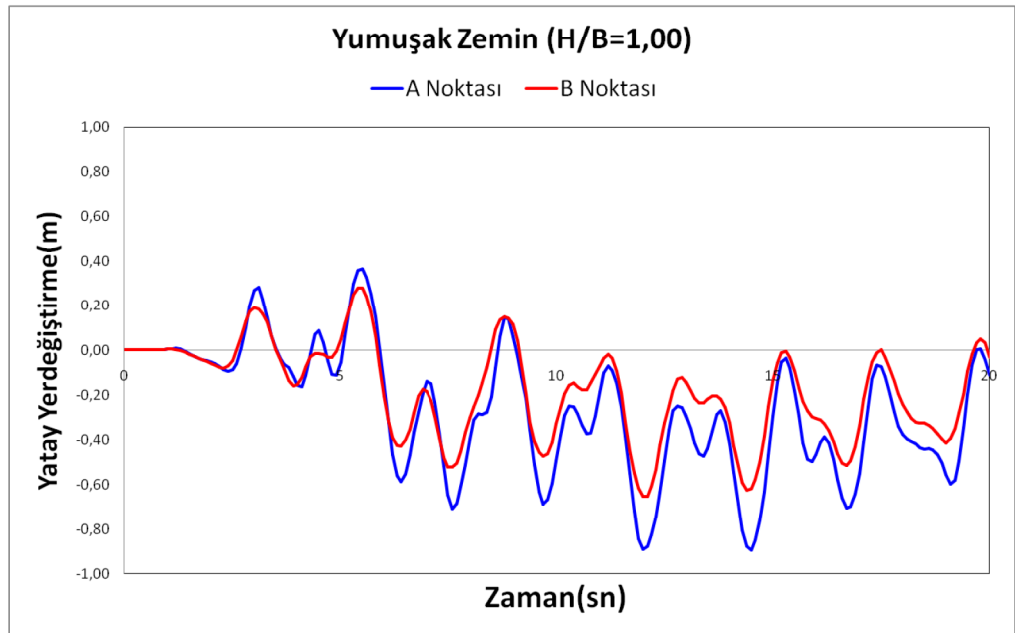
Şekil 4.21. H/B=1,00 olan yapı zemin modelinde üstyapının tepe noktasının (A noktası) zemin üst kotuna göre (B noktası) görelî yatay yer değiştirmeleri



Şekil 4.22. H/B=1,00 olan yapı-zemin modelinde (yumuşak zemin) üstyapının zemin üst kotu (B noktası)'nın bodrumlu ve bodrumsuz yapıdaki düşey yer değiştirmeleri

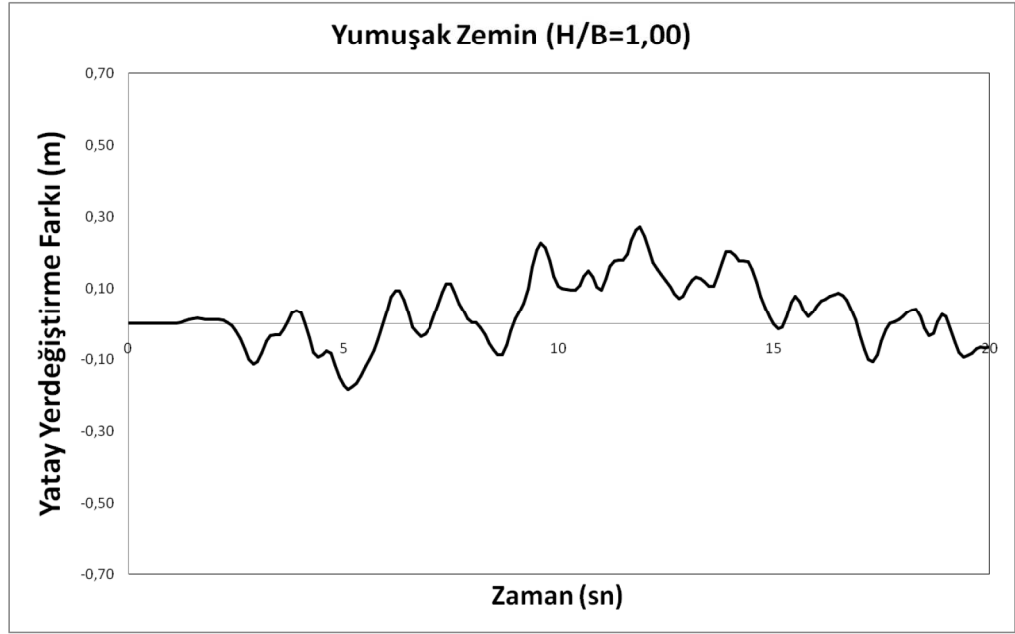


a) Bodrumsuz

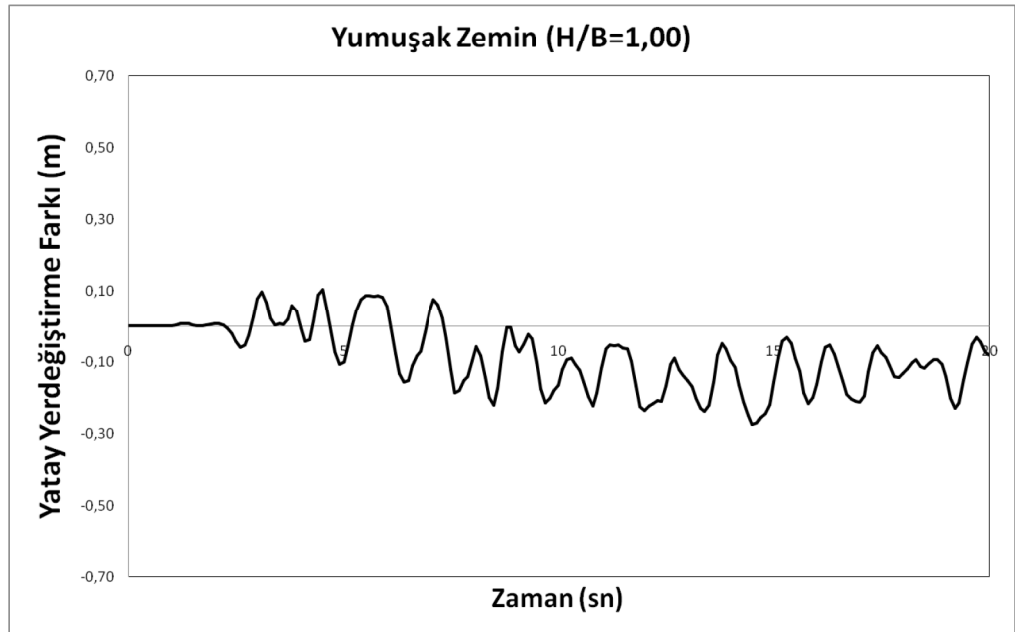


a) Bodrumlu

Şekil 4.23. H/B=1,00 olan yapı-zemin modelinde (yumuşak zemin) üstyapının tepe noktası (A noktası) ile zemin üst kotundaki (B noktası) yatay yer değiştirmeleri



a) Bodrumsuz



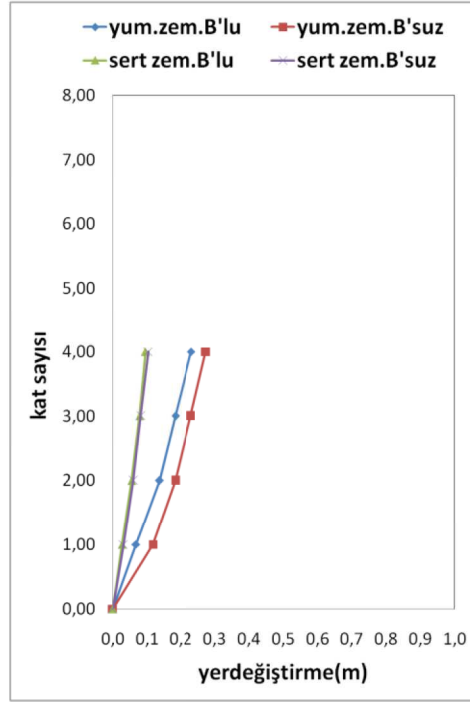
a) Bodrumlu

Şekil 4.24. H/B=1,00 olan yapı-zemin modelinde (yumuşak zemin) üstyapının tepe noktasının (A noktası) zemin üst kotuna göre (B noktası) göreli yatay yer değiştirmeleri

Şekil 4.19 ve Şekil 4.20’de de açıkça görüldüğü gibi H/B oranının 1,00 olduğu binaların sert zemin üzerine yapılması durumunda bu binaların bodrum katlı olup olmamasının yapı davranışında önemli bir etkisi bulunmamaktadır. Bodrum katı olan bina ile bodrum katı olmayan binaların deprem etkisi altındaki davranışları hemen hemen aynıdır. Yapının bodrumsuz olması halinde yapı tepe noktasının görelî yer değıştirmesi 0,103 m ve yapının bodrumlu olması halinde ise 0,095 m civarlarındadır.

Düşey yer değıştirmelerde ise sert zemin için pekte farklı olmasada, yumuşak zeminlerde bodrum kat katkısı dikkat çekmektedir. Üstyapı sert zeminde inşa ediliyorsa bodrumlu ve bodrumsuz olması durumunda oturmalar arasındaki fark yaklaşık 0,06 m civarında kalmaktadır, yumuşak zeminde yapıldığında bodrumlu inşa edilmesi halinde 0,16 m oturma ölçülürken, bodrumsuz inşa edilmesi halinde oturma değeri 1,17 m seviyesine kadar ulaşabilmektedir. Yani bodrum sayesinde bina yaklaşık 1 m daha az oturma göstermiştir. Dolayısıyla üst yapı yumuşak zeminlerde inşa ediliyorsa bodrum katlı olması deprem davranışında önemli faydalar sağlamaktadır.

Şekil 4.22 ve Şekil 4.23’ten de açıkça görüldüğü gibi H/B oranının 1,00 olduğu binaların yumuşak zemin üzerine yapılması durumunda da bodrum katı olan bina ile bodrum katı olmayan binaların deprem davranışları farklılıklar göstermektedir. Bununla birlikte, Şekil 4.22 dikkatle incelendiğinde yumuşak zemin üzerindeki bu yapıların temellerinde kaymalar oluşmaktadır. Bina temelinde oluşan bu kaymalar $H/B=0,75$ olan yapıya benzerlik göstermektedir. Yapının bodrumsuz olması halinde yapı tepe noktasının görelî yer değıştirmesi 0,274 m ve yapının bodrumlu olması halinde ise 0,231 m civarlarındadır. Dolayısıyla, $H/B=1,00$ olması durumunda yapıların bodrum katlı olması yapıya deprem davranışında katkı sağlamaktadır.



Şekil 4.25. $H/B=1,00$ olan yapı-zemin modellerinde katların zemin üst kotuna göre (B noktası) görelî yatay yer değiştirmeleri

Şekil 4.19, Şekil 4.20 ve Şekil 4.21 incelendiğinde anlaşılacağı gibi $H/B=1,00$ olan yapı-zemin modellerinin sert zeminde üst yapıların bodrum katlı olup olmamasının önemli bir etkisi yok iken, yumuşak zemin üzerinde inşa edilmeleri halinde bodrum katlı olmalarının deprem davranışında oldukça katkısı vardır.

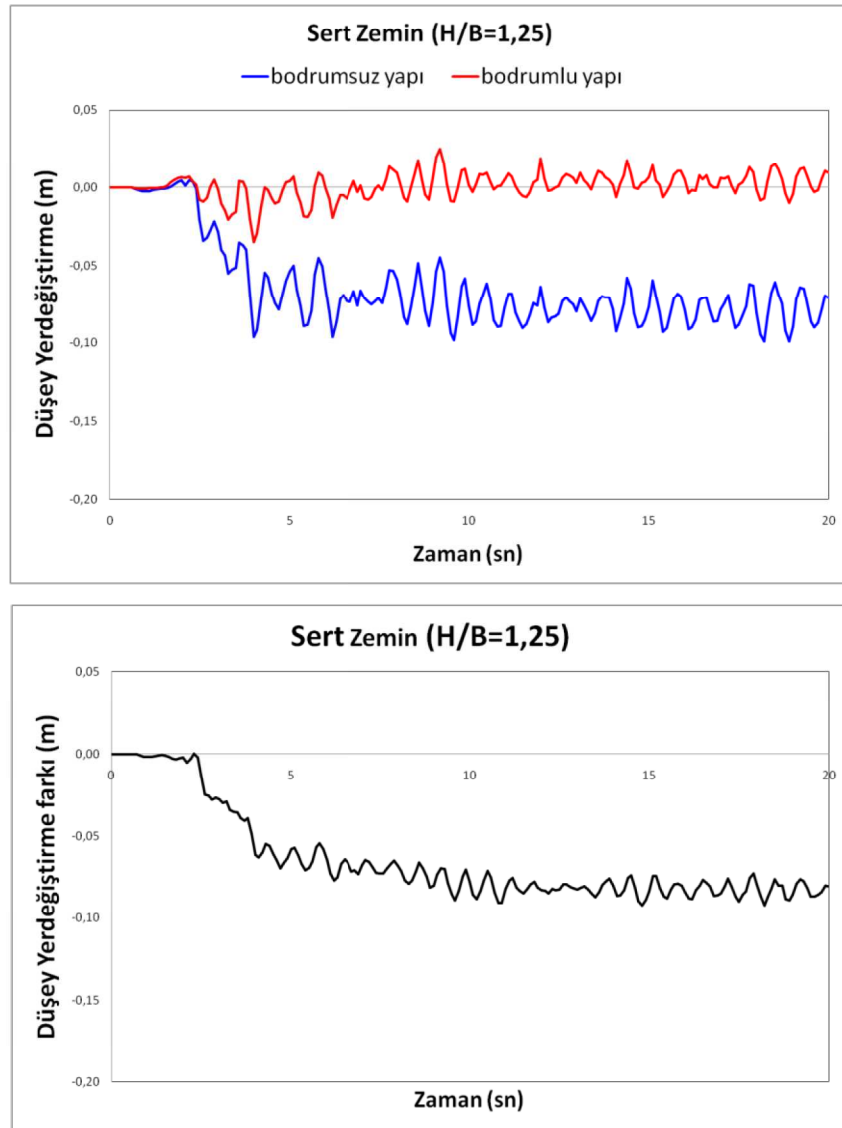
Yatay yer değiştirme açısından değerlendirme yapıldığında, Şekil 4.20'de de görüldüğü gibi $H/B=1,00$ olan yapı-zemin modellerinin sert zeminde yapılmaları durumunda bodrum katlı olup olmamalarının yapı davranışında önemli bir etkisi yok iken, Şekil 4.23'te de görüldüğü gibi yumuşak zeminde yapılmaları halinde bodrum katın yapı davranışına katkı sağladığı gözlenmektedir.

4.3.4. $H/B=1,25$ olan yapı-zemin modeli

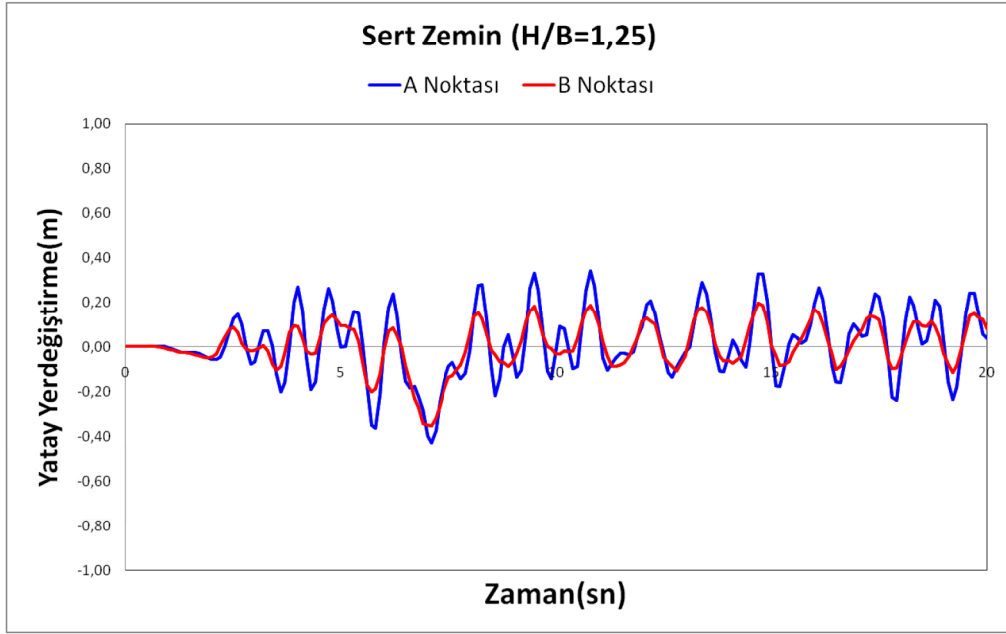
$H/B=1,25$ olan yapı zemin modellerinde üst yapı beş katlı olarak belirlenmiştir. Kat yükseklikleri 3m seçildiği için yapı yüksekliği 15m ve yapı yüksekliğinin yapı genişliği $B=12m$ ye oranı 1,25 e karşılık gelmektedir. $H/B=1,25$ olan yapı-zemin

modellerinin tamamının zaman tanım alanındaki dinamik analizleri Plaxis sonlu eleman programı ile yapılmıştır.

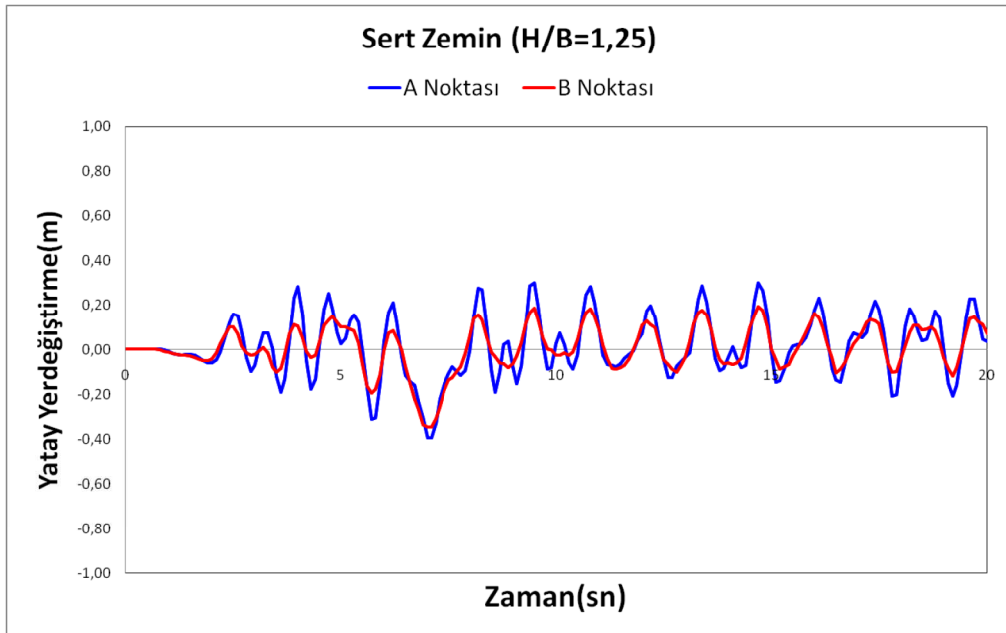
Bu analizler sonucunda yapı temelini düşey yer değiştirmesi Şekil 4.26 ve Şekil 4.29'da, yapı tepe noktasının temele göre görece yatay yer değiştirmeleri Şekil 4.27'de sert ve Şekil 4.30'da yumuşak zemin için grafikler halinde sunulmuştur. Ayrıca yapının görece kat yer değiştirmelerinin maksimum değerleri Şekil 4.32'de tüm yapı-zemin modelleri için gösterilmiştir.



Şekil 4.26. H/B=1,25 olan yapı-zemin modelinde (sert zemin) üstyapının zemin üst kotu (B noktası)'nın bodrumlu ve bodrumsuz yapıdaki düşey yer değiştirmeleri

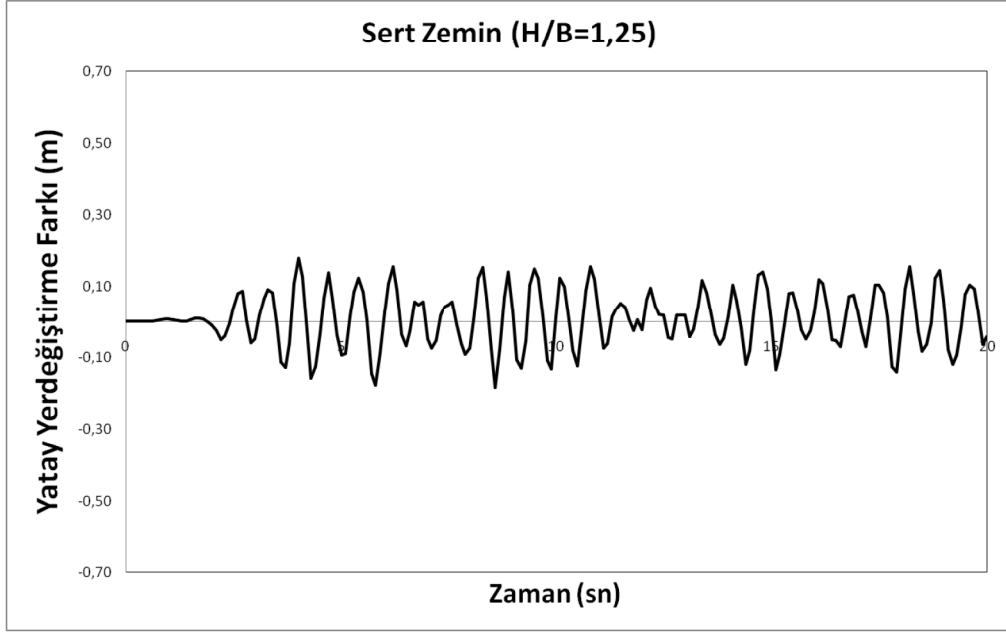


a) Bodrumsuz

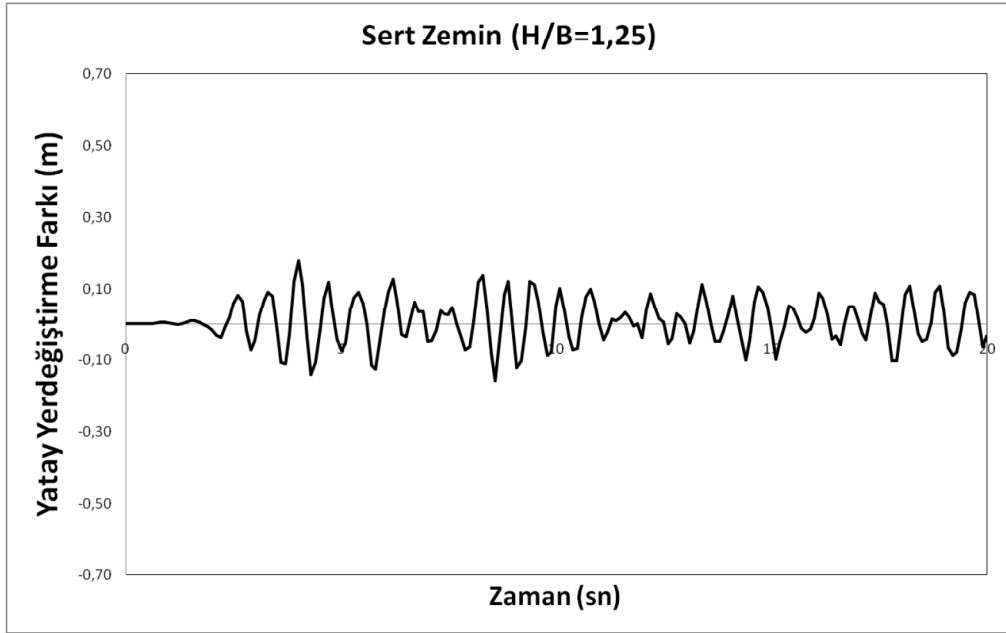


b) Bodrumlu

Şekil 4.27. H/B=1,25 olan yapı-zemin modelinde (sert zemin) üstyapının tepe noktası (A noktası) ile zemin üst kotundaki (B noktası) yatay yer değiştirmeleri

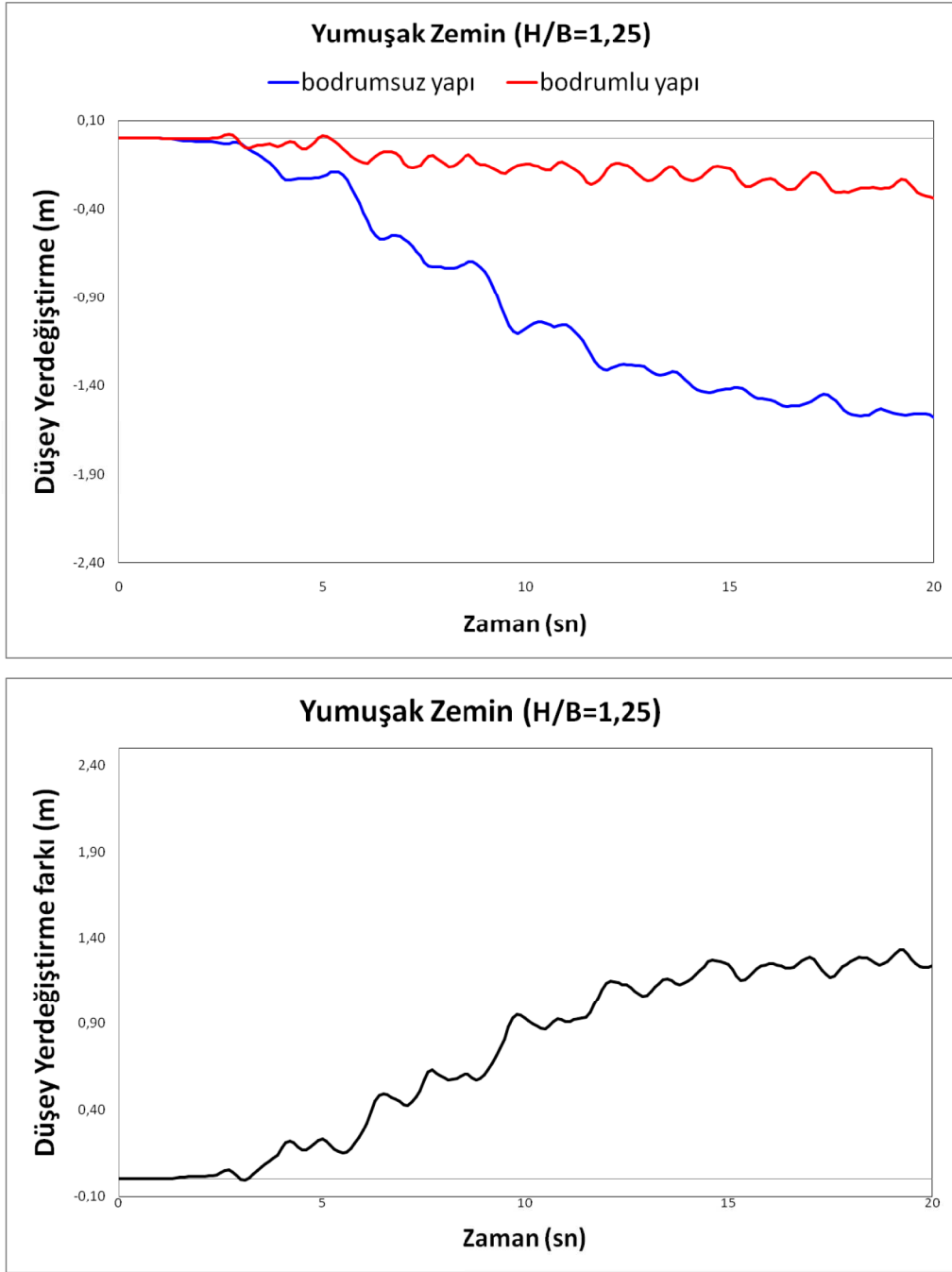


a) Bodrumsuz

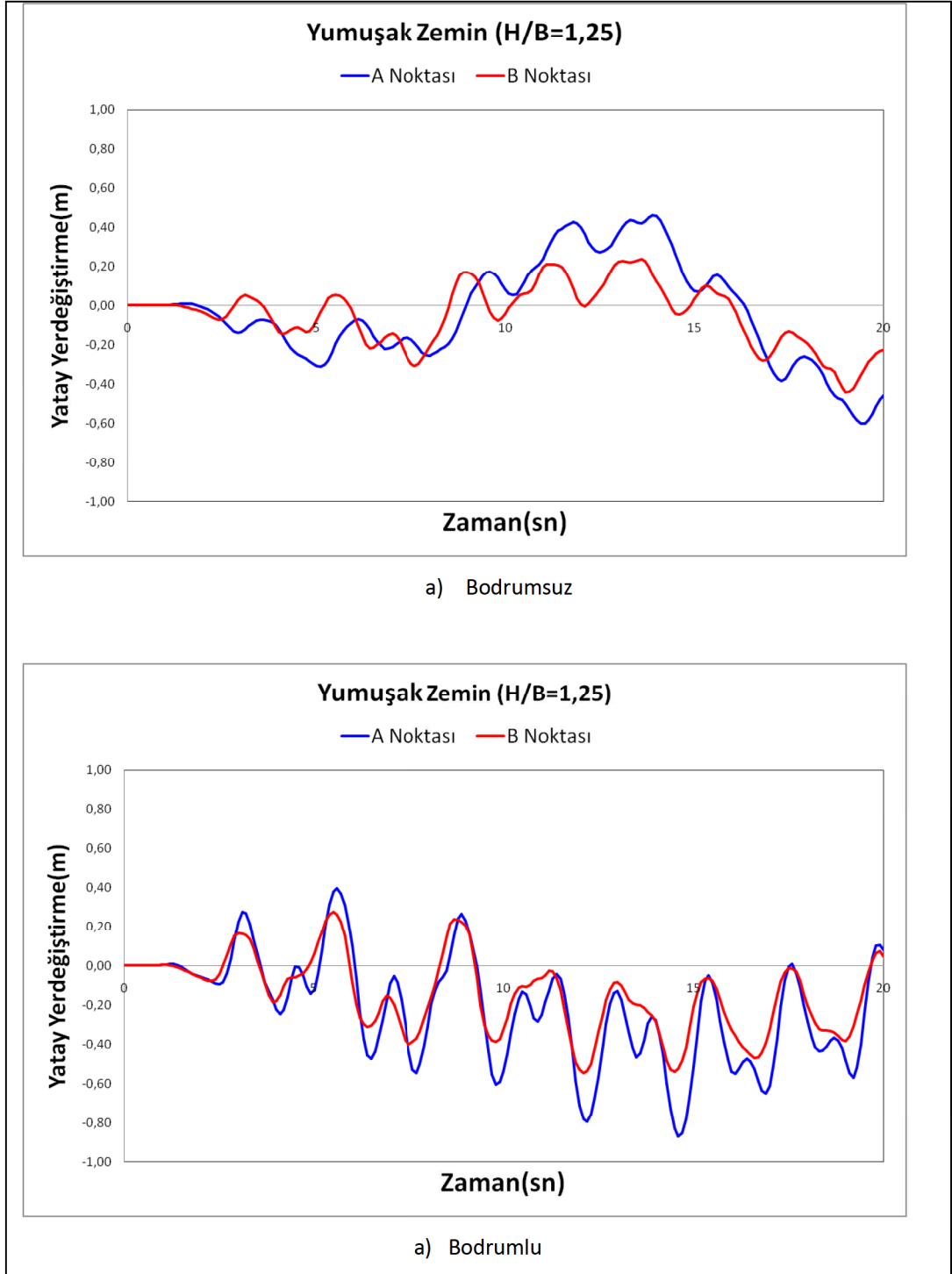


b) Bodrumlu

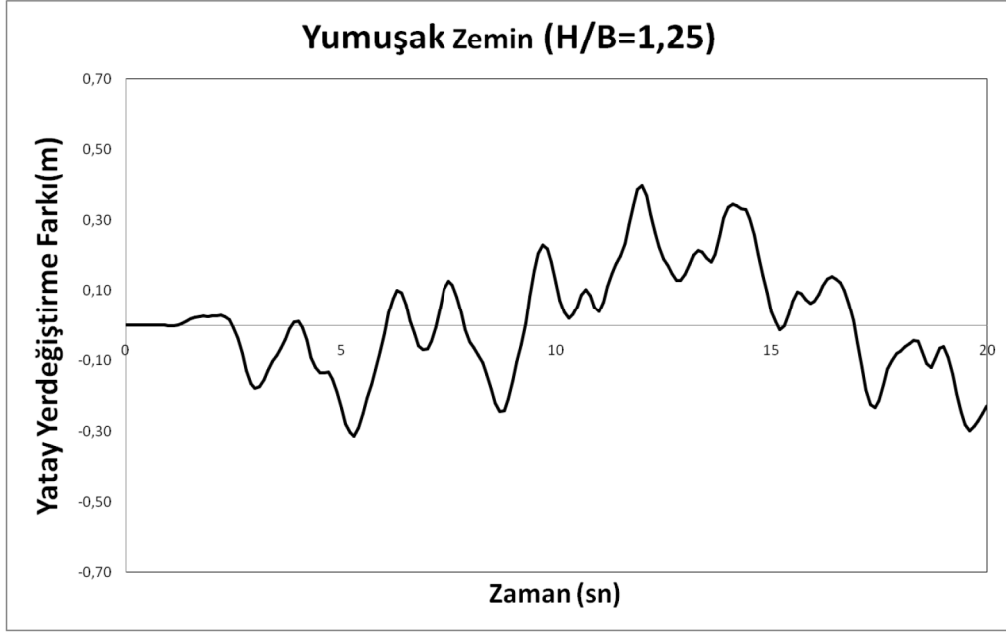
Şekil 4.28. H/B=1,25 olan yapı zemin modelinde üstyapının tepe noktasının (A noktası) zemin üst kotuna göre (B noktası) görelî yatay yer değiştirmeleri



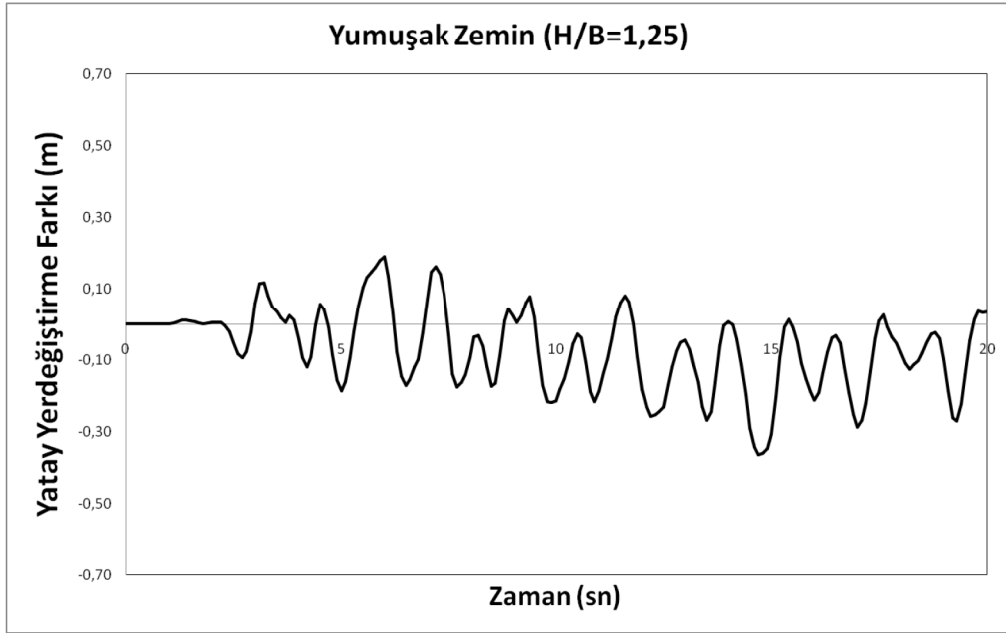
Şekil 4.29. H/B=1,25 olan yapı-zemin modelinde (yumuşak zemin) üstyapının zemin üst kotu (B noktası)'nın bodrumlu ve bodrumsuz yapıdaki düşey yer değiştirmeleri



Şekil 4.30. H/B=1,25 olan yapı-zemin modelinde (yumuşak zemin) üstyapının tepe noktası (A noktası) ile zemin üst kotundaki (B noktası) yatay yer değiştirmeleri



a) Bodrumsuz



a) Bodrumlu

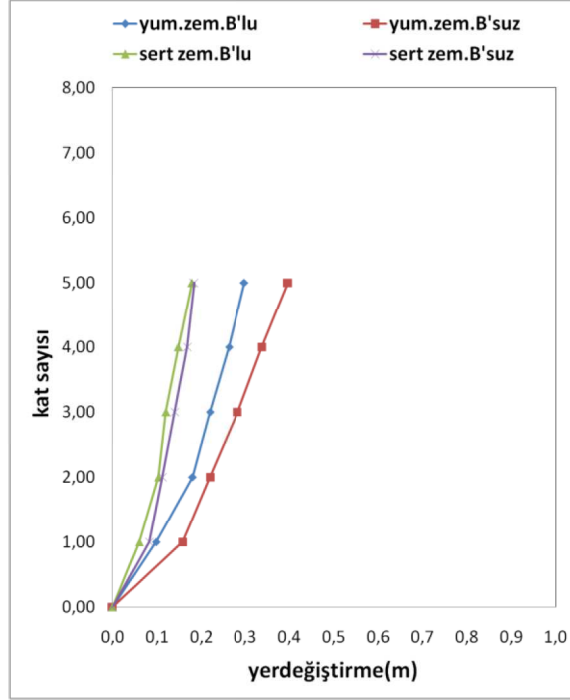
Şekil 4.31. H/B=1,25 olan yapı-zemin modelinde (yumuşak zemin) üstyapının tepe noktasının (A noktası) zemin üst kotuna göre (B noktası) göreli yatay yer değiştirmeleri

Şekil 4.26 ve Şekil 4.27’de de açıkça görüldüğü gibi H/B oranının 1,25 olduğu binaların sert zemin üzerine yapılması durumunda bu binaların bodrum katlı olup olmamasının yapı davranışında katkısı olmakla beraber, değerler göz ardı

edilebilecek düzeylerde kalmaktadır. Bodrum katı olan bina ile bodrum katı olmayan binaların deprem etkisi altındaki davranışları birbirine yakındır. Yapının bodrumsuz olması halinde yapı tepe noktasının görelî yer değiştirmesi 0,184 m ve yapının bodrumlu olması halinde ise 0,179 m civarlarındadır.

Düşey yer değiştirmelerde ise sert zemin için pek farklı olmasada, yumuşak zeminlerde bodrum katkısı dikkat çekmektedir. Üstyapı sert zeminde inşa ediliyorsa bodrumlu ve bodrumsuz olması durumunda oturmalar arasındaki fark yaklaşık 0,06 m civarında kalmaktadır, yumuşak zeminde yapıldığında bodrumlu inşa edilmesi halinde 0,20 m oturma ölçülürken, bodrumsuz inşa edilmesi halinde oturma değeri 1,60 m seviyesine kadar ulaşabilmektedir. Yani bodrum sayesinde bina yaklaşık 1,40 m daha az oturma göstermiştir. Dolayısıyla üst yapı yumuşak zeminlerde inşa ediliyorsa bodrum katlı olması deprem davranışında önemli faydalar sağlamaktadır.

şekil 4.28 ve şekil 4.29'da da açıkça görüldüğü gibi H/B oranının 1,25 olduğu binaların yumuşak zemin üzerine yapılması durumunda da bodrum katı olan bina ile bodrum katı olmayan binaların deprem davranışları belirgin şekilde farklılıklar göstermektedir. Bununla birlikte, şekil 4.30 dikkatle incelendiğinde yumuşak zemin üzerindeki bu yapıların temellerinde kaymalar oluşmaktadır. Bina temelinde oluşan bu kaymalar H/B=1,00 olan yapıya benzerlik göstermekle birlikte kayma miktarı tehlikeli olabilecek düzeydedir. Yapının bodrumsuz olması halinde yapı tepe noktasının görelî yer değiştirmesi 0,397 m ve yapının bodrumlu olması halinde ise 0,298 m civarlarındadır. Dolayısıyla, H/B=1,25 olması durumunda yapıların bodrum katlı olması yapıya deprem davranışında katkı sağlamaktadır.



Şekil 4.32. H/B=1,25 olan yapı-zemin modellerinde katların zemin üst kotuna göre (B noktası) görelî yatay yer değiştirmeleri

Şekil 4.26, Şekil 4.27 ve Şekil 4.28 incelendiğinde anlaşılacağı gibi H/B=1,25 olan yapı-zemin modellerinin sert zeminde üst yapıların bodrum katlı olup olmamasının önemli bir etkisi yok iken, Şekil 4.29 ve Şekil 4.30'dan anlaşıldığı gibi yumuşak zemin üzerinde inşa edilmeleri halinde bodrum katlı olmalarının deprem davranışında oldukça katkısı vardır.

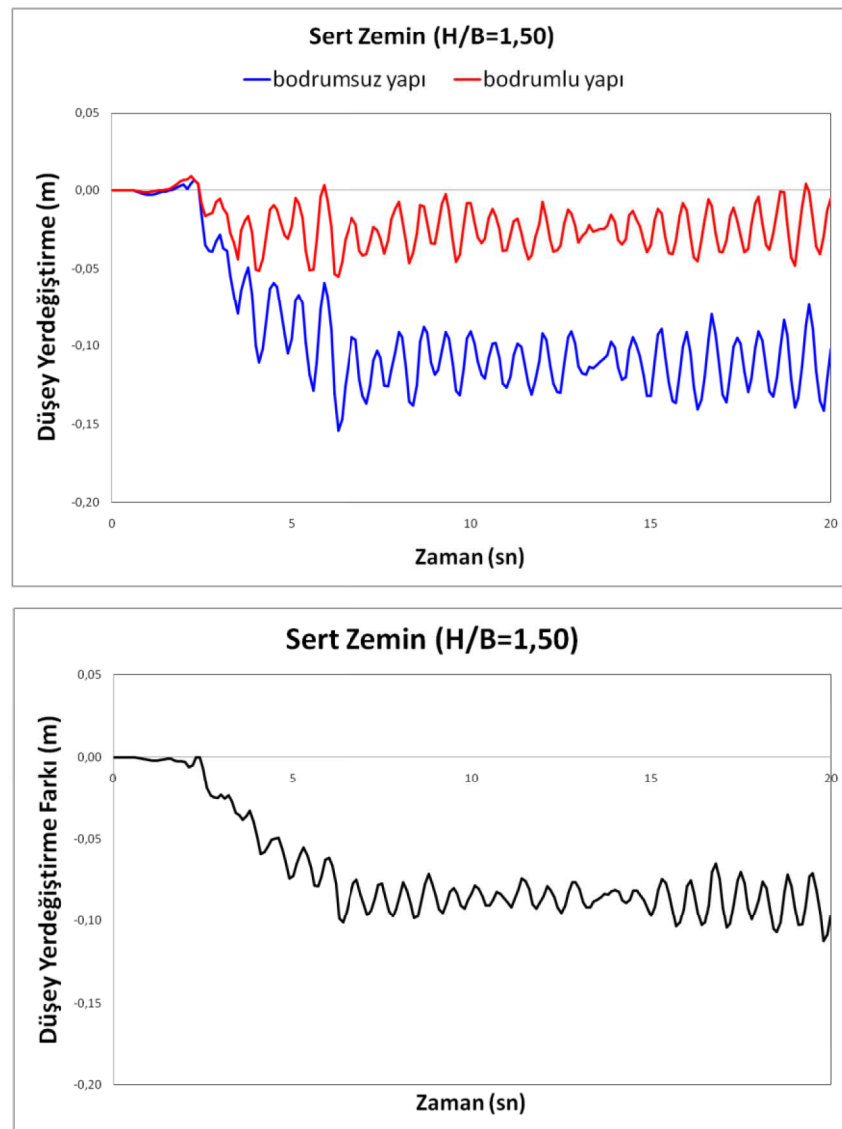
Şekil 4.32 de görüldüğü gibi H/B=1,25 olan yapı-zemin modellerinin sert zeminde yapılmaları durumunda bodrum katlı olup olmamalarının yapı davranışında önemli bir etkisi yok iken, yumuşak zeminde yapılmaları halinde bodrum katın yapı davranışına katkı sağladığı gözlenmektedir.

4.3.5. H/B=1,50 olan yapı-zemin modeli

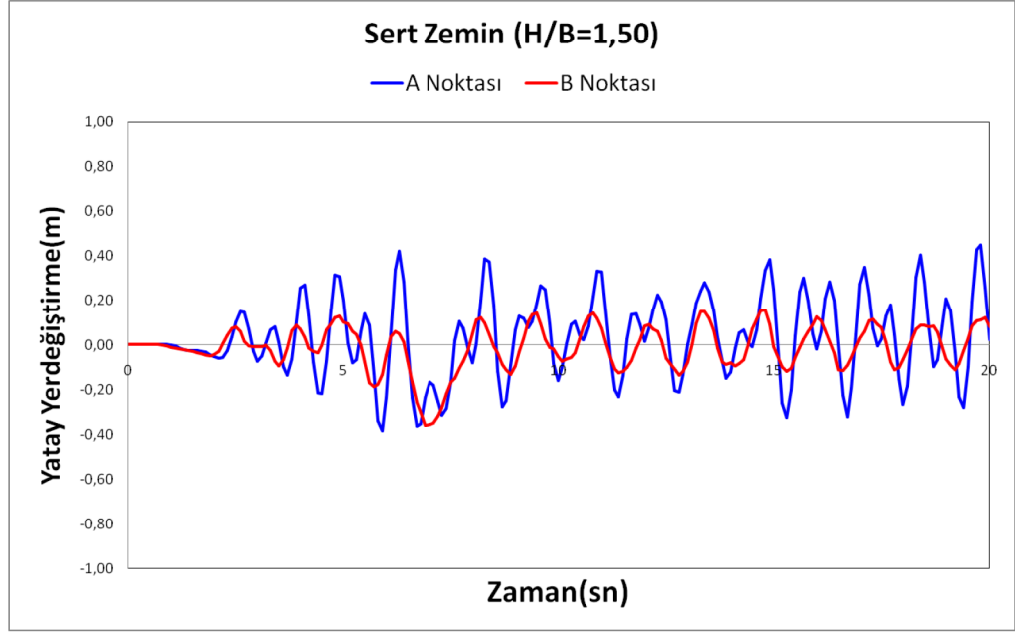
H/B=1,50 olan yapı zemin modellerinde üst yapı altı katlı olarak belirlenmiştir. Kat yükseklikleri 3m seçildiği için yapı yüksekliği 18m ve yapı yüksekliğinin yapı genişliği B=12m ye oranı 1,50 e karşılık gelmektedir. H/B=1,50 olan yapı-zemin

modellerinin tamamının zaman tanım alanındaki dinamik analizleri Plaxis sonlu eleman programı ile yapılmıştır.

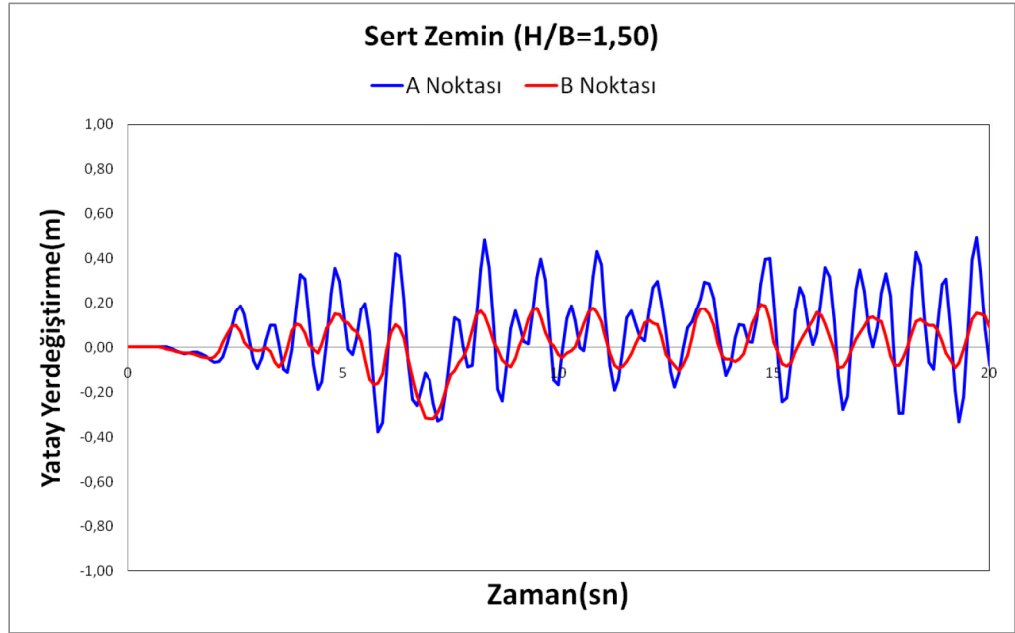
Bu analizler sonucunda yapı temelini düşey yer değiştirmesi Şekil 4.33 ve Şekil 4.36'da ve yapı tepe noktasının temele göre göreli yatay yer değiştirmeleri Şekil 4.34'te sert ve Şekil 4.37'de yumuşak zemin için grafikler halinde sunulmuştur. Ayrıca yapının göreli kat yer değiştirmelerinin maksimum değerleri Şekil 4.39'da tüm yapı-zemin modelleri için gösterilmiştir.



Şekil 4. 33. H/B=1,50 olan yapı-zemin modelinde (sert zemin) üstyapının zemin üst kotu (B noktası)'nın bodrumlu ve bodrumsuz yapıdaki düşey yer değiştirmeleri

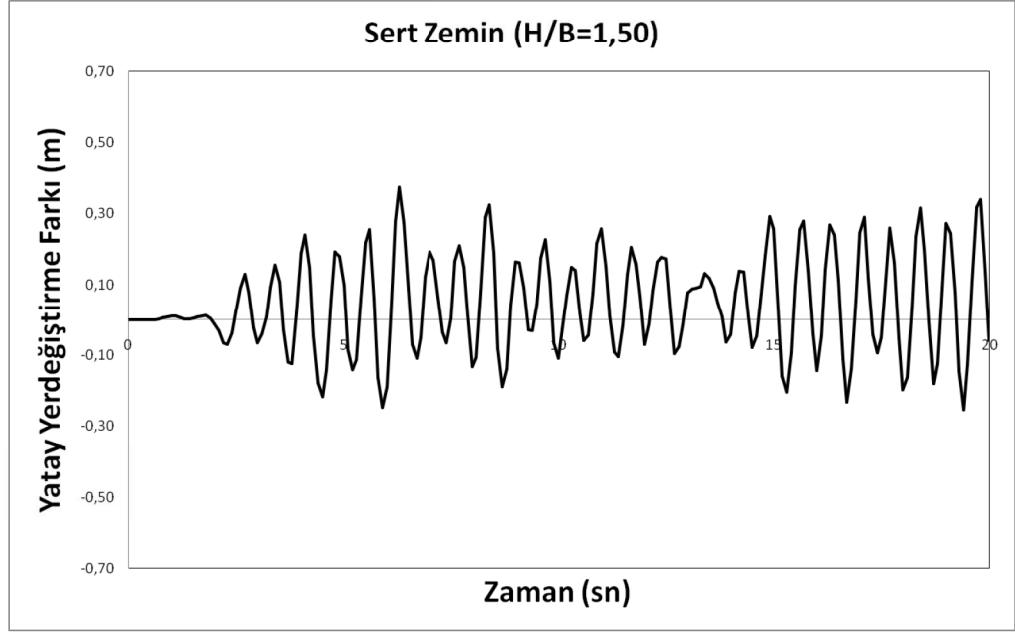


a) Bodrumsuz

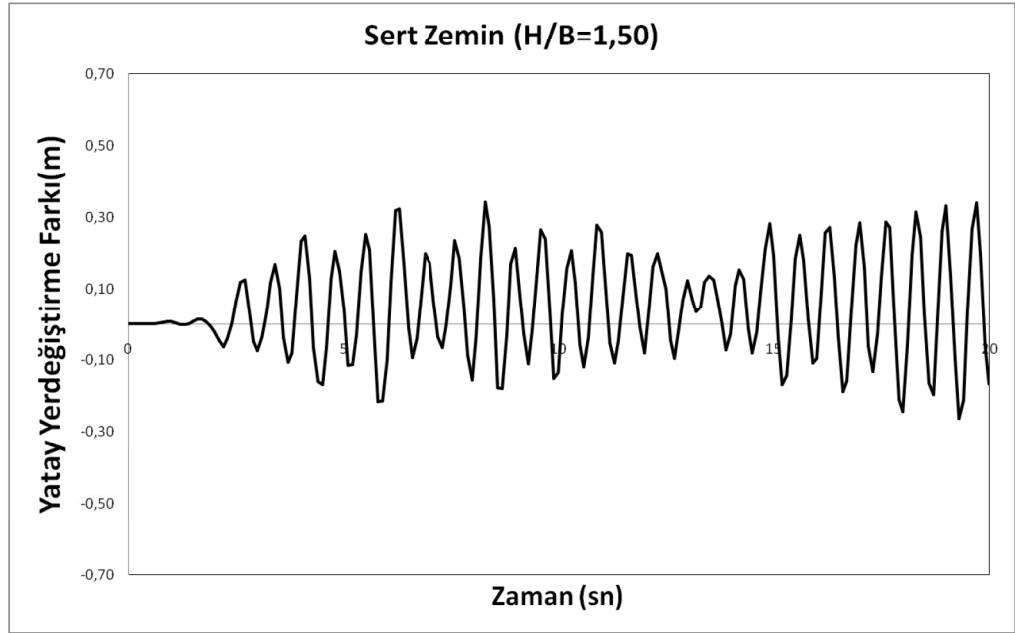


b) Bodrumlu

Şekil 4.34. H/B=1,50 olan yapı-zemin modelinde (sert zemin) üstyapının tepe noktası (A noktası) ile zemin üst kotundaki (B noktası) yatay yer değiştirmeleri

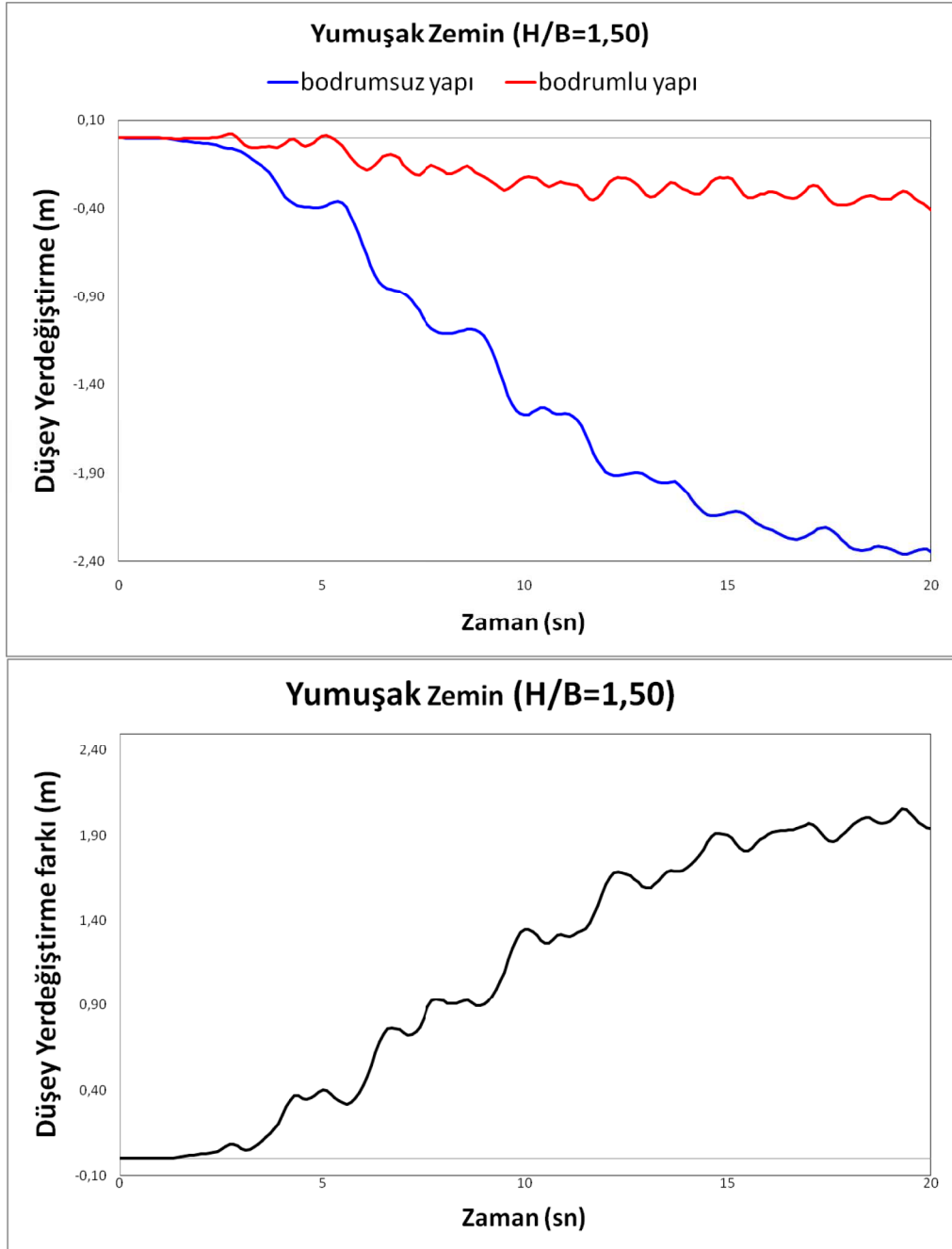


a) Bodrumsuz

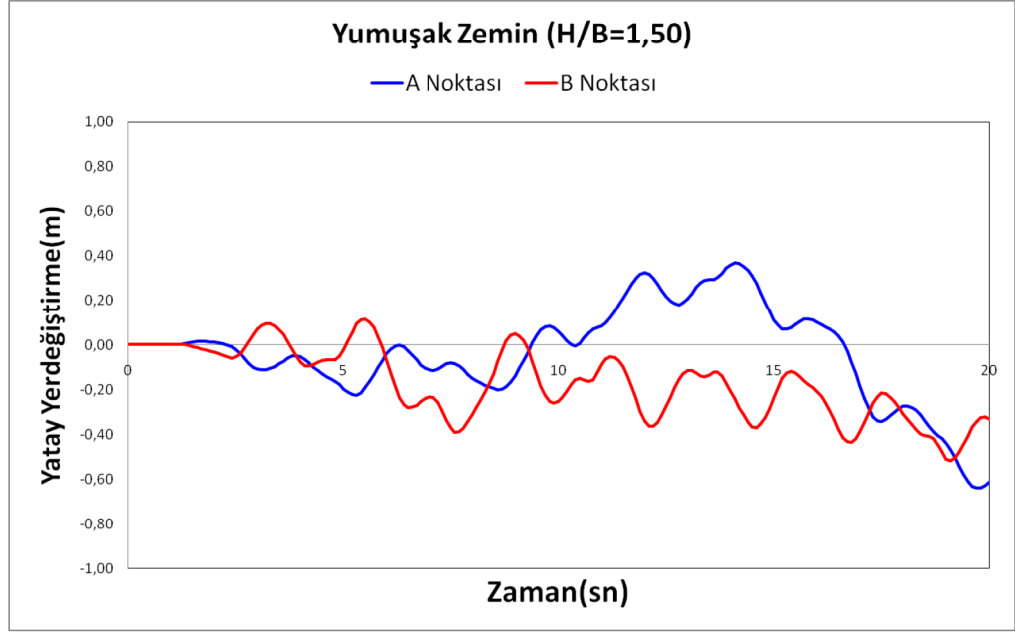


b) Bodrumlu

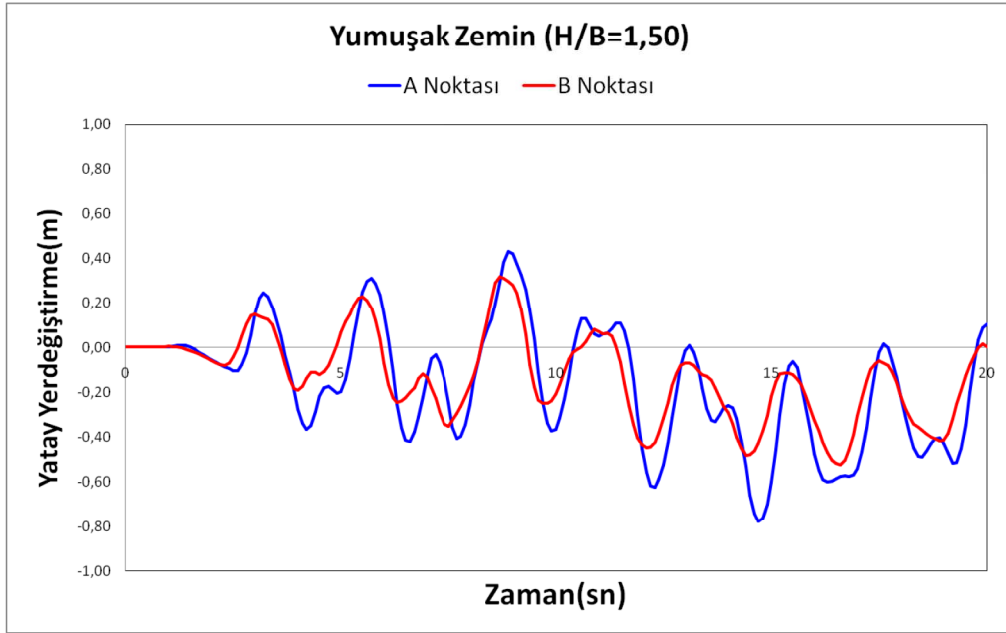
Şekil 4.35. H/B=1,50 olan yapı zemin modelinde üstyapının tepe noktasının (A noktası) zemin üst kotuna göre (B noktası) göreli yatay yer değiştirmeleri



Şekil 4.36. $H/B=1,50$ olan yapı-zemin modelinde (yumuşak zemin) üstyapının zemin üst kotu (B noktası)'nın bodrumlu ve bodrumsuz yapıdaki düşey yer değiştirmeleri

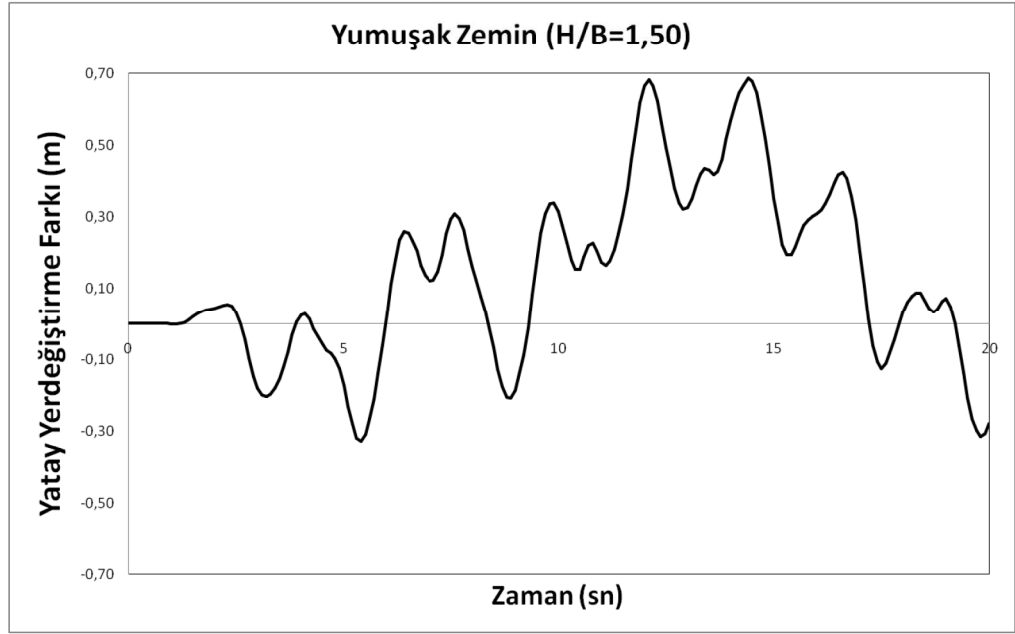


a) Bodrumsuz

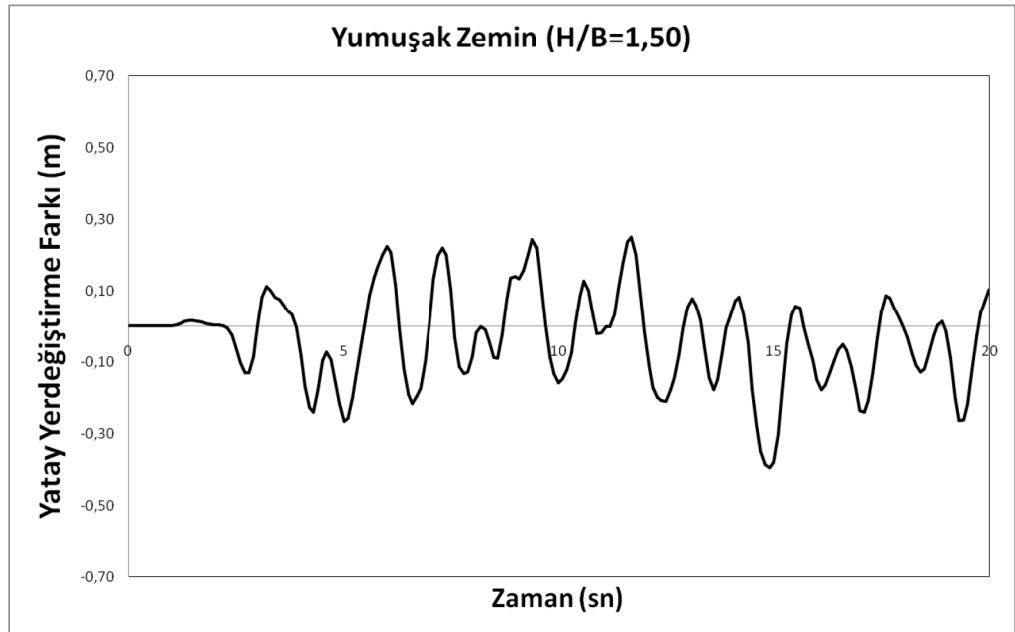


a) Bodrumlu

Şekil 4.37. H/B=1,50 olan yapı-zemin modelinde (yumuşak zemin) üstyapının tepe noktası (A noktası) ile zemin üst kotundaki (B noktası) yatay yer değiştirmeleri



a) Bodrumsuz



a) Bodrumlu

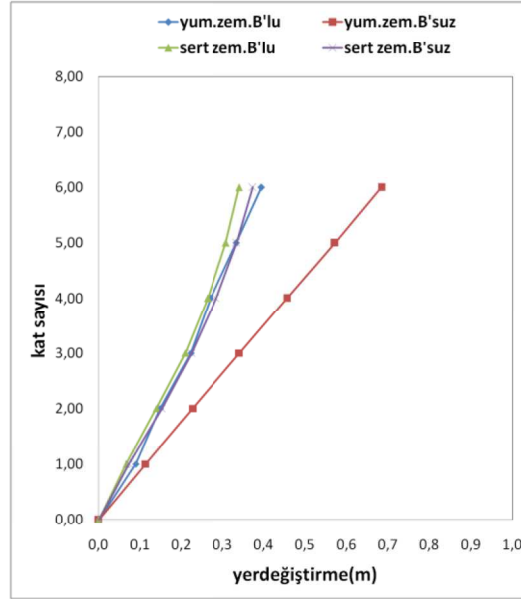
Şekil 4.38. H/B=1,50 olan yapı-zemin modelinde (yumuşak zemin) üstyapının tepe noktasının (A noktası) zemin üst kotuna göre (B noktası) görelî yatay yer değiştirmeleri

Şekil 4.33 ve Şekil 4.34'te de açıkça görüldüğü gibi H/B oranının 1,50 olduğu binaların sert zemin üzerine yapılması durumunda bu binaların bodrum katlı olup

olmamasının yapı davranışında önemli bir etkisi bulunmamaktadır. Bodrum katı olan bina ile bodrum katı olmayan binaların deprem etkisi altındaki davranışları birbirine yakındır. Yapının bodrumsuz olması halinde yapı tepe noktasının görelî yer değıştirmesi 0,374 m ve yapının bodrumlu olması halinde ise 0,341 m civarlarındadır.

Düşey yer değıştirmelerde ise sert zemin için pek farklı olmasada, yumuşak zeminlerde bodrum katkısı dikkat çekmektedir. Üstyapı sert zeminde inşa ediliyorsa bodrumlu ve bodrumsuz olması durumunda oturmalar arasındaki fark yaklaşık 0,06 m civarında kalmaktadır, yumuşak zeminde yapıldığında bodrumlu inşa edilmesi halinde 0,25 m oturma ölçülürken, bodrumsuz inşa edilmesi halinde oturma değeri 2,35 m seviyesine kadar ulaşabilmektedir. Yani bodrum sayesinde bina yaklaşık 2,10 m daha az oturma göstermiştir. Dolayısıyla üst yapı yumuşak zeminlerde inşa ediliyorsa bodrum katlı olması deprem davranışında önemli faydalar sağlamaktadır.

Şekil 4.36 ve Şekil 4.37’de de açıkça görüldüğü gibi H/B oranının 1,50 olduğu binaların yumuşak zemin üzerine yapılması durumunda da bodrum katı olan bina ile bodrum katı olmayan binaların deprem davranışları belirgin şekilde farklılıklar göstermektedir. Bununla birlikte, Şekil 4.37 dikkatle incelendiğinde yumuşak zemin üzerindeki bu yapıların temellerinde kaymalar oluştuğu görülmektedir. Bina temelinde oluşan bu kaymalar H/B=1,25 olan yapıya benzerlik göstermekle birlikte kayma miktarı tehlikeli olabilecek düzeydedir. Yapının bodrumsuz olması halinde yapı tepe noktasının görelî yer değıştirmesi 0,685 m ve yapının bodrumlu olması halinde ise 0,395 m civarlarındadır. Dolayısıyla, H/B=1,50 olması durumunda yapıların bodrum katlı olması yapıya deprem davranışında katkı sağlamaktadır.



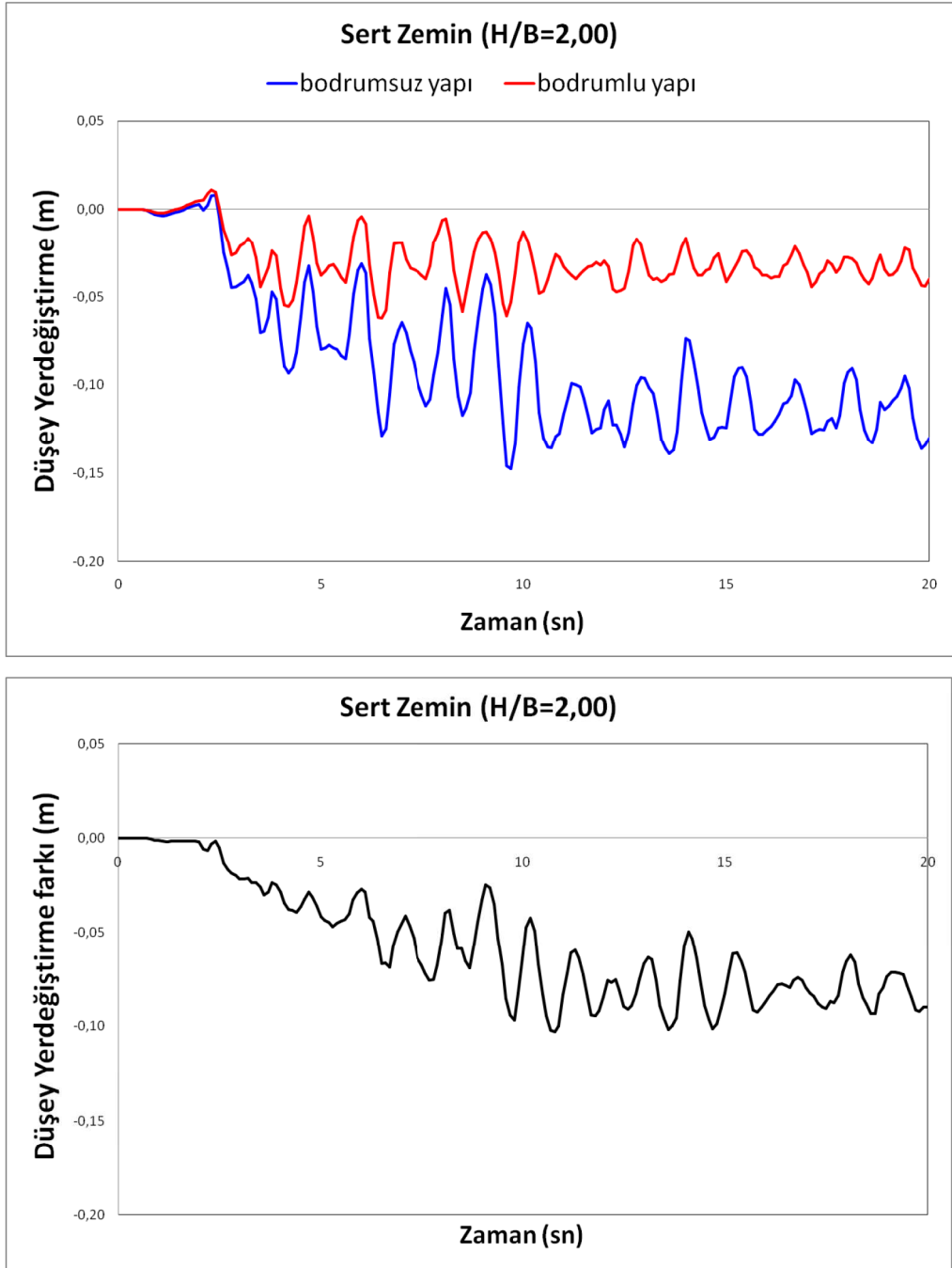
Şekil 4.39. H/B=1,50 olan yapı-zemin modellerinde katların zemin üst kotuna göre (B noktası) görelî yatay yer değiştirmeleri

Şekil 4.33, Şekil 4.34 ve Şekil 4.35 incelendiğinde anlaşılacağı gibi H/B=1,50 olan yapı-zemin modellerinin sert zeminde üst yapıların bodrum katlı olup olmamasının önemli bir etkisi yok iken, yumuşak zemin üzerinde inşa edilmeleri halinde bodrum katlı olmalarının deprem davranışında oldukça katkı sağlamaktadır.

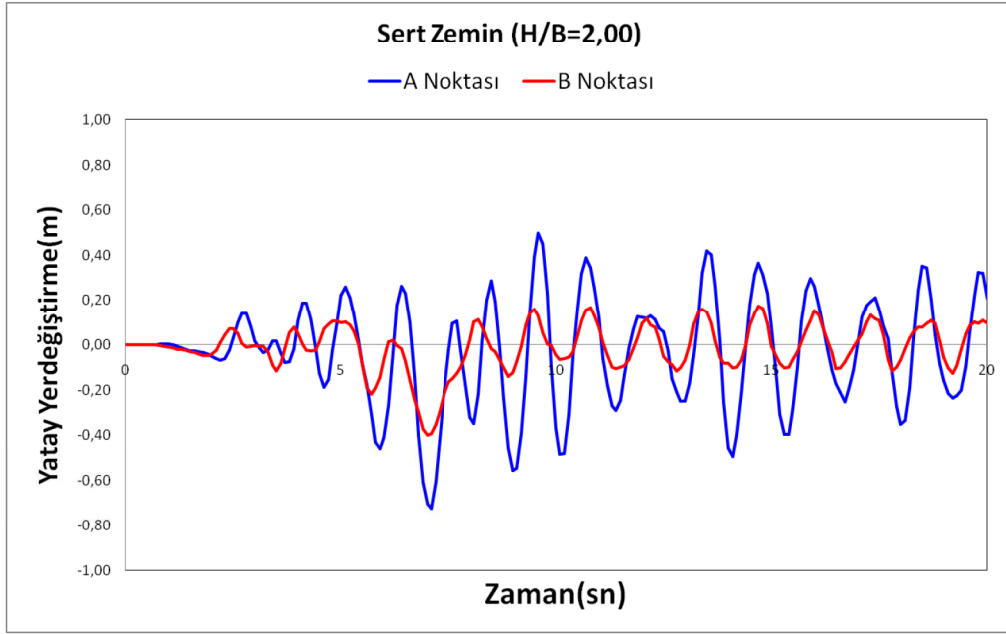
4.3.6. H/B=2,00 olan yapı-zemin modeli

H/B=2,00 olan yapı zemin modellerinde üst yapı sekiz katlı olarak belirlenmiştir. Kat yükseklikleri 3m seğildiği için yapı yüksekliği 24 m ve yapı yüksekliğinin yapı genişliği B=12m ye oranı 2,00 ye karşılık gelmektedir. H/B=2,00 olan yapı-zemin modellerinin tamamının zaman tanım alanındaki dinamik analizleri Plaxis sonlu eleman programı ile yapılmıştır.

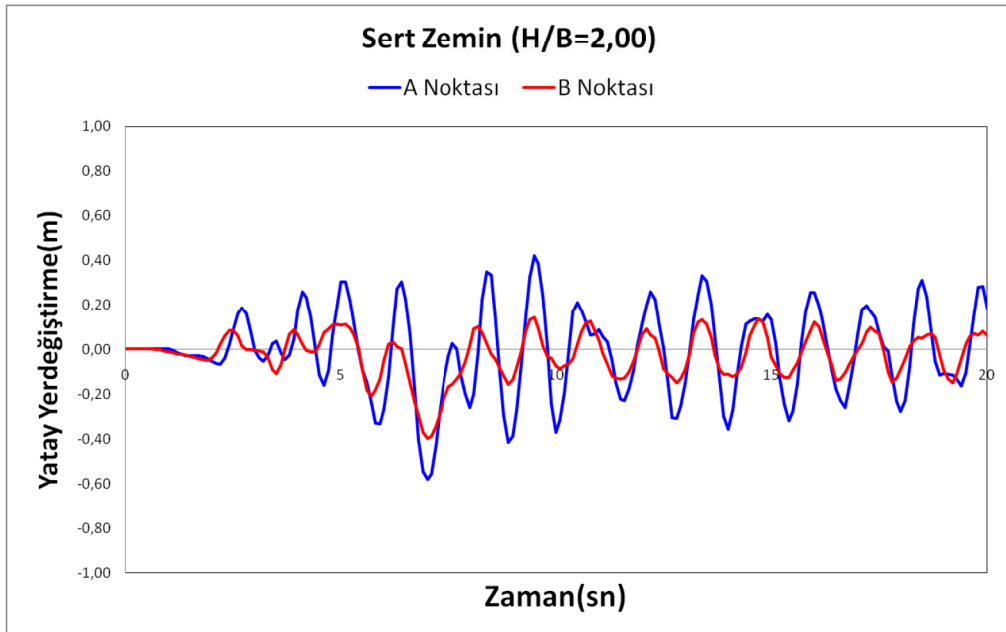
Bu analizler sonucunda yapı temelinin dūřey yerdeğiştirmesi Şekil 4.40 ve Şekil 4.43'te ve yapı tepe noktasının temele göre görelî yatay yer değiştirmeleri Şekil 4.41'de sert ve Şekil 4.44'te yumuşak zemin için grafikler halinde sunulmuştur. Ayrıca yapının görelî kat yer değiştirmelerinin maksimum değerleri Şekil 4.46'da tüm yapı-zemin modelleri için gösterilmiştir.



Şekil 4.40. H/B=2,00 olan yapı-zemin modelinde (sert zemin) üstyapının zemin üst kotuna (B noktası)'nın bodrumlu ve bodrumsuz yapıdaki düşey yer değiştirmeleri

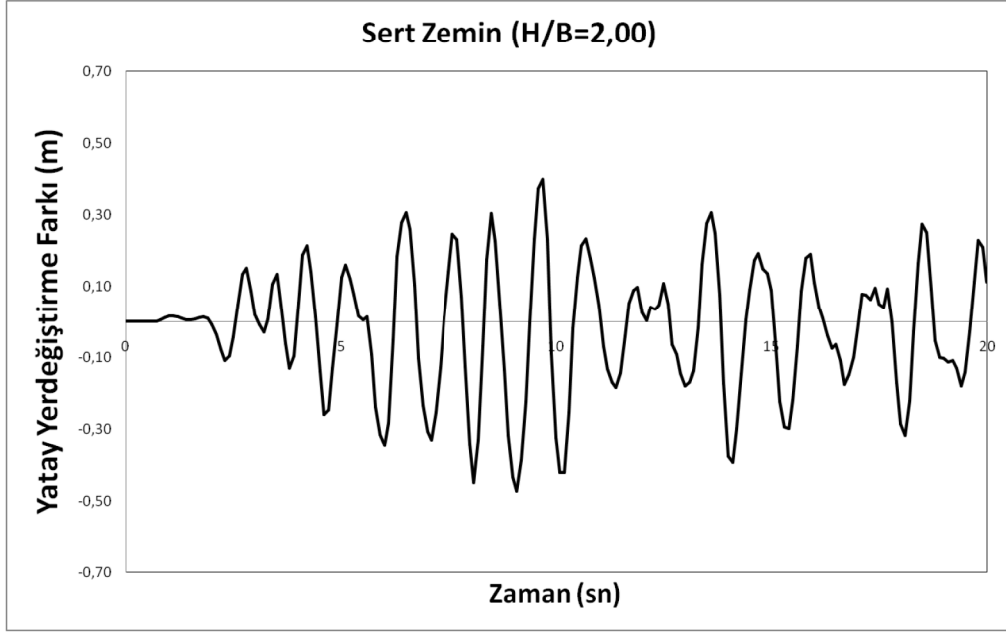


a) Bodrumsuz

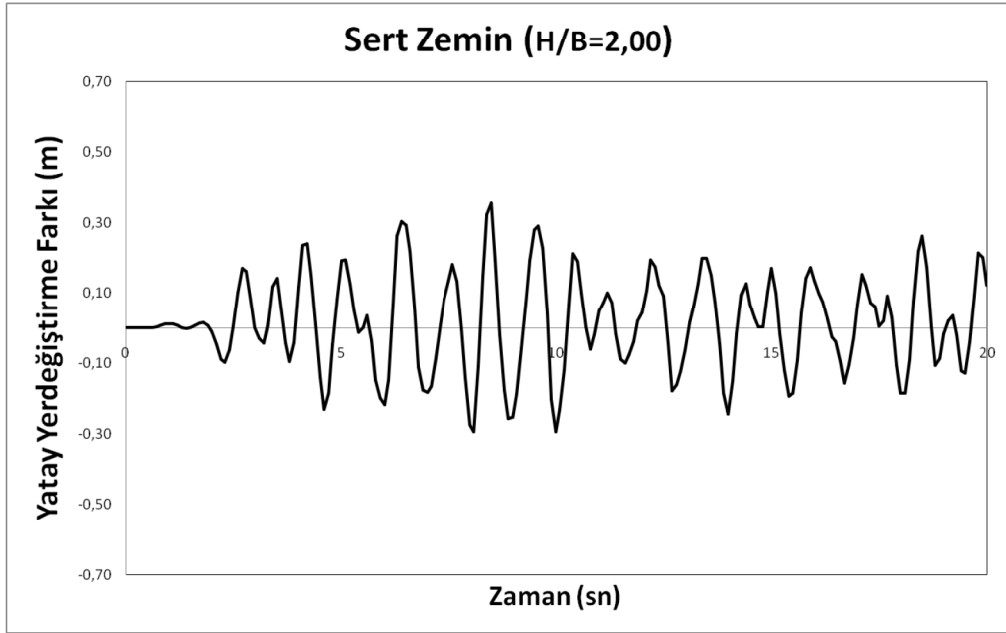


b) Bodrumlu

Şekil 4.41. H/B=2,00 olan yapı-zemin modelinde (sert zemin) üstyapının tepe noktası (A noktası) ile zemin üst kotundaki (B noktası) yatay yer değiştirmeleri

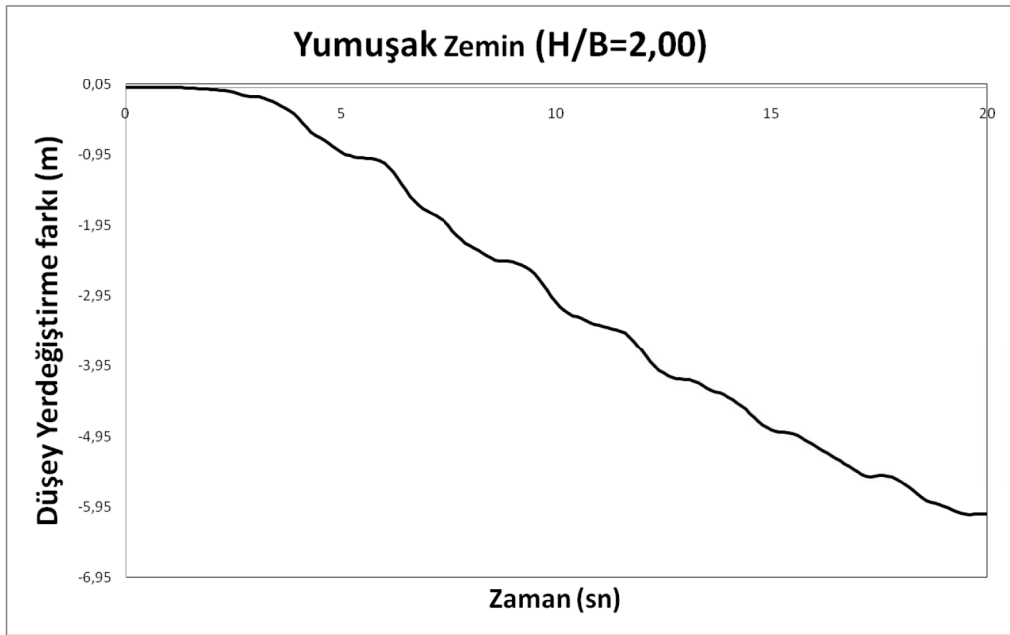
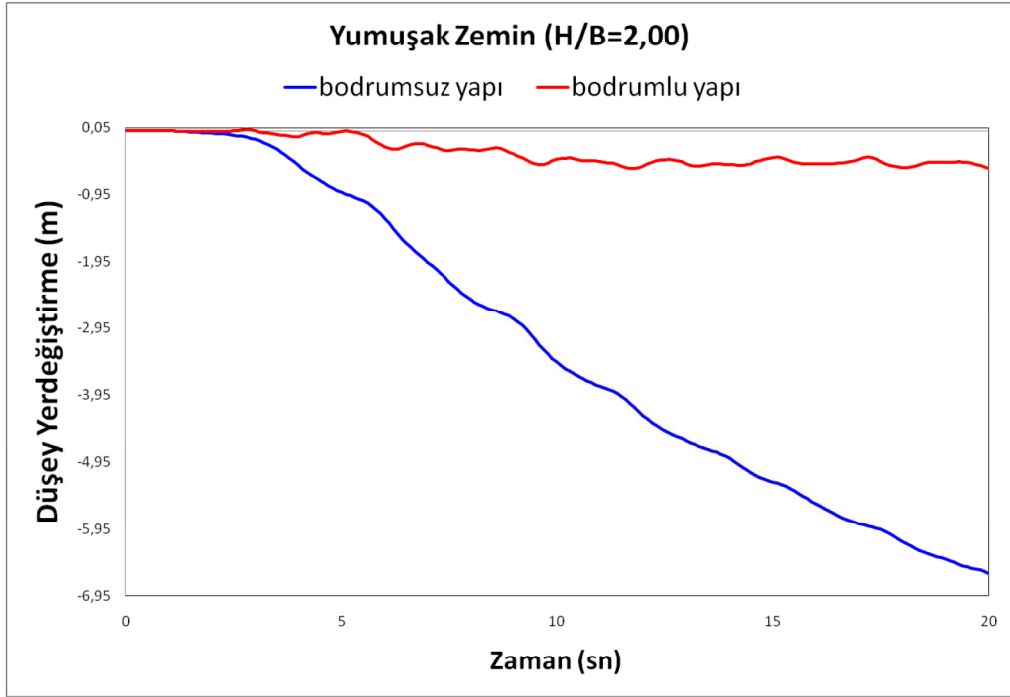


a) Bodrumsuz

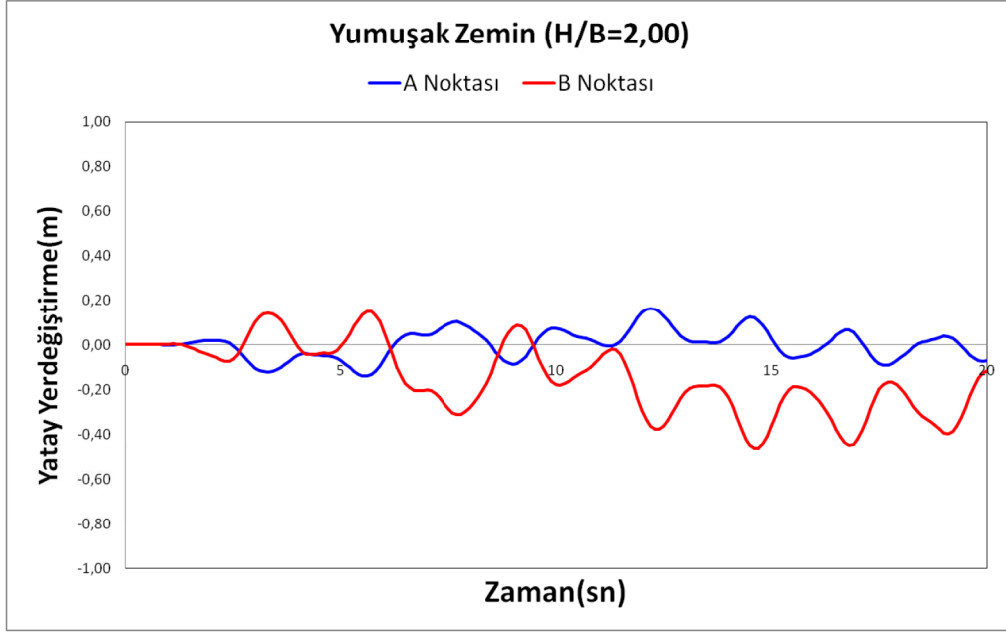


b) Bodrumlu

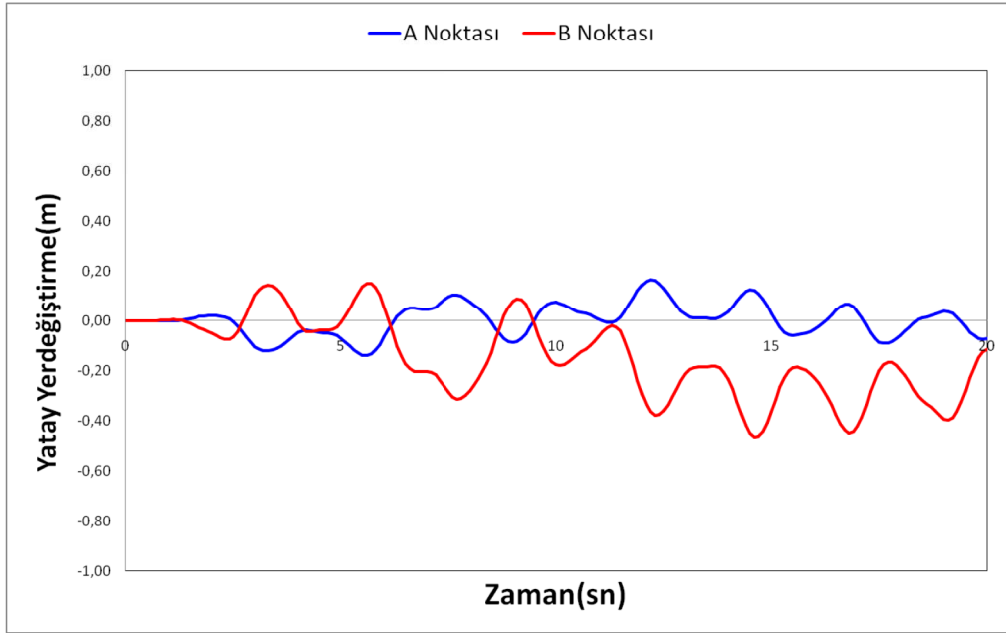
Şekil 4.42. H/B=2,00 olan yapı zemin modelinde üstyapının tepe noktasının (A noktası) zemin üst kotuna göre (B noktası) görelî yatay yer değiştirmeleri



Şekil 4.43. H/B=2,00 olan yapı-zemin modelinde (yumuşak zemin) üstyapının zemin üst kotu (B noktası)'nın bodrumlu ve bodrumsuz yapıdaki düşey yer değiştirmeleri

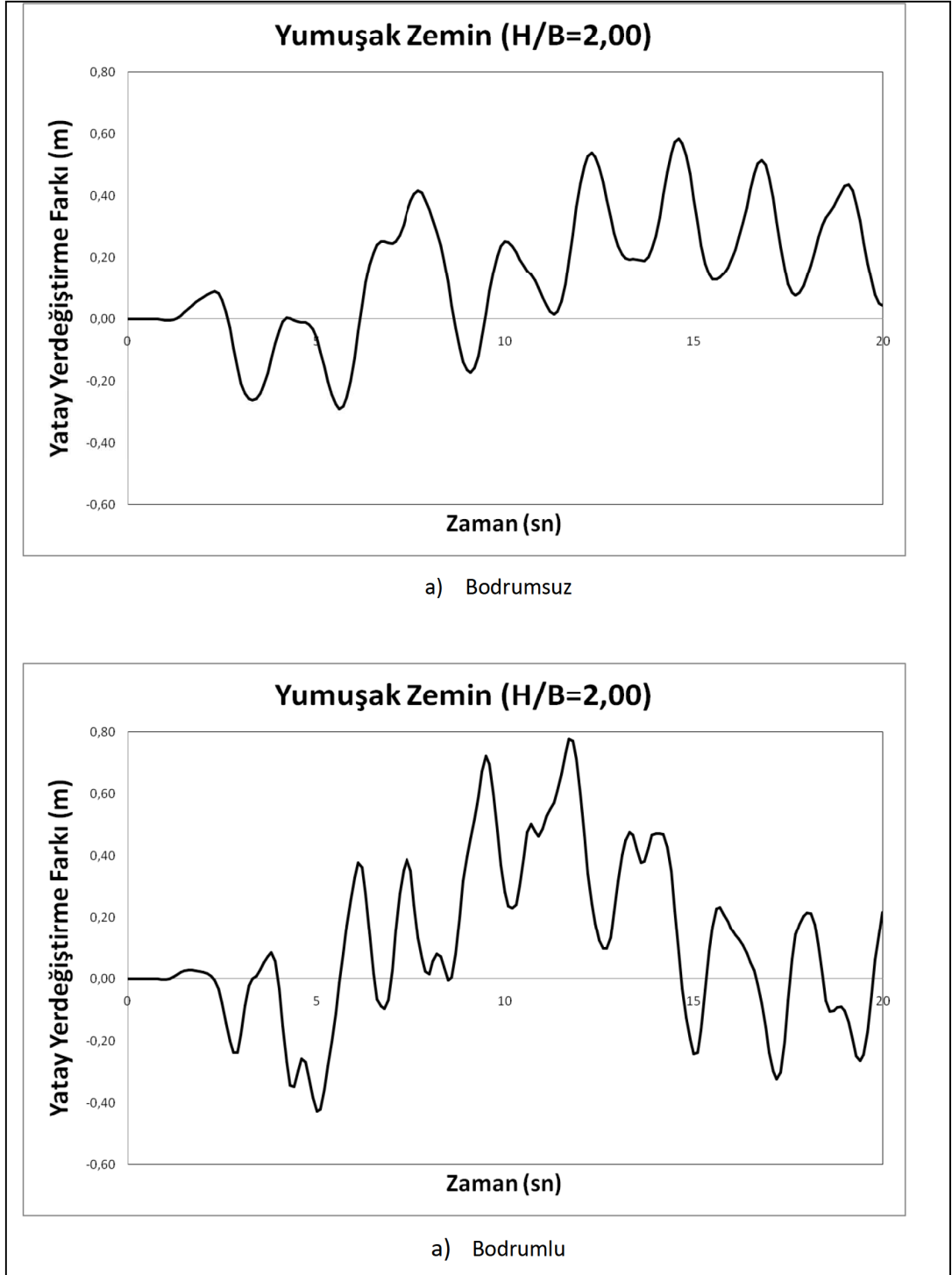


a) Bodrumsuz



a) Bodrumlu

Şekil 4.44. H/B=2,00 olan yapı-zemin modelinde (yumuşak zemin) üstyapının tepe noktası (A noktası) ile zemin üst kotundaki (B noktası) yatay yer değiştirmeleri

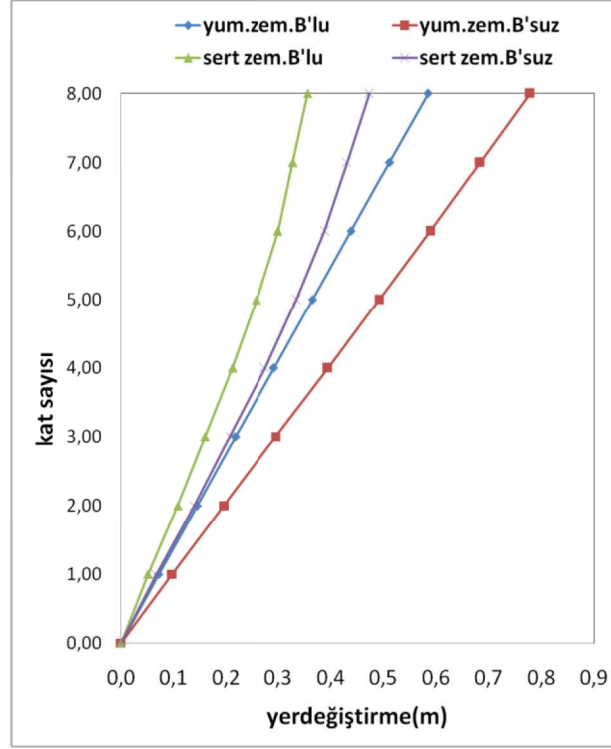


Şekil 4.45. H/B=2,00 olan yapı-zemin modelinde (yumuşak zemin) üstyapının tepe noktasının (A noktası) zemin üst kotuna göre (B noktası) görelî yatay yer değiştirmeleri

Şekil 4.40 ve Şekil 4.42’de de açıkça görüldüğü gibi H/B oranının 2,00 olduğu binaların sert zemin üzerine yapılması durumunda bu binaların bodrum katlı olup olmamasının yapı davranışında önemli bir etkisi bulunmamaktadır. Bodrum katı olan bina ile bodrum katı olmayan binaların deprem etkisi altındaki davranışları birbirine yakındır. Yapının bodrumsuz olması halinde yapı tepe noktasının görelî yer değiştirmesi 0,473 m ve yapının bodrumlu olması halinde ise 0,356 m civarlarındadır.

Düşey yer değiştirmelerde ise sert zemin üzerine inşa edilen yapılar da bodrumlu ya da bodrumsuz inşa edilmeleri durumunda ölçülen yer değiştirme değerlerinde farklılıklar vardır. Fakat bu farklar çok yüksek değerlere ulaşmamaktadır. Yumuşak zeminlerde yapılan yapılar da ise, bodrum katkısı belirgin şekilde dikkat çekmektedir. Üstyapı sert zeminde inşa ediliyorsa bodrumlu ve bodrumsuz olması durumunda oturmalar arasındaki fark yaklaşık 0,06 m civarında kalmaktadır, yumuşak zeminde yapıldığında bodrumlu inşa edilmesi halinde 0,55 m oturma ölçülürken, bodrumsuz inşa edilmesi halinde oturma değeri 6,60 m seviyesine kadar ulaşabilmektedir. Bodrum katlı ve bodrum katsız üst yapılar da oluşan oturma değerleri kıyaslandığında bodrum kat katkısıyla bina yaklaşık 6 m daha az oturma göstermiştir. Sonuç olarak üst yapı yumuşak zeminlerde inşa ediliyorsa bodrum katlı olması deprem davranışında önemli faydalar sağlamaktadır.

Şekil 4.43, Şekil 4.44 ve Şekil 4.45’te de açıkça görüldüğü gibi H/B oranının 2,00 olduğu binaların yumuşak zemin üzerine yapılması durumunda da bodrum katı olan bina ile bodrum katı olmayan binaların deprem davranışları belirgin şekilde farklılıklar göstermektedir. Bununla birlikte, Şekil 4.44 dikkatle incelendiğinde yumuşak zemin üzerindeki bu yapıların temellerinde kaymalar oluşmaktadır. Bina temelinde oluşan bu kaymalar $H/B=1,50$ olan yapıya benzerlik göstermekle birlikte kayma miktarı tehlikeli olabilecek düzeydedir. Yapının bodrumsuz olması halinde yapı tepe noktasının görelî yer değiştirmesi 0,778 m ve yapının bodrumlu olması halinde ise 0,585 m olarak ölçülmektedir. Dolayısıyla, $H/B=2,00$ olması durumunda yapıların bodrum katlı olması yapıya deprem davranışında katkı sağlamaktadır.



Şekil 4.46. $H/B=2,00$ olan yapı-zemin modellerinde katların zemin üst kotuna göre (B noktası) görelî yatay yer değiştirmeleri

Şekil 4.46'da da görüldüğü gibi $H/B=2,00$ olan yapı-zemin modellerinin sert zeminde yapılmaları durumunda bodrum katlı olup olmamalarının yapı davranışında önemli bir etkisi yok iken ,yumuşak zeminde yapılmaları halinde bodrum katın yapı davranışına katkı sağladığı gözlenmektedir.

Şekil 4.40, Şekil 4.41 ve Şekil 4.42 incelendiğinde anlaşılacağı gibi $H/B=2,00$ olan yapı-zemin modellerinin sert zemin üzerinde inşa edilmeleri halinde üst yapıların bodrum katlı olup olmamasının önemli bir etkisi yok iken, Şekil 4.43 ve Şekil 4.45 te görüldüğü gibi yumuşak zemin üzerinde inşa edilmeleri halinde bodrum katlı olmalarının deprem davranışında oldukça katkısı vardır.

BÖLÜM 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada 2, 3, 4, 5, 6, ve 8 katlı yapılar yumuşak ve sert zeminlerde ayrı ayrı bodrumlu ve bodrumsuz olarak modellenip gerekli dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Dinamik analizlerin sonuçları, her bir betonarme üst yapının tepe noktası-zemin üst kotu seviyesi için ve üst yapıların temele göre kat kat sıralanmış yer değiştirmeleri, ve etkin görelî kat ötelemelerinin zaman tanım alanındaki değişimleri grafikler halinde sunulmuştur.

Yapılan analizler sonucunda deplasmanların en büyük değere yumuşak zemin üzerinde modellenen bodrum katsız yapıda ulaştığı gözlenmiştir. Aynı zemin modelinde bodrum katlı olarak inşa edilen modelde deplasmanların, görelî kat ötelemelerinin daha düşük değerlere ulaştığı ve dolayısıyla da iyi denebilecek bir performans sergilediği gözlenmiştir. Burada bodrum kat etkisi öne çıkmaktadır. Bodrumlu modellenen yapıda kat ötelemelerindeki düşüşün sebebi zemine gömülü katın yanal yükü karşılamasıdır. Aynı üst yapılar sert zeminde modellenip, aynı analizler gerçekleştirildiğinde, yumuşak zemin üzerinde bodrumlu olarak inşa edilen yapının sert zemin üzerinde bodrumsuz inşa edilen yapıya yakın performans sergilediği gözlenmiştir. Üst yapının sert zemine bodrumlu inşa edilmesi ise yapı performansını olumlu etkilese de görelî kat ötelemelerinin, sert zemine bodrumsuz inşa edilen yapıdan çokta farklı olmadığı gözlenmiştir.

Öneriler;

- a) Çalışmanın sonuçlarında da vurgulandığı gibi, yumuşak zeminlerde inşa edilen özellikle de çok katlı(4 kat ve fazlası) yapılarda deplasmanlar yüksek çıkmaktadır ve bunu azaltmak için yapılar bodrumlu olarak inşa edilebilir.

- b) Bu çalışmada analizler non-lineer(zemin tabakalarının lineer olmayan özellikleri de hesaba katılarak) yapılmıştır. Dolayısıyla modeller gerçeğe uygun sonuçlar verecek şekilde kurulmuştur. Yapı zemin etkileşimi ile ilgili sorunların çözümlerinde betonarme üst yapı modellemesi yapan yazılımlar yerine, bu çalışmada kullanılan program ya da benzer programlardan yararlanılmalıdır.
- c) Günümüzde yürürlükte olan yönetmelikte zemin şartlarının olumsuzluğuna karşı alınacak tedbirler yeterince vurgulanmamıştır. Bu olumsuzluktan hareketle yönetmelik güncellenmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] Aydinoğlu, M.N., "Development of Analytical Techniques in Soil-structure Interaction", Developments in Dynamic Soil-Structure Interaction, Kluwer Academic Publishers, 1992.
- [2] Önalp, A.; Sert, S.; Bol, E., "Adapazarı Zeminlerinin Deprem Performansı", Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Sekizinci Ulusal Kongresi, ZM8, 2000, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
- [3] Sert S., Ural N., Arel E., "Effects of Foundation Design on Earthquake Damages". International Conference Earthquake Engineering in 21st Century Conference. Skopje, Republic of Macedonia, September, 2005.
- [4] Parmelee, R.A., "Building-Foundation Interaction Effects", Journal of Engineering Mechanics Division, Vol. 93, No. EM2, pp. 131-152, 1967.
- [5] Guitierrez, J.A., Chopra, A. K., "A Substructure Method for Earthquake Analysis of Structures Including Structure Soil Interaction", Earthquake Engineering and Structural Dynamics. Vol. 6, 51-69, 1978.
- [6] Aydinoğlu, M.N., "Ustyapı-Zemin Ortak Sisteminin Deprem Hesabı", Doktora Tezi, İTÜ İnşaat Fakültesi, İstanbul, 1977.
- [7] Kutanis, M., "Yapı-Zemin Dinamik Etkileşimi", Doktora Tezi, SAÜ FBE, Sakarya, Kasım, 2001.
- [8] Medina, F, "Modelling of Soil-Structure Interaction by Finite and Infinite Elements", Report No. UCB/EERC-80/43, University of California, Berkeley. CA., 1980.
- [9] Pala, M., "Zemin Yapı Dinamik Etkileşiminin Yapay Sinir Ağları İle Analizi", Doktora Tezi, SAÜ FBE, Sakarya, 2001.
- [10] Garip, Z.S., "Deprem Etkisindeki Betonarme Yapılarda Yapı-Zemin Etkileşimi", Yüksek Lisans Tezi, SAÜ FBE, Sakarya, 2005.
- [11] Zienkiewicz, O.C. and Taylor, R. L "The Finite Element Method", McGraw Hill, 1991.

- [12] CHUHAN, Z., CHONGBIN , Z., “Coupling Method of Finite Infinite Elements For Strip Foundation Wave Problems”, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 15:839-851, 1987.
- [13] Griffiths, D. V. “Numerical Studies of Soil Structure Interaction Using a Simple Interface Model”, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 1, pp 158-162, 1988.
- [14] Lysmer J., and Kuhlemeyer, R.L., “Finite Dynamic Model for Infinite Media”, *Journal of the Engineering Mechanics Division*, Vol. 95, No. EM4, pp. 859-877, 1969.
- [15] Çelebi, E, ve Gündüz, A.N., “Dynamic Response of Multistory Buildings Including Soil-Structure Interaction in Elastic Layered Media” ECCM’99 European Conference on Computational Mechanics August 31-September 3 München, Germany, 1999.
- [16] Vucetic, M., and Dobry, R, “Effect of Soil Plasticity on Cyclic Response”, *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 117, No. 1, pp. 89-107, 1991.
- [17] Pampal, S., “Depremler”, Alfa Basım Yayım Dağıtım, İstanbul, Ocak, 2000.
- [18] Bettés, P., Zienkiewicz, O.C., “Diffraction and Refraction of Surface Waves Using Finite and Infinite Elements”, *International Journal of Numerical Engineering*, Vol. 11, pp 1271-1290, 1977.
- [19] Wolf, J.P., and SONG, C., "Dynamic Stiffness Matrix of Unbounded Soil by Finite Element Multi-Cell Cloning", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 23, pp. 233-250, 1994.
- [20] Severcan M.H., Tanrikulu A.H., Tanrikulu A.K., 2004 “İki Boyutlu Elastostatik Problemlerinin Süreksiz Kuadratik Sınır Elemanları Kullanılarak Çözümü”, *Ç. Ü. Mh. Mm. Fk. Dergisi*, Cilt: 19, Sayı: 2, sf. 135–148.
- [21] Gürsoy, Ş., Durmuş, A. “Betonarme İstinat Duvarlarının Zemin Etkileşimini de Dikkate Alarak Çeşitli Yöntemlerle Karşılaştırmalı Deprem Hesabı”, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 9. Ulusal Kongresi.*, Bildiriler Kitabı, Sayfa 228-237, 21-22 Ekim, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 2002.
- [22] Tohumcu, P., Kılıç, H. ve Özaydın, K. 2003 “Yerel Zemin Koşullarının Depremler Sırasında Yapısal Davranış Üzerinde Etkileri Yönünden Sınıflandırılması” *Y.T.Ü. Dergisi*, Sayı No: 2003-4, Sayfa: 85-101, ISSN: 1300-2120.

- [23] Atımtay, E., “Açıklama ve Örneklerle Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik Cilt 1”, Bizim Büro Basımevi Yayın Dağıtım, Ankara, 2000.
- [24] Celep, Z., Kumbasar, N, “Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı” Sema Matbaacılık, İstanbul, 1993.
- [25] Chantrupatla, R. D. Belegundu ‘Introduction to Finite Elements in Engineering’, Second edition. Inc. Upper Saddle River, New Jersey, 2012.

ÖZGEÇMİŞ

Ahmet Hamdi SERDAR, 26.05.1989 tarihinde Sakarya ilinde doğdu. İlköğretim ve lise eğitimlerini Sakarya'da tamamladı. 2007 yılında Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde başladığı lisans eğitiminden 2011 yılında mezun oldu. 2012 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı-Yapı Bilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2011-2015 yılları arasında kamu ve özel sektörde inşaat mühendisi olarak çalıştı. 2015 yılından itibaren Düzce Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır.