

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YUMUŞAK ZEMİNLERDE YAPILAN BETONARME
BİNALARIN DEPREM DAVRANIŞINA BODRUM
KAT ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sevil ATASOY

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

Ocak 2014

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YUMUŞAK ZEMİNLERDE YAPILAN BETONARME
BİNALARIN DEPREM DAVRANIŞINA BODRUM
KAT ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sevil ATASOY

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : YAPI

Bu tez 24 / 01 /2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Doç. Dr.
Naci ÇAĞLAR
Jüri Başkanı


Doç. Dr.
Durmuş KARAYEL
Üye


Yrd. Doç. Dr.
Yusuf SÜMER
Üye

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım süresince değerli bilgi ve yardımlarını esirgemeyen danıőman hocam sayın Doç. Dr. Naci Çağlar'a en içten teőekkürlerimi sunarım. Bilimsel çalıőmalarım boyunca beni teővik eden, her daim destek olan ve anlayıő gösteren sevgili annem Seyhan ATASOY ve babam Iőın Kaęan ATASOY'a teşekkür ve minnetlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xi
SUMMARY.....	xii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
1.1. Konu ile İlgili Çalışmalar.....	3
1.2. Amaç ve Kapsam.....	5
BÖLÜM 2.	
YAPI ZEMİN ETKİLEŞİMİ	7
2.1. Yapı-Zemin Etkileşim Problemlerinde Çözüm Yöntemleri.....	9
2.1.1. Direkt yöntem.....	11
2.1.2. Viskoz sınır şartı.....	13
2.2. Yerel Zemin Koşulları.....	15
2.2.1. Yerel zemin kalınlığı.....	16
2.2.2. Zemin spektrumları.....	17
2.2.3. Zemin periyodu ve zemin özelliklerinin üst yapıya etkisi.....	19
BÖLÜM 3.	
DİNAMİK ETKİ ve ANALİZİ.....	20
3.1. Hareket Denklemi ve Sayısal Çözümü.....	21

3.2. Serbest Titreşim.....	24
3.3. Modların Süperpozisyonu Yöntemi.....	25
BÖLÜM 4.	
SAYISAL ÖRNEKLER.....	29
4.1. Zemin Altyapı Modelinin Geometrisinin Belirlenmesi.....	32
4.2. Yapı Davranışları.....	32
4.2.1. Yapı-zemin modeli (üst yapı 3 katlı).....	33
4.2.2. Yapı-zemin modeli (üst yapı 4 katlı).....	36
4.2.3. Yapı-zemin modeli (üst yapı 5 katlı).....	38
4.2.4. Yapı-zemin modeli (üst yapı 6 katlı).....	40
4.2.5. Yapı-zemin modeli (üst yapı 7 katlı).....	42
4.2.6. Yapı-zemin modeli (üst yapı 8 katlı).....	44
4.2.7. Yapı-zemin modeli (üst yapı 9 katlı).....	46
4.2.8. Yapı-zemin modeli (üst yapı 10 katlı).....	48
4.3. İki Bodrumlu Model Yapı Davranışları.....	50
4.3.1. Yapı-zemin modeli (üst yapı 7 katlı).....	50
4.3.2. Yapı-zemin modeli (üst yapı 8 katlı).....	52
4.3.3. Yapı-zemin modeli (üst yapı 9 katlı).....	54
4.3.4. Yapı-zemin modeli (üst yapı 10 katlı).....	56
BÖLÜM 5.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	58
KAYNAKLAR.....	60
ÖZGEÇMİŞ.....	63

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A	: Etkili Alan
B	: Bina Genişliği
BDL	: Bodrumlu Model
BDZ	: Bodrumsuz Model
c	: Sönüm
[C]	: Sistemin Sönüm Matrisi
DBYBHY	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
E	: Elastisite Modülü
G	: Kayma Modülü
H	: Bina Yüksekliği
H _z	: Hertz (Frekans)
k	: Eleman Rijitlik Matrisi
[K]	: Sistem Rijitlik Matrisi
[N]	: Şekil Fonksiyonları Matrisi
m	: Eleman Kütlesi
[M]	: Kütle Matrisi
ω	: Açısal Frekans
t	: Zaman
T	: Periyod
TDY	Türk Deprem Yönetmeliği
SZ	: Sert Zeminli Model
ν	: Poisson Oranı
ν_s	: Zeminin Kayma Dalgası Hızı
ρ	: Kütleli Yoęunluk
u	: Deplasman
ξ	: Sönüm Oranı

m : Metre
YASS : Yer Altı Su Seviyesi
YZE : Yapı Zemin Etkileşimi
2BDL : 2 Bodrumlu Model

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Dinamik Sınırsız Ortam-Yapı Etkileşimi.....	8
Şekil 2.2.	Zemin Modelleme Şekilleri	10
Şekil 2.3.	Yapı Zemin Etkileşim Analiz Metotları	10
Şekil 2.4.	Zemin Parçasının Sonlu Elemanlara Ayrılması.....	11
Şekil 2.5.	Zemin Yüzeylerinin Kesilmesi	12
Şekil 2.6.	Direkt Yöntemde Sınır Şartları (Viskoz Sınırlar).....	14
Şekil 2.7.	Yerel Zemin Kalınlığının Maksimum Temel Kesme Kuvvetine Etkisi.....	17
Şekil 2.8.	Değişik Zeminler İçin Spektral İvme Periyot İlişkisi.....	18
Şekil 2.9.	Farklı Zeminler İçin Deprem Şiddeti ve Episantr Uzaklığı Arasındaki İlişki	18
Şekil 3.1.	Tek Serbestlik Dereceli Sistemler.....	21
Şekil 3.2.	Dinamik Yatay Deprem Kuvveti Etkisindeki Yapı.....	22
Şekil 3.3.	Çok Serbestlik Dereceli Sistem Mod Şekilleri	25
Şekil 3.4.	Üç Katlı Bir Çerçevenin Deprem Hareketi Altındaki Davranışı..	26
Şekil 4.1.	Yapı-Zemin Modeli.....	29
Şekil 4.2.	Yapı Zemin Modelinin Sonlu Eleman Modeli (Sap2000).....	30
Şekil 4.3.	Yumuşak ve Sert Zemin Özellikleri.....	31
Şekil 4.4.	Marmara Depremi Yarımca Petkim Kuzey-Güney İvme-Zaman Grafiği.....	32
Şekil 4.5.	Zemin Kat ve Son Kat.....	33
Şekil 4.6a.	3 Katlı Yapı İçin Zemin Katın Yer Değiştirme-Zaman Grafiği.	34
Şekil 4.6b.	3 Katlı Yapı İçin Son Katın Yer Değiştirme-Zaman Grafiği.....	34
Şekil 4.6c.	3 Katlı Yapı İçin Temele Göre Yer Değiştirme Grafiği.....	35
Şekil 4.7a.	4 Katlı Yapı İçin Zemin Katın Yer Değiştirme-Zaman Grafiği...	36

Şekil 4.7b.	4 Katlı Yapı İçin Son Katın Yer Değiştirme-Zaman Grafiği.....	36
Şekil 4.7c.	4 Katlı Yapı İçin Temele Göre Yer Değiştirme Grafiği.....	37
Şekil 4.8a.	5Katlı Yapı İçin Zemin Katın Yer Değiştirme-Zaman Grafiği...	38
Şekil 4.8b.	5 Katlı Yapı İçin Son Katın Yer Değiştirme-Zaman Grafiği.....	38
Şekil 4.8c.	5 Katlı Yapı İçin Temele Göre Yer Değiştirme Grafiği.....	39
Şekil 4.9a.	6 Katlı Yapı İçin Zemin Katın Yer Değiştirme-Zaman Grafiği...	40
Şekil4.9b.	6 Katlı Yapı İçin Son Katın Yer Değiştirme-Zaman Grafiği....	40
Şekil 4.9c.	6Katlı Yapı İçin Temele Göre Yer Değiştirme Grafiği.....	41
Şekil 4.10a.	7 Katlı Yapı İçin Zemin Katın Yer Değiştirme-Zaman Grafiği..	42
Şekil 4.10b.	7Katlı Yapı İçin Son Katın Yer Değiştirme-Zaman Grafiği....	42
Şekil 4.10c.	7 Katlı Yapı İçin Temele Göre Yer Değiştirme Grafiği.....	43
Şekil 4.11a.	8Katlı Yapı İçin Zemin Katın Yer Değiştirme-Zaman Grafiği..	44
Şekil 4.11b.	8 Katlı Yapı İçin Son Katın Yer Değiştirme-Zaman Grafiği....	44
Şekil 4.11c.	8Katlı Yapı İçin Temele Göre Yer Değiştirme Grafiği.....	45
Şekil 4.12a.	9 Katlı Yapı İçin Zemin Katın Yer Değiştirme-Zaman Grafiği...	46
Şekil 4.12b.	9 Katlı Yapı İçin Son Katın Yer Değiştirme-Zaman Grafiği....	46
Şekil 4.12c.	9 Katlı Yapı İçin Temele Göre Yer Değiştirme Grafiği.....	47
Şekil 4.13a.	10 Katlı Yapı İçin Zemin Katın Yer Değiştirme-Zaman Grafiği...	48
Şekil 4.13b.	10 Katlı Yapı için Son Katın Yer Değiştirme-Zaman Grafiği....	48
Şekil 4.13c.	10 Katlı Yapı İçin Temele Göre Yer Değiştirme Grafiği.....	49
Şekil 4.14a.	7 Katlı Çift Bodrumlu Yapı İçin Temele Göre Yer Değiştirme Grafiği.....	50
Şekil 4.14b.	7 Katlı Çift Bodrumlu Yapı İçin Zemin Katın Yer Değiştirme- Zaman Grafiği.....	51
Şekil 4.14c.	7 Katlı Çift Bodrumlu Yapı İçin Son Katın Yer Değiştirme- Zaman Grafiği.....	51
Şekil 4.15a.	8 Katlı Çift Bodrumlu Yapı İçin Zemin Katın Yer Değiştirme- Zaman Grafiği.....	52
Şekil 4.15b.	8 Katlı Çift Bodrumlu Yapı İçin Son Katın Yer Değiştirme- Zaman Grafiği.....	52

Şekil 4.15c.	8 Katlı Çift Bodrumlu Yapı İçin Temele Göre Yer Değiş-tirme Grafiği.....	53
Şekil 4.16a.	9 Katlı Çift Bodrumlu Yapı İçin Zemin Katın Yer Değiş-tirme-Zaman Grafiği.....	54
Şekil 4.16b.	9 Katlı Çift Bodrumlu Yapı İçin Son Katın Yer Değiş-tirme-Zaman Grafiği.....	54
Şekil 4.16c.	9 Katlı Çift Bodrumlu Yapı İçin Temele Göre Yer Değiş-tirme Grafiği.....	55
Şekil 4.17a.	10 Katlı Çift Bodrumlu Yapı İçin Zemin Katın Yer Değiş-tirme-Zaman Grafiği.....	56
Şekil 4.17b.	10 Katlı Çift Bodrumlu Yapı İçin Son Katın Yer Değiş-tirme-Zaman Grafiği.....	56
Şekil 4.17c.	10 Katlı Çift Bodrumlu Yapı İçin Temele Göre Yer Değiş-tirme Grafiği.....	57

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Zemin Büyütmelerinin Zemin Türlerine Göre Değişimi.. 16

ÖZET

Anahtar Kelimeler : Yapı-zemin etkileşimi, sonlu elemanlar yöntemi, dinamik analiz, viskoz sınır şartı, yumuşak zeminler, bodrum kat

Bu çalışmada, yumuşak zeminler üzerine inşa edilen betonarme binaların, bodrum katlı yapılması durumunda göstereceği deprem davranışı incelenmiştir.

Bu amaçla, 3-10 katlı yapıların yapı-zemin modeli kurularak, sonlu elemanlar prensibine dayalı olarak çalışan SAP2000 programında, sonlu eleman modeli oluşturulmuştur. Yapı-zemin modellerinin tamamının zaman tanım alanında dinamik analizleri gerçekleştirilmiştir. Yumuşak zemin üzerinde inşa edilen bodrum katlı modellerin deprem performanslarının bodrum katsız modellere göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Dinamik analizlerin sonuçlarına göre her katın temel seviyesine göre görelî kat ötelemeleri grafikler halinde sunulmuş, ayrıca her yapının zemin kat ve son kat noktalarının yer değiştirme-zaman grafikleri de sunularak yapı performansları değerlendirilmiştir.

THE BASEMENT FLOOR EFFECT TO THE SEISMIC BEHAVIOUR OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES ON SOFT SOIL

SUMMARY

Keywords: Soil-structure interaction, Finite element method, Dynamic analysis, viscous boundary conditions, basement floor

In this study, the effects of basement floor of reinforced concrete structures subjected earthquake were investigated.

For this purpose, time history analysis of the soil-structure models are carried out by using the finite element method. The response of basement floor of reinforced concrete structures, 3 to 10 storey buildings that modelled with/without basement floor were analyzed.

Dynamic analysis results were presented as graphs. To make better observation of building performance, displacement time histories for all stories were presented in this study.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Etkileşim, kelime anlamı olarak karşılıklı etki demektir. Bu anlamda yapı-zemin etkileşimi karşılıklı bir durumu ifade eder. Yani, zeminin yapıyı etkilemesi karşılığında, yapının da zemini etkilemesi söz konusudur. Ancak uygulamalarda ne yazık ki uzun yıllar yapı-zemin arasındaki etkileşim göz ardı edilmiş, analizlerde sadece yapı sistemleri incelenmiştir.

Tüm mesnetlerin temele tek bir rijit blok ile bağlı olduğu kabul edilmiş, dolayısıyla da zeminle bağlantısının değişmediği ve deprem hareketinin yatay birim öteleme hareketi olduğu kabulleri yapılmıştır. Oysa deprem esnasında yapı ve zemin farklı şekillerde hareket ettiğinden, zemin yapının, yapı da zeminin davranışını etkilemektedir.

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

Nitekim son 50 yıldır yapı-zemin etkileşimi problemlerinin çözümü mühendisler tarafından oldukça üzerinde durulan bir konu haline gelmiştir. Çünkü yapı sistemlerinin statik yükler altındaki çözümlerinde dahi, temellerde çökme ve dönmeler oluşmaktadır. Yapılara etkiyen deprem gibi dinamik bir yükleme durumunda yapı, zemin ile birlikte hareket etmekte hatta bazen yapı ve zemin zıt yönde hareket etmekte, temeller dinamik yükleme boyunca zemin üzerinde farklı konumlarda bulunabilmektedir. İşte bu nedenlerle temelleri ankastre kabul edip, yer değiştirme ve dönmelerin olmayacağını söylemek çok yanlış bir kabuldür. Türkiye'de özellikle 2007 Deprem Yönetmeliği ile birlikte, yapı-zemin etkileşiminin

çözümlemelerde yer alması gündeme gelmiştir. Deprem Yönetmeliği'nin yeni hazırlanmış olan güçlendirme ile ilgili kısmında da bu konuya değinilmiş ve zemin koşullarının yapı çözümlemesinde dikkate alınmasının uygun olacağı belirtilmiştir.

Deprem mühendisliği açısından da yapı zemin etkileşimi oldukça önemlidir. Deprem yer hareketi, düşey doğrultuda ilerlediği varsayılan deprem dalgalarının (S ve P dalgaları) sonsuz rijit yatay taban kayası düzleminde meydana getirdiği yatay ve düşey hareketlerdir. Mühendislik uygulamalarında genellikle S dalgalarının oluşturduğu yatay yer hareketleri dikkate alınır. Deprem dalgaları, genellikle yukarıya doğru zayıflayan zemin tabakalarının içinden geçerek ilerlerken, genlikleri de değişime uğrar. Sağlam zeminlerde bu değişim çok önemli olmaz ancak zayıf zeminlerde ivmelerin genliklerinde artışlar meydana gelebilir. Taban kayasında tanımlanan deprem yer hareketinden oluşan ve zemin ortamı içinde yayılarak yapı temeline ulaşan deprem dalgaları, kısmen yapı temelinden yansiyarak geri dönerler, bir kısmı da üstyapıya geçerek onun titreşimine yol açarlar ve bu kez üst yapıdan yansiyarak tekrar zemin ortamına geri dönerler (Aydinoğlu, M.N., 2012). Zemin özellikle yapının periyot ve mod şekillerini değiştirmektedir. Eğer yapı ile zemin periyotları çakışırsa yapıda rezonans oluşacaktır ve bu rezonanstaki dolaylı üstyapı çok büyük zorlanmalara maruz kalacaktır.

Yapı zemin etkileşimi, yapının şekil değiştirmesinin zemin gerilmelerini, zeminin deformasyonunun da yapı iç kuvvetlerini etkilemesidir. Özellikle yumuşak ve orta sert zeminler, yapılarda ilave kesit tesirleri ortaya çıkarmaktadır. Yumuşak zeminler üzerine inşa edilen yapıların tepe noktasındaki yer değiştirmeleri daha fazla oluşurken, orta sert zeminlerde ise zemin periyodu, yapı yüksekliğine bağlı olarak yapı periyodu ile sıklıkla çakışabilmektedir. İşte tüm bu nedenlerden ötürü yapı-zemin etkileşimi çok önemli bir kavramdır ve ihmal edilmemelidir.

Yukarıda anlatılanlardan da anlaşılacağı üzere, yapı-zemin etkileşimi incelemesi, zayıf zeminlerde çok daha büyük önem teşkil etmektedir. Hemen her bölgesi deprem riski altında olan ülkemizde yumuşak zeminlerde yüksek yapı inşasından çekinilmektedir. Yumuşak zeminler üzerinde yapılan yüksek katlı yapılarda da, yatay yüklerin karşılanmasında ciddi sorunlar yaşanmaktadır. İşte bu durumda yapının

bodrum katlı olarak inşa edilmesi etkili bir çözüm olarak akla gelmektedir. Bodrum kat, özellikle şiddetli depremlerde, yüksek katlı binalarda ciddi hasarlara neden olan görelî kat ötelemelerini önemli ölçüde azaltmakta, yapının deprem davranışına olumlu etki yapmaktadır.

1.1. Konu İle İlgili Çalışmalar

Konuyla ilgili ilk resmi çalışma, 1965 yılında üçüncüsü düzenlenen Dünya Deprem Mühendisliği Konferansı'nda sunulan bir konferans bildirisidir. O günden günümüze kadar yapı-zemin etkileşimi ile alakalı pek çok çalışma yapılmıştır.

Ortak sistem içinde, zemin ortamının ayrık ya da sürekli bir altsistem olarak göz önüne alınması esasına "Altsistem Yaklaşımı" denir. Zemin ortamının bağımsız bir sistem olarak incelenmesi ile, yapı-zemin arakesitindeki serbestlik dereceleri cinsinden elde edilen zemin dinamik rijitlik matrisi ve etkin yük vektörü, daha sonra yapının dinamik dengesinde göz önüne alınır (Aydınöglu, M.N., 1981). Sürekli ortam yaklaşımı da denilen bu yaklaşımda ilk çalışmalar Parmelee tarafından yapılmıştır (1967). Parmelee çalışmalarında zemini yarı sonsuz, homojen, izotrop, lineer elastik olarak idealleştirmiştir. Üstyapıyı ise bu yarı sonsuz zemin yüzeyinde rijit, dairesel bir plak olarak varsaymıştır. Bu yöntem, geometrik sönüm şartlarını kendiliğinden içermesi, az sayıda serbestlik derecesi ile tüm zemin ortamının temsil edilebilmesine olanak sağlamasından dolayı oldukça ilgi görmüştür. Daha sonraki yıllarda bu sistem sonlu elemanlarla da birleştirilerek birçok bilim adamı tarafından kullanılmıştır

Alt sistem yaklaşımı ile ilgili en gelişmiş çalışmalar M. Nuray Aydınöglu tarafından yapılmıştır (1977). Kendisi bu sistemi kullanarak, zemin ortamını sürekli ortam veya ayrık ortam diye idealleştirmek yerine karma bir ortam düşünüp iki modelin üstünlüklerini birleştirmiştir. Aydınöglu çalışmasında zemini belli bir derinliğe kadar sonlu elemanlarla, bu derinlikten sonrasını da tek tabakalı ortam olarak idealleştirmiştir.

Ortak sistem yaklaşımının kullanılmaya başlanmasıyla altsistem yaklaşımının kullanılması aşağı yukarı aynı zamanlarda olmuştur. Bu yöntem sayesinde temelin zemine gömülü olması, zemindeki mekanik özelliklerin değişimi ve geometrik süreksizlikler gibi birçok durum kolaylıkla ele alınabildiği için oldukça tercih edilen bir yöntem olmuştur. Ancak bu yöntemdeki en büyük sıkıntı dalga enerjisinin yutulmasıdır. Çünkü dinamik analizlerde kaynaktan saçılan dalgalar yapay sınırlara çarparak bir kısmı tekrar ortama yansır ve bu durum da bir takım hatalara yol açar. Lysmer ve Kuhlemeyer bu konuda çalışarak, dalga enerjisinin yutulması probleminin çözümünde ilk çalışmaları yapmış ve viskoz sınır şartları adını verdikleri bir yapay sınır modeli geliştirmişlerdir (1969). Fakat viskoz dalgalar ancak belirli doğrultudaki dalgaları yutabildiği ve sınır boyunca yer değiştirmelerin karşılıklı etkisini göz önüne alamadığı için yetersiz kalmıştır.

Statik ve harmonik yükler için Bettess ve Zienkiewicz (1977) Sonsuz Eleman Modeli'ni geliştirmişlerdir. Medina (1980) da sonsuz elemanları yapı-zemin etkileşimi modellerinde kullanmıştır.

M. Kutanis (2001) doktora çalışmasında yapı-zemin ortak sistemini, yakın ve uzak bölgeye ayırmıştır. Bu bölgeler birbirlerini etkileşim ara kesiti ile ayırmaktadır. Dinamik analizler sonlu elemanlar metodu ile yapılmıştır. Yapı davranışının zemin ortamı ve üst yapının dinamik özelliklerine, incelenen depremin karakterine ve özellikle de frekans içeriğine bağlı olduğunu söylemiştir.

M. Pala (2001) Yapay Sınır Ağları Modeli (YSA) ile yapı-zemin etkileşimini incelemiştir. YSA modelini kullanarak yapı davranışı üzerindeki farklı zemin özellikleri ve yerel zemin kalınlıklarının etkisini araştırmıştır. Zemin özellikleri, yerel zemin kalınlığı ve bina kat sayılarını değişken kullanarak analizler yapmış ve binaların son kat yatay yer değiştirme, ivme ve periyot değerlerinin değişimini incelemiştir.

Zehra Ş. Garip (2005) çalışmasında deprem etkisi altındaki betonarme yapıların davranışına zemin özelliklerinin etkisini sonlu elemanlar metodu kullanarak, iki boyutlu ve lineer çözümleme yaparak incelemiştir. Yer altı su seviyesinin bulunması

ve zemin kayma dalga hızının büyüklüğünün yapının yer değiştirmesinde etkili olduğunu gözlemlemiş, rezonansın önemli olduğu ve üst yapının rezonans olmayacak şekilde modellenmesi gerektiğini vurgulamıştır.

Nihan Ala (2007) çalışmasında, yapı-zemin modelini kurarken yapı ve zemini yüzey eleman olarak tanımlamıştır. Bu sayede üst yapı ile alt yapı arasındaki uyum problemi en aza indirilmiştir. Yapıdaki tasarım hatalarının yanı sıra yerel zemin koşullarının da, yapının deprem davranışına olumsuz etkilerini sonlu elemanlar metodunu kullanarak incelemiştir.

Osman Kırtel (2007) çalışmasında titreşim kaynakları tarafından üretilen kuvvetli yer hareketleri sonucunda yapılarda meydana gelen büyük genlikli titreşimlerin meydana getireceği olumsuzlukları ortadan kaldırmak için titreşim kaynağı ile korunacak yapının arasına uygun bir dalga bariyeri modeli oluşturmuştur. Zemin bölgesinin ayrıklaştırılmasında, nümerik çözüm yöntemi olarak sonlu elemanlar yöntemini kullanarak bilgisayar ortamında geliştirilen matematik modeller üzerinde kapsamlı parametrik araştırmalar yapmıştır.

Yapı-zemin etkileşimi üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde, bu çalışmada araştırılan bodrum kat etkisi ile ilgili çalışmalara pek rastlanmamıştır.

1.2. Amaç ve Kapsam

Bu çalışmanın amacı, özellikle yumuşak zeminlerde yapılan deprem etkisindeki betonarme binaların davranışına, bodrum kat etkisini incelemektir. Bu amaçla yapı-zemin modelinin zaman tanım alanında sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak dinamik analizler yapılmıştır. Yumuşak zemin koşullarında, 3-4-5-6-7-8-9-10 katlı olmak üzere, bodrum katlı ve bodrum katsız modeller kurulmuştur. Sonuçların daha iyi karşılaştırılabilmesi açısından aynı kat adetlerinde ve sert zemin koşullarında da bodrum katsız modeller kurulmuştur. 1999 Marmara deprem kaydı kullanılarak deprem etkisi gözlemlenmiştir. Dinamik analizler kapsamında her bir katın temele göre görelî kat ötelenmeleri grafikler halinde sunulmuştur. Ayrıca yapıların son katları ile zemin katlarının yer değiştirme-zaman grafikleri de sunulmuş ve değerlendirilmiştir.

Çalışmanın birinci bölümünde konuya ait genel bilgiler ve daha önce yapılmış çalışmalar anlatılmıştır.

İkinci bölümde yapı-zemin etkileşimi daha detaylı ele alınmış, yapı-zemin etkileşimi problemleri ve çözüm yolları hakkında bilgiler verilmiştir.

Üçüncü bölümde deprem etkisi hakkında genel bilgiler verilmiş ve analiz yöntemleri kısaca özetlenmiştir.

Dördüncü bölümde yapılan dinamik analizler ve grafikleri sunulmuştur.

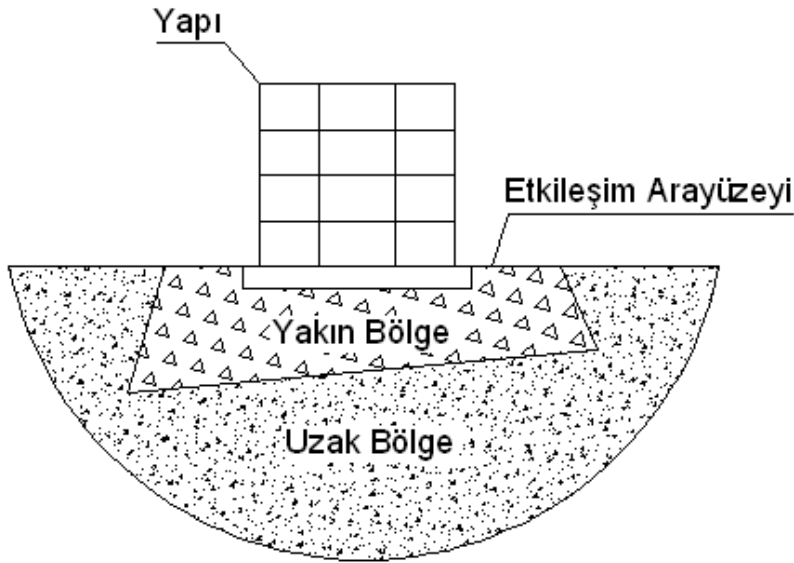
Beşinci bölümde ise sonuçlar ve öneriler sunulmuştur.

BÖLÜM 2. YAPI ZEMİN ETKİLEŞİMİ

Yapı-zemin etkileşimini anlayabilmek için önce nasıl bir sistem olduğunu anlamak gerekmektedir. Yapı-zemin etkileşimi çeşitli sistemlerin bir kısmının veya tamamının iç içe ya da üst üste gelmesi ile oluşan birleşik sistemlerdir. Birleşik sistemler ise aralarında zayıf veya kuvvetli bağlantılar bulunan ve birbirleriyle etkileşim halinde bulunan sistemlerdir. Birleşik sistemleri analiz edebilmek için sistemin her parçası ayrı ayrı analiz edilir ve bu parçaların (sistemlerin) birbirleriyle olan etkileri göz önüne alınır. Bu sistemler hesaplanırken herhangi bir alan (sistem) diğerinden ayrı çözülemez ve herhangi bir bağımsız değişken diferansiyel denklem düzeyinde yok edilemez (Zienkiewicz, 1991).

Yapı-zemin etkileşimi problemlerinde aslında iki önemli bileşen vardır. Bunlar; sonlu bir boyuta sahip olan yapı ve sonsuza uzanan zemindir. Bu tip problemlerin analizinde, yaygın olarak kullanılan yöntem sonlu elemanlar yöntemidir.

Yapı-zemin etkileşim sistemlerinde yüklemeler ve kuvvetler ortamlar aracılığıyla iletilir ve problemler çözülürken, hesaplarda kolaylık sağlayabilmek amacıyla bu ortamlar da çeşitli gruplara ayrılır. Bu sistemlere ait modellemeler genellikle Şekil 2.1.'deki gibi idealize edilmektedir.



Şekil 2.1. Dinamik Sınırsız Ortam-Yapı Etkileşimi

Sınırsız Ortam: Zemin ortamı boyutları yeryüzü ile sınırlı olmakla birlikte sınırsız veya yarı sonsuz bir ortam olarak kabul edilmektedir. Birleşik sistem analizinde sınırsız ortamları gerçek boyutları ile modellemek mümkün olmadığından belirli bir bölge göz önüne alınarak problem tanımlanır. Sınırsız ortam, yapının dinamik rijitlik matrisine eklenen empedans katsayıları ile karakterize edilir. Sonsuz ve yarı sonsuz ortam analizlerinde dinamik yüklemeler (makine titreşimleri, depremler, yeraltı patlamaları, yapı yakınındaki yollardan geçen araçların titreşimleri vs.) sınırsız ortam vasıtası ile tanımlanır.

Sınırlı Ortam: Yapının sınırsız ortam ile etkileşime girdiği, yakın bölge de denilen ortamdır. Malzeme davranışı bakımından büyük gerilme ve şekil değiştirmelerin meydana geldiği ve zemin davranışının doğrusal davranış gösterdiği etkileşim ara yüzeyine kadar olan bölgedir.

Etkileşim Ara Yüzeyi: Yapı zemin etkileşiminin sayısal olarak analizi uygun bir şekilde modellenmesi gereken ara yüzey etkilerini içerir. Etkileşim ara yüzeyi sınırlı ortam ile sınırsız ortamın etkileşime girdiği fiktif yüzey olarak kabul edilmektedir. Yapı-Zemin Etkileşim problemlerinin çözümünde sınırsız ortamın (uzak bölge) dinamik özellikleri etkileşim ara yüzeyinde tanımlanır. Çoğu problem etkileşim ara

yüzeyinin Sonlu Elemanlar Modeli (SEM) ile modellenmesiyle çözülebilmektedir. Yüzeyin gerçekçi davranışı plastisite teorisi kullanılarak uygun elemanlarla modellenabilir (Griffiths D. V., 1988).

Yapı ile bitişik olan sınırlı zemin ortamı (yakın bölge) ve yapının kendisi doğrusal olmayan davranış gösterirlerken, yarı sonsuz sınırsız zemin ortamının ise doğrusal olarak davrandığı kabul edilir. Yapı ile bitişik sınırlı zemin ortamının büyüklüğü, zemin davranışının doğrusal olmayan davranıştan, doğrusal davranışa geçiş yaptığı etkileşim ara yüzeyine kadar olan bölge kabul edilebilir (Aydınöglü M.N., 1977).

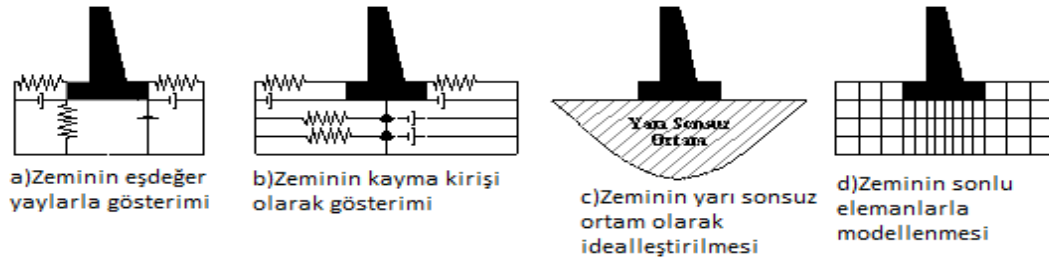
Üst yapı, deprem kaynağı, zemin şartları ve temelin özellikleri yapının sismik davranışı ile yakından ilgilidir. Yapı ve zeminin karşılıklı etkileşimi, üst yapı ve yerel zeminin dinamik karakteristiklerini etkiler. Kavramsal olarak yapı zemin etkileşimi (YZE) , yapıda kütle ve rijitlik dağılımını etkileyerek sistemin bütününde frekans ve mod şekillerinin değişimine neden olur.

2.1. Yapı–Zemin Etkileşim Problemlerinde Çözüm Yöntemleri

Yapıya etkiyen dinamik yüklerden dolayı yapıda oluşan gerilme, yer değiştirme ve kesit tesirlerinin belirlenmesi ile yapı dinamiği ilgilenir. Bu değerlerin bulunması, belirli sayıdaki serbestlik derecesine sahip dinamik modelin doğru olarak belirlenmesi ve uyum denkleminin genel çözümünün doğru olarak elde edilmesi ile mümkündür. Yapı Zemin Etkileşim problemi, sınırsız zemin ortamında dinamik enerjinin yayılması, zemin sönümünün histerik yapısı, yapının zeminin davranışını etkilemesi, sismik yükler altında zeminin sıvılaşma ihtimali, zeminin doğrusal olmayan davranışı gibi özellikleri nedeni ile çözümü son derece karmaşık ve zor olan bir problemdir. Ayrıca zemindeki süreksizlikler, zeminin yarı sonsuz bir ortam olması, zemindeki tabakalaşma ve bu tabakaların değişkenliği, zemindeki suyun varlığı, zeminin çekme gerilmesi almayan bir malzeme olması gibi olgular yapı zemin etkileşim problemlerini diğer analiz problemlerinden ayıran özelliklerdir.

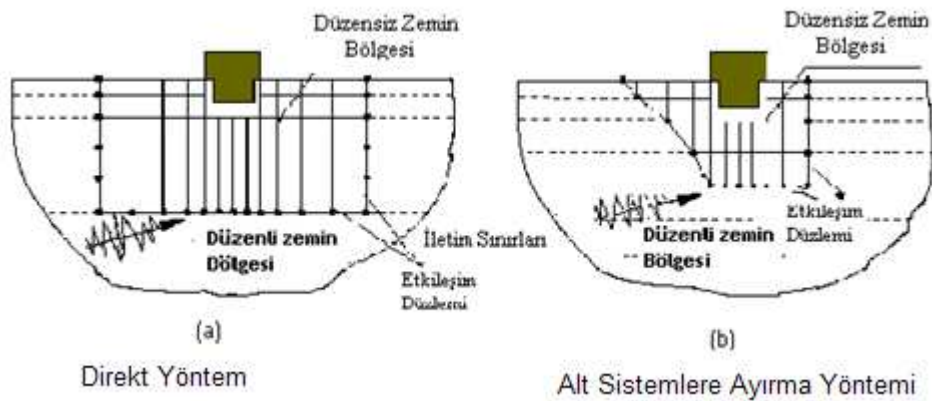
YZE analizi için ele alınan zemin ortamı çeşitli şekillerde modellenmekte ve çeşitli hesap yöntemleri kullanılmaktadır. Yapı-zemin etkileşiminin göz önüne alındığı

analizlerde, zemin, yay, kayma kirişi, yarı sonsuz ortam olarak modellenebilmektedir (Şekil 2.2). Analiz için seçilen matematik modelin ve hesap metodunun çeşitli avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır.



Şekil 2.2. Zemin Modelleme Şekilleri

Dinamik yapı zemin sisteminin analizi genel olarak, Direkt (Doğrudan) Yöntem ve Alt Sistemlere Ayırma Yöntemi olmak üzere iki farklı yaklaşımla ele alınmaktadır (Wolf, 1988; Clough ve Penzien 1993) (Şekil 2.3). Alt sistemlere ayırma yönteminde, önce yapı ile sonsuza uzanan zemin arasında oluşan empedans ilişkisi yardımıyla etkileşim kuvvetleri bulunmakta, daha sonra sonlu bir boyuta sahip yapının analizi, belirlenen etkileşim kuvvetleri göz önüne alınarak gerçekleştirilmektedir (Severcan M.H, 2004). Bu çalışmada zemin sonlu elemanlar yöntemi yardımıyla modellendiğinden direkt yöntem kullanılmıştır. Bu sebeple direkt yöntem detaylı olarak anlatılacaktır.



Şekil 2.3. Yapı Zemin Etkileşim Analiz Metotları (M. Nuray Aydınöglü, 1992)

2.1.1. Direkt yöntem

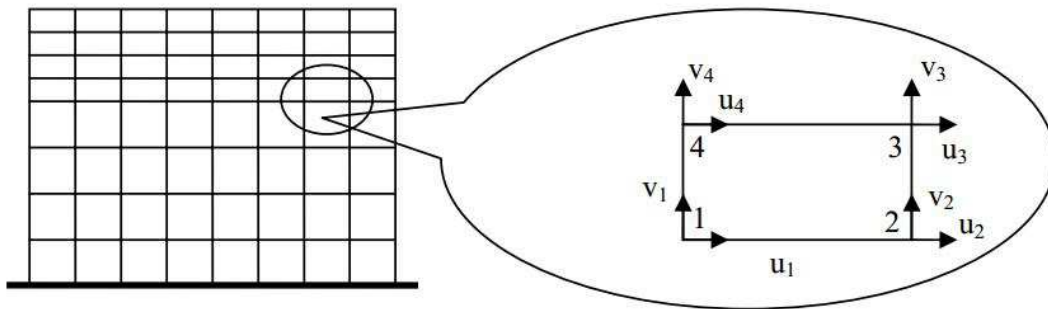
Sonlu eleman modeli ile üst yapı ve zeminin tek bir sistem olarak idealize edildiği ve taban kayasında tanımlanan deprem hareketinin etkisi altında analiz edildiği yöntem direkt (doğrudan) yöntem denir. Bu yöntemde dinamik yükleme etkisi altında yapı-zemin sisteminde, kesit tesirleri, yer değiştirme ve mod şekilleri zaman ve frekansa bağlı olarak tek adımda SEM kullanılarak bulunmaktadır. Sonlu elemanlar yöntemiyle problemin çözümünde önce zemin, Şekil 2.4.'de görüldüğü gibi elemanlara ayrılır. Bir eleman içinde herhangi bir noktadaki zemin yer değiştirmesi;

$$\{v\} = \{u, v\} \quad (2.1)$$

$$\{q\} = \{u_1, u_2, u_3, u_4, v_1, v_2, v_3, v_4\} \quad (2.2)$$

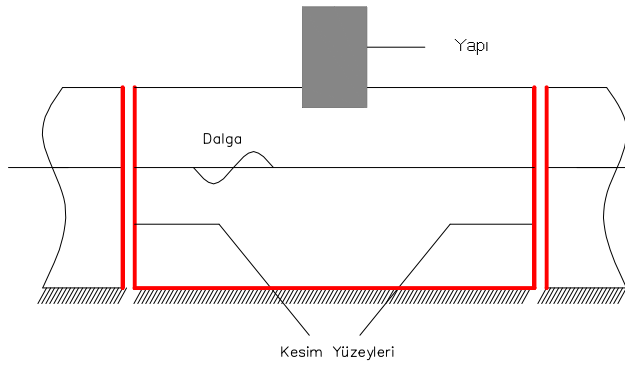
$$\{v\} = [N]\{q\} \quad (2.3)$$

şeklinde ifade edilir. Burada $[N]$ şekil fonksiyonları matrisi, $\{v\}$ yer değiştirme vektörü, $\{q\}$ ise düğüm noktası yer değiştirme vektörüdür.



Şekil 2.4. Zemin Parçasının Sonlu Elemanlara Ayrılması

Zamana bağlı çözümlerde hareket denklemi, modal analiz ve direkt integrasyon yöntemi ile çözülür. Frekans uzayında ise hareket denklemi frekansın bir fonksiyonu olarak çözülüp Fourier dönüşümü uygulanarak zamana bağlı değerlere geçilebilir. Belirli yönlerde sonsuza uzanan zemin, kesim yüzeyleri ile kesilerek (Şekil 2.5) kesim yüzeylerine yarı sonsuz zeminin özelliklerini yansıtacak özel sınır şartları konur.



Şekil 2.5. Zemin Yüzeylerinin Kesilmesi

Ancak burada sonsuza uzanan zemin için önemli bir problem ortaya çıkmaktadır. O da analiz sırasında sonsuza uzanan zeminin ne kadarının göz önüne alınacağı ve alınan bu zemin parçasının sınırları hususundadır. Çünkü zemin içerisinde, dinamik etkiye yol açan dalgalar, kaynaktan sonsuza doğru gitmektedir. Sonsuza uzanan ortamın, belirli bir kısmını göz önüne almakla, zemin için yapay bir sınır belirlenmiş olmaktadır. Yani sonsuza uzanan zemin, sonlu bir bölge ile modellenmektedir. Bu da zemin içerisinde yayılan dalgaların, sonlu bölgenin sınırlarına çarparak, sonlu bölgede kalmasına ve sürekli olarak bu bölgede hareket etmelerine neden olmaktadır. Bu davranış, gerçek dalga hareketini idealize etmediği için, gerçekçi olmayan sonuçların elde edilmesine neden olmaktadır. Bu nedenle seçilen sonlu bölgenin sınırlarında, dalgaların bu yayılma şartlarını sağlayacak bir model uygulanmalıdır. Bundan dolayı, yapı-zemin etkileşimi problemlerinde, yapay sınırdan enerji geçişi matematiksel olarak gerçekçi bir şekilde ifade edilmelidir (Kaçın, S., Yerli, H.R., 2002).

Yapılan parametrik çalışmalar, zemin sonlu eleman ağının, özellikle geometrik sönümün (radyasyonun) önemli olduğu yüksek frekanslı yer hareketlerinde ve zeminin sönümünün büyük olması gibi özel durumlarda, yapı temel taban genişliğinin sağ ve solunda 8~10 katına kadar uzatılmasının yeterli olacağı belirtilmektedir (Gürsoy Ş., Durmuş A., 2002).

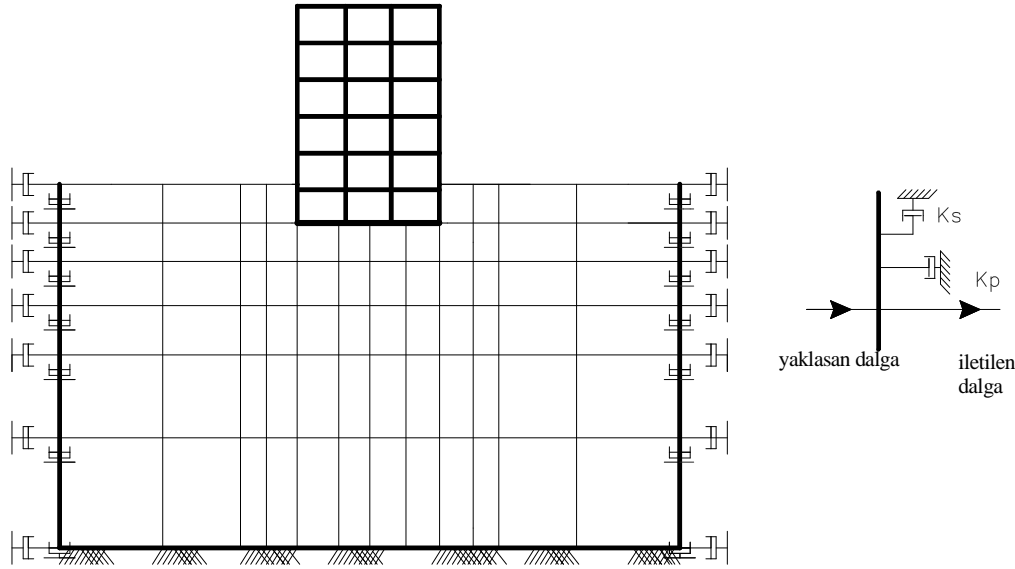
Zemin kesim yüzeylerinde oluşan yapay sınırlardan enerji geçişini sağlayan bazı matematiksel modeller geliştirilmiştir (LYSMER J., KUHLEMEYER, R.L., 1969). Direkt metotla sistemin doğrusal olmayan özelliği çok iyi bir şekilde analiz

edilebilmektedir. Yeni geliştirilen yapay sınırlar frekansa bağımlı olarak da ifade edilebilmekte ve Direkt Metot yardımı ile zeminin histerik bir yapıda olan sönümü daha iyi dikkate alınabilmektedir.

2.1.2. Viskoz sınır şartı

Direkt Yöntem kullanılarak yapılan bu çalışma, zeminin yapıdan belli bir mesafe sonra kesilen sınır yüzeylerine viskoz sınır şartı uygulanarak analiz edilmiştir. Kaynaktan saçılan dalgalar zeminin kesim noktalarındaki yapay sınırlara çarparak bir kısmının tekrar zemin ortamına yansımaları durumuna neden olmaktadır. Bu sorunu ortadan kaldırmak için de viskoz sınır şartları kullanılmaktadır. Viskoz sınır şartının kullanılıp, gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edebilmek için çözüm ortamı mümkün olduğunca küçük parçalara bölünmeli ve kesim noktaları yapıdan oldukça uzakta seçilmelidir. Kesim noktalarını yapıdan uzak bir bölgede seçmek aynı zamanda dalgaların sınıra çarpma açısını da düşürecektir.

Viskoz sınır şartının kullanılabilmesi için, düzlem dalga yayılışının izotrop ve lineer elastik bir ortamda gerçekleşmesi gerekmektedir. Çözüm bölgesinin küçük elemanlara bölünmesi ve yapay sınırların kullanılması, aynı zamanda eleman sayısının da artmasına neden olmakta, bu da denklem sayısının artması yani çözümün zorlaşması ve çözüm süresinin artması anlamına gelmektedir. Yakın bölgenin sonlu elemanlar kullanılarak yapılan temsili bir modeli şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Direkt Yöntemde Sınır Şartları (Viskoz Sınırlar)

Bir dinamik yükün etki ettiği bir sistemde, sistemin hareketine neden olan parametreler sönüm oranı (c) ve rijitliktir (k). Bu nedenle yapı-zemin etkileşiminin incelendiği durumlarda zeminin elastisite modülü, poisson oranı, birim hacim ağırlığı ve kayma dalgası hızı gibi özellikleri ile birlikte sönüm oranı ve rijitlik değerlerinin de belirlenerek modellemede kullanılması gerekmektedir. Analizlerde kullanılacak model seçilirken bu parametrelerin matematiksel model içinde yer almaları önemlidir. Dinamik analizlerde modellenen viskoz sınır şartı efektif rijitlik ve efektif sönüm değerleri tanımlanmıştır. Efektif rijitlik tanımlanırken ilgili noktanın bir birimlik yer değiştirmesi için gereken kuvvet alınmıştır. Efektif sönüm:

$$c = \rho V_s A \quad (2.4)$$

formülüyle hesaplanır. Burada, ρ , birim hacim ağırlık, V_s , zeminin kayma dalga hızı ve A ise etkili alandır. Zeminin kayma dalgası;

$$V_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (2.5)$$

olarak tanımlanmıştır. Burada G , zeminin kayma modülüdür ve bu değer;

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} \quad (2.6)$$

olarak tanımlanmıştır. Burada E , zeminin elastisite modülüdür (Çelebi E., Gündüz A.N., 1999).

2.2. Yerel Zemin Koşulları

Bir deprem sırasında yapıya gelecek deprem kuvveti iki ana faktörden etkilenir. Bu faktörlerden birincisi deprem özellikleri, ikincisi de yerel zemin koşullarıdır. Deprem dalgaları, zemin tabakaları içinden geçerken, özellikleri değişebilmekte ve zemin yüzeyinde yer alan yapılara gelecek olan deprem kuvvetlerini arttırabilmektedir. Depremlerin yapılarda yol açtığı hasarların yerel zemin koşullarının değişik etkileri altında kaldığı bilinmektedir. Bu etkiler genel olarak yapılara depremler sırasında etkileyen atalet kuvvetleri ve yapı temel zemininde depremler sırasında oluşan sıvılaşma, taşıma gücü kaybı ve aşırı yer değiştirmeler nedeni ile oluşabilecek olumsuzluklardır. Bu nedenle yapıların inşasından önce arazideki temel zeminini oluşturan tabakaların olası bir deprem sırasında göstereceği davranışın da incelenmesi gerekmektedir. 1970'e kadar dünyadaki yapı şartnamelerinde yerel zemin koşulları genellikle dikkate alınmamıştır. Son yıllarda elde edilen deprem verilerine ve yapısal hasarlardaki gözlemlere dayanarak gerek deprem şartnamelerinde, gerekse mikrobölgeleme çalışmalarında yerel zemin koşullarını dikkate alan çalışmalar yapılmaktadır (Tohumcu, P., Kılıç, H., Özaydın, K., 2003).

Zemin, yapıya etkileyen deprem ivmesini büyütürken hasarın da büyümesine neden olur. Bu olay zeminin büyütme etkisi (amplifikasyon) olarak tarif edilir (Tablo 2.1).

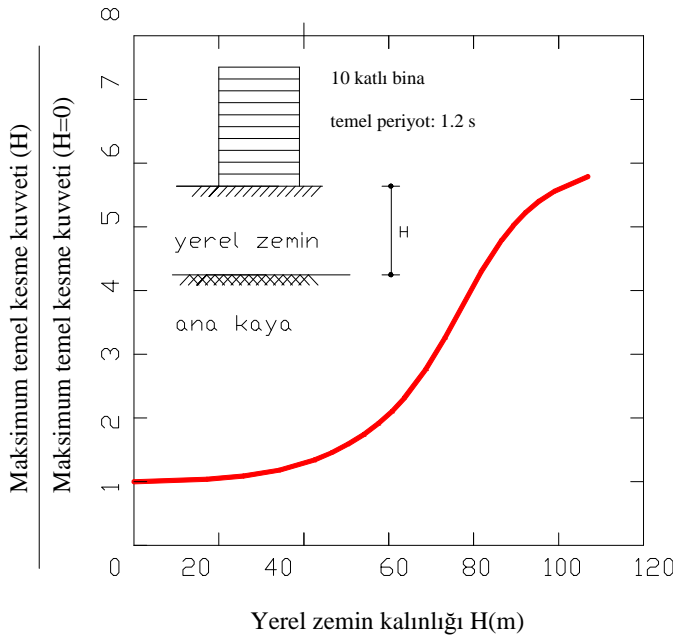
Tablo 2.1. Zemin Büyütmelerinin Zemin Türlerine Göre Değişimi

Zemin Kategorisi	Genel Tanım	Ortalama Kayma Dalgası Hızı, V_s (m/s)	Büyütmeye Karşı Zemin Davramışı
A	Kaya	$V_s > 750$	-
B	Derin kohezyonsuz zeminler, sıkı kohezyonlu zeminler ya da ikisinin karışımından oluşan zeminler	$360 < V_s < 750$	Düşük
C	Kum silt veya sıkı-çok sıkı kil, bazı çakıllar, kalınlığı 3 m den küçük yumuşak kil tabakaları	$180 < V_s < 360$	Orta
D1	Kalınlığı (H_t) az veya yumuşak veya orta sıkı kil içeren tabakalar	$V_s < 180$, $3m < H_t < 15m$	Yüksek
D2	Kalınlığı (H_t) fazla ve yumuşak veya orta sıkı kil içeren tabakalar	$V_s < 180$, $15m < H_t < 35m$	Yüksek
E1	Organik madde oranı yüksek killer	$H_t > 3m$	Çok yüksek
E2	Yüksek plastisiteli killer	$H_t > 7m$ ve $PI < \% 75$	Çok yüksek
E3	Çok kalın yumuşak veya orta sıkı kil içeren tabakalar	$H_t > 35m$	Çok yüksek

Yerel zemin koşullarının deprem hasarına olan etkisi, zeminlerin rijitlik ve dinamik karakteristikleri ile değişmektedir. Yapı-zemin etkileşim analizi için seçilecek analitik ve matematik modeller, yapı özelliklerinin yanında, zemin özelliklerini de hassasiyetle yansıtmalıdır. Çünkü zeminin enerjisi yutması, zemin ortamının yarı sonsuz büyüklükte oluşu ve zemine ait fiziksel parametreler; zeminin özellikle şekil değiştirmesine, kayma modülüne ve gerilme düzeyine bağlıdır.

2.2.1. Yerel zemin kalınlığı

Yerel zeminlerin tabaka kalınlıkları da yapı zemin hasarlarına etki eden en önemli unsurların başında gelmektedir. Yerel zemin kalınlığı üst yapı elemanlarındaki yer değiştirme, ivme gibi değerlerin yanında maksimum taban kesme kuvveti ve taban devrilme momentini de etkilemektedir (Şekil 2.7).

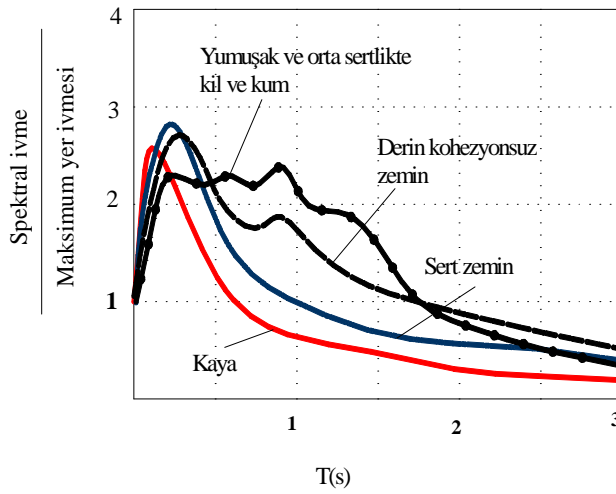


Şekil 2.7. Yerel Zemin Kalınlığının Maksimum Temel Kesme Kuvvetine Etkisi (S. Pampal, 2000).

Kayma dalgası hızı, deprem yükleri sırasında zemin tabaklarının meydana getireceği büyütme ve küçültmelerin hesaplanmasında kullanılan en önemli dinamik zemin parametresidir. Zemin türü, derinlik, jeolojik yük, efektif gerilme, aşırı konsolidasyon oranı (OCR), ve boşluk oranı kayma dalgası hızını etkileyen faktörlerin başında gelmektedir.

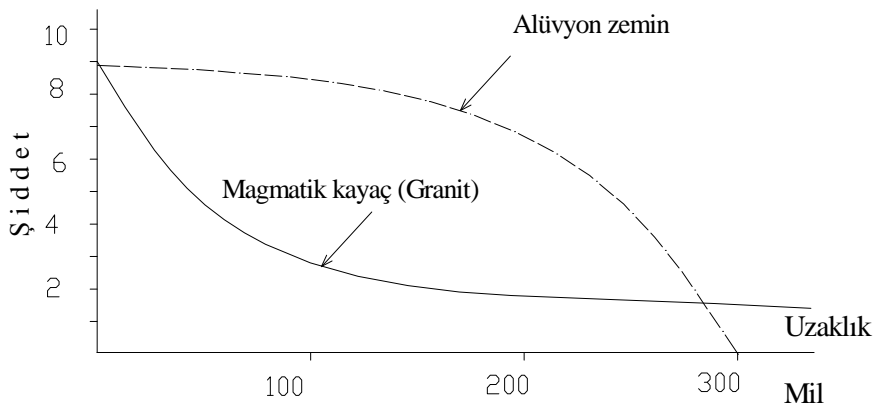
2.2.2. Zemin spektrumları

Farklı zeminler farklı spektrum eğrilerine sahiptir ve özellikle 0.5 saniyeden büyük periyotlarda spektrum eğrilerinde önemli farklılıklar ortaya çıkmaktadır (Şekil 2.8). 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 2.8. Değişik Zeminler İçin Spektral İvme Periyot İlişkisi

Deprem odağından uzaklaştıkça deprem şiddetinin azaldığı bilinen bir gerçektir. Deprem şiddetindeki azalma etkisi alüvyon zeminler için, iç bükey, magmatik kayaç zeminler (Granit) için dış bükey azalan bir davranış göstermektedir (Şekil 2.9). Şekil dikkatli bir şekilde incelendiğinde deprem merkezinden (episantr) 50 mil ila 200 mil arasında bir uzaklık içerisinde alüvyon dolgu üzerinde hissedilen deprem şiddetinin, granit ve magmatik kayaçlardakinden 2-3 kat daha fazla olduğu kolaylıkla görülebilir.



Şekil 2.9. Farklı Zeminler İçin Deprem Şiddeti ve Episantr Uzaklığı Arasındaki İlişki

2.2.3. Zemin periyodu ve zemin özelliklerinin üst yapıya etkisi

Deprem sonrası oluşan dalgaların etkisi ile zemin ve yapı sahip oldukları periyotlar ile sallanma başlar. Eğer zemin ve yapı yaklaşık olarak aynı periyotta salınırlarsa zemin ve yapı arasında rezonans denilen olay gerçekleşir ve yapılarda çok büyük hasarlara neden olur. Salınım periyodu 0.6 sn olan bir zemin tabakası üzerine salınım periyodu 0.5-0.7 sn civarında olan ve tüm tasarım kriterleri karşılanmış, boyu yaklaşık olarak 20-30 m arasında bulunan bir bina ile salınım periyodu 0.1 sn olan çok fazla mühendislik hizmeti görmemiş olan bir yapı dinamik performans açısından karşılaştırıldığında, salınım periyodu 0.1 sn olan mühendislik tasarımı görmemiş yapı ayakta kalırken, diğer tasarım görmüş yapı çok fazla hasar görebilmektedir (Pampal, S., 2000).

Sert ve rijitliği fazla zeminler üzerine çok katlı ve periyodu büyük yapıların, yumuşak ve rijitliği az olan zeminlerin üzerine ise az katlı periyodu düşük yapıların yapılması gerekmektedir. Ancak yumuşak zeminlerin üzerine düşük periyotlu yapıların yapılması durumunda bile, zemin yapı etkileşimi ihmal edilmeyecek derecede önemlidir. Yumuşak zeminler üzerinde inşa edilen rijit yapılarda yükseklik/genişlik oranı düşük tutulmalıdır. Yükseklik/genişlik oranının yapı zemin dinamik etkileşimi üzerindeki etkisi, oran arttıkça yer değiştirme genliğinde azalma ve periyotta uzama şeklinde görülmektedir. Bu oranın etkisi yumuşak zemin-rijit yapı durumunda iyice belirginleşirken, sert zemin esnek yapı durumunda ise söz konusu etki azalmaktadır (Kutunis, M., 2001). Ayrıca deprem dalgalarının periyotları merkez üssünden uzaklaştıkça büyüyerek yapılarda istenmeyen hasarlara yol açabilmektedir. Örneğin Meksika depreminde (1985), merkez üssünden 350 km uzakta bulunan yerleşim bölgelerinde çok katlı yapılarda büyük hasarlar oluşmuştur. Yapılan incelemeler sonucunda, yumuşak zemine dönüşmüş olan eski göl yatağının, uzun periyotlu yer hareketlerini büyütmesi ile maksimum tepkinin 2.0-2.5 saniyelik periyotlarda olduğu ve bunun sonucunda doğal titreşim periyotları büyük olan çok katlı yüksek yapıların büyük hasarlar görmesine sebep olduğu anlaşılmıştır (Atımtay E., 2000).

BÖLÜM 3. DİNAMİK ETKİ VE ANALİZİ

Bu çalışmadaki yapı-zemin modellerinin, zaman tanım aralığındaki tüm dinamik analizleri SAP2000 paket programı yardımı ile yapılmıştır. Bu bölümde dinamik etki ve dinamik etkinin analiz yöntemleri üzerinde durulmuştur.

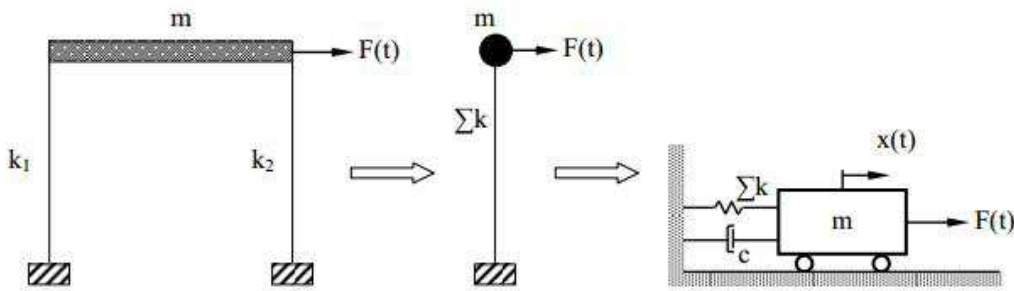
Herhangi bir yapı sisteminde doğru bir dinamik analiz yapabilmek için:

1. Yapının gerçeğe en yakın ve doğru bir şekilde modellenmesi,
2. Depremde yapı üzerine gelen yüklerin doğru şekilde etkitilmesi,
3. Analiz sonuçlarının bilinçli ve doğru olarak yorumlanması gerekmektedir.

Kullanım süreleri boyunca, mühendislik yapılarının büyük bir çoğunluğu, bir veya daha fazla dinamik yüklemeye maruz kalırlar. Yapıların serbest veya zorlanmış titreşim etkileri altındaki dinamik analizi, deprem mühendisliği ve yapı dinamiğinin temel kavramlarından biridir. Dinamik yükler etkisindeki yapıların analizi ve dizaynı zamana bağlı değişen kuvvetlerin dikkate alınmasını gerektirir. Dinamik yüklere örnek olarak deprem, rüzgâr, darbe, patlama kuvvetleri, endüstriyel yapılarda makina ve motorların oluşturduğu titreşim kuvvetleri, fabrika krenlerinde oluşan titreşimlerin yapıya etkileri veya uçak-uzay sanayisinde kullanılan gövde ve kanat gibi elemanların maruz olduğu aero-dinamik yüklerin oluşturduğu etkiler verilebilir. Statik çözümler tek bir sonuç şeklinde olmasına karşı, dinamik analizlerde sonuç zamana bağlı bir fonksiyon olup, çözüm kümesi şeklindedir. Ayrıca ve de en önemlisi, statik çözümlerdeki yer değiştirmelere karşılık, dinamik analizlerde atalet kuvvetleri oluşmaktadır.

Yapıların matematiksel modeli oluşturulurken dikkat edilmesi gereken en önemli hususlardan birisi serbestlik derecesidir. Titreşebilen bir cismin veya bir sistemin,

herhangi bir andaki durumunu belirtmek için gerekli olan değişkenlerin sayısı, o cismin serbestlik derecesi olarak ifade edilir. Tek serbestlik dereceli sistemlerde kütlelerin tek bir noktada toplandığı kabulü yapılmaktadır (Şekil 3.1). Birçok mühendislik probleminde bu kabul yeterli hassasiyette sonuçlar vermektedir lakin bazı durumlarda örneğin bir kesme çerçevesinde veya deprem etkisindeki bir yapıda her kata gelen kuvvetin, her katın rölatif deplasmanları veya titreşim frekanslarının bulunması gerekebilir. Bu gibi durumlarda sistem yeterli sayıda ayrık sisteme ayrılarak analiz yapılmaktadır (Civalek Ö., 2004). Bu durumda, sistemin hareketi sadece bir tek koordinat doğrultusu ile ifade edilemez. Sonuç olarak sistem; kütle, sönüm, rijitlik terimleri açısından deplasman sayısı dikkate alınarak matris formda yazılır.



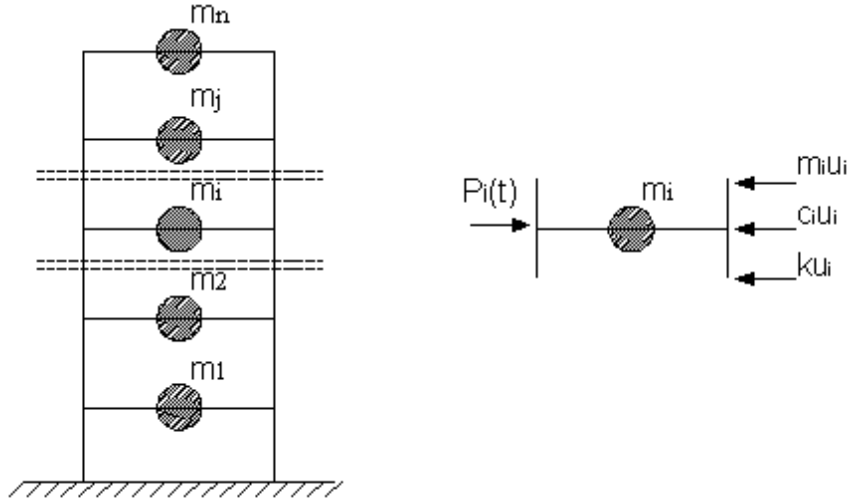
Şekil 3.1. Tek Serbestlik Dereceli Sistemler

3.1. Hareket Denklemi ve Sayısal Çözümü

Herhangi bir taşıyıcı sistemde dış yüklerin doğru veya şiddetlerinin zamanla değişmesi ya da taşıyıcı sistemin mesnetlerinin hareket etmesi durumunda, taşıyıcı sistemdeki kütlelerde atalet kuvvetlerinin oluşacağı ve sisteme dış yük gibi etki edeceği bilinmektedir.

Bina tipi yapılarda katlar hizasında kütleleri toplayarak, n katlı yapı için n adet ayrık kütleli bir sisteme dönüştürmek hesaplarda büyük bir basitleştirme sağlamaktadır. Yalnızca kat hizalarında öteleme serbestliklerinin söz konusu olması durumu için, bilinmeyen sayısı n adet dinamik yer değiştirme bileşimidir. Hareket denklemi

sisteme etkileyen atalet kuvvetleri, sönüm etkileri ve şekil değiştirme sonucu meydana gelen elastik kuvvetlerle beraber dış kuvvetlerin dengesinden ibarettir (CELEP Z., KUMBASAR N., 1993). Hareket denklemi yazılırken yatay rijitlik matrisinin oluşturulması gerekmektedir.



Şekil 3.2. Dinamik Yatay Deprem Kuvveti Etkisindeki Yapı

Şekil 3.2. de yatay dinamik deprem kuvveti altındaki sistem incelenir ve i. kütle için hareket denklemi yazılırsa,

$$m_{ij} \ddot{u}_j + \sum_{j=1}^n c_{ij} \dot{u}_j + \sum_{j=1}^n k_{ij} u_j = P(t) \quad (3.1)$$

elde edilir. Bu denklemlerde atalet kuvveti bileşeni,

$$f_{ii} = \sum_{j=1}^n m_{ij} \ddot{u}_j \quad (3.2)$$

sönüm kuvveti bileşeni;

$$f_{Di} = \sum_{j=1}^n c_{ij} \dot{u}_j \quad (3.3)$$

elastik kuvvet bileşeni;

$$f_{Si} = \sum_{j=1}^n k_{ij} u_j \quad (3.4)$$

olarak da gösterilebilir. Burada n , sistemin serbestlik derecesini, u_j ise j noktasındaki yer değiştirmeyi göstermektedir. Kütle, sönüm ve rijitlik kat sayıları, sırasıyla m_{ij} , c_{ij} ve k_{ij} ; olup bunlar yardımıyla j koordinatındaki birim ivme, hız ve yer değiştirmeden i koordinatında meydana gelecek atalet, sönüm ve elastik kuvvetleri bulunmaktadır. $P_j(t)$ ise j noktasına etkiyen dış kuvvete karşı gelmektedir. Sonuç olarak sistemin hareket denklemi;

$$m \ddot{u} + c \dot{u} + k u = p(t) \quad (3.5)$$

olarak ortaya çıkar. Burada m ; kütle, c ; sönüm, ve k ; rijitlik matrislerini, u ise yer değiştirme vektörünü göstermektedir.

$$m = [m_{ij}], c = [c_{ij}], k = [k_{ij}], u = [u_i] \quad (3.6)$$

Rijitlik matrisinin k_{ij} elemanı, denklem (3.4) de verildiği gibi u_j yer değiştirme bileşeninin f_{Si} elastik kuvvet bileşenine olan etkisini göstermektedir. Bu bağıntı

$$u_i = \sum_{j=1}^n d_{ij} f_{Si} \quad (3.7)$$

olarak da yazılabilir. Burada d_{ij} , j noktasına etkiyen bir kuvvetten, i noktasında meydana gelen yer değiştirmeyi göstermektedir. Bu bağıntıda

$$d = [d_{ij}] = k^{-1} = [k_{ij}]^{-1} \quad (3.8)$$

şeklinde tanımlanan matrise sistemin esneklik (fleksibilite) matrisi denir (CELEP Z., KUMBASAR N.,1993).

3.2. Serbest Titreşim

Deprem etkisindeki yapılarda, sönümün periyot ve modlara etkisi söz konusudur. Bu nedenle sönüm etkisi zorlanmış titreşimde ihmal edilmemelidir. Ama deprem gibi dış kuvvetin söz konusu olmadığı serbest titreşim halinde sönümün periyot ve modlara etkisi az olduğundan hareket denklemi serbest titreşim halinde $c=0$ alınarak;

$$m\ddot{u} + k u = 0 \quad (3.9)$$

şeklinde yazılabilir. Bu denklemin çözümünün

$$u(t) = \bar{u} \sin(\omega t + \theta) \quad (3.10)$$

şeklinde basit harmonik hareket olduğu kabul edilip, (3.9)'da yazılırsa

$$(k - \omega^2 m)\bar{u} = 0 \quad (3.11)$$

veya (3.8)'de verilen $d = k^{-1}$ fleksibilite matrisiyle

$$(I - \omega^2 d m)\bar{u} = 0 \quad (3.12)$$

homojen lineer denklem sistemi elde edilir. Bu sistemin sıfırdan farklı çözümü ancak katsayılar matrisinin determinantının sıfır olmasıyla mümkündür.

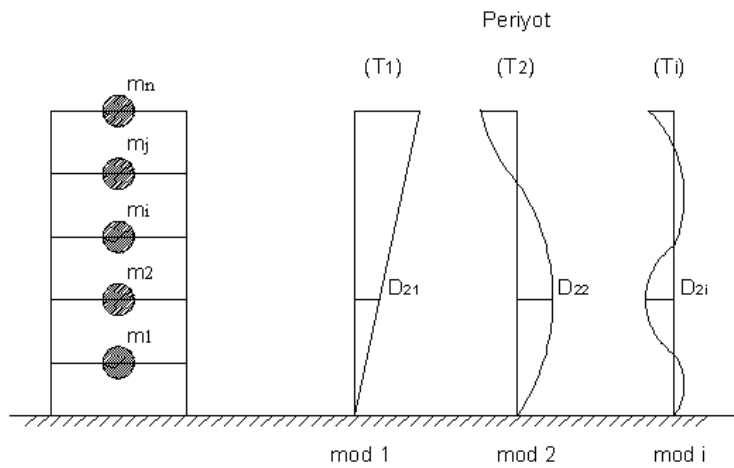
$$|k - \omega^2 m| = 0, |I - \omega^2 d m| = 0 \quad (3.13)$$

Elde edilen bu son ifadeye sistemin frekans denklemi denir. Bu denklemin çözümünden, sistemin serbestlik sayısı kadar; $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$ ile gösterilebilecek serbest titreşim frekansı elde edilir. Homojen (3.11) veya (3.12) denklemi, $\omega = \omega_i$ şeklindeki her serbest titreşim frekansı için ayrı ayrı $\bar{u} = \theta_i$ alınarak çözülebilir. Bu amaçla lineer homojen olan bu n bilinmeyenli denklemin bilinmeyenlerinden bir

seçilerek n-1 bilinmeyene indirilmesi ve n-1 bilinmeyen bu seçilen bilinmeyen cinsinden hesaplanması gerekir.

$$(k - \omega^2 m)\phi_i = 0 \quad (I - \omega^2 dm)\phi_i = 0 \quad (3.14)$$

Böylece elde edilen ϕ_i vektörüne söz konusu titreşim frekansına karşı gelen serbest titreşim mod şekli denir. Her sistemin serbestlik derecesi kadar mod şekli vardır: $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n$. Buradaki ϕ_i nin elemanları yer değiştirmelere karşı geldiği için mod şekli, sistemin karşı gelen frekansla titreşimi sırasında aldığı konumu verir.

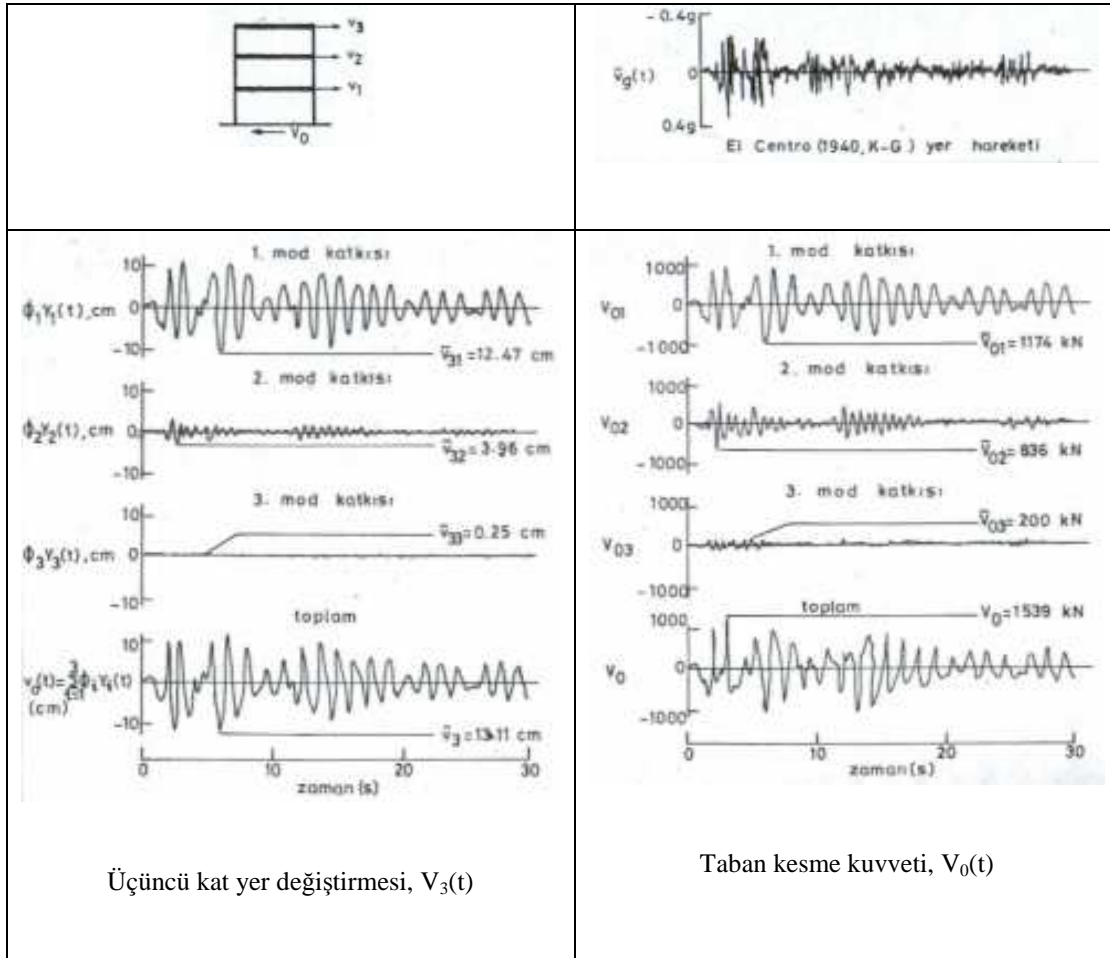


Şekil 3.3. Çok Serbestlik Dereceli Sistem Mod Şekilleri

3.3. Modların Süperpozisyonu Yöntemi

Deprem etkisindeki çok serbestlik dereceli sistemlerin davranışlarını belirlemek tek serbestlik dereceli sistemlere göre daha karmaşıktır. Bu karmaşıklığı aşmak için yaygınlıkla kullanılan mod süperpozisyonu yönteminin de, çok serbestlik dereceli ve çok modlu bir sistemi, birçok eşdeğer tek modlu sistemlerin süperpozisyonu şeklinde temsil edilmektedir.

Çok modlu sistem, ilgili mod hesaplanırken tek serbestlik dereceli bir sistem gibi düşünülür. Her bir mod için yapının davranışı belirlenir ve elde edilen değerler uygun bir oranda süperpoze edilerek yapının olası davranışı belirlenir (Şekil 3.3).



Şekil 3.4 Üç Katlı Bir Çerçevenin Deprem Hareketi Altındaki Davranışı (Zekai Celep, 1992)

Üç katlı bir çerçeve için ($n=3$) El Centro depremi kullanılarak modların süperpozisyonu yöntemi ile elde edilmiş sonuçlar Şekil 3.4'de verilmiştir. Üçüncü katın yer değiştirmesine, sıra ile üç titreşim modundan gelen katkılar ayrı ayrı hesaplanmış ve toplam da ayrıca verilmiştir. Benzer şekilde taban kesme kuvveti de atalet kuvvetlerinin toplamı olarak

$$V_0(t) = \sum_{i=1}^n f_{si}(t) \quad (3.15)$$

faklı modların etkisini de göstermek üzere hesaplanarak gösterilmiştir. Burada sistemin davranışına her bakımdan birinci (hakim) modun etkili olduğu görülmektedir. Mod sayısı yükseldikçe, söz konusu modun tüm davranışa olan katkısının azaldığı görülmektedir (CELEP, Z., KUMBASAR, N.,1992).

Mod süperpozisyonu yönteminde çok serbestlik dereceli sistemin yer değiştirmeleri;

$$u = \phi y \quad (3.16)$$

şeklinde ifade edilir. Burada y genelleştirilmiş koordinatlardır.

3.18 denklemi 3.1 denkleminde yerine ve elde edilen ifade ϕ^T ile önden çarpılırsa;

$$\phi^T m \phi \ddot{y} + \phi^T c \phi \dot{y} + \phi^T k \phi y = -\phi^T m \delta \ddot{u}_g(t) \quad (3.17)$$

ifadesi elde edilir. Ortogonallik şartına göre i ve j mod numaralarını belirtmek üzere her $i \neq j$ için;

$$\phi_i^T m \phi_j = 0 \quad (3.18)$$

$$\phi_i^T c \phi_j = 0 \quad (3.19)$$

$$\phi_i^T k \phi_j = 0 \quad (3.20)$$

yazılabilir. Ortogonallik özelliği kullanılarak 3.17 denklemi tekrar yazılırsa;

$$\phi_i^T m \phi_i \ddot{y}_i + \phi_i^T c \phi_i \dot{y}_i + \phi_i^T k \phi_i y_i = -\phi_i^T m \delta \ddot{u}_g(t) \quad (3.21)$$

elde edilir. Burada ;

$$\phi_i^T m \phi_i = m_i \quad (3.22)$$

$$\phi_i^T c \phi_i = c_i = 2\xi_i \omega_i m_i \quad (3.23)$$

$$\phi_i^T k \phi_i = k_i = \omega_i^2 m_i \quad (3.24)$$

eşitlikleri yazılabilir. Burada ξ_i . mod için sönüm oranı, m_i i'inci genelleştirilmiş kütedir. 3.21 denklemi düzenlenerek m_i 'ye bölünürse;

$$\ddot{y}_i + 2\xi_i \omega_i \dot{y}_i + \omega_i^2 y_i = -\frac{\phi_i^T m \delta}{m_i} \ddot{u}_g(t) \quad (3.25)$$

ifadesi bulunur. 3.25 denkleminde i. modun katkı faktörü;

$$P_i = \frac{\phi_i^T m \delta}{m_i} \quad (3.26)$$

ifadesi ile gösterilir. 3.25 denklemi çözülerek $\omega_i \sqrt{1-\xi_i^2}$ yerine ω_{di} yazılırsa;

$$y_i = \frac{1}{\omega_{di}} \frac{\phi_i^T m \delta}{m_i} \int_0^t \ddot{u}_g(\tau) e^{-\xi_i \omega_i (t-\tau)} \sin \omega_{di} (t-\tau) d\tau \quad (3.27)$$

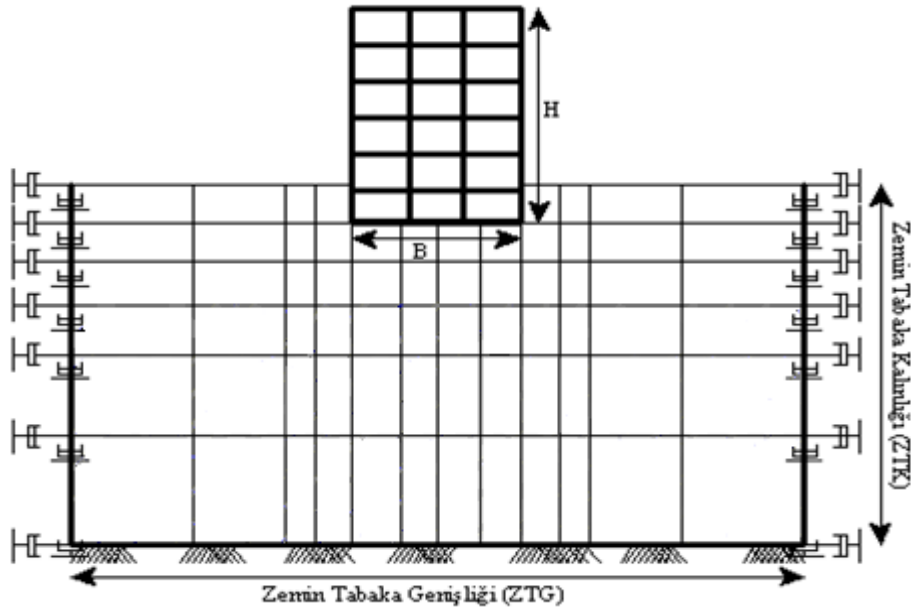
bulunur. Buradan da modal yer değiştirme vektörü;

$$u_i = \phi_i y_i \quad (3.28)$$

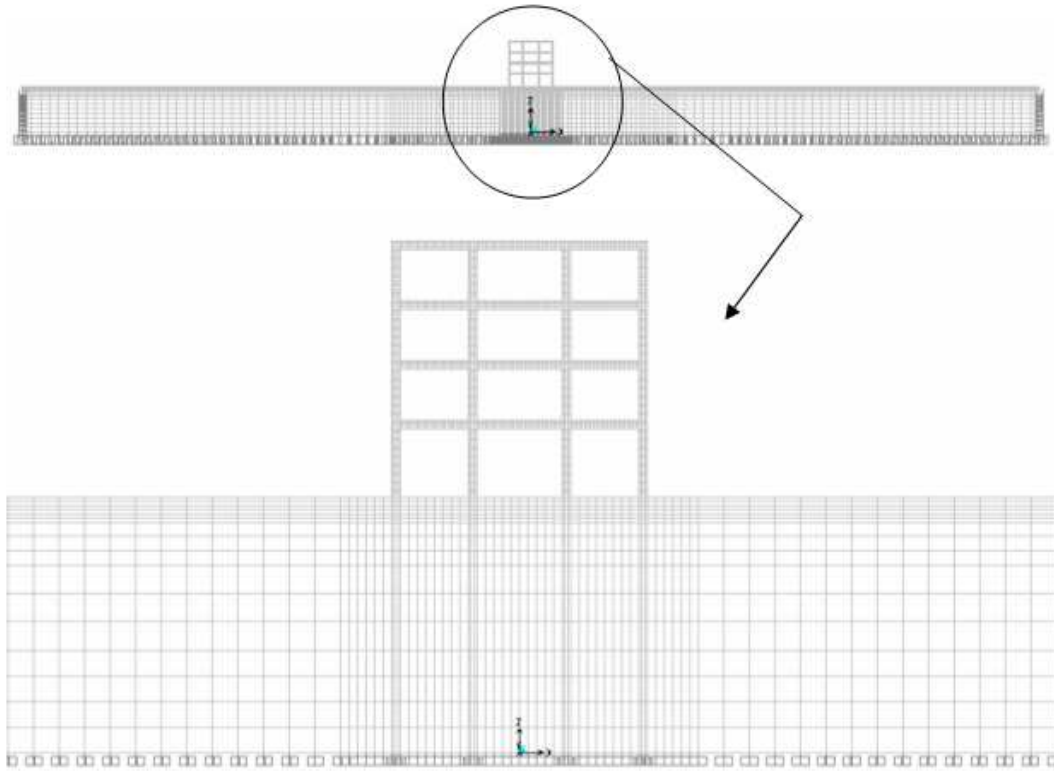
olarak elde edilir (Dumanoglu, A.A.,1996)

BÖLÜM 4. SAYISAL ÖRNEKLER

Bu çalışmada, yumuşak zeminler üzerinde inşa edilen betonarme binaların, bodrum katlı yapılması durumunda göstereceği deprem davranışının incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, yapı-zemin modeli (Şekil 4.1) kurularak, sonlu elemanlar prensibine dayalı olarak çalışan SAP2000 programında, problemin sonlu eleman modeli (Şekil 4.2) oluşturulmuştur. Yapı-Zemin modellerinin tamamının zaman tanım alanında dinamik analizleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.1. Yapı-Zemin Modeli

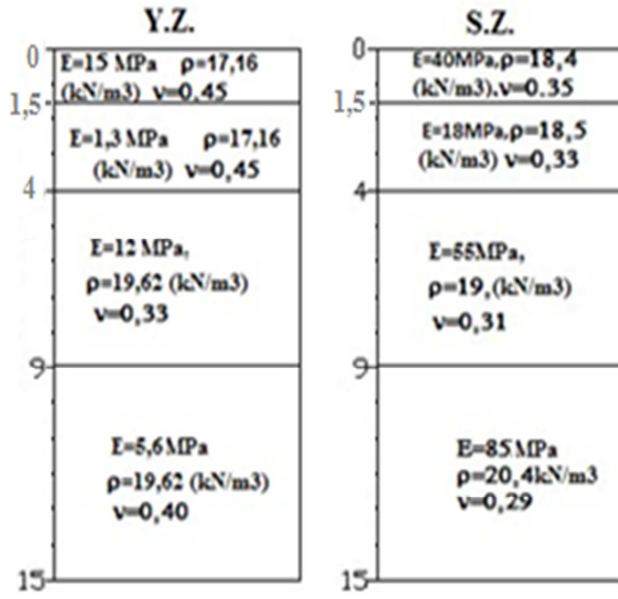


Şekil 4.2 Yapı-Zemin Modelinin Sonlu Eleman Modeli (SAP2000)

Dinamik analizlerde 28 farklı üstyapı modeli seçilmiştir. Üstyapı modellerinin tamamında elastisite modülü $E=28\text{GPa}$, poisson oranı $\nu=0.20$ ve birim hacim ağırlığı $\rho=25\text{ kN/m}^3$ olarak seçilmiştir. Yapı modellenirken seçilen kolon boyutları $50\times 50\text{ cm}$, perde boyutları $40\times 300\text{ cm}$, kiriş boyutları ise $25\times 50\text{ cm}$ 'dir. Yapıdaki sabit yük $2,0\text{ kN/m}^2$ ve hareketli yük de $1,5\text{ kN/m}^2$ olarak alınmıştır. Kat yüksekliği zemin kat için 5m , diğer katlar için ise 3m alınmıştır.

Zemin alt yapı modelleri oluşturulurken yumuşak zemin literatürden (Akın ÖNALP, 2002) seçilmiş ve bu zeminde bulunan yer altı su seviyesi (YASS) dikkate alınmıştır. YASS etkisi dikkate alınırken zeminlerin elastisite modülleri $1/10$ oranında azaltılmıştır.

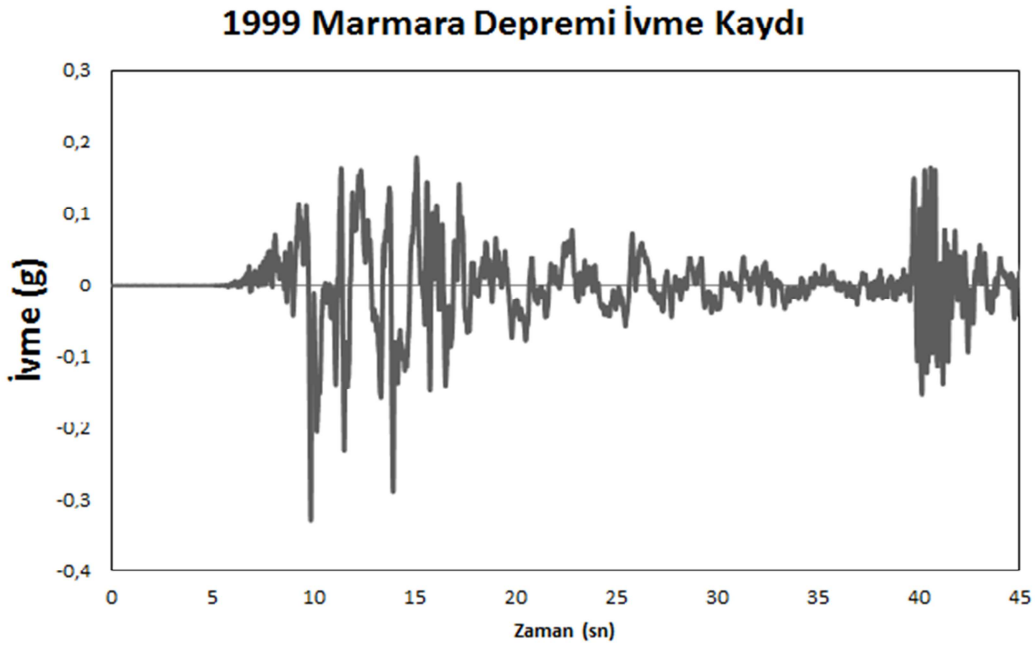
Sert zemin modeli oluşturulurken yumuşak zemin modeli temel alınmış ve zemin katman kalınlıklarının aynı olduğu varsayılmıştır. Ayrıca, sert zemin modelinde YASS bulunmadığı ve zemin modelinin sert kil, killi kum ve yoğun kum ve çakıl gibi zeminlerden oluştuğu varsayılmıştır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Yumuşak ve Sert Zemin Özellikleri

Dinamik analizlerin tamamında aşağıda verilen varsayımlar kullanılmıştır;

1. 1999 da meydana gelen Marmara depreminin yapı-zemin sonlu eleman modellerinin tamamına aynı şiddette etki ettiği (Şekil 4.4),
2. Yapı-zemin sisteminde sönümün %5 olduğu,
3. Kolon ve kiriş kesitlerinin dikdörtgen ve kat yüksekliği boyunca sabit olduğu,
4. Zeminin izotrop ve homojen olduğu.



Şekil 4.4. Marmara Depremi Yarımca Petkim Kuzey-Güney İvme-Zaman Grafiği

4.1. Zemin Altyapı Modelinin Geometrisinin Belirlenmesi

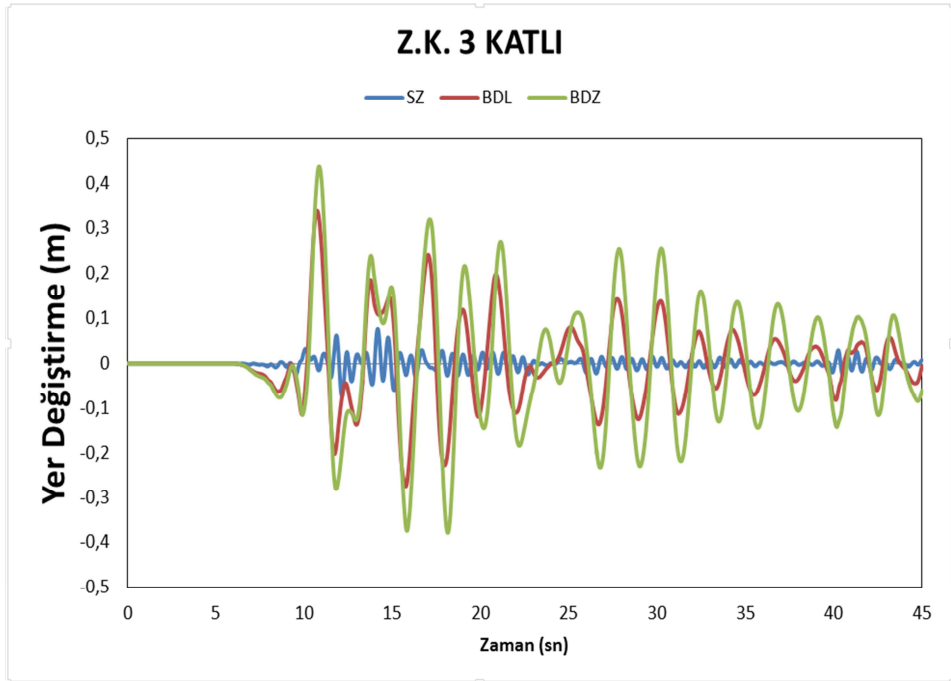
Zemin alt yapı modeli seçilirken zemin tabaka genişliği yapı tabanından 10 kat her iki tarafa uzatılmak suretiyle 315m, zemin tabaka kalınlığı da, 15m olarak seçilmiştir. Zemin alt yapısında viskoz sınır şartını uygulayabilmek için ilgili noktalara bir birimlik yer değiştirme yaptıracak olan kuvvet uygulanmış ve bu da efektif rijitlik olarak alınmıştır. Ayrıca efektif sönüm hesaplanırken,

$$c = \rho V_s A \quad (4.1)$$

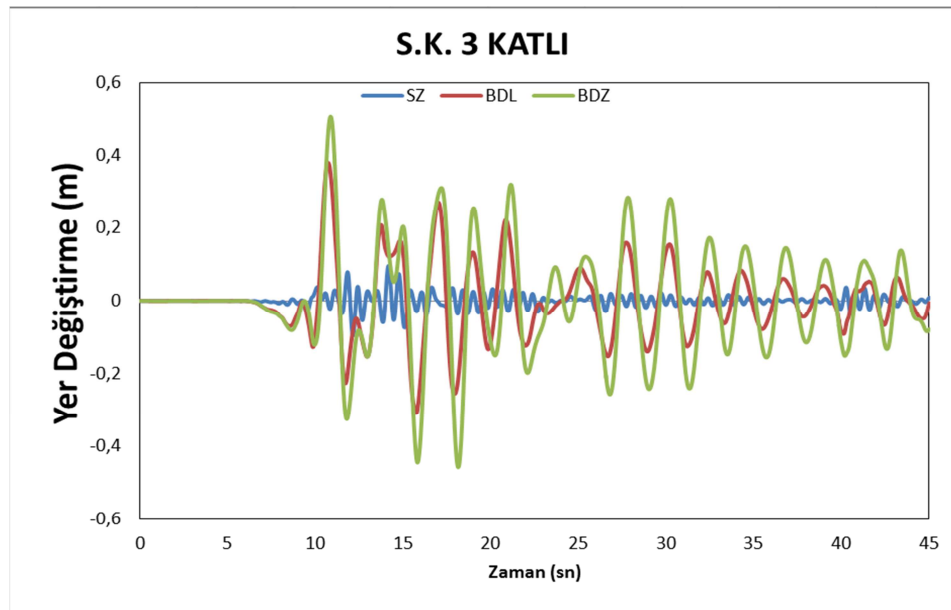
formülü yardımıyla her farklı zemin için ayrı ayrı değerler bulunmuştur.

4.2. Yapı Davranışları

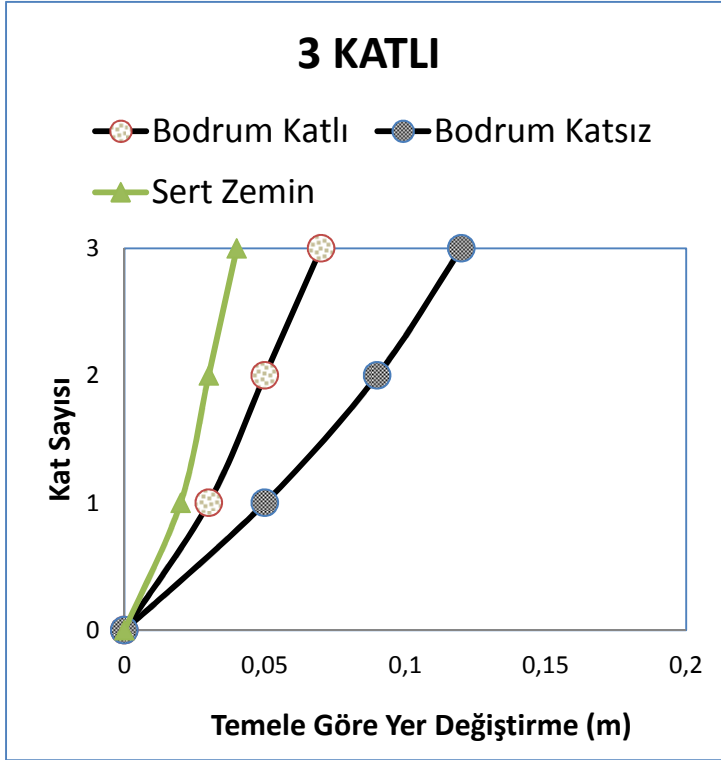
Yapı davranışının belirlenebilmesi amacıyla, betonarme yapının temeline göre görece kat ötelemeleri ve yapının zemin kat ve son kat (Şekil 4.5) yer değiştirmelerinin zaman tanım alanındaki değişimleri her bir yapı-zemin modeli için (Sert zemin, bodrumlu model, bodrumsuz model) grafikler halinde sunularak değerlendirilmiştir.



Şekil 4.6a. 3 Katlı Yapı İçin Zemin Katın Yer Değişirme-Zaman Grafiği



Şekil 4.6b. 3 Katlı Yapı İçin Son Katın Yer Değişirme-Zaman Grafiği



Şekil 4.6.c. 3 Katlı Yapı İçin Temele Göre Yer Değişirme Grafiği

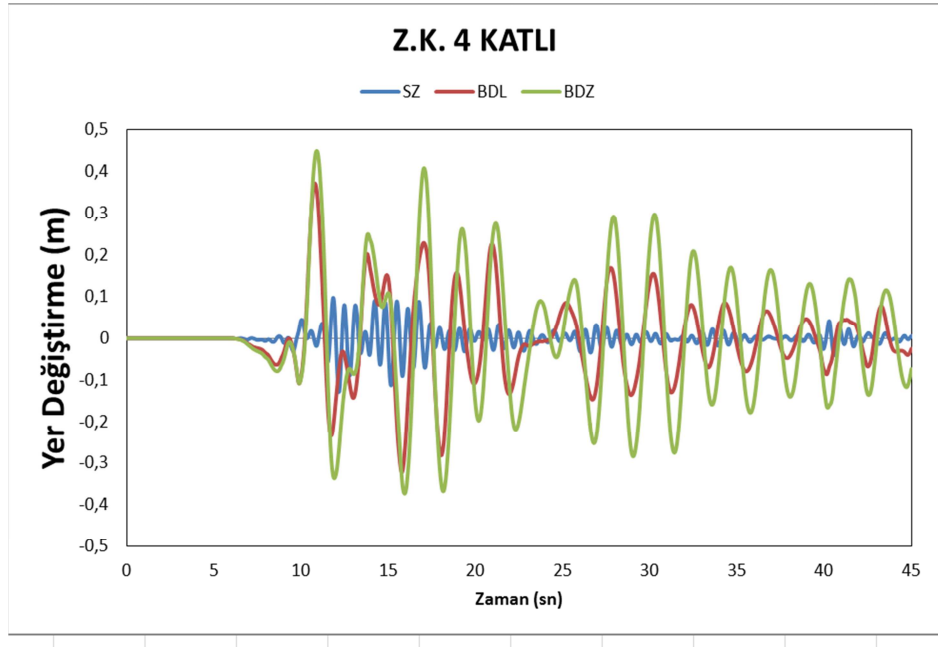
Şekil 4.6.a-4.6.b-4.6.c den görüldüğü gibi; üç katlı betonarme yapının bodrumsuz olarak sert zemin üzerinde yapılması durumunda, yapının son katının yerdeğişirmesi 4cm, zemin katın yerdeğişirmesi 2cm iken yumuşak zemin üzerinde yapılması durumunda bu değerler yaklaşık olarak 2,75 kat artarak sırasıyla 12cm ve 5cm olmuştur. Aynı yapının yumuşak zemin üzerinde bodrumlu olarak yapılması durumunda ise son katının yerdeğişirmesi 7cm, zemin katın yer değişirmesi ise 3cm olmaktadır.

Dolayısıyla yumuşak zemin üzerinde inşa edilen betonarme yapının bodrumlu yapılması halinde bodrumsuz olmasına göre yaklaşık %41 civarlarında deprem davranışı olumlu olarak etkilenmektedir.

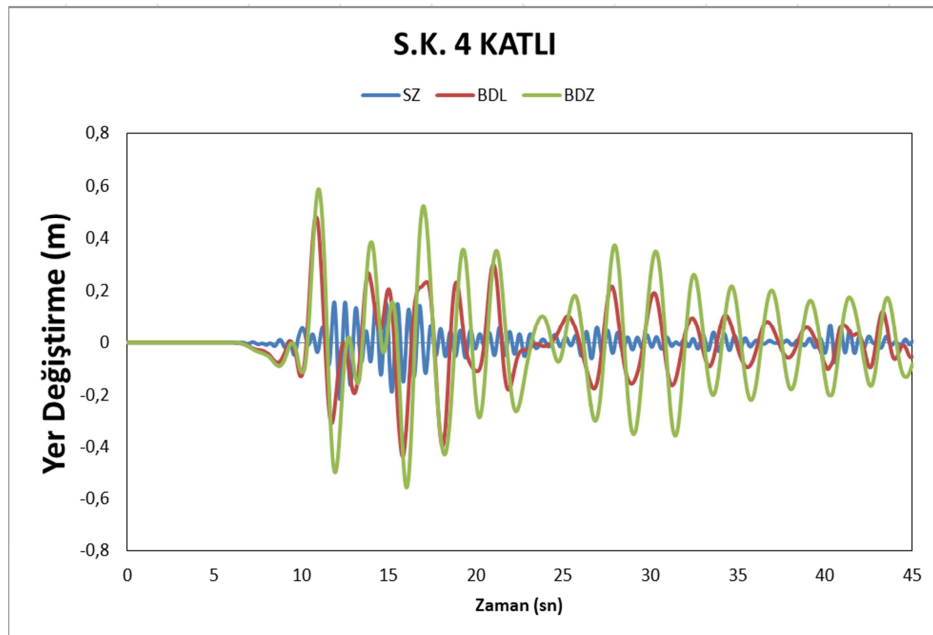
Görelî kat ötelemeleri dikkate alındığında, TDY-2007’de izin verilen maksimum son kat yerdeğişirmesi bu yapı için 22cm civarlarındadır. Üç katlı yapıların tamamının yapmış olduğu yerdeğişirmeler bu değer altında olduğundan, bu sınırlama açısından bu yapılar güvenlik koşullarını sağlamaktadır.

4.2.2.Yapı-zemin modeli (üst yapı 4 katlı)

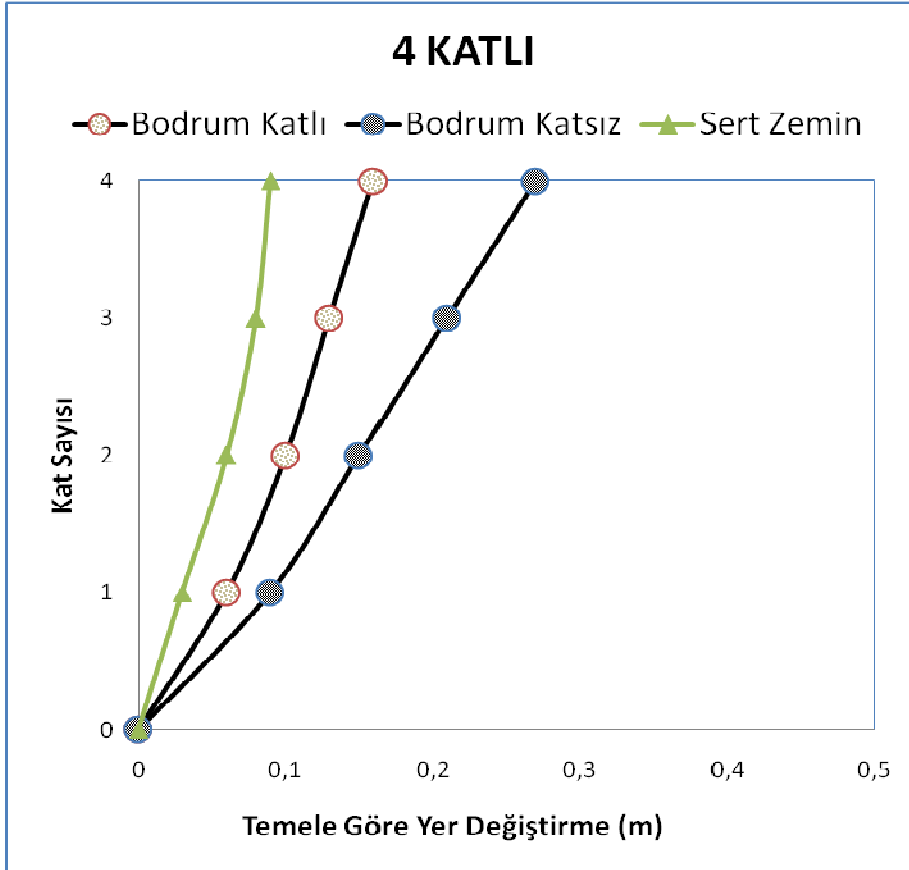
Çalışmanın bu bölümünde, yapı-zemin modelinin üstyapısının 4 katlı olması durumu incelenmiştir. Şekil 4.7c.'den de görüldüğü gibi yapının bodrumlu yapılması durumunda deprem davranışında önemli bir iyileşme gözlenmektedir.



Şekil 4.7a. 4 Katlı Yapı İçin Zemin Katın Yer Değişirme-Zaman Grafiği



Şekil 4.7b. 4 Katlı Yapı İçin Son Katın Yer Değişirme-Zaman Grafiği



Şekil 4.7c. 4 Katlı Yapı İçin Temele Göre Yer Değiştirme Grafiği

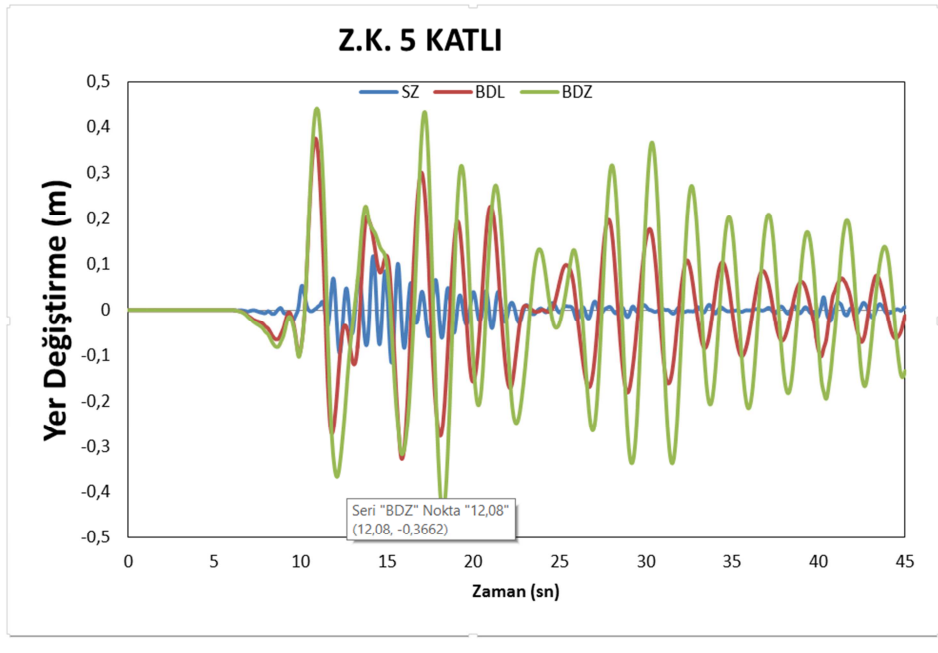
Şekil 4.7.a-4.7.b-4.7.c den görüldüğü gibi; dört katlı betonarme yapının bodrumsuz olarak sert zemin üzerinde yapılması durumunda, yapının son katının yerdeğiştirmesi 9cm, zemin katın yerdeğiştirmesi 3cm iken yumuşak zemin üzerinde yapılması durumunda bu değerler 3 kat artarak sırasıyla 28cm ve 9cm olmuştur. Aynı yapının yumuşak zemin üzerinde bodrumlu olarak yapılması durumunda ise son katının yerdeğiştirmesi 16cm, zemin katın yer değiştirmesi ise 6cm olmaktadır.

Dolayısıyla yumuşak zemin üzerinde inşa edilen betonarme yapının bodrumlu yapılması halinde bodrumsuz olmasına göre yaklaşık %42 civarlarında deprem davranışı olumlu olarak etkilenmektedir.

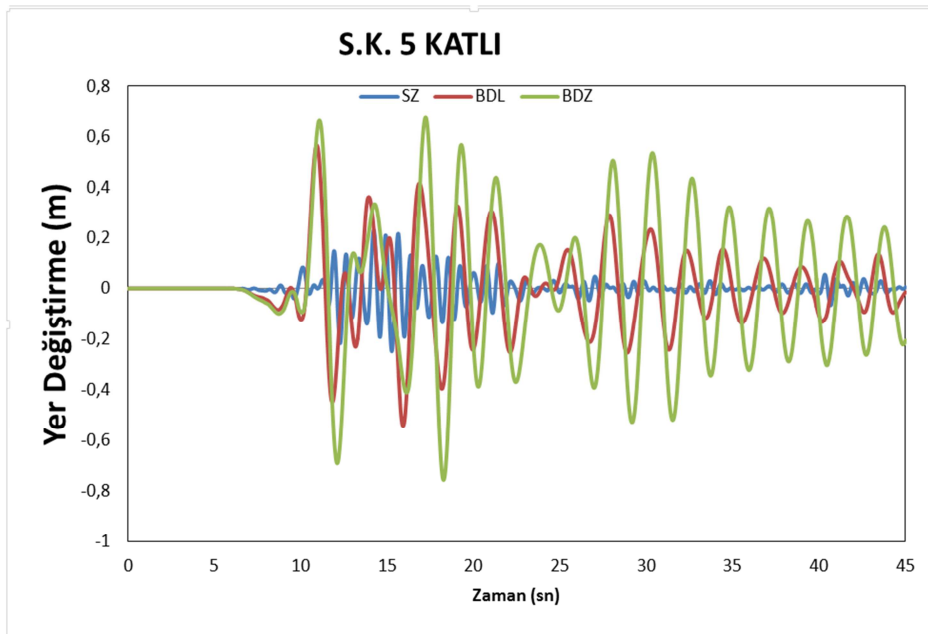
Görelî kat ötelemeleri dikkate alındığında, TDY-2007’de izin verilen maksimum son kat yerdeğiştirmesi bu yapı için 28cm civarlarındadır. Dört katlı yapıların tamamının yapmış olduğu yerdeğiştirmeler bu değer altında olduğundan, bu sınırlama açısından bu yapılar güvenlik koşullarını sağlamaktadır.

4.2.3.Yapı-zemin modeli (üst yapı 5 katlı)

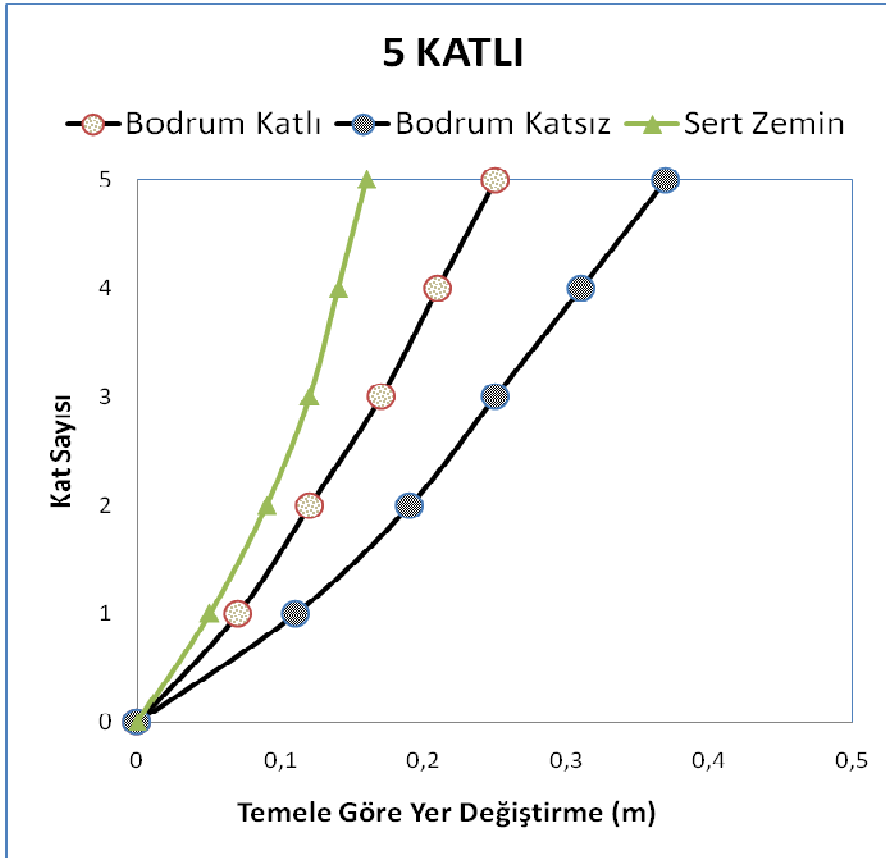
Çalışmanın bu bölümünde, yapı-zemin modelinin üstyapısının 5 katlı olması durumu incelenmiştir. Şekil 4.8c.'den de görüldüğü gibi yapının bodrumlu yapılması durumunda deprem davranışında önemli bir iyileşme gözlenmektedir.



Şekil 4.8a. 5 Katlı Yapı İçin Zemin Katın Yer Değiştirme-Zaman Grafiği



Şekil 4.8b. 5 Katlı Yapı İçin Son Katın Yer Değiştirme-Zaman Grafiği



Şekil 4.8c. 5 Katlı Yapı İçin Temele Göre Yer Değiştirme Grafiği

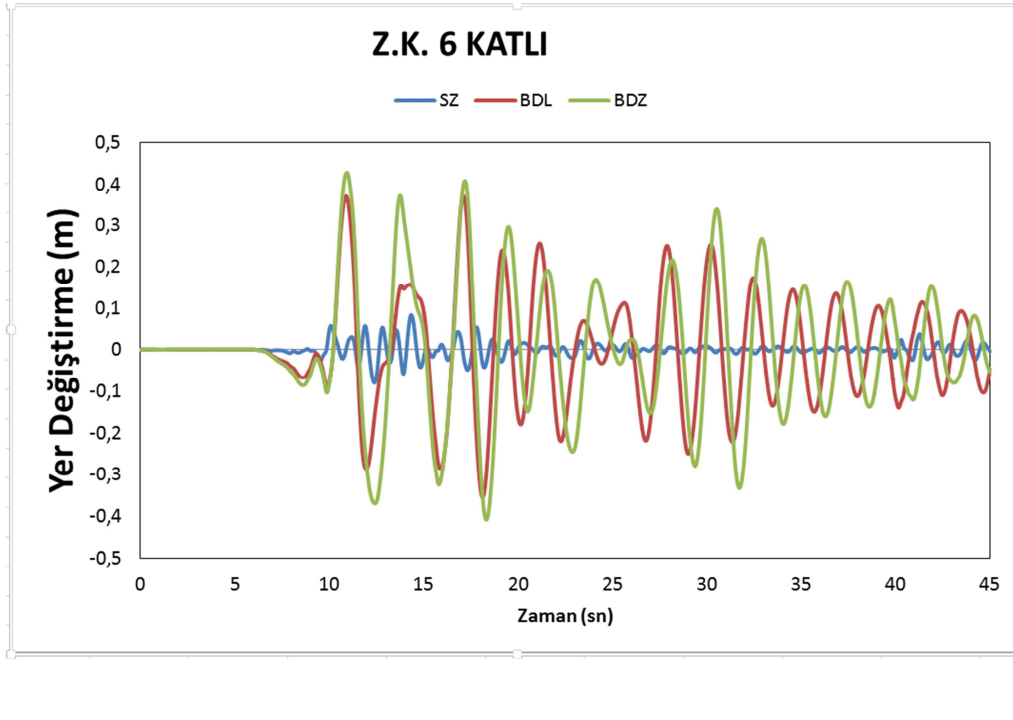
Şekil 4.8.a-4.8.b-4.8.c den görüldüğü gibi; beş katlı betonarme yapının bodrumsuz olarak sert zemin üzerinde yapılması durumunda, yapının son katının yerdeğiştirmesi 16cm, zemin katın yerdeğiştirmesi 5cm iken yumuşak zemin üzerinde yapılması durumunda bu değerler yaklaşık olarak 2,3 kat artarak sırasıyla 37cm ve 11cm olmuştur. Aynı yapının yumuşak zemin üzerinde bodrumlu olarak yapılması durumunda ise son katının yerdeğiştirmesi 25cm, zemin katın yer değiştirmesi ise 7cm olmaktadır.

Dolayısıyla yumuşak zemin üzerinde inşa edilen betonarme yapının bodrumlu yapılması halinde bodrumsuz olmasına göre yaklaşık %33 civarlarında deprem davranışı olumlu olarak etkilenmektedir.

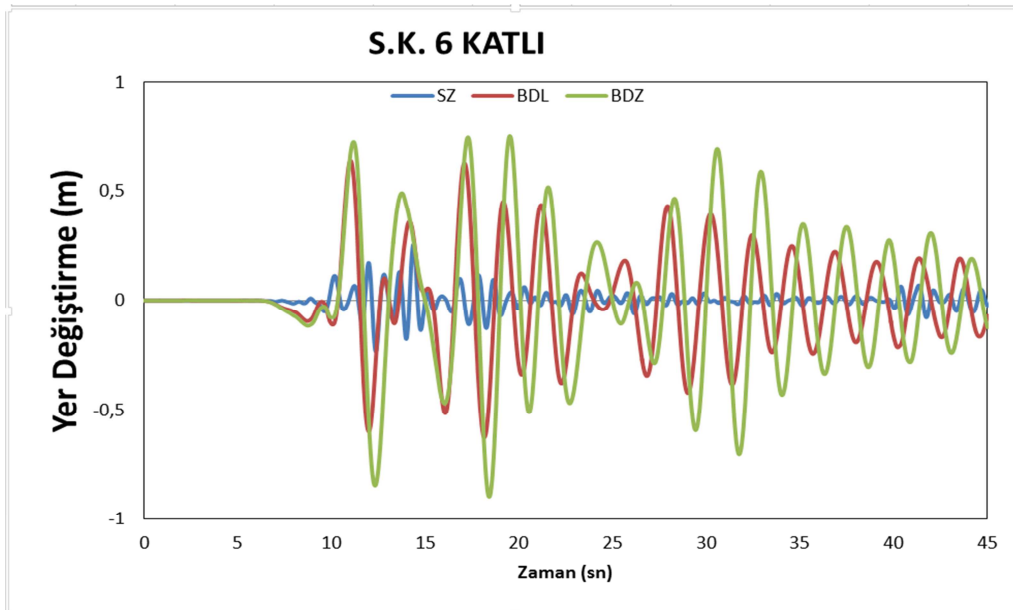
Görelî kat ötelemeleri dikkate alındığında, TDY-2007’de izin verilen maksimum son kat yerdeğiştirmesi bu yapı için 34cm civarlarındadır. Yumuşak zemin üzerindeki bodrumsuz yapının görelî son kat yerdeğiştirmesi ise 37cm dir. Dolayısıyla, bu sınırlama açısından bu model hariç diğer yapılar güvenlik koşullarını sağlamaktadır.

4.2.4.Yapı-zemin modeli (üst yapı 6 katlı)

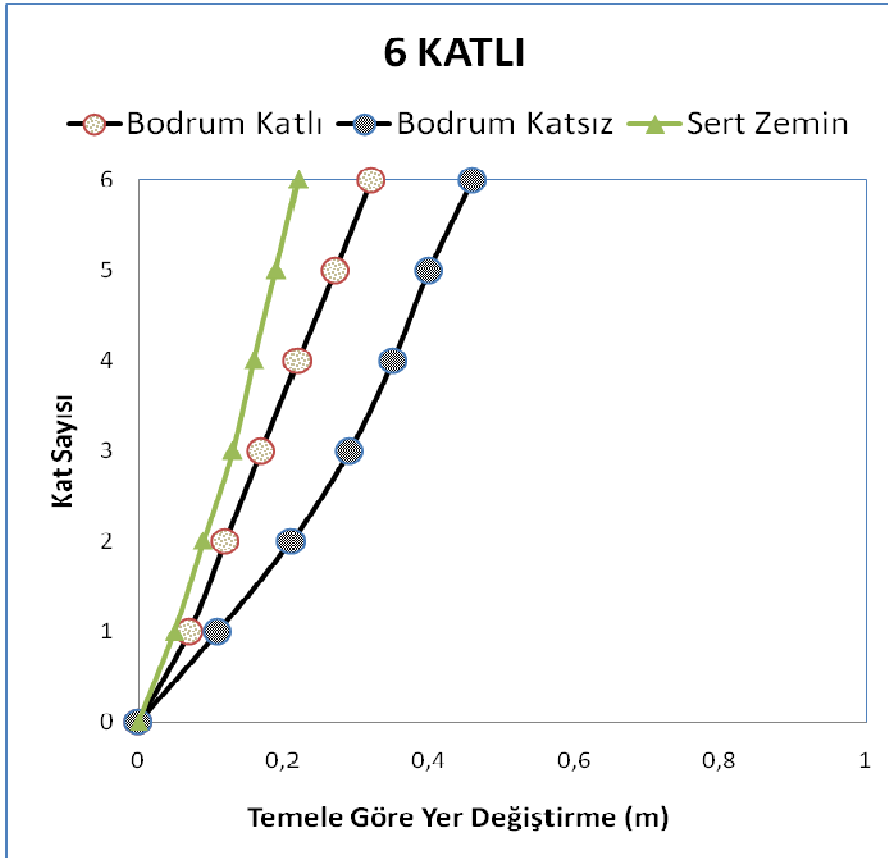
Çalışmanın bu bölümünde, yapı-zemin modelinin üstyapısının 6 katlı olması durumu incelenmiştir. Şekil 4.9c.'den de görüldüğü gibi yapının bodrumlu yapılması durumunda deprem davranışında önemli bir iyileşme gözlenmektedir.



Şekil 4.9 a. 6 Katlı Yapı İçin Zemin Katın Yer Değişirme-Zaman Grafiği



Şekil 4.9b. 6 Katlı Yapı İçin Son Katın Yer Değişirme-Zaman Grafiği



Şekil 4.9c. 6 Katlı Yapı İçin Temele Göre Yer Değiştirme Grafiği

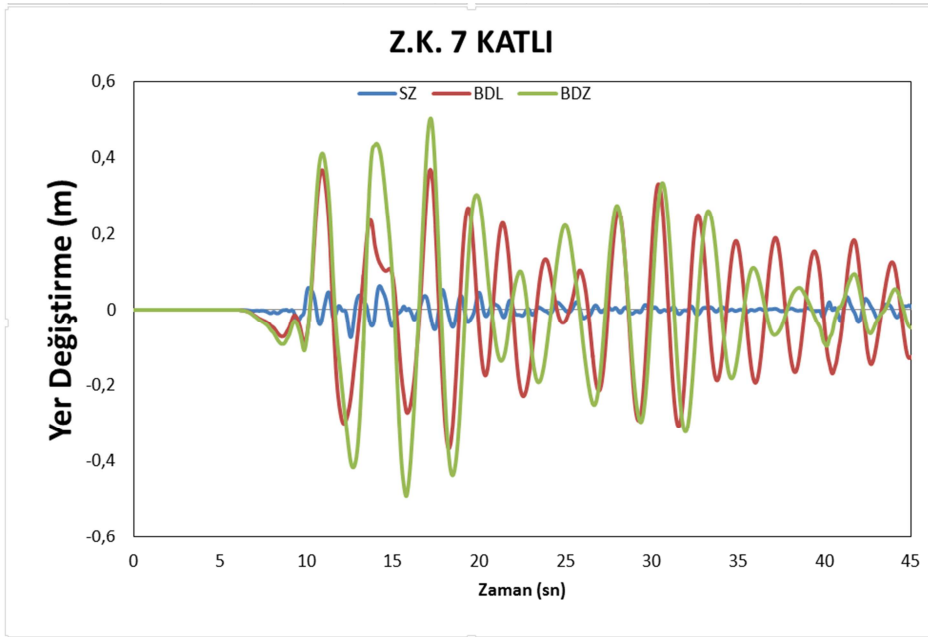
Şekil 4.9.a-4.9.b-4.9.c den görüldüğü gibi; altı katlı betonarme yapının bodrumsuz olarak sert zemin üzerinde yapılması durumunda, yapının son katının yerdeğiştirmesi 19cm, zemin katın yerdeğiştirmesi 5cm iken yumuşak zemin üzerinde yapılması durumunda bu değerler yaklaşık olarak 2,3 kat artarak sırasıyla 46cm ve 11cm olmuştur. Aynı yapının yumuşak zemin üzerinde bodrumlu olarak yapılması durumunda ise son katının yerdeğiştirmesi 32cm, zemin katın yer değiştirmesi ise 7cm olmaktadır.

Dolayısıyla yumuşak zemin üzerinde inşa edilen betonarme yapının bodrumlu yapılması halinde bodrumsuz olmasına göre yaklaşık %31 civarlarında deprem davranışı olumlu olarak etkilenmektedir.

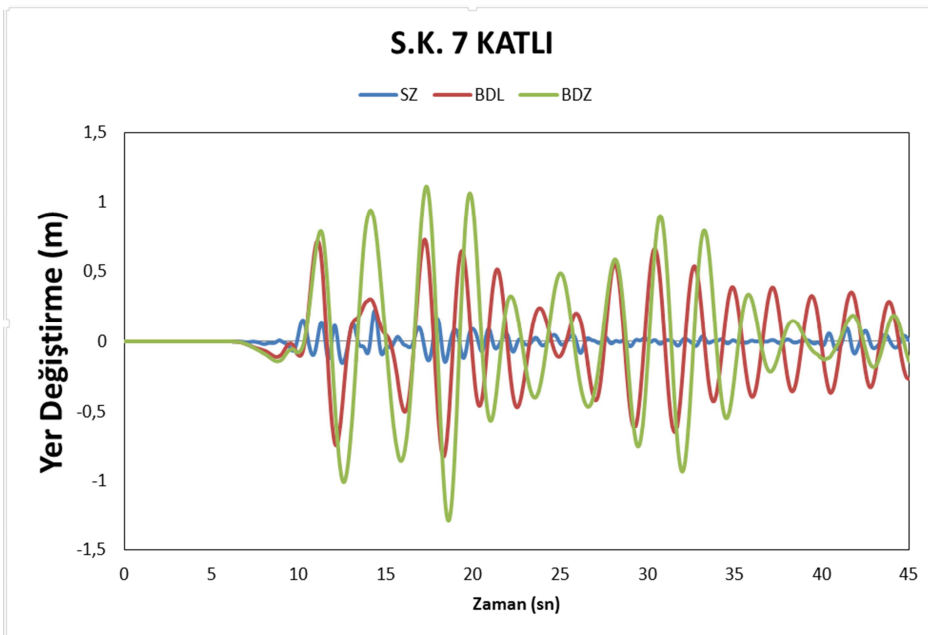
Görelî kat ötelemeleri dikkate alındığında, TDY-2007’de izin verilen maksimum son kat yerdeğiştirmesi bu yapı için 40cm civarlarındadır. Yumuşak zemin üzerindeki bodrumsuz yapının görelî son kat yerdeğiştirmesi ise 46cm’dir. Dolayısıyla, bu sınırlama açısından bu model hariç diğer yapılar güvenlik koşullarını sağlamaktadır.

4.2.5.Yapı-zemin modeli (üst yapı 7 katlı)

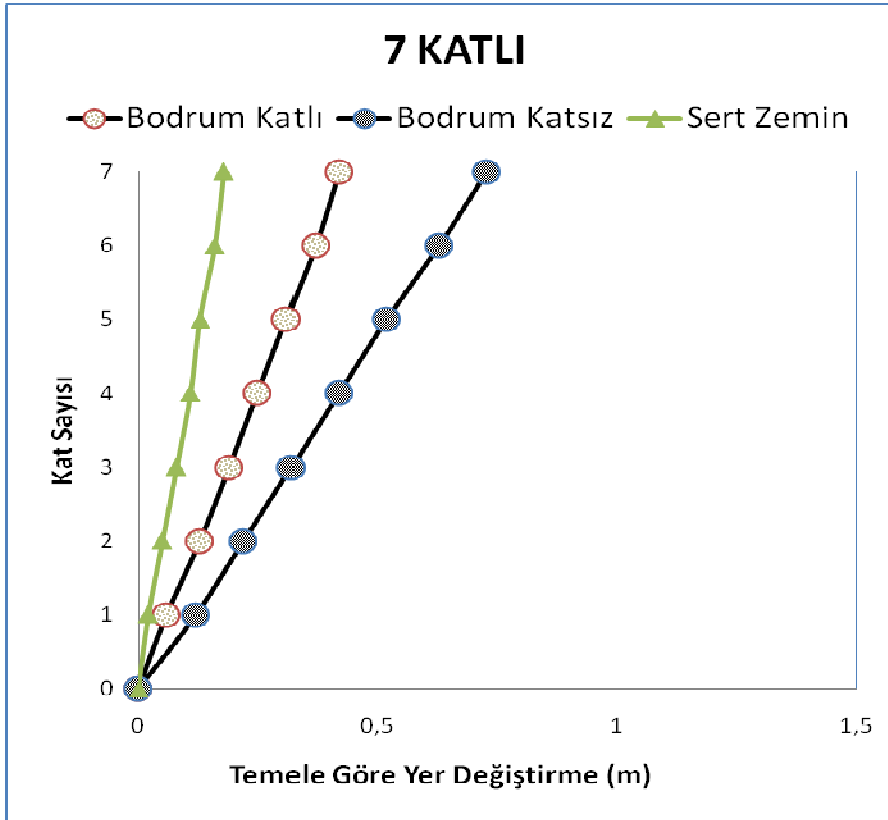
Çalışmanın bu bölümünde, yapı-zemin modelinin üstyapısının 7 katlı olması durumu incelenmiştir. Şekil 4.10c.'den de görüldüğü gibi yapının bodrumlu yapılması durumunda deprem davranışında önemli bir iyileşme gözlenmektedir.



Şekil 4.10a. 7 Katlı Yapı İçin Zemin Katın Yer Değiştirme-Zaman Grafiği



Şekil 4.10b. 7 Katlı Yapı İçin Son Katın Yer Değiştirme-Zaman Grafiği



Şekil 4.10c. 7 Katlı Yapı İçin Temele Göre Yer Değiştirme Grafiği

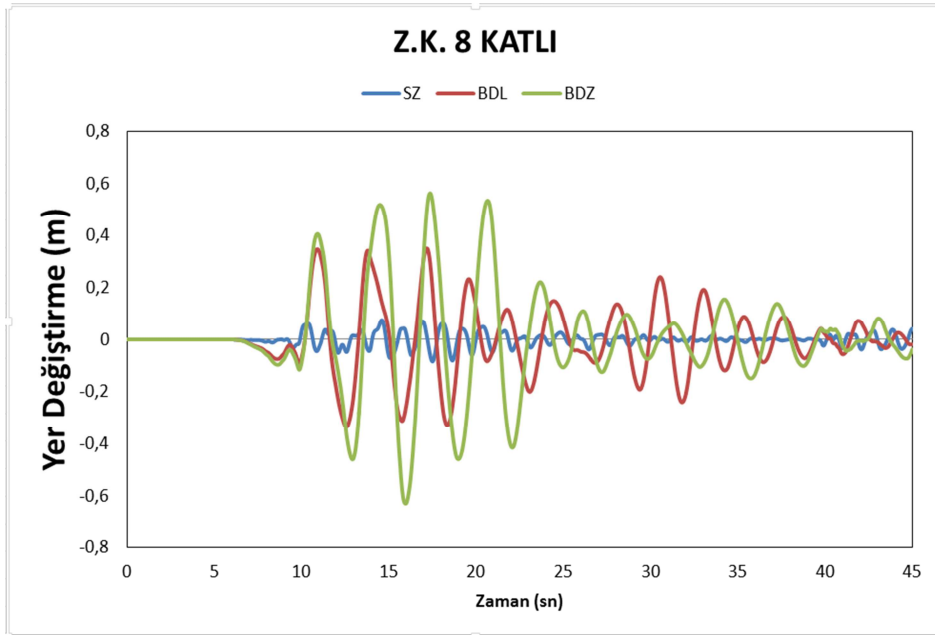
Şekil 4.10.a-4.10.b-4.10.c den görüldüğü gibi; yedi katlı betonarme yapının bodrumsuz olarak sert zemin üzerinde yapılması durumunda, yapının son katının yerdeğiştirmesi 20cm, zemin katın yerdeğiştirmesi 2cm iken yumuşak zemin üzerinde yapılması durumunda bu değerler yaklaşık olarak 4 kat artarak sırasıyla 73cm ve 12cm olmuştur. Aynı yapının yumuşak zemin üzerinde bodrumlu olarak yapılması durumunda ise son katının yerdeğiştirmesi 42cm, zemin katın yer değiştirmesi ise 6cm olmaktadır.

Dolayısıyla yumuşak zemin üzerinde inşa edilen betonarme yapının bodrumlu yapılması halinde bodrumsuz olmasına göre yaklaşık %42 civarlarında deprem davranışı olumlu olarak etkilenmektedir.

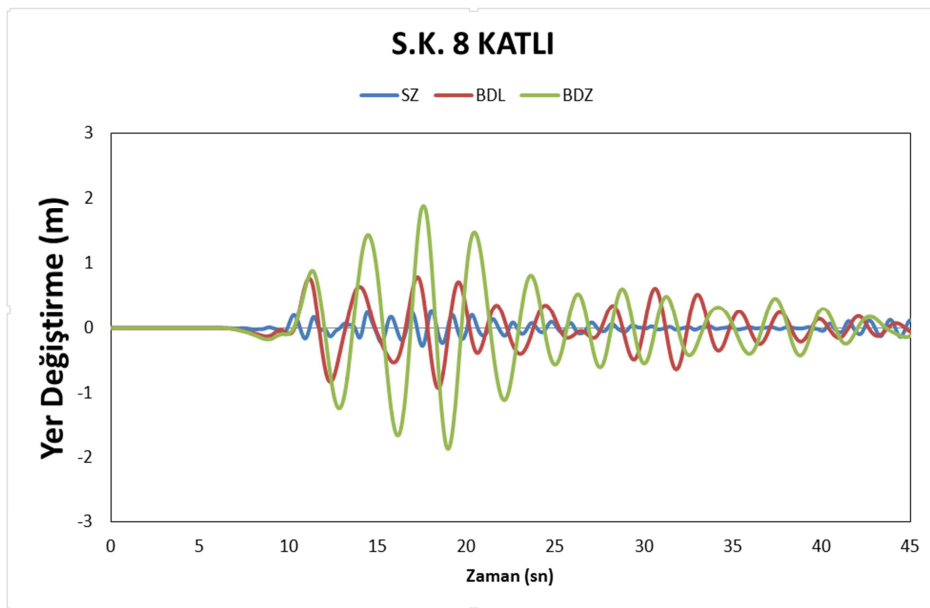
Görelî kat ötelemeleri dikkate alındığında, TDY-2007’de izin verilen maksimum son kat yerdeğiştirmesi bu yapı için 46cm civarlarındadır. Yumuşak zemin üzerindeki bodrumsuz yapının görelî son kat yerdeğiştirmesi ise 73cm’dir. Dolayısıyla, bu sınırlama açısından bu model hariç diğer yapılar güvenlik koşullarını sağlamaktadır.

4.2.6.Yapı-zemin modeli (üst yapı 8 katlı)

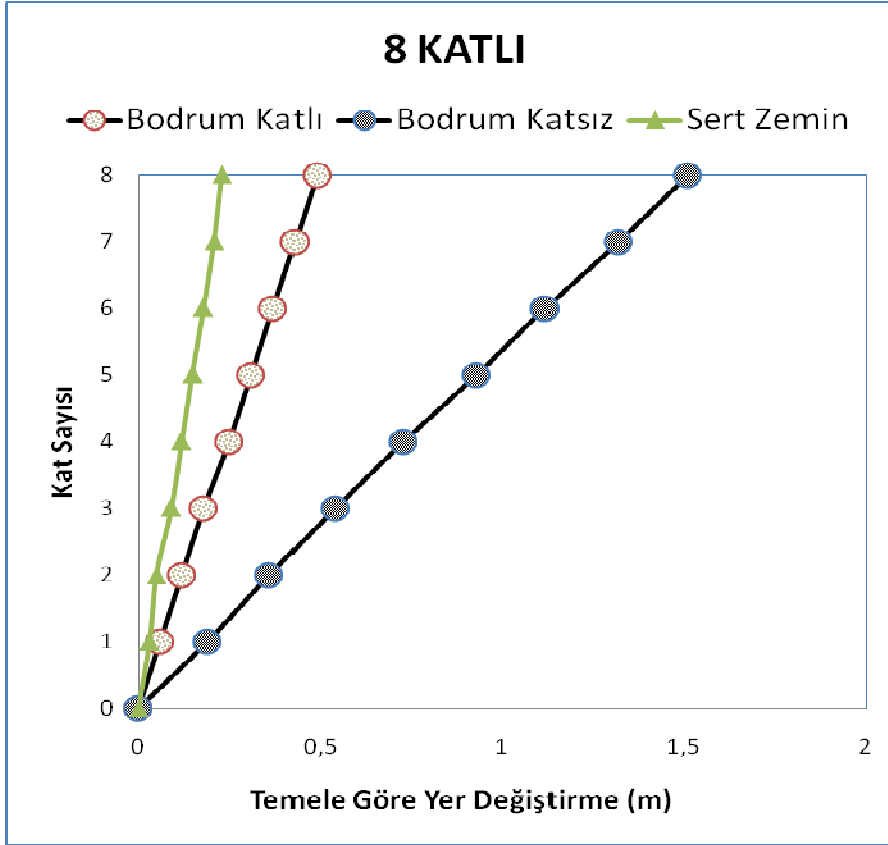
Çalışmanın bu bölümünde, yapı-zemin modelinin üst yapısının 8 katlı olması durumu incelenmiştir. Şekil 4.11c.'den de görüldüğü gibi yapının bodrumlu yapılması durumunda deprem davranışında önemli bir iyileşme gözlenmektedir.



Şekil 4.11a. 8 Katlı Yapı İçin Zemin Katın Yer Değiştirme-Zaman Grafiği



Şekil 4.11b. 8 Katlı Yapı İçin Son Katın Yer Değiştirme-Zaman Grafiği



Şekil 4.11c. 8 Katlı Yapı İçin Temele Göre Yer Değiştirme Grafiği

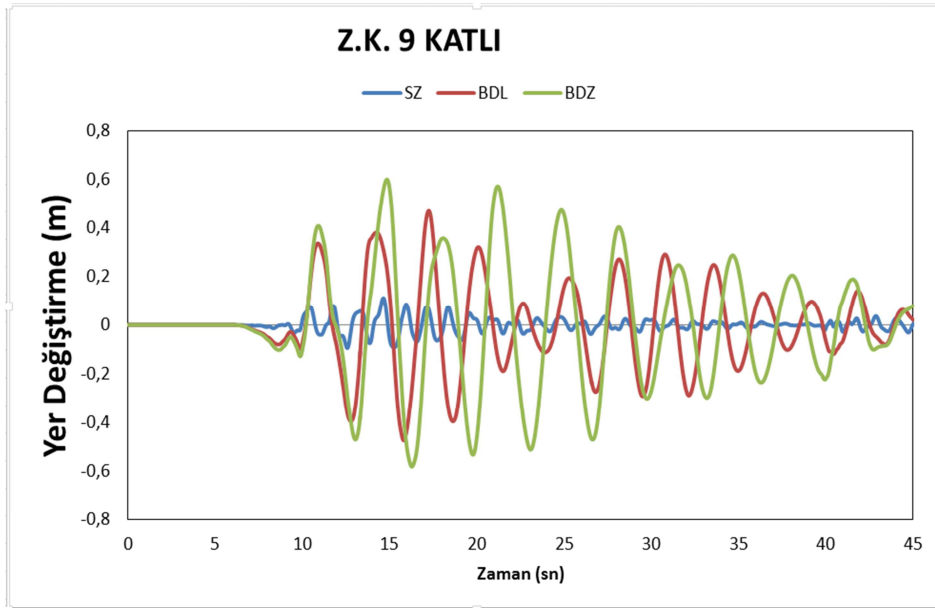
Şekil 4.11.a-4.11.b-4.11.c den görüldüğü gibi; sekiz katlı betonarme yapının bodrumsuz olarak sert zemin üzerinde yapılması durumunda, yapının son katının yerdeğiştirmesi 23cm, zemin katın yerdeğiştirmesi 3cm iken yumuşak zemin üzerinde yapılması durumunda bu değerler yaklaşık olarak 6,5 kat artarak sırasıyla 151cm ve 19cm olmuştur. Aynı yapının yumuşak zemin üzerinde bodrumlu olarak yapılması durumunda ise son katının yerdeğiştirmesi 49cm, zemin katın yer değiştirmesi ise 6cm olmaktadır.

Dolayısıyla yumuşak zemin üzerinde inşa edilen betonarme yapının bodrumlu yapılması halinde bodrumsuz olmasına göre yaklaşık %67 civarlarında deprem davranışı olumlu olarak etkilenmektedir.

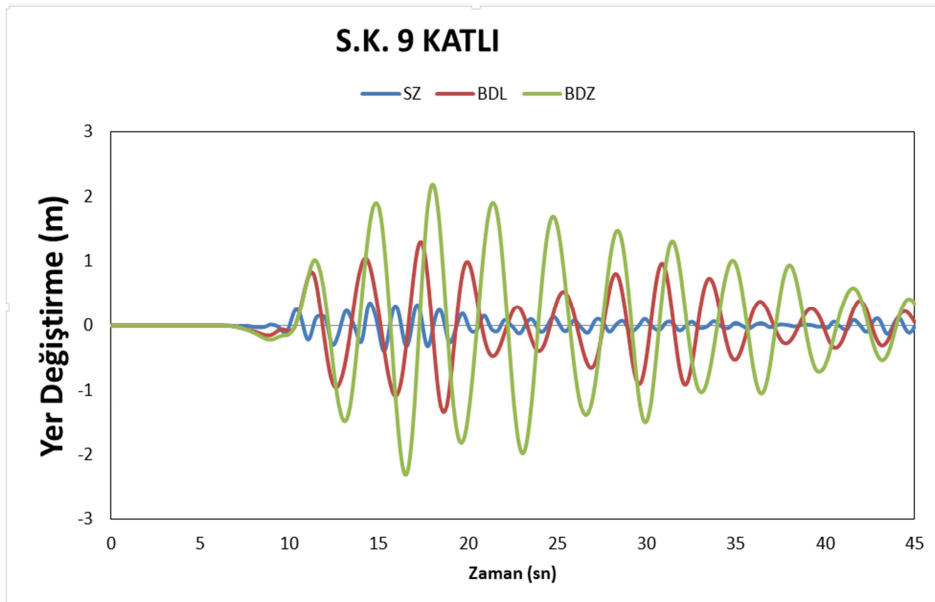
Görelî kat ötelemeleri dikkate alındığında, TDY-2007’de izin verilen maksimum son kat yerdeğiştirmesi bu yapı için 52cm civarlarındadır. Yumuşak zemin üzerindeki bodrumsuz yapının görelî son kat yerdeğiştirmesi ise 151cm’dir. Dolayısıyla, bu sınırlama açısından bu model hariç diğer yapılar güvenlik koşullarını sağlamaktadır.

4.2.7.Yapı-zemin modeli (üst yapı 9 katlı)

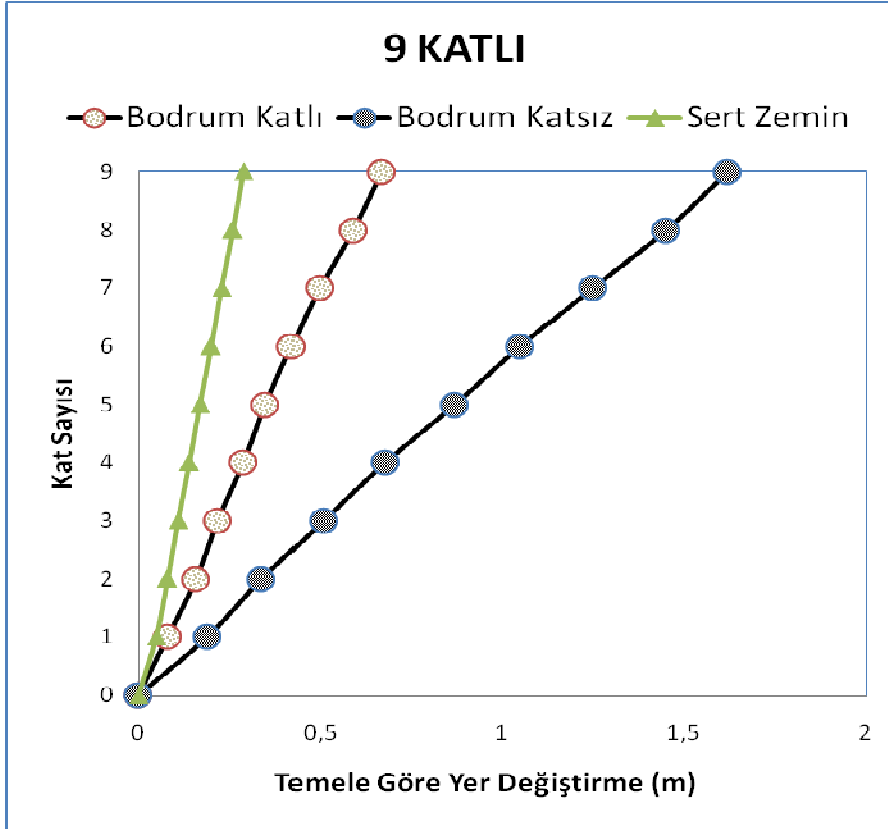
Çalışmanın bu bölümünde, yapı-zemin modelinin üstyapısının 9 katlı olması durumu incelenmiştir. Şekil 4.12c.'den de görüldüğü gibi yapının bodrumlu yapılması durumunda deprem davranışında önemli bir iyileşme gözlenmektedir.



Şekil 4.12a. 9 Katlı Yapı İçin Zemin Katın Yer Değiştirme-Zaman Grafiği



Şekil 4.12b. 9 Katlı Yapı İçin Son Katın Yer Değiştirme-Zaman Grafiği



Şekil 4.12c. 9 Katlı Yapı İçin Temele Göre Yer Değiştirme Grafiği

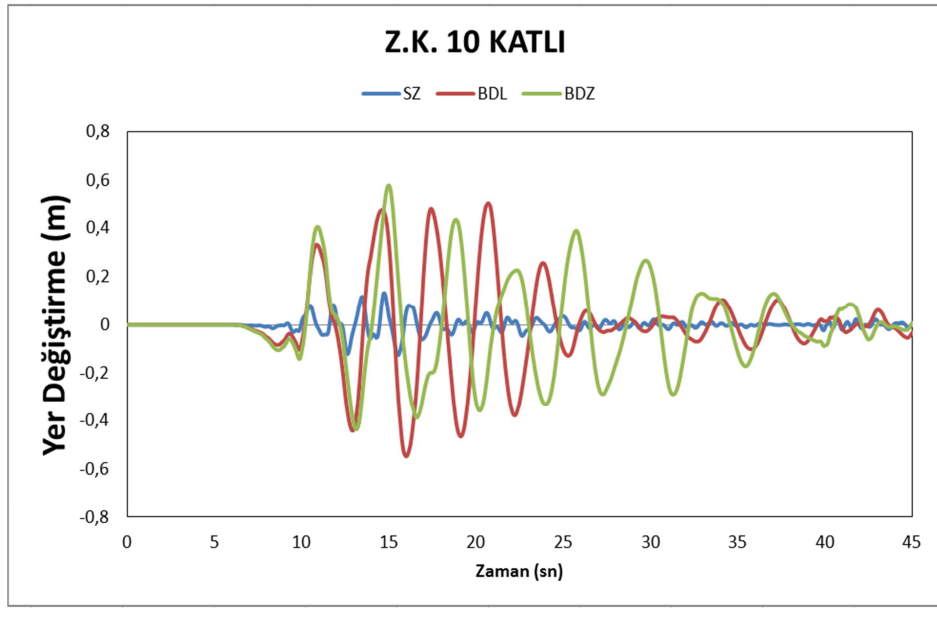
Şekil 4.12.a-4.12.b-4.12.c den görüldüğü gibi; dokuz katlı betonarme yapının bodrumsuz olarak sert zemin üzerinde yapılması durumunda, yapının son katının yerdeğiştirmesi 29cm, zemin katın yerdeğiştirmesi 5cm iken yumuşak zemin üzerinde yapılması durumunda bu değerler yaklaşık olarak 4,7 kat artarak sırasıyla 162cm ve 19cm olmuştur. Aynı yapının yumuşak zemin üzerinde bodrumlu olarak yapılması durumunda ise son katının yerdeğiştirmesi 67cm, zemin katın yer değiştirmesi ise 8cm olmaktadır.

Dolayısıyla yumuşak zemin üzerinde inşa edilen betonarme yapının bodrumlu yapılması halinde bodrumsuz olmasına göre yaklaşık %59 civarlarında deprem davranışı olumlu olarak etkilenmektedir.

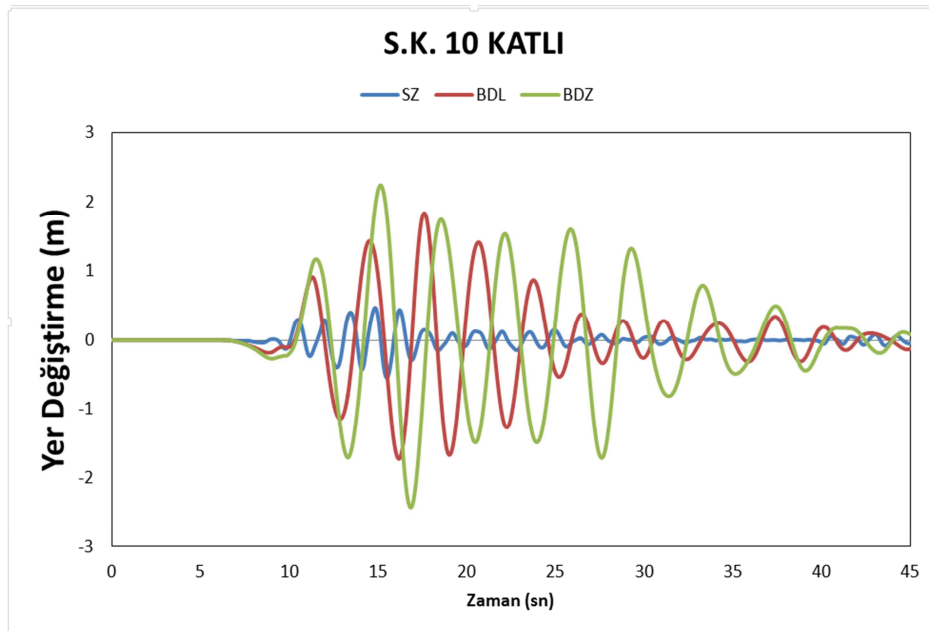
Görelî kat ötelemeleri dikkate alındığında, TDY-2007’de izin verilen maksimum son kat yerdeğiştirmesi bu yapı için 58cm civarlarındadır. Sert zemin üzerindeki yapı hariç diğer yapılar bu değerin üzerinde olduğundan, bu sınırlama açısından bu yapılar güvenlik koşullarını sağlamamaktadır.

4.2.8.Yapı-zemin modeli (üst yapı 10 katlı)

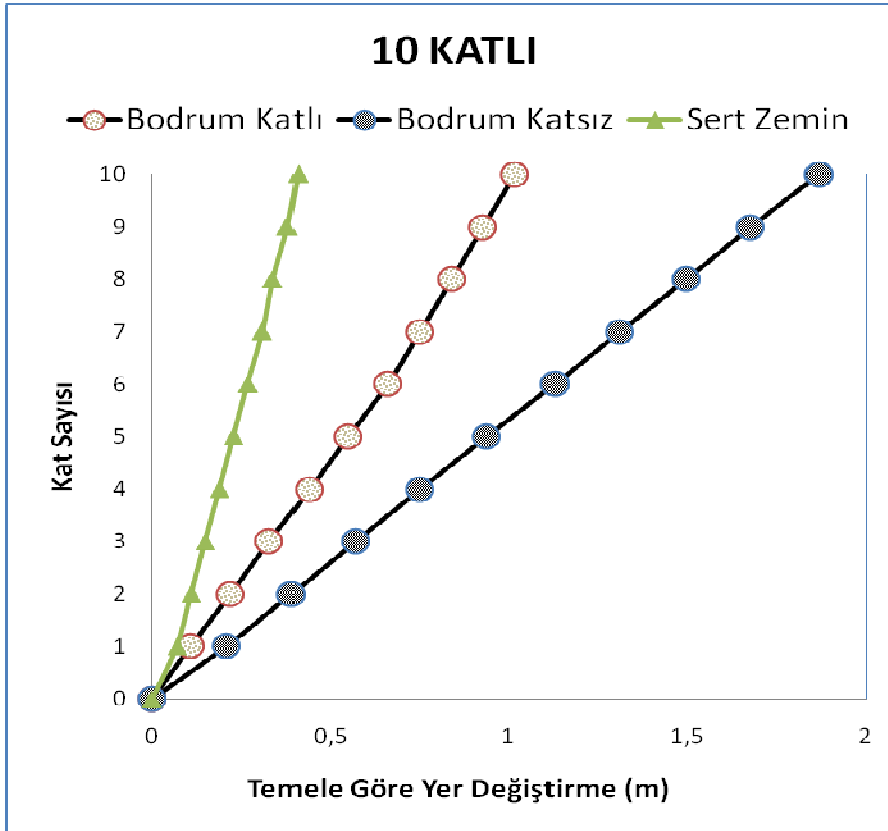
Çalışmanın bu bölümünde, yapı-zemin modelinin üst yapısının 10 katlı olması durumu incelenmiştir. Şekil 4.13c.'den de görüldüğü gibi yapının bodrumlu yapılması durumunda deprem davranışında önemli bir iyileşme gözlenmektedir.



Şekil 4.13a. 10 Katlı Yapı İçin Zemin Katın Yer Değiştirme-Zaman Grafiği



Şekil 4.13b. 10 Katlı Yapı İçin Son Katın Yer Değiştirme-Zaman Grafiği



Şekil 4.13c. 10 Katlı Yapı İçin Temele Göre Yer Değiştirme Grafiği

Şekil 4.13.a-4.13.b-4.13.c den görüldüğü gibi; on katlı betonarme yapının bodrumsuz olarak sert zemin üzerinde yapılması durumunda, yapının son katının yerdeğiştirmesi 41cm, zemin katın yerdeğiştirmesi 7cm iken yumuşak zemin üzerinde yapılması durumunda bu değerler yaklaşık olarak 4 kat artarak sırasıyla 187cm ve 21cm olmuştur. Aynı yapının yumuşak zemin üzerinde bodrumlu olarak yapılması durumunda ise son katının yerdeğiştirmesi 102cm, zemin katın yer değiştirmesi ise 11cm olmaktadır.

Dolayısıyla yumuşak zemin üzerinde inşa edilen betonarme yapının bodrumlu yapılması halinde bodrumsuz olmasına göre yaklaşık %45 civarlarında deprem davranışı olumlu olarak etkilenmektedir.

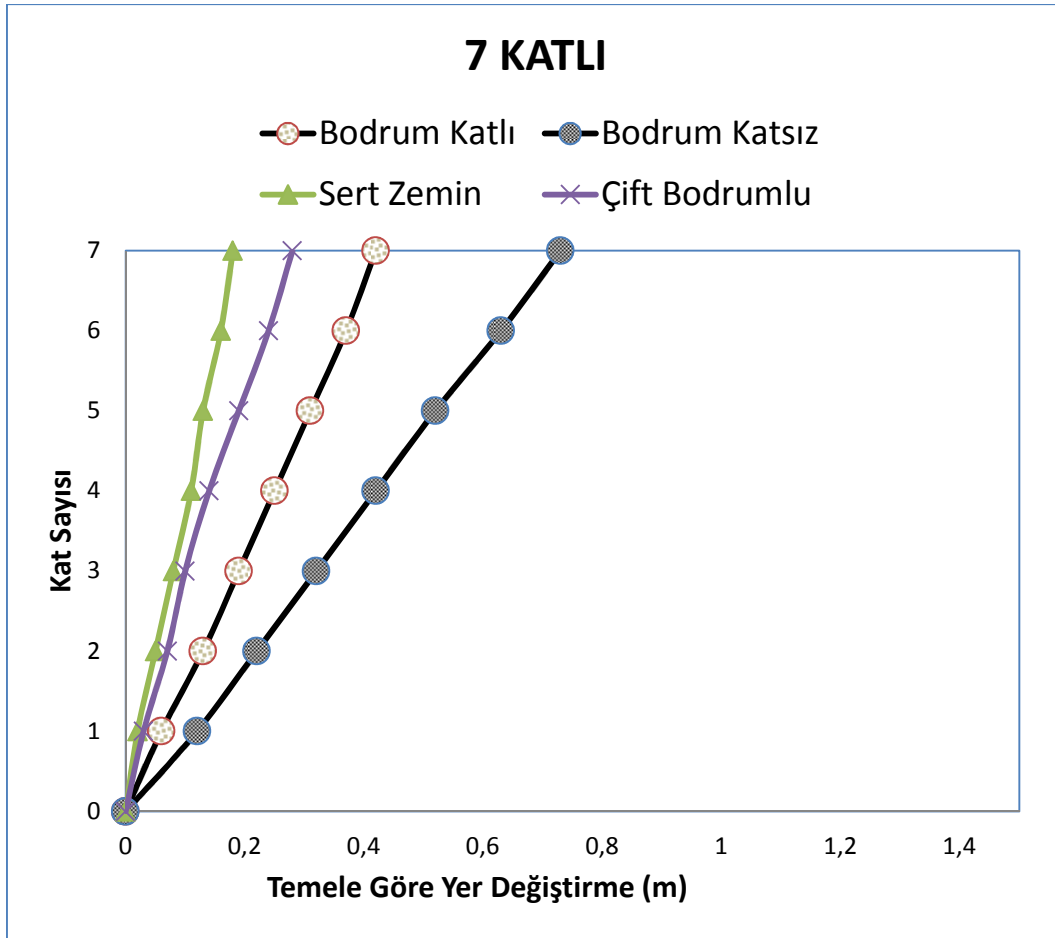
Görelî kat ötelemeleri dikkate alındığında, TDY-2007’de izin verilen maksimum son kat yerdeğiştirmesi bu yapı için 64cm civarlarındadır. Sert zemin üzerindeki yapı hariç diğer yapılar bu değerin üzerinde olduğundan, bu sınırlama açısından bu yapılar güvenlik koşullarını sağlamamaktadır.

4.3.İki Bodrumlu Model Yapı Davranışları

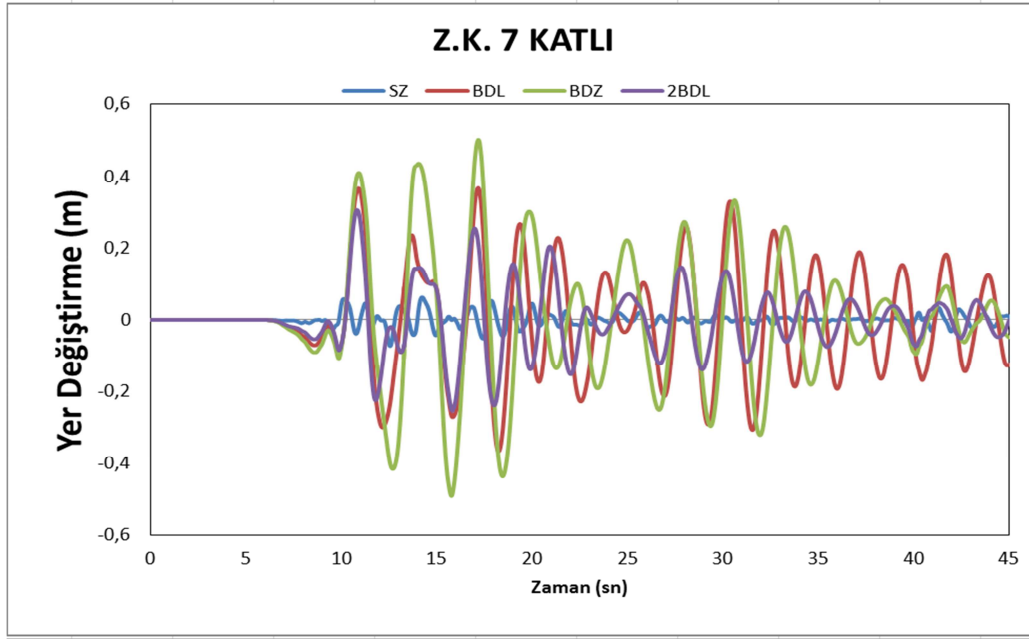
Yapılan analizlerde elde edilen sonuçlara göre, DBYBHY 2007’de verilen görelî kat ötelemeleri sınırlandırmasını sert zemin üzerinde inşa edilen yapılar sağlamaktadır. Fakat, yumuşak zemin üzerinde inşa edilen çok katlı yapılar bodrumlu olarak inşa edilse bile bu değeri aşmaktadırlar. Özellikle 7-10 katlı yapılar dikkatle incelendiğinde, bu yapıların kat ötelemelerinin bu sınırlamaların üzerinde yerdeğiştirme yaptıkları gözlemlenmektedir.

Bu durum dikkate alındığında, bu yapıların davranışlarını iyileştirmek amacıyla bu yapıların iki bodrum katlı (2BDL) olarak inşa edilmesi hali de incelenmiştir.

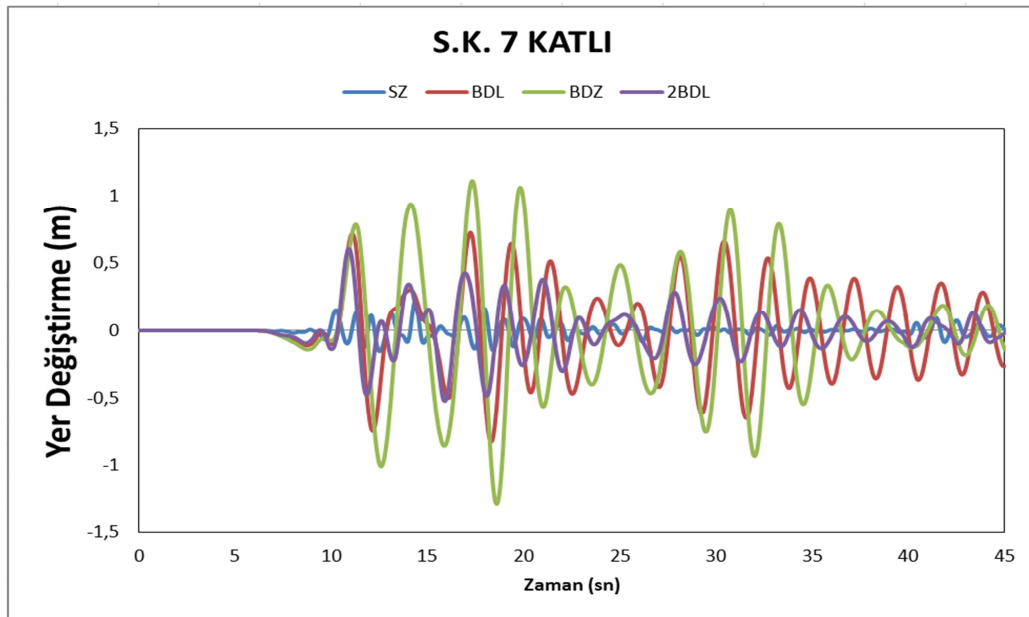
4.3.1. Yapı-zemin modeli (üst yapı 7 katlı)



Şekil 4.14a. 7 Katlı Çift Bodrumlu Yapı İçin Temele Göre Yer Değiştirme Grafiği



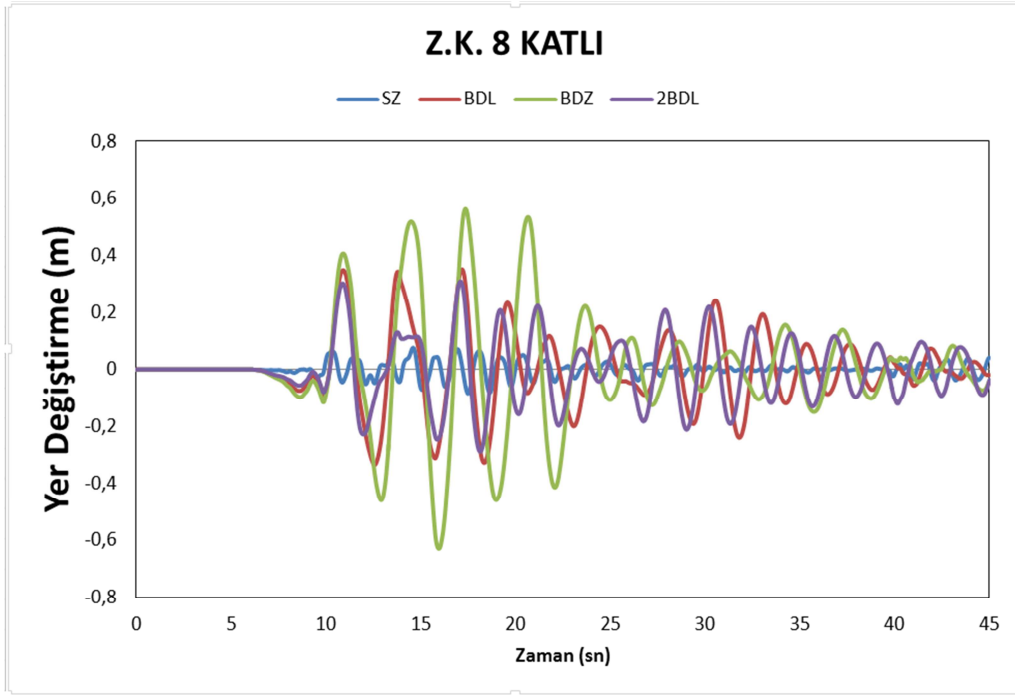
Şekil 4.14b. 7 Katlı Çift Bodrumlu Yapı İçin Zemin Katın Yer Değiştirme-Zaman Grafiği



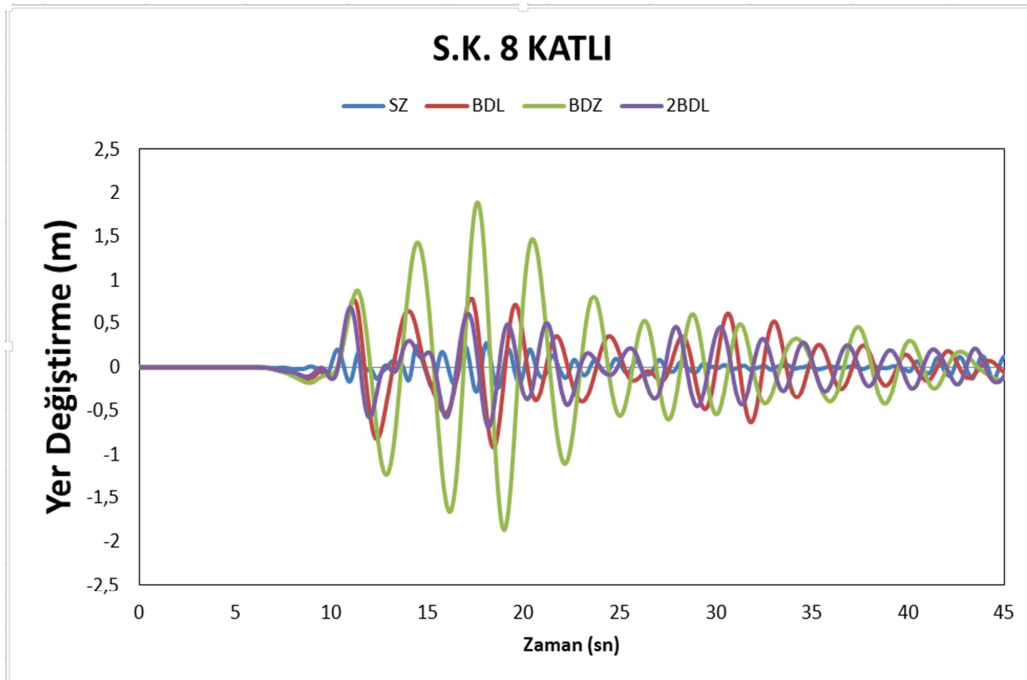
Şekil 4.14c. 7 Katlı Çift Bodrumlu Yapı İçin Zemin Katın Yer Değiştirme-Zaman Grafiği

Yapının yumuşak zemin üzerinde 2 bodrumlu olarak yapılması durumunda son katının yerdeğiştirmesi 28cm, zemin katın yer değiştirmesi ise 3cm olmaktadır. Dolayısıyla yumuşak zemin üzerinde inşa edilen betonarme yapının iki bodrumlu yapılması halinde bodrumsuz olmasına göre yaklaşık %62 civarlarında deprem davranışı olumlu olarak etkilenmektedir.

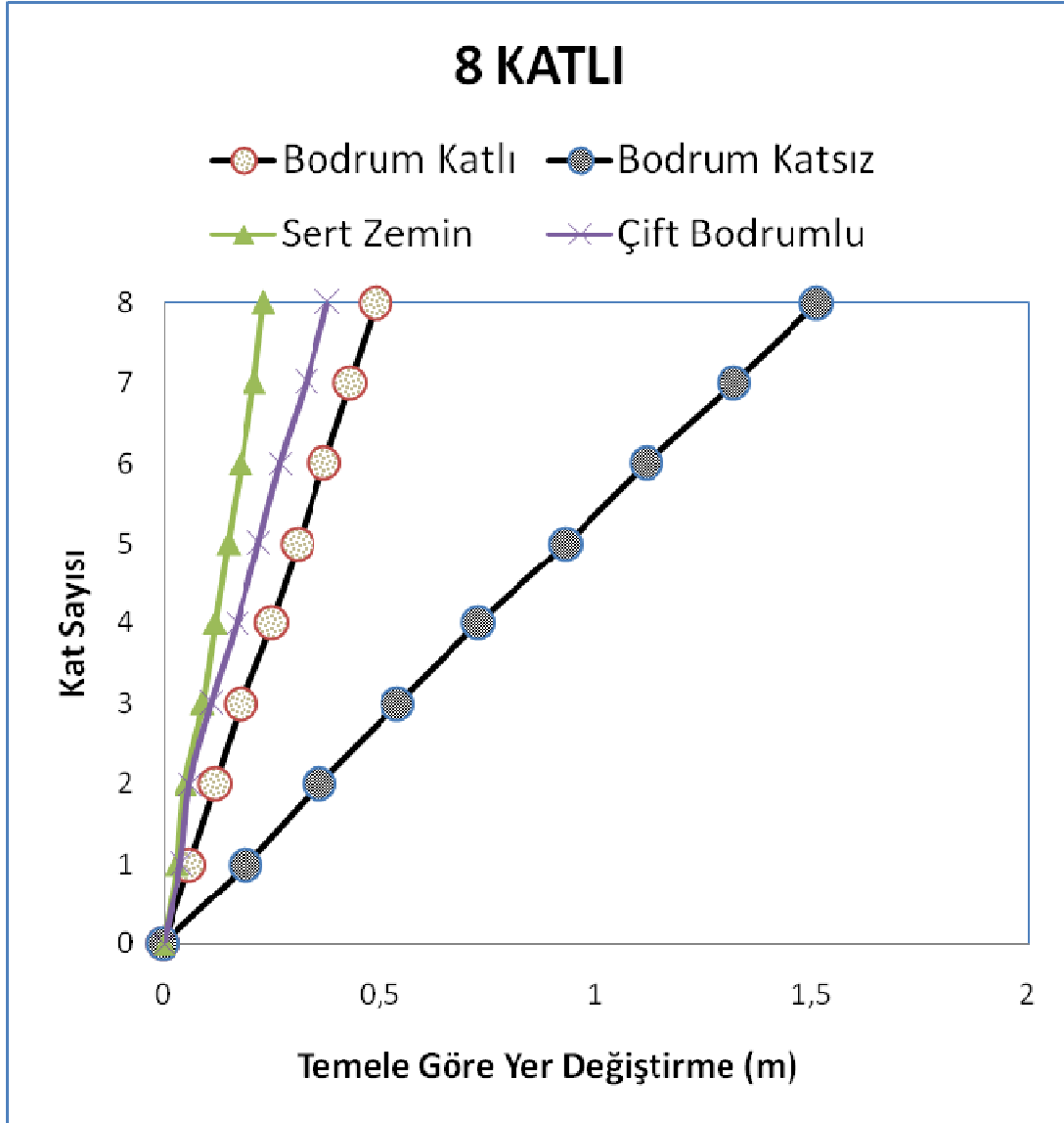
4.3.2.Yapı-zemin modeli (üst yapı 8 katlı)



Şekil 4.15a. 8 Katlı Çift Bodrumlu Yapı İçin Zemin Katın Yer Değişirme-Zaman Grafiği



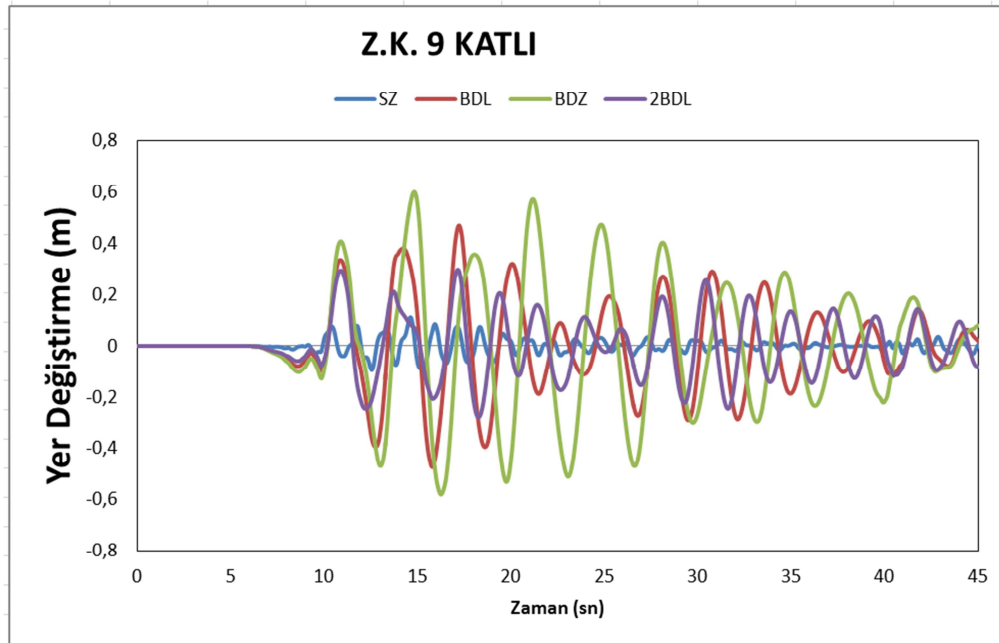
Şekil 4.15b. 8 Katlı Çift Bodrumlu Yapı İçin Zemin Katın Yer Değişirme-Zaman Grafiği



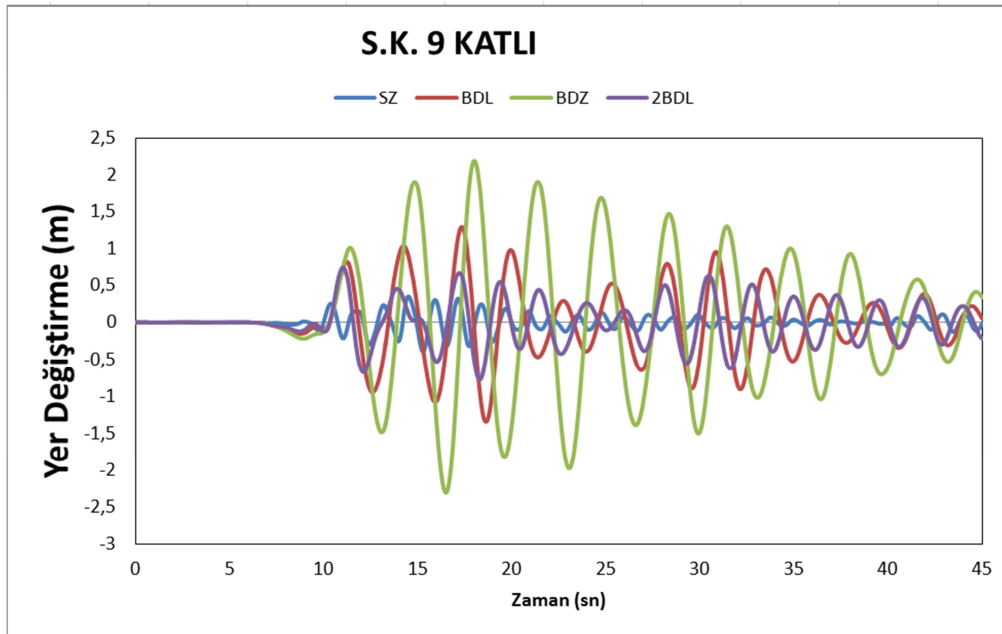
Şekil 4.15c. 8 Katlı Çift Bodrumlu Yapı İçin Temele Göre Yer Değişirme Grafiği

Yapının yumuşak zemin üzerinde 2 bodrumlu olarak yapılması durumunda son katının yerdeğişirmesi 38cm, zemin katın yer değişirmesi ise 4cm olmaktadır. Dolayısıyla yumuşak zemin üzerinde inşa edilen betonarme yapının iki bodrumlu yapılması halinde bodrumsuz olmasına göre yaklaşık %74 civarlarında deprem davranışı olumlu olarak etkilenmektedir.

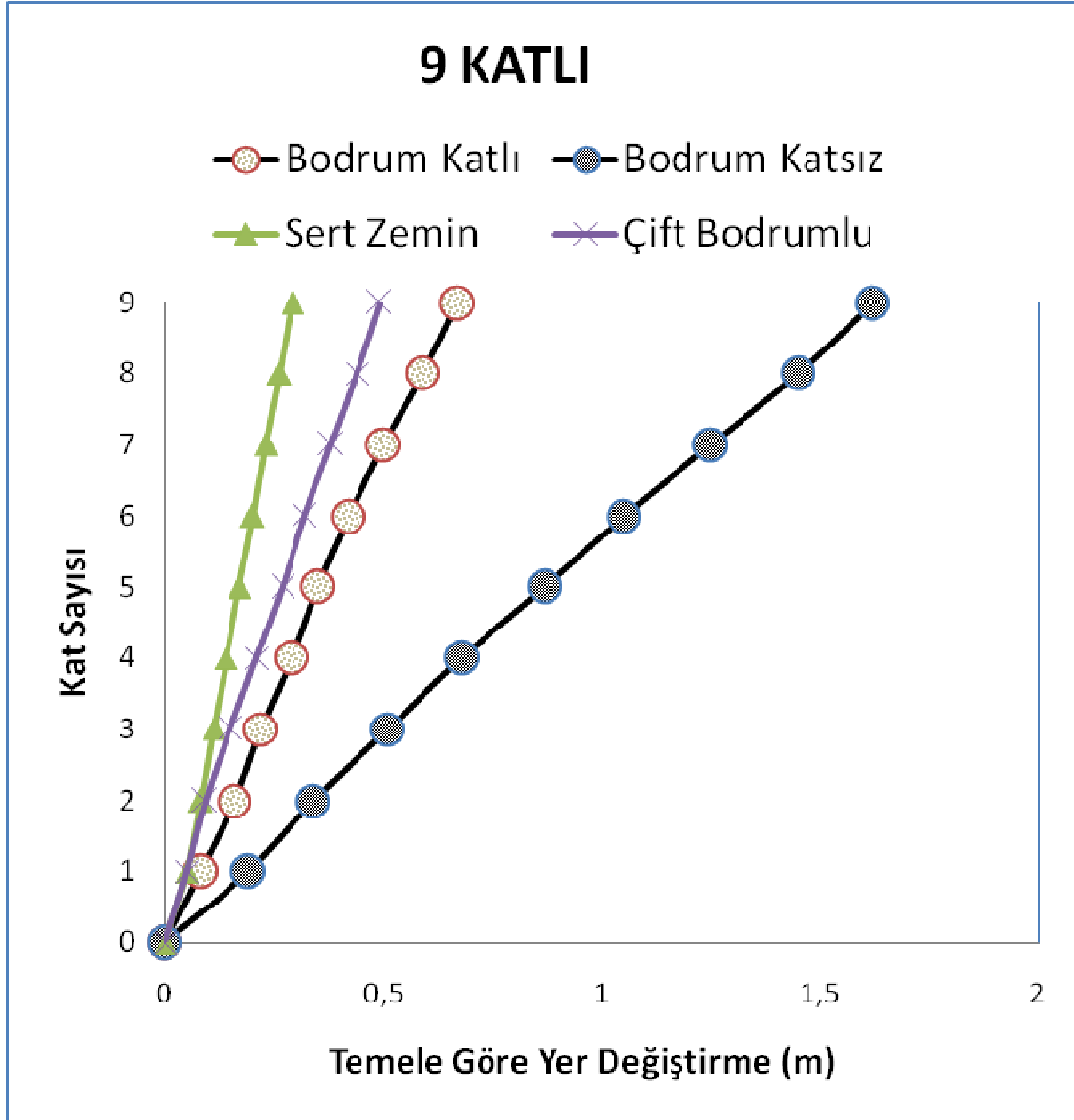
4.3.3.Yapı-zemin modeli (üst yapı 9 katlı)



Şekil4.16a. 9 Katlı Çift Bodrumlu Yapı İçin Zemin Katın Yer Değişirme-Zaman Grafiği



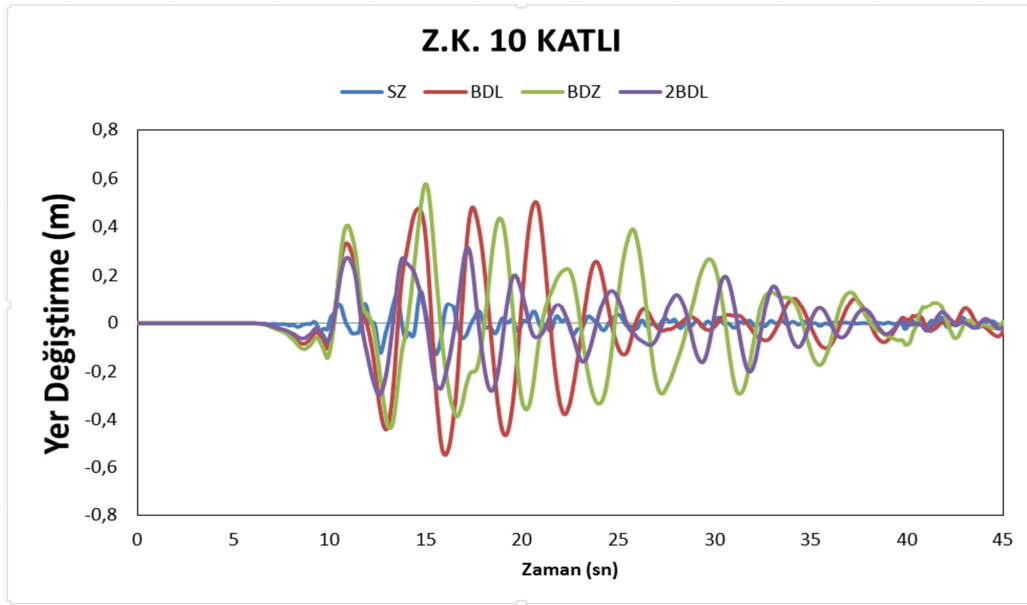
Şekil 4.16b. 9 Katlı Çift Bodrumlu Yapı İçin Zemin Katın Yer Değişirme-Zaman Grafiği



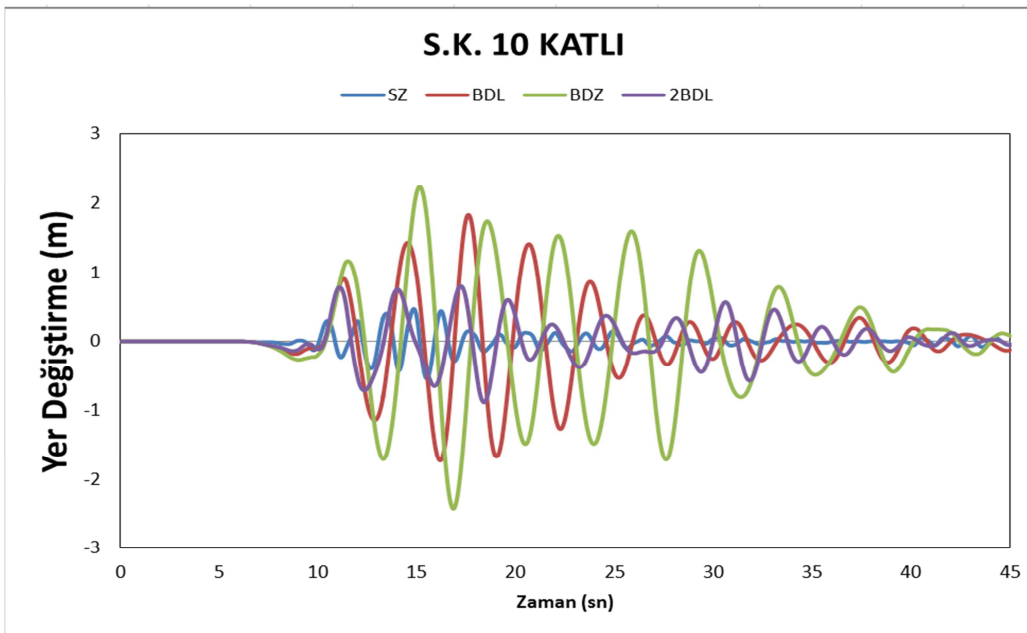
Şekil 4.16c. 9 Katlı Çift Bodrumlu Yapı İçin Temele Göre Yer Değişirme Grafiği

Yapının yumuşak zemin üzerinde 2 bodrumlu olarak yapılması durumunda son katının yerdeğişirmesi 49cm, zemin katın yer değişirmesi ise 5cm olmaktadır. Dolayısıyla yumuşak zemin üzerinde inşa edilen betonarme yapının iki bodrumlu yapılması halinde bodrumsuz olmasına göre yaklaşık %70 civarlarında deprem davranışı olumlu olarak etkilenmektedir.

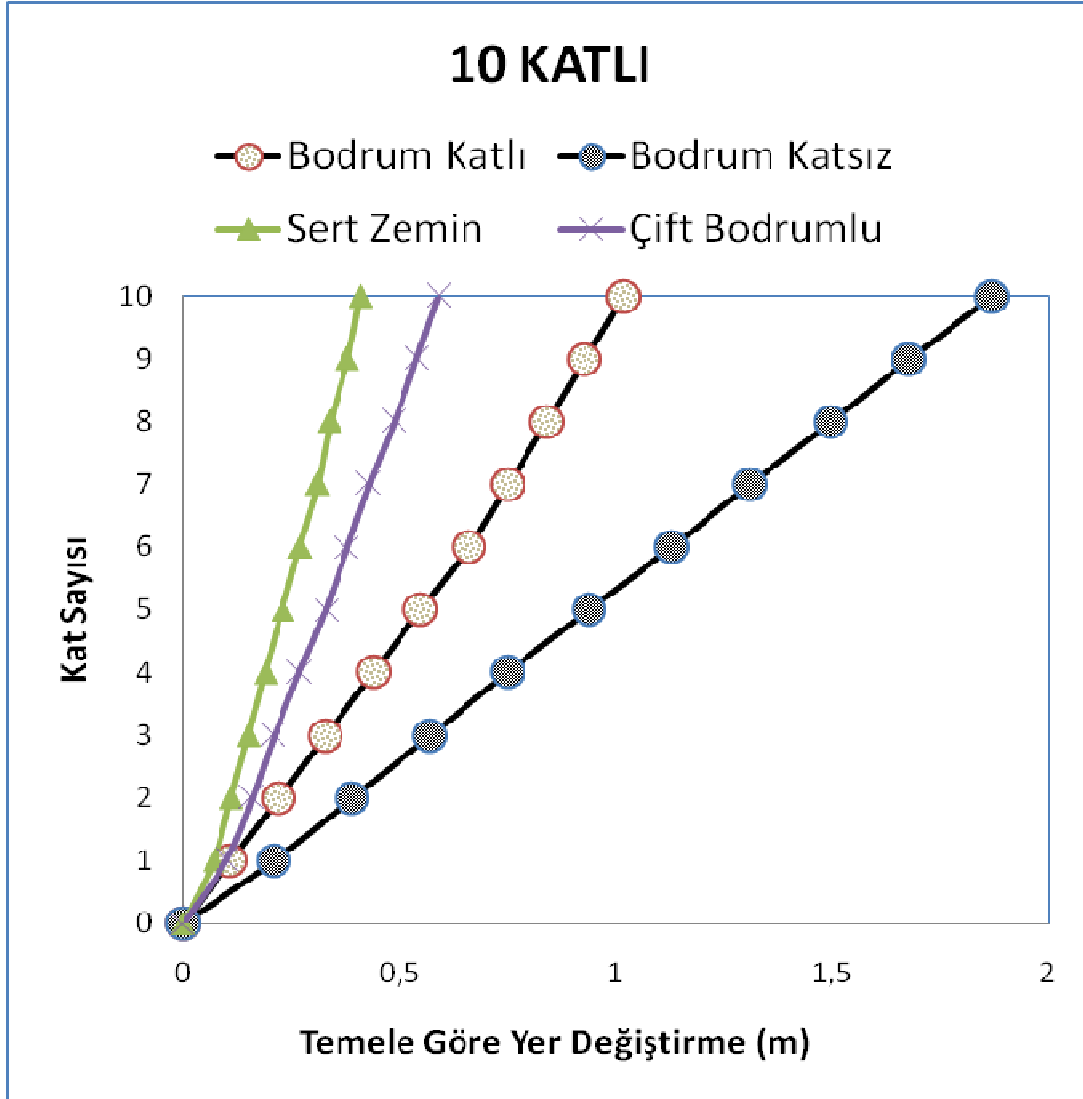
4.3.4.Yapı-zemin modeli (üst yapı 10 katlı)



Şekil 4.17a 10 Katlı Çift Bodrumlu Yapı İçin Zemin Katın Yer Değişirme-Zaman Grafiği



Şekil 4.17b 10 Katlı Çift Bodrumlu Yapı İçin Zemin Katın Yer Değişirme-Zaman Grafiği



Şekil 4.17c. 10 Katlı Çift Bodrumlu Yapı İçin Temele Göre Yer Değiştirme Grafiği

Yapının yumuşak zemin üzerinde 2 bodrumlu olarak yapılması durumunda son katının yer değiştirmesi 59cm, zemin katın yer değiştirmesi ise 1cm olmaktadır. Dolayısıyla yumuşak zemin üzerinde inşa edilen betonarme yapının iki bodrumlu yapılması halinde bodrumsuz olmasına göre yaklaşık %69 civarlarında deprem davranışı olumlu olarak etkilenmektedir.

BÖLÜM 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ve 10 katlı yapılar, yumuşak zemin modelinde bodrum katlı ve bodrum katsız, sert zemin modelinde ise bodrum katsız olarak modellenmiş olup, gerekli dinamik analizleri ele alınmıştır. Dinamik analizlerin sonuçları, her bir katın temele göre yer değiştirmeleri, ve son kat ile zemin kat deplasmanlarının zaman tanım alanındaki değişimleri grafikler halinde sunulmuştur.

Yapılan analizler sonucunda en büyük deplasmanların yumuşak zemin üzerinde modellenen bodrum katsız yapılarda olduğu gözlenmiştir. Sert zemin üzerinde modellenen yapılar en iyi deprem performansını göstermiş olup, yumuşak zemin üzerindeki yapıların bodrum katlı inşaa edilmesi deprem performansını oldukça iyileştirmiş, kat ötelemelerinin azalmasını sağlamıştır.

Sonuçlar incelendiğinde 3 ve 4 katlı yapılarda deplasmanların her üç modelde de (SZ, BDL, BDZ) DBYBHY 2007'de belirlenen sınırlar içerisinde olup, güvenlik koşullarını sağladığı gözlenmiştir. Özellikle 7-10 katlı yapılarda sert zemin üzerinde inşaa edilen yapıların deplasmanları şartnamede belirlenen güvenlik sınırlarını sağlamasına rağmen, bodrum katsız modelin bu sınırların oldukça üzerinde öteleme yaptığı görülmüştür. 7 ile 10 kat arası yapılarda bodrum katlı modeller yaklaşık %50 civarında daha iyi deprem performansı sergilemiştir.

Sert zemin sonuçları göz önüne alındığında, yumuşak zemin üzerindeki bodrum katlı yapı, bodrum katsız yapıya göre daha iyi sonuçlar verse de, sert zemin üzerindeki modelin deplasmanlarına çok da yaklaşamamıştır. Bu nedenle sert zemin koşullarındaki kat ötelemelerine yaklaşabilmek amacıyla 7-10 kat arası yapılar bir de iki bodrumlu olarak tasarlanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlara göre tek bodrumlu yapılan modele göre iki bodrumlu modelin deprem davranışı, sert zemine oldukça yakın sonuçlar vermiş olup yumuşak zemin üzerinde inşa edilen betonarme

yapının bodrumsuz olmasına göre yaklaşık %70 civarlarında deprem davranışı olumlu olarak etkilenmektedir.

Öneriler;

1. Çalışmanın sonuçlarında belirtildiği gibi, yumuşak zeminlerde yapılan özellikle yüksek yapılarda deplasmanlar yüksek çıkmaktadır ve bunu azaltmak için yapılar bodrumlu olarak inşaa edilebilir.
2. Bu çalışmada analizler lineer elastik yapılmıştır. Daha sonra yapılacak olan bir çalışmada analizler non-lineer olarak yapılabilir.
3. Şu an yürürlükte olan deprem yönetmeliğinde zemin şartlarının etkileri yeterince dikkate alınmamaktadır. Bu etkilerin dikkate alınabileceği ek şartlar Deprem Yönetmeliği'ne eklenmelidir.

KAYNAKLAR

ALA, N. “Adapazarı Zemininde Yapılan Betonarme Yapılarda Yapı-Zemin Etkileşimi” , Yüksek Lisans Tezi, SAÜ FBE, Sakarya, 2007.

ATIMTAY, E., “Açıklama ve Örneklerle Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik Cilt 1”, Bizim Büro Basımevi Yayın Dağıtım, Ankara, 2000.

AYDINOĞLU, M.N., “Ustyapı-Zemin Ortak Sisteminin Deprem Hesabı”, Doktora Tezi, İTÜ İnşaat Fakültesi, İstanbul, 1977.

AYDINOĞLU, M.N., “Yapı-Zemin Dinamik Etkileşiminin Genel Formülasyonu ve Zemine Gömülü Yapılar için bir Altsistem Yöntemi” Doçentlik Tezi, 1981.

AYDINOĞLU, M.N., “Development of Analytical Techniques in Soil-structure Interaction”, Developments in Dynamic Soil-Structure Interaction, Kluwer Academic Publishers, 1992.

AYDINOĞLU, M.N., “Deprem Etkisi Altında Yapı-Kazık-Zemin Etkileşimi”, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, 2012.

BETTES, 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.

BRAY J.D., BATURAY MB, DURGUNOGLU T, ONALP A, SANCIO R.B., URAL D. “Damage patterns and foundation performance in Adapazari.” Chapter 8 of Kocaeli, Turkey Earthquake of August 17, 1999. Reconnaissance report in Earthquake Spectra Suppl A, vol.16; EERI 2000.p. 163-89.

CELEP, Z., KUMBASAR, N, “Örneklerle Yapı Dinamiği ve Deprem Mühendisliğine Giriş” İstanbul, 1992.

CELEP, Z., KUMBASAR, N., “Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı” Sema Matbaacılık, İstanbul, 1993.

CHUHAN, Z., CHONGBIN , Z., “Coupling Method of Finite Infinite Elements For Strip Foundation Wave Problems”, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 15:839-851, 1987.

ÇELEBİ, 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.

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, 2007.

DUMANOĞLU A.A., “Yüksek Lisans Ders Notları (Yayımlanmamış)” K.T.Ü. İnşaat Müh. Bölümü, Trabzon, 1996.

GARIP Z.S. “Deprem Etkisindeki Betonarme Yapılarda Yapı-Zemin Etkileşimi” , Yüksek Lisans Tezi, SAÜ FBE, Sakarya, 2005.

GENEŞ C., ”İki ve Uç Boyutlu Zemin Yapı Etkileşim Problemlerinin Sonsuz Elemanlarla Analizi”, Doktora Tezi ÇÜ FBE, Adana, Haziran, 2001.

GUITERREZ , 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.

GRIFFITHS. D. V. “Numerical Studies of Soil Structure Interaction Using a Simple Interface Model”, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 1, pp 158-162, 1988.

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).

KAÇIN, S., YERLİ, H. R. “Üç Boyutlu Yapı-Zemin Etkileşimi Problemlerinin Kuadratik Sonlu Elemanlar ve Sonsuz Elemanlar Kullanılarak Çözümü”, ECAS2002 Uluslararası Yapı ve Deprem Mühendisliği Sempozyumu, , ODTÜ, Ankara, 14 Ekim 2002.

KIM, D.K., and YUN, C.B, “Time Domain Soil-Structure Interaction in Two Dimensional Medium Based on Analytical Frequency-Dependent infinite Elements”, International Journal of Numerical Methods in Engineering, Vol. 47, No. 7, pp.1241-1261, 2000.

KIRTEL, O., “Sismik Bariyer Modellerinin Tabakalı Zemin Ortamındaki Dalga Yayılışına Etkileri ‘’, Yüksek Lisans Tezi, SAÜ FBE, Sakarya , 2007.

KUTANIS, M., "Yapı-Zemin Dinamik Etkileşimi", Doktora Tezi, SAÜ FBE, Sakarya, Kasım, 2001.

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.

MEDINA, F ., "Modelling of Soil-Structure Interaction by Finite and Infinite Elements", Report No. UCB/EERC-80/43, University of California, Berkeley. CA.1980.

ÖNALP, A., Correlation between ground failure and soil conditions in Adapazari, Turkey, 2002.

PALA, M., "Zemin Yapı Dinamik Etkileşiminin Yapay Sınır Ağları İle Analizi", Doktora Tezi, SAÜ FBE, Sakarya, 2001.

PAMPAL, S., "Depremler", Alfa Basım Yayım Dağıtım, İstanbul, Ocak, 2000.

PARMELEE , R.A., "Building-Foundation Interaction Effects", Journal of Engineering Mechanics Division, Vol. 93, No. EM2, pp. 131-152, 1967.

SANCIO R.B., BRAY J.D., STEWART J.P., YOUND T.L., DURGUNOGLU H.T., ONALP A, SEED R.B., CHRISTENSEN C., BATURAY MB, KARADAYILAR T. "Correlation Between ground failure and soil conditions in Adapazari, Turkey", Soil Dynamics and Earthquake Engineering 22(2002)1093-1102.

SEVERCAN, M.H.. Dinamik Yapı-Zemin Etkileşim Problemleri için Sınır Eleman Formülasyonu. Doktora Tezi, Ç.Ü. Fen Bilimleri. Enstitüsü, 2004.

TOHUMCU, P. KILIÇ, H. , ÖZAYDIN K. İstanbul-Küçükçekmece İlçesi Sefaköy-Halkalı-İkiteli Yerleşim Bölgelerinin Zemin Özellikleri ve Yerleşime Uygunluk Açısından Değerlendirilmesi, Küçükçekmece ve Yakın Çevresi Teknik Kongresi, Deprem ve Planlama, (2003).

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.

YAZDCHI, M., KHALILI, N. AND VALLIAPPAN, S. "Dynamic Soil-structure Interaction Analysis Via Coupled Finite-Element-Boundary-Element Method", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 18, pp 499-517, 1999.

YERLİ, H, R, "İki ve Uç Boyutlu Dinamik Yapı-Zemin Etkileşimi Problemlerinin Sonlu-Sonsuz Elemanlar Kullanarak Analizi", Doktora Tezi, ÇÜ FBE, Adana , 1998.

ZIENKIEWICZ, O.C. and TAYLOR, R. L "The Finite Element Method", McGraw Hill, 1991.

ÖZGEÇMİŞ

Sevil Atasoy, 08.06.1988 tarihinde Artvin ilinde doğdu. İlk ve orta okul eğitimlerini Beykoz 60.yıl İlköğretim Okulu, ve Bağlar İlköğretim Okulu'nda, lise eğitimini ise Fahreddin Kerim Gökay Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2006 yılında Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde başladığı lisans eğitiminden 2010 senesinde mezun oldu. 2010-2011 eğitim yılı güz yarıyılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yapı Bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı.