

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KAYA VE ALÜVYON ORTAMLARDA ZEMİNİN BİNA
YÜKSEKLİĞİNE ETKİSİ**

SEDA ŞELENBAŞ

KOCAELİ 2017

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KAYA VE ALÜVYON ORTAMLARDA ZEMİNİN BİNA
YÜKSEKLİĞİNE ETKİSİ

SEDA ŞELENBAŞ

Prof. Dr. Cengiz KURTULUŞ
Danışman, Kocaeli Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Metin AŞCI
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Mahir IŞIK
Jüri Üyesi, Sakarya Üniversitesi


.....

.....

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 09.02.2017

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında, deprem etkisinde bulunan farklı yükseklikteki binaların davranışında etken olan zemin türleri için farklı bina modellerinin yapı analizleri yapılarak zemin ve yapı doğal periyotları karşılaştırılmış ve zeminin bina yüksekliğine etkisi incelenmiştir.

Çalışmam süresince araştırmalarımın her aşamasında bana mesleğimi sevdiren, sabırla yol gösteren, benden desteğini esirgemeyen, bilgi ve becerilerini benden hiçbir zaman esirgemeyen çok değerli danışmanım Sayın Prof. Dr. Cengiz KURTULUŞ' a saygı, minnet ve teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilmekteyim.

Öğrenim hayatım boyunca hem bilgi hem de teknik gereçlerle her türlü olanağı bizlere sunan, ABM Mühendislik Müş. Ltd. Şti yetkilisi Ali BOZKURT' u rahmetle anmak isterim. Tezimin önemli bir parçasını oluşturan, zemin arazi çalışmalarında bana destek olan, her türlü konuda tecrübelerini benimle paylaşan Jeoloji Mühendisi Ayşe ŞAHİN' e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamda statik analizlerin hazırlanmasında yardımcı olan, benimle bilgi ve tecrübelerini paylaşan değerli meslektaşım İnşaat Mühendisi Elif MELİKOĞLU' na ve İnşaat Mühendisi Hayrullah BEYAZ' a destekleri için çok teşekkür ederim.

Var oldukları için şükrettiğim, tüm eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi her türlü desteği sağlayan, bana olan inançları ile beni her durumda destekleyen ve güç veren eşsiz insanlara, AİLEME sonsuz teşekkür ediyorum. Hayatım boyunca aldığı kararları ile takdir ettiğim, öğrenim hayatım boyunca benimle olan, benden bir an olsun maddi, manevi desteğini esirgemeyen, sonsuz güvendiğim ve ömrümün yarısını birlikte geçirdiğim en kıymetlim eşim Buğra ŞELENBAŞ' a sonsuz sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunarım.

Şubat – 2017

Seda ŞELENBAŞ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iii
TABLolar DİZİNİ	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT	vii
GİRİŞ	1
1. YEREL ZEMİN KOŞULLARININ DEPREM HAREKETİNE ETKİSİ	5
2. ZEMİN BÜYÜTMESİ	10
2.1. Zemin Büyütmesini Etkileyen Faktörler.....	11
2.1.1. Empedans ve rezonans etki	12
2.1.2. Basen altı topoğrafyasına bağlı olarak oluşan odaklanma	16
2.1.3. Basen kenarlarından oluşan yüzey dalgaları	17
2.1.4. Doğrusal olmayan zemin davranışı	18
2.1.5. Topoğrafya etkisi.....	19
3. ZEMİN-YAPI ETKİLEŞİMİ	20
4. DBYBHY (2007) ZEMİN KOŞULLARININ BELİRLENMESİ	24
4.1. Zemin Grupları	24
4.2. Yerel Zemin Sınıfları	25
5. DBYBHY (2007) TASARIM SPEKTRUMU	27
5.1. Etkin Yer İvmesi Katsayısı, A_0	28
5.2. Bina Önem Katsayısı, I	28
5.3. Spektrum Katsayısı, $S(T)$	29
5.4. Özel Tasarım İvme Spektrumları.....	30
6. DEPREM- HASAR İLİŞKİSİ.....	31
7. ÇALIŞMAYA KONU OLAN ZEMİNE AİT PARAMETRELERİN BELİRLENMESİ	37
7.1. Zemin Model Parametreleri	38
8. YAPILARIN MODELLENMESİ VE YAPISAL ÇÖZÜMLEMESİ.....	41
8.1. Proje Genel Bilgileri	41
8.2. Üç Boyutlu Bina Modelleri.....	43
8.3. Model Analizleri ve Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	45
9. SONUÇ VE ÖNERİLER	52
KAYNAKLAR	55
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	59
ÖZGEÇMİŞ	60

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Yerel zemin koşullarının yer hareketi üzerindeki etkisi.....	9
Şekil 1.2.	Zemin – deprem hareketi ilişkisi.....	9
Şekil 2.1.	Zemin büyütmesini etkileyen faktörler: 1) Empedans ve rezonans etkisi, 2) Basen altı topoğrafyasına bağlı olarak oluşan odaklanma, 3) Basen kenarlarında oluşan yüzey dalgalarına, 4) Doğrusal olmayan zemin davranışı, 5) Topoğrafya etkisi	12
Şekil 2.2.	Yatay tek tabaka durumunda dalga yansımalarının gösterimi (solda) ve bu parametreler kullanılarak düşey yayılan S dalgası için elde edilen büyütme fonksiyonu grafiği.....	13
Şekil 2.3.	Rijit taban kayası üzerinde yer alan zemin profilleri	15
Şekil 2.4.	A, B ve C sahalarına ait büyütme fonksiyonları	16
Şekil 2.5.	Basen altı topoğrafyasına bağlı olarak oluşan odaklanmanın grafiksel gösterimi.....	17
Şekil 2.6.	Coachella Vadisinde (California) gözlenen basen kenarlarından oluşan dalgalar.....	17
Şekil 3.1.	1985 Meksiko City depremi ivme tasarım spektrumu	22
Şekil 3.2.	1985 Meksika Depreminde hasar görmüş bir bina.....	22
Şekil 3.3.	1963 Üsküp Depreminde hasar görmüş bir bina.....	23
Şekil 5.1.	Elastik spektral ivme katsayıları	30
Şekil 6.1.	Deprem etkisindeki bir yapının zemine bağlı hasar risk durumu.....	33
Şekil 6.2.	Marmara bölgesinin en büyük yer ivmesine bağlı deprem tehlikesi	34
Şekil 6.3.	Marmara bölgesinin T:0,2s spektral ivme (2-3 katlı yapılar) için deprem tehlikesi	35
Şekil 7.1.	İnceleme alanının yer bulduru haritası	38
Şekil 8.1.	Çalışma 1 için Model bina kalıp planı (1,5 ve 10 katlı bina geometrisi).....	42
Şekil 8.2.	Çalışma 2 için model bina kalıp planı (6 katlı bina geometrisi)	43
Şekil 8.3.	Yapı genel bilgileri penceresi.....	43
Şekil 8.4.	1 katlı bina modeli.....	44
Şekil 8.5.	5 katlı bina modeli.....	44
Şekil 8.6.	10 katlı bina modeli.....	45
Şekil 8.7.	Model 1 için 1,5 ve 10 katlı binalardaki tasarım spektrum grafiği	46
Şekil 8.8.	Model 2 için 1,5 ve 10 katlı binalardaki tasarım spektrum grafiği	46
Şekil 8.9.	Model 3 için 1,5 ve 10 katlı binalardaki tasarım spektrum grafiği	47
Şekil 8.10.	Model 4 için 1,5 ve 10 katlı binalardaki tasarım spektrum grafiği	47
Şekil 8.11.	Zemin modellerinin bina kat yüksekliğine bağlı değişen bina doğal periyot değerlerinin karşılaştırılması.....	48
Şekil 8.12.	Yerel zemin sınıfına bağlı spektrum katsayıları ilişkisi.....	50

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 4.1. Zemin Grupları	25
Tablo 4.2. Yerel Zemin Sınıfları	25
Tablo 5.1. Etkin Yer İvmesi Katsayısı (A_0).....	28
Tablo 5.2. Bina Önem Katsayısı (I).....	29
Tablo 5.3. Spektrum Karakteristik Periyotları (T_A, T_B)	30
Tablo 8.1. Zemin modellerine ait zemin hakim periyotlar ile bina doğal periyotlarının karşılaştırması.....	45
Tablo 8.2. 6 katlı bina modeli için yerel zemin sınıflarına bağlı spektrum katsayıları	49

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Maksimum büyütme
A_0	: Etkin yer ivme katsayısı
$A(T)$: Spektral ivme katsayısı
$E(t)$: Sismik enerji akısı
f_n	: Harmoniklerin frekansı, (Hz)
f_0	: Temel frekans, (Hz)
H	: Ana kaya üzerindeki zemin tabakasının kalınlığı, (m)
I	: Bina önem katsayısı
K	: Zemin yatak katsayısı, (ton/m ³)
q	: Zemin emniyet gerilmesi, (kg/cm ²)
R_a	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
$S(T)$: Spektrum katsayısı
$Sa(T)$: Elastik spektral ivme, (m/s ²)
T	: Yapı periyodu, (sn)
T_A	: Spektrum karakteristik periyodu, (sn)
T_B	: Spektrum karakteristik periyodu, (sn)
T_0	: Zemin hakim titreşim periyodu, (sn)
V_s	: Zemin tabakalarının S dalga hızı, (m/sn)
V_t	: DBYBHY' e göre Eşdeğer deprem yükü yönteminde göz önüne alınan deprem doğrultusunda binaya etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti), (tf)
$v(t)$: Sismik dalga faz hızı, (m/sn)
W	: Bina toplam ağırlık, (ton)
z	: Empedans
ρ	: Yoğunluk, (ton/ m ³)
ζ	: Zemin sönümü
α	: Empedans oranı

Kısaltmalar

DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
Eurocode-8	: Design Of Structures For Eartquake Resistance (Yapıların Depreme Dayanıklı Tasarımı)
Sap2000	: Structural Analysis Program (Yapısal Analiz Programı)
Sta4CAD	: Structural Analysis For Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım için Yapısal Analiz)

KAYA VE ALÜVYON ORTAMLARDA ZEMİNİN BİNA YÜKSEKLİĞİNE ETKİSİ

ÖZET

Ülkemizin deprem kuşağı üzerinde yer alması ve geçmişten beri büyük can kayıplarının yaşanması deprem gerçeğinin unutulmaması gerektiğini ortaya koymaktadır. Yaşanılan depremlerin binalar üzerinde bıraktığı hasarlar incelendiğinde zemin yapısının deprem etkisinde aktif rol aldığı gözlenmektedir.

Günümüzde projelendirme aşamasında zemin yapısı ve yapı modeli tanımlanarak deprem etkisindeki binanın davranışı öngörülebilmektedir. Zemine ait parametrelerin belirlenebilmesi için arazi ve laboratuvar ortamlarında uygulanmak üzere jeofizik yöntemlere başvurulmaktadır. Jeofizik yöntemler sayesinde belirlenen bina temelinin oturacağı zemin sınıfı, zemin taşıma kapasitesi ve diğer karakteristik özellikler zemine uygun bir yapı tasarımındaki en önemli adımı oluşturmaktadır. Depreme dayanıklı yapı tasarımı için gerekli olan tasarım ivme spektrumu, yerel zemin koşullarının göz önünde bulundurularak yapı analiz programı yardımıyla belirlenmektedir.

Bu tez çalışmasında uluslararası standartlara göre yerel zemin koşullarının deprem hareketlerine etkisi, zemin büyütmesi, zemin yapı etkileşimi, Türkiye Deprem Yönetmeliği (2007)' e göre zemin parametrelerinin belirlenmesi ve tasarım spektrumu tanımları, deprem-hasar ilişkisi, bina modellerinin yapısal tasarımı ve çözümlenmesi konularından bahsedilmektedir. Çalışmada, Kocaeli bölgesinde kaya ve alüvyon ortamlarda yapılan jeofizik çalışmalarından elde edilen zeminlere ait veriler ile farklı yükseklikte modellenen binaların yapısal çözümlemesi yapılmıştır. Bina modellerinin farklı zemin türleri üzerindeki davranışı, Sta4CAD V13.1 paket programı yardımıyla analiz edilmiştir. Yapı analizinden elde edilen bina doğal periyotları ve spektrum katsayıları ile arazi çalışmalarına ait zemin hakim titreşim periyotları sonuçları karşılaştırılarak zemin türünün bina yüksekliğine etkisi irdelenmiş, zemin türü-bina ilişkisi ve modellerin hasar riskleri yorumlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Bina Doğal Periyodu, Sta4CAD ile Analiz, Zemin Hakim Periyodu, Zemin Yapı Etkileşimi.

EFFECT OF SOIL ON HEIGHT OF BUILDING IN ROCK AND ALLUVIUM ENVIRONMENTS

ABSTRACT

It has been proven the earthquake reality should not be forgotten that our country is located on seismic belt and mortality has occurred from past to present. When damages occurred by earthquake on building is investigated, it is seen obviously the soil structure takes an active role in earthquake effect.

In recent days, building behaviour on earthquake effect is predicted with defining soil structure and building model on project stage in order to determine the soil parameters, geophysical methods are implemented in the laboratory and on site. The soil class, bearing capacity of soil and other characteristic features determined by geophysical methods are constituted the most important step. Design spectral response acceleration needed for earthquake resistant structural design, based on structural analysis program by taking into consideration of local soil condition.

In this study, the effects of local soil conditions on earthquake motions, impedance, impact of resonances, soil-structure interaction, determining soil parameters given in the Turkish specifications for structures to be built in disaster areas (2007), design response spectrum, earthquake-damage intensity relation, structural design and analysis of building models are explained. In this thesis, building models on different heights are designed by using soil parameters provided by geophysical methods in rock and alluvium environments on Kocaeli district of Turkey. The behaviour of building models based on soil structure has analyzed with Sta4CAD V13.1 program. The building natural periods and spectrum factors obtained from structural analysis compared with soil predominant period provided with site works, the effects of soil classification on height of building has examined and soil-structure interaction has interpreted.

Keywords: Building Natural Period, Sta4CAD Analysis, Soil Predominant Period, Soil Structure Interaction.

GİRİŞ

Ülkemiz genelinde geçmişten günümüze kadar olan doğal afetler ve afetlerin bıraktığı hasarlar incelendiğinde depremler ilk sırada yer almaktadır. Bilindiği gibi yurdumuz dünyanın en etkin deprem kuşaklarından birinin üzerinde bulunmaktadır. Geçmişte yurdumuzda birçok yıkıcı depremler olduğu gibi, gelecekte de sık sık oluşacağı bir gerçektir. Bu amaçla, depremlerde büyük can ve mal kayıplarının yeniden yaşanmaması için zemin türüne en uygun yapı tasarımı geliştirilmelidir.

Deprem Bölgeleri Haritası' na göre, yurdumuzun %92' sinin deprem bölgeleri içerisinde olduğu, nüfusumuzun %95' inin deprem tehlikesi altında yaşadığı ve ayrıca büyük sanayi merkezlerinin %98' i ve barajlarımızın %93 'ünün deprem bölgesinde bulunduğu bilinmektedir. Bu gerçeğin unutulmaması, can ve mal kaybının azaltılabilmesi için ancak depreme dayanıklı yapılar tasarlanması gerekmektedir. Depreme dayanıklı yapı tasarımında, yapının deprem etkisinde oluşan yüklere karşı koyabilecek özelliklere sahip olması ve ortaya çıkacak hasarın sınırlandırılması hedeflenmektedir. Bu hususta, farklı zemin koşullarında, bir depremin yapılar üzerindeki etkisi incelenerek yapı hasarı en aza indirgenebilmektedir.

Bina tabanındaki yerel zeminin jeolojik yapısı ve özellikleri, deprem esnasında bina yıkılmalarında en önemli faktörler arasında bulunmaktadır. Deprem sarsıntısı yeraltındaki herhangi bir kaynaktan yayılan titreşim hareketi olduğundan, bu titreşimin yayıldığı zeminin jeolojik yapısı, hasarı doğrudan etkilemektedir. Deprem esnasında zemin şartlarının hasar oluşumunda olumsuz etkisinin nedeni deprem dalgalarının yayılma şeklinden kaynaklanmaktadır.

Deprem hareketiyle oluşan deprem dalgalarının genlik, frekans içeriği ve süreden oluşan önemli özelliklerinin tamamı yerel zemin koşullarından önemli derecede etkilenmektedir. Bunların etki derecesi, yeraltındaki birimlerin geometrisi ve litolojik özellikleri, inceleme alanının topoğrafyası ve girdi hareketinin özelliklerine bağlıdır.

Deprem etkisinde, yapıların buldukları bölgelerdeki zemin koşullarından etkilenmesi nedeniyle yapılarda oluşabilecek hasarları tahmin etmek amacıyla yapılan çalışmalarda zemin tabakalarının etkisinin belirlenmesi önemli bir aşamadır. Zemin tabakalarının etkisi zemin tabakalarının cinsine, kalınlıklarına ve yeraltı su seviyesine bağlı olarak değişmektedir. Bu özelliklerin belirlenebilmesi için inceleme alanı içinde yapılmış sondaj bulguları ile sondaj numunelerine ait deney sonuçları birlikte değerlendirilerek zemin tabakalarının etkisi hesaplanabilmektedir.

Zemin kesitinde yer alan tabakalar kalınlıklarına, cinslerine ve özelliklerine bağlı olarak farklılıklar gösterir. Aynı şekilde zemin kesitinde yer alan farklı kalınlıklarda ve özelliklerdeki zemin tabakaları, bir noktadan bir noktaya da farklı olabilir. Bu nedenle depreme dayanıklı yapı tasarımında zemin hakim periyotları ve zemin büyütmesi gibi dinamik davranış özelliklerinin bir noktadan bir noktaya nasıl değiştiği belirlenmelidir [6]. Bu amaçla, zemin tabakalarının depremler sırasında davranışlarını değerlendirebilmek amacıyla dinamik zemin özellikleri arazi ve laboratuvar deneyleri ile belirlenmektedir.

Tezcan ve diğ. [41] tarafından İstanbul'un Avcılar ilçesi için dalga büyütmesinin incelenmesi amacıyla yapılan araştırmada, 1999 Kocaeli Depremi merkez üssüne 120 km uzaklıkta olan Avcılar bölgesinde üç hâkim titreşim periyodu 1,60 s, 1,0 s ve 0,70 s kullanılarak dalga büyütmeleri karşılaştırılmıştır. Bu bölgede meydana gelen en büyük hasarın 5 ile 8 kat yüksekliğindeki binalarda görülmesinin nedenleri, yüksek periyotlu deprem dalgalarına ve zemin büyütmesinden kaynaklanacağı ortaya konmuştur. Özellikle doğal periyodu 1,60 – 1,70 s olarak tasarlanacak binalarda o bölgedeki zemin büyütmesi ve rezonans etki sebebiyle ağır hasarların görülebileceği öngörülmüştür.

Livaoğlu ve Doğanğün [32] tarafından deprem yönetmeliklerinde verilen zemin sınıflarına göre yapı davranışlarının karşılaştırmalı olarak incelenmesi amacıyla yapılan araştırmada, zemin sınıflarının ve bunlara ilişkin parametrelerin yapı davranışını ne şekilde ve hangi oranlarda etkilediği incelenmiştir. Çalışmaya konu olan Türkiye Deprem Yönetmeliği ve Eurocode-8' de tanımlanan 7 farklı zemin sınıfının 6 ve 12 katlı yapı modelleri için Sap2000 paket programı ile deprem hesabı gerçekleştirilmiştir. Kısa periyotlu yapılar ($T \leq 0,9$ s) için Eurocode-8' den elde

edilen ivme spektrumu değerleri Türk Deprem Yönetmeliği'nden elde edilen değerlere göre daha büyük olduğu tespit edilmiştir. 6 ve 12 katlı yapılar karşılaştırıldığında periyot uzadıkça Eurocode-8' de daha büyük ivme tepkileri elde edildiği ve uzun periyotlu yapılarda meydana gelen kolon kesme kuvvetlerinin arttığı ortaya konmuştur.

Karabörk ve Doğuş [25] tarafından zemin özelliklerinin çok katlı yapıların dinamik davranışı üzerine etkisinin incelenmesi amacıyla yapılan araştırmada, farklı zeminler üzerine oturan yapı modelleri Sap2000 paket programı ile analiz edilmiş ve sonuçlar incelenmiştir. Taşıma gücü daha yüksek olan sert zeminlerde yumuşak zeminlere oranla taban eğilme momenti ve kesme kuvveti değerlerinde belirgin bir artış, yapı periyotlarında ise azalma gözlenmiştir. Sert zeminlerin yumuşak zeminlere oranla daha az yer değiştirme yapmasına rağmen, üst yapıda oluşan kesit tesirlerinin daha fazla olduğu gözlenmiştir. Buna bağlı olarak sert zemin üzerine oturan yapılarda yumuşak zemin üzerine oturan yapılara oranla daha fazla yapısal hasar meydana geldiği ortaya konmuştur.

Kutunis [30] tarafından yerel zemin şartlarının tasarım yer hareketi üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amacıyla yapılan araştırmada, depreme dayanıklı yapı tasarımında kullanılacak elastik tasarım ivme spektrumlarının oluşturulmasında, yerel zemin koşullarının önemi incelenmiştir. Çalışmada, kuvvetli yer hareketi parametrelerine etki eden zemin tabaka kalınlığı, zemin sınıfı ve dinamik zemin parametreleri üzerinde sayısal analiz yapılmış ve sonuçları, büyütme oranlarının ve ivme spektrumlarının frekansla değişimi şeklinde yorumlanmıştır. Çalışmaya göre, zemin tabaka kalınlığı arttıkça zemin büyültmesinin düşük oranlarda azaldığı, ancak zemin hakim periyodunun büyük oranlarda artma eğilimini gösterdiği tespit edilmiştir. Kalınlık arttıkça, ortamın zemin hakim periyodunda artış, spektral ivme değerlerinde ise azalma olduğu ortaya konmuştur.

Beliceli [11] tarafından Eskişehir yerleşim yeri zemin büyütme etkisinin makaslama dalga hızına (V_s) bağlı olarak belirlenmesi amacıyla yapılan araştırmada, yerel zemin koşullarının Eskişehir yerleşim yerinde değişiminin incelenerek hasar etkisinin belirlenmesi için zeminin büyütme değişimleri incelenmiştir. Çalışmaya göre; 0-5 metrede düşük hız değerleri görülmüş, kayma dalga hızı değerlerinde derinlik artışı

ile yükselme olduğu gözlenmiştir. Riskli alanlarda öncelikle rezonans etkisi göz önünde bulundurularak az katlı yapılaşmaya gidilmesi, zemin büyütmelelerinin yüksek olmasının yanında daha önce yapılan çalışmalarda sınıvlaşma riskinin yüksek olduğu alanlar tespit edilmiştir. Zeminin sınıvlaşmaya karşı direncini arttırmak amacıyla zemin iyileştirme tekniklerinden uygun olanların yapılması gerektiği ortaya konmuştur.

Keçeli [26] tarafından yapılan zemin hakim periyodu ve bina yüksekliği rezonans ilişkisinin incelenmesi amacıyla yapılan çalışmada, binaların rezonans periyotlarının saptanması için sinyal analiz yöntemi kullanılarak zemin yapı arasındaki ilişki irdelenmiştir. Zemin hakim periyodu bilindiğinde, tasarlanan bina yüksekliği kat adedi rezonans bölgesi eğrilerinden pratik olarak belirlenebileceği tespit edilmiştir. Zemin hakim periyoduna bağlı olarak binaların doğal periyotlarının, kat adetlerinin ve bina rijitlik katsayı değerlerinin değişimine göre rezonans bölgesi dışında kat adedi seçildiğinde binaların rezonans durumundan kolaylıkla uzaklaşabileceği ortaya konmuştur.

Bu tez çalışmasında, öncelikle zemin türünün belirlenmesi, farklı zemin türleri için farklı yükseklikte bina modellerinin tasarlanması ve yapısal analiz ile deprem davranışlarının incelenmesi, zemin yapı etkileşimi ve deprem hasar ilişkisi konularından bahsedilmiştir. İlk olarak 1 kat, 5 kat ve 10 katlı bir bina modeli oluşturularak kaya ve alüvyon ortamlarda jeofizik çalışmalar yapılmış ve elde edilen killi formasyon, killi kireçtaşı, ana kaya ve dolgu zemin türleri üzerinde 12 farklı model yapısı çözümlenmiştir. İkinci analiz çalışması olarak 6 katlı bir bina modeli için DBYBHY' de tanımlanan Z1, Z2, Z3 ve Z4 yerel zemin sınıfları kullanılarak 4 farklı model analizi yapılmıştır. Yapısal çözümler Sta4CAD V13.1 paket programı ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan çözümlerden elde edilen bina doğal periyotları ile zemin hakim periyotları karşılaştırılarak zemin türünün bina yüksekliğine etkisi irdelenmiş ve zemin-yapı ilişkisi ve hasar riskleri yorumlanmıştır.

1. YEREL ZEMİN KOŞULLARININ DEPREM HAREKETİNE ETKİSİ

Yerel zemin koşullarının depremin yapılara etkisini değiştirmesi konusu uzun zamandan beri araştırılmaktadır. MacMurdo [33], 1819' daki Cutch (Hindistan) depremi ile ilgili olarak "doğrudan kaya üzerine oturtulan yapılardaki hasarın, temeli kayaya kadar inmeyen yapılardaki hasar kadar olmadığını" belirtmiştir. Kramer [28], yerel zemin şartlarının yer hareketleri üzerinde olan etkilerini çeşitli araştırmacıların incelediğini belirtmiş ve bunların ayrıntılarına çalışmalarında yer vermiştir.

Türk Deprem Yönetmeliği' nde depreme dayanıklı yapı tasarımı için gerekli olan tasarım ivme spektrumu, yerel zemin koşulları göz önünde bulundurularak belirlenmektedir. Kuvvetli yer hareketinin genlik, frekans içeriği ve süreden oluşan önemli özelliklerinin tamamı yerel zemin koşullarından önemli derecede etkilenmektedir. Bunların etki derecesi, yeraltındaki birimlerin geometrisi ve litolojik özellikleri, inceleme alanının topoğrafyası ve giridi hareketinin özelliklerine bağlıdır.

Günümüzde artık depremlerde hasara yol açan ana etkenler bilinmektedir. Bu bağlamda hem güvenli hem de ekonomik olarak deprem hasarlarını azaltmak mümkün olmaktadır. Depreme dayanıklı yapı üretiminde, maliyeti arttırıcı önlemler yerine, araştırmalara dayalı olarak daha uygun alanlar ve tasarım ilkelerinin belirlenmesi, yerleşim politikaları ve imar planları ile gelişmelerin yönlendirilmesi olabilecek bir depremin etkisini azaltmada tercih edilmelidir. Problemin çözümünü sadece depreme dayanıklı yapı üretiminde aramak gerçekçi bir yaklaşım olmayabilir. Depreme dayanıklı yapı yapabilmek yalnızca teknik bir sorun olmaktan öte sosyal ve ekonomik faktörlere de bağlıdır. Bu nedenle amaç, daha az tehlikeli alanların belirlenmesi ile ilave maliyetlerin azaltılması, böylece hem ülke ekonomisi açısından kaynakların akılcı kullanımını, hem de deprem hasarının en aza indirilmesini sağlar.

Depreme dayanıklı yapıların tasarımında şimdiye kadar izlenen yaklaşımda bölgenin sismisitesi ve kabaca belirlenmiş zemin parametreleri ile yapı modeline ait bazı özelliklerin bilinmesi yeterli olarak görülmekteydi. Oysaki yaşanan depremlerin binalar üzerinde bıraktığı hasarlar daha detaylı çalışmalar yapılması gereğini ortaya

çıkarmıştır. Ansal ve diğ. [7] depremden sonraki hasar esas alınarak bir şehri bölgelere ayırmanın yeniden yapılaşmanın en iyi kılavuzu olabileceğini belirtmiştir. Hasar kayıtlarının seçilen bölgenin tümü için yeterli olmadığı ya da hızlı yapılaşmaya maruz kalan bölgelerde yapılaşmanın şeklini tayin etmek için yıkıcı bir depremin olmasını beklemek yerine böyle bir durumun mevcut verilere dayanarak geliştirilmiş değişik yöntemlerle incelenmesinin faydalı olacağı ortaya konmuştur.

Depremler sırasında oluşan yer hareketleri değişken ve düzensiz bir yükleme niteliği göstermektedir. Bu da zemin tabakalarında tekrarlı fakat düzensiz kayma gerilmelerinin oluşmasına yol açar. Yön ve şiddet değiştiren bu tekrarlı kayma gerilmelerinin etkisi altında kalan zeminlerde oluşan boşluk suyu basınçları ve deformasyonların, mukavemet ve gerilme-şekil değiştirme özelliklerinde meydana getirdiği değişimin bilinmesi, stabilitenin gerçekçi bir biçimde hesaplanması için gerekmektedir. Zemin elemanlarının tekrarlı gerilmeler altında davranışlarını incelerken iki konunun üzerinde durulması gerekmektedir. Bunlardan ilki tekrarlı kayma gerilmeleri altında kayma mukavemeti diğeri ise gerilme şekil değiştirme ilişkileridir. Diğeri önemli bir inceleme konusu ise tekrarlı gerilmeler sonrası kayma mukavemeti ve gerilme şekil değiştirme özelliklerinde meydana gelen değişimlerdir.

Zeminler tekrarlı kayma gerilmeler altında türlerine, sıklıklarına, aşırı veya normal konsolide olmalarına, statik kayma gerilmelerine, tekrarlı yüklemenin çevrim sayısına ve etkiye süresine göre farklı davranışlar sergilerler. Depremin yol açtığı tekrarlı kayma gerilmelerinin genliğine bağlı olarak ortaya çıkan boşluk suyu basıncı artışları ve şekil değiştirmeler, kayma mukavemetinde bir azalma ve zeminde bir yumuşama meydana getirir. Kayma mukavemetinde ortaya çıkan bu azalmanın mertebesi, büyük ölçüde zeminin gerilme-şekil değiştirme özelliklerine bağlı olarak değişim gösterir [4].

Tekrarlı yüklerin etkisinde kalan zemin tabakalarının davranışı, temel görevi yaptıkları üst yapılar açısından önemlidir. Tekrarlı yükleme sonucu zemin taşıma gücündeki azalmaların ve meydana gelebilecek oturmaların önceden belirlenmesi gerekir. Bu amaçla dinamik laboratuvar ve arazi deney yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemlerle zeminlerin tekrarlı yükler etkisi altındaki gerilme-şekil değiştirme (dinamik kayma modülü ve sönüm oranı) ve mukavemet özellikleri (kayma genliği

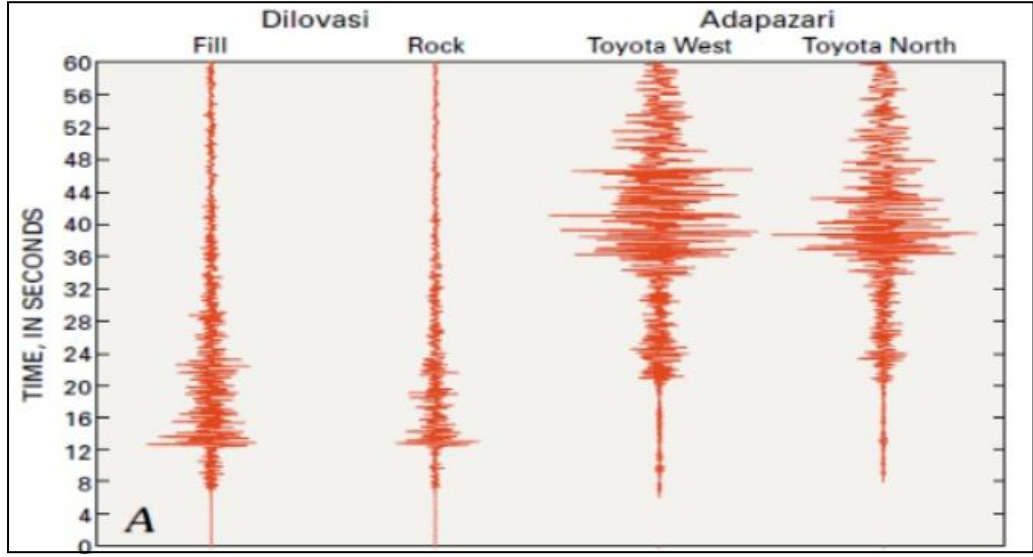
ve çevrim sayısı) saptanabilmekte ve zemin davranışları incelenebilmektedir [8]. Zemin tabakalarının depremler sırasındaki davranışının sayısal analiz yöntemleri ile incelenmesindeki en önemli adım, zemin tabakalarının jeolojik ve jeofizik özelliklerine ait gerek laboratuvar gerekse arazi deneylerinden elde edilen verilerin güvenilir olmasıdır.

Deprem dalgaları zemin tabakaları içinden geçerken özelliklerinin değişmesi yanı sıra zemin tabakalarının özelliklerini etkilemekte, bir yumuşama ve mukavemet kaybına yol açabilmektedir. Bu nedenle bir bölge için deprem tasarım özellikleri tanımlanırken, en önemli adımlardan biri o bölgedeki zemin tabakalaşması ve bu tabakaları oluşturan zeminlerin tekrarlı gerilmeler altındaki özelliklerinin belirlenmesidir [8]. Bu aşamada yerel zemin tabakalarının özelliklerinin arazi ve laboratuvar deneyleri yardımıyla istenen hassaslıkta bulunabilmektedir. Özellikle düşey ölçüm ağlarında alınmış kayıtlar, zemin tabakalaşmasının ve zemin tabaka özelliklerinin zemin yüzeyinde oluşan deprem hareketinin özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Yakın mesafelerde alınmış çok sayıda deprem kaydı, deprem kaynak ve yerel geoteknik özellikler arasındaki karşılıklı etkileşim nedeniyle, önemli mertebelerde farklı olabileceğini göstermiştir [9].

Geçmişte yapılmış deneysel çalışmaların sonuçları zeminler için dinamik kayma mukavemeti olarak tanımlanabilecek kritik bir tekrarlı kayma gerilmesi genliğinin bulunduğunu ve bu değer yaklaşık statik mukavemetin %50' sine eşit olduğunu göstermektedir. Bu değerden küçük genlikte yapılmış deneylerde boşluk suyu basıncı ve birim kayma genliklerindeki artışlar sınırlı kalırken, kritik değer üzerindeki deneylerde bu değerlerde hızlı artışlar gözlenmiştir. Kritik kayma gerilmesi genliğinde küçük genliklerde deney yapılması halinde meydana gelen birim kayma genlikleri sınırlı kalırken, boşluk suyu basınçları göreceli olarak yüksek değerlere çıkabilmektedir [8, 9]. Bu durumun statik mukavemeti olumsuz yönde etkileyeceği bilinmektedir. Özellikle şevlerde ve kalıcı kayma gerilmelerinin bulunduğu durumlarda depremler sırasında oluşan artık boşluk suyu basınçları nedeniyle depremlerden bir süre sonra stabilitenin bozulduğu ve şev kaymalarının meydana geldiği görülmüştür. Bu nedenden ötürü deprem bölgelerinde şevlerde oluşabilecek boşluk suyu basınçlarını hesaba katmadan, sadece statik mukavemet parametrelerini kullanarak stabilite hesapları yapılması hasarlara yol açabilmektedir.

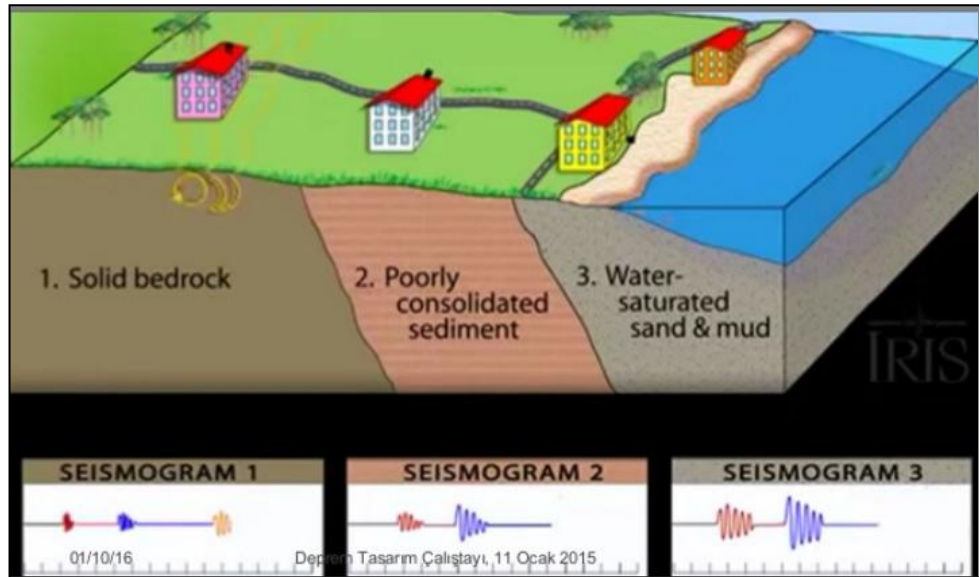
Bir deprem oluştuktan sonra, deprem odağından yayılan dalgalar, ilerledikleri ortamlar boyunca kırılır ve yansımalara uğrayarak yeryüzüne ulaşırlar. Dalgaların seyahatleri sırasında içlerinden geçtikleri tabakalar arasındaki empedans farklılıkları nedeniyle genlikleri değişir. Buna bağlı olarak deprem hareketinin şiddeti, periyodu ve süresinde artış görülür. Yumuşak çökellerle dolan alüvyon vadiler cisim dalgalarını hapsederek alüvyon içinde yüzey dalgalarının oluşmasına neden olmaktadır [28]. Bu nedenle bu tür potansiyele sahip bölgelerin belirlenmesi ve incelenmesi gerekmektedir. Deprem esnasında gevşek ve sıkışmamış zeminler, zemin hakim titreşim periyotlarını büyüterek deprem sarsıntısını dolayısıyla depremin yıkıcı etkisini artırır (Şekil 1.1). Bu durum sonucunda deprem esnasında bu tür zemin üzerindeki binada depremin yıkıcı etkisi, diğerlerinden birkaç misli büyük olur.

17 Ağustos 1999 tarihinde Marmara bölgesinde, İzmit ilçesinin 12 km güneydoğusunda Kuzey Anadolu Fay zonu üzerinde moment büyüklüğü M_w : 7.4 olan yıkıcı bir deprem meydana gelmiştir. Yapılan çalışmalara göre marmara depreminde, kentin tepelik kısımlarını oluşturan ana kaya üzerine oturan binalarda hasar yok denecek kadar azken, Holosen yaşlı alüvyon çökeller üzerindeki yapılardaki hasarın %50' lere vardığı ortaya konmuştur [12].



Şekil 1.1. Yerel zemin koşullarının yer hareketi üzerindeki etkisi [36]

Yeryüzüne yakın ve sağlam bir kaya üzerinde yer alan bir zemin ortamı, deprem nedeniyle oluşan elastik dalgaları filtreleyerek, bazı periyotlardaki genlikleri artırırken, bazı periyotlardaki genlikleri azaltabilmektedir. Sismik dalgaların, zemin tabakaları içinde geçirdiği değişimlerin tümüne yerel zemin etkisi olarak ifade edilir. Genellikle bu değişim genliklerin artması şeklinde olduğundan bu olgu genellikle zemin büyütmesi olarak bilinir [17]. 3 farklı zemin modeli için kaydedilen sismograf kayıtlarının zemin türüne göre değişimi Şekil 1.2’ de görülmektedir.



Şekil 1.2. Zemin – deprem hareketi ilişkisi [36]

2. ZEMİN BÜYÜTMESİ

Yüzeğe yakın zemin tabakalarından geçerken deprem dalgalarının genliklerinde meydana gelen artış zemin büyümesi olarak bilinmektedir. Depremler sırasında bir kaynaktan açığa çıkan enerjinin neden olduğu sismik hareketler dalga yayılma yolu, jeolojik ve yerel zemin koşulları tarafından değişikliğe uğrarlar. Ana kayadan zemin yüzeyine doğru hareket eden dalgaların süre, frekans ve genliklerinde önemli değişimler olabilmektedir. Deprem gibi tekrarlı yükler altında sınılaşma, oturma ve şev stabilitesi gibi olguların ortaya çıkması için özel zemin koşulları gerekirken, zemin büyümesi hemen her depremde meydana gelebilmekte ve yapısal hasar dağılımında önemli rol oynamaktadır. İlgilenilen saha ana kaya üzerinde yer alıyorsa veya sağlam olarak nitelendirilebilecek tabakalar yüzeye yakınsa yerel zemin koşullarının etkisi kaynak etkilerinin yanında çok daha küçüktür. Ancak derin alüvyonlarda deprem dalgaları bu tabakaların özelliklerinden önemli derecede etkilenmekte ve genliklerinde önemli artışlar oluşabilmektedir [38].

Bir sahada oluşacak deprem hareketinin özellikleri tektonik yapı, kırılma mekanizması, merkez üstü uzaklığı, deprem dalgasının ilerleme yolu üzerindeki jeolojik yapının etkisi, yerel yüzey topoğrafyasının ve zemin koşullarının etkisi gibi birçok faktöre bağlıdır. Kaynak mekanizmasının analizi ve deprem dalgasının yayılma yolu üzerindeki jeolojik formasyon etkisi sismolojinin inceleme konusu içinde yer alırken; yerel zemin koşullarının kuvvetli yer hareketine etkisinin araştırılması geoteknik mühendisliğin ilgi alanlarından birini oluşturmaktadır. Yapılan çalışmaların amacı mühendislik yapılarına faydalı ömürleri boyunca etkiyebilecek spektral ivmeyi ve tasarım deprem hareketinin genlik, frekans içeriği ve süresi gibi özelliklerini belirlemektir. Bir tasarım depreminin yüzeydeki etkilerini belirlemek için yapılan zemin tabakalarının dinamik analizinde, geoteknik özelliklerin yanında topoğrafik özellikleri ve yanal jeolojik düzensizlikleri de kapsayan tüm yerel etkilerin göz önüne alınması gerekmektedir [24].

Zemin tabakalarının dinamik analizinde hesap kolaylığı açısından tercih edilen bir boyutlu yaklaşımda, yüzey topoğrafyası ile tabakaların yatayda sınırlı genişliğe sahip

olmasının etkisi ihmal edilmektedir. Oysaki farklı kalınlıktaki tabakalar ile jeolojik ve topoğrafik düzensizliklerden oluşmuş doğadaki gerçek yapı oldukça karmaşık olup iki veya üç boyutlu modellerle tanımlanabilmektedir. Bir boyutlu analizde geçerli olan kabuller ve sınır koşulları, zemin tabakalarının yarı genişliğinin, derinliğinden çok daha büyük olduğu sığ ve geniş ova modellerinde sağlanmaktadır. Aksi durumlarda yani dar ve derin ova modellerinde iki boyutlu rezonans durumları ortaya çıkmakta ve tek boyutlu dinamik analiz yetersiz kalmaktadır [37]. Zemin tabakalarının yatay yönde sınırlı genişliğe sahip olması, ova kenarlarında yüzey dalgalarının oluşmasına sebep olmakta, yer hareketinin frekans içeriği ovaların ortasından kenarlarına doğru değişmekte, kuvvetli yer hareketinin süresi uzayabildiği gibi özellikle yamaçlarda ve tepelerde kuvvetli yer hareketinin genliği de artmaktadır. Bu nedenle deprem hareketine karşı davranışı bulunacak yerin ova içindeki konumu da bu konuda önemli rol oynamaktadır [23].

2.1. Zemin Büyütmesini Etkileyen Faktörler

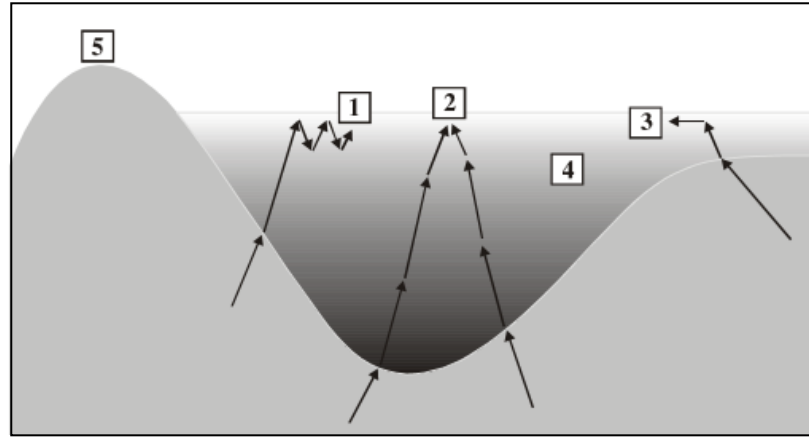
Yer içinde bir deprem meydana geldiğinde, sismik dalgalar kaynaktan yola çıkarlar ve yer içinde hızla yayılırlar. Bu dalgalar yer yüzeyine eriştiklerinde birkaç saniyeden dakikalara varan sürelerde titreşimler üretirler. Belirli bir yerdeki titreşimin süresi ve şiddeti, deprem kaynağına olan uzaklığa, depremin büyüklüğüne ve o yerin zemin özelliklerine bağlıdır. Sismik dalgalar kaynaktan yeryüzüne kadar olan seyahatlerinin büyük bir bölümünü yer kabuğunu oluşturan sert kaya içinde geçirmelerine karşın, seyahatlerinin son bölümü özellikleri kayaya göre oldukça farklı olan yumuşak zemin tabakaları içinde geçer ve bu zemin tabakalarının özellikleri yeryüzünde gözlenen titreşimin doğasını büyük ölçüde belirler. Zemin tabakaları, sismik dalgalar için adeta bir süzgeç gibidir. Bazı frekanslardaki sismik dalgalar sönlendirilirken bazıları da büyütülür. Sismik dalgaların zemin tabakaları içinde geçirdiği değişimlerin tümüne lokal zemin etkisi adı verilir. Genellikle bu değişim genliklerin artması şeklinde gözlemlendiğinden lokal zemin etkisi terimi zemin büyütmesi veya zemin transfer fonksiyonu, zemin tepkisi olarak da adlandırılır.

Teoride zemin büyütmesi terimi, sismik dalgaların yeryüzüne yakın yumuşak zemin tabakaları içinden geçerken genliklerinin artmasına karşılık gelir. Pratikte ise zemin

büyütmesi terimi, sismik dalgaların iki yakın yer arasında gösterdiği, nedeni empedans farkı olsun olmasın, herhangi bir farkı temsil etmek için kullanılır.

Zemin büyütmesini etkileyen faktörler 5 başlıkta sıralanabilir (Şekil 2.1);

1. Empedans oranı ve rezonans etkisi
2. Basen altı topoğrafyasına bağlı olarak oluşan odaklanma
3. Basen kenarlarından oluşan yüzey dalgaları
4. Doğrusal olmayan zemin davranışı
5. Topoğrafya etkisi



Şekil 2.1. Zemin büyütmesini etkileyen faktörler: 1) Empedans ve rezonans etkisi, 2) Basen altı topoğrafyasına bağlı olarak oluşan odaklanma, 3) Basen kenarlarında oluşan yüzey dalgalarına, 4) Doğrusal olmayan zemin davranışı, 5) Topoğrafya etkisi [45]

2.1.1. Empedans ve rezonans etki

Yumuşak zeminlerde deprem hareketinin genliğinin artmasının başlıca nedeni zemin ile onun altındaki ana kaya arasındaki empedans farkıdır. Sismik empedans, tanecik hareketine karşı ortam direncinin bir ölçümü olarak düşünülebilir. Bir zemin tabakası içinde yayılan düşey S dalgası için sismik empedans (z), yoğunluk (ρ) ve S dalga hızının (V_s) çarpımıdır [11].

$$z = \rho \cdot V_s \quad (2.1)$$

Genellikle yeryüzüne yakın bölgelerde sismik dalga hızları ve yoğunlukları daha küçüktür. Eğer saçılmalar ve sönüm nedeni ile oluşan kayıplar ihmal edilirse, enerjinin korunması ilkesine göre elastik dalga enerjisinin yeryüzüne kadar sabit

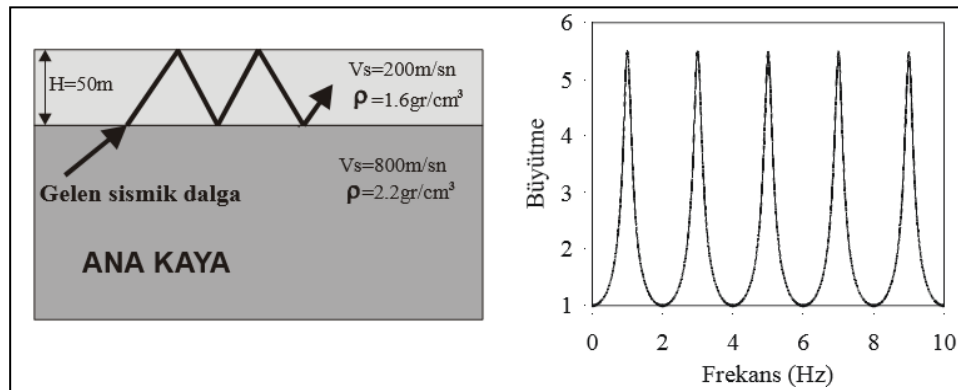
kalması gerekir. Sismik enerji akısı $E(t)$ ' yi, formülü ile gösterirsek, dalgalar yeryüzüne yaklaşırken ortam yoğunluğunun (ρ) ve S dalga hızının (V_s) azalması, yani sismik empedansın küçülmesi nedeni ile enerjinin korunması için faz hızının $v(t)$ artması gerekir [28].

$$E(t) = \frac{1}{2} (\rho V_s) v^2(t) \quad (2.2)$$

Ana kaya ve zemin arasındaki sismik empedans farkı, sismik dalgaların zemin tabakaları içinde hapsolmesine neden olur. Zemin tabakaları yatay olarak tabakalanmış ise (Şekil 2.1) bu hapsolme sadece zemin tabakası içinde yukarı aşağı giden cisim dalgalarını etkiler. Eğer yapı modeli 2 veya 3 boyutlu ise kalınlık değişimleri gibi yanal süreksizlikler mevcut ise dalgaların hapsolmesi aynı zamanda bu süreksizliklerden doğan yüzey dalgalarını da etkiler. Hapsolan bu dalgalar arasındaki girişimler en yüksek rezonans değerlerinin oluşmasına yol açar. Maksimum rezonans frekansı, ana kaya üzerindeki zemin tabakasının kalınlığı ve S dalga hızıyla, yapı 2 veya 3 boyutlu ise genişliğiyle de ilişkilidir [10]. Rezonans tepelerinin genliğini ve frekansını yapının mekanik geometrik özellikleri belirler. Bir boyutlu tek tabaka modeli için (Şekil 2.2) temel rezonans frekansı ve harmoniklerin frekansı aşağıdaki bağıntılar ile verilmiştir.

$$f_0 = V_s / 4H \quad (2.3)$$

$$f_n = (2n+1) f_0 \quad (n=1,2,3,...) \text{ (harmonikler)} \quad (2.4)$$



Şekil 2.2. Yatay tek tabaka durumunda dalga yansımalarının gösterimi (solda) ve bu parametreler kullanılarak düşey yayılan S dalgası için elde edilen büyütme fonksiyonu grafiği [45]

Burada V_s , zemin tabakasının S dalga hızı, H ; ana kaya üzerindeki zemin tabakasının kalınlığı, f_0 ; temel frekans ve f_n ; harmoniklerin frekansıdır. Zemin hakim periyodu $T_0 = 1/f_0$ olarak tanımlanır. Temel frekansın değeri 0,2 Hz ile 10 Hz veya daha yüksek değerler arasında değişir [16]. Rezonans piklerinin genliği, zemin tabakası ve ana kaya arasındaki sismik empedans farkına ve zemin tabakasının sönümleme özelliğine, ikinci derecede ise gelen dalga alanının özelliklerine (dalga tipi, geliş açısı, yakın veya uzak alan oluşu) ve üç boyutlu yapılar için yapının geometrisine bağlıdır. Düşey düzlem S dalgası tarafından uyarılan bir boyutlu tek tabaka için maksimum büyütme A , Denklem (2.5)' de verilen bağıntı ile hesaplanabilir.

$$A = \frac{1}{\left(\frac{1}{\alpha} + 0,5\pi\zeta\right)} \quad (2.5)$$

$$\alpha = \frac{\rho_2 V_{s2}}{\rho_1 V_{s1}} \quad (2.6)$$

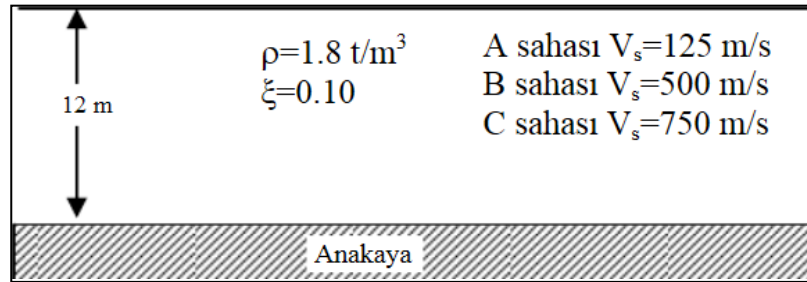
Burada α ; empedans oranı; ζ zemin sönümü, ρ ; yoğunluk, 1 ve 2 indisleri sırası ile zemin ve kaya ortamı temsil eden indislerdir. Burada sismik dalgaların yumuşak zemin tabakaları içinde ne kadar büyütüleceğini belirleyen iki parametre empedans ve sönüm oranıdır. Empedans oranı ne kadar büyük olursa sismik dalga genliği o oranda büyür. Bu bağıntıda, çok küçük sönüm değerlerinde ($\zeta=0$), maksimum büyütme empedans oranına karşılık gelmektedir. Teorik ve deneysel çalışmalar göstermiştir ki A değeri çoğu zaman 6-10 değerine eşit olup, seyrek olarak da (Meksiko City' de olduğu gibi) 20 değerinin aşar [39].

Sismik dalgalar yumuşak zemin tabakaları içinde sadece büyütülmezler, aynı zamanda sönümlendirilirler, yani genlikleri azalır. Elastik dalga enerjisinin bir kısmı ısıya dönüşür. Üstelik yumuşak zemin tabakalarının sert ana kayaya göre sismik dalgaları sönümlendirme özelliği daha fazladır. Zemin tabakasının hızının değişmesi, ana kaya ve zemin arasındaki sismik empedans oranının değişmesi anlamına gelir ve bu doğrudan büyütme değerini etkiler.

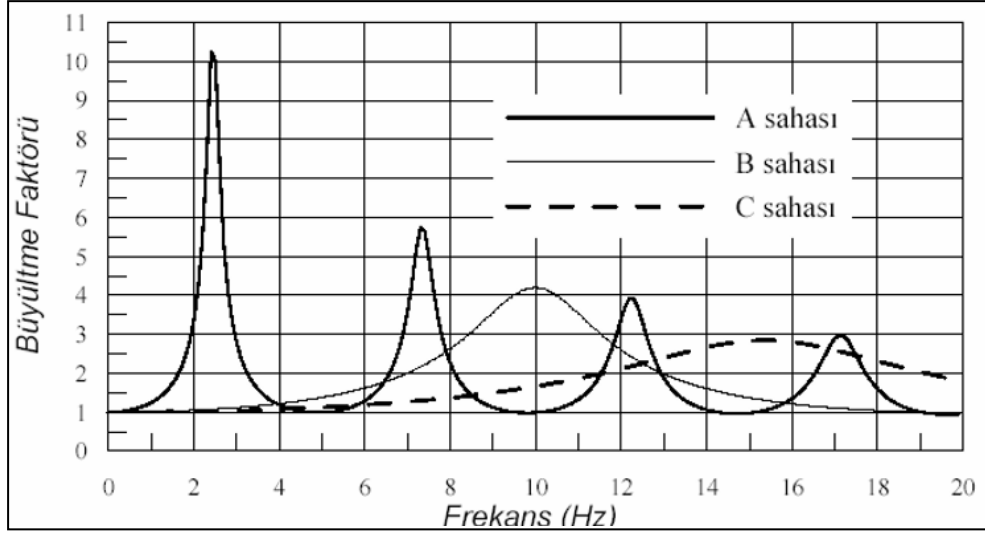
İki ortam arasındaki geçiş ne kadar sert olursa büyütme değeri o kadar yüksek olur. Ayrıca, zemin tabakası hızı azaldıkça zemin hakim frekansı daha yüksek frekanslara doğru kayar [46]. Zemin tabakası kalınlığı arttıkça veya zemin tabakası hızı azaldıkça zemin hakim periyodu büyür. Bu sonuç, kalın alüvyonlar üzerine yüksek katlı, sığ zemin tabakaları üzerine ise düşük katlı yapılar yapılmamalıdır anlamına

gelmez. Yapılması gereken mümkün olduğunca rezonans olayından kaçmaktır. Bunun için zemin hakim periyodu değiştirilemeyeceğine göre yapı hakim periyodunun zemin hakim periyodundan uzak tutulması gerekir.

Kuvvetli yer hareketleri üzerinde yerel zemin şartlarının etkisi teorik ve analitik çözümlerle desteklenmiştir. Genellikle ana kayadan yeryüzüne yaklaştıkça, zemin ortamlarının yoğunluğu ve makaslama dalga hızı düşer. Deprem dalgalarının saçılma etkisi ve malzeme sönümü ihmal edilirse, elastik dalga enerjisinin korunumuna göre, sismik dalga genlikleri, düşük kütle yoğunluğu ve düşük sismik hızlardan dolayı oldukça büyür. Büyütme etkisinin yerel zemin koşullarına göre değişimi Şekil 2.3 ve Şekil 2.4’ te verilmiştir. Şekil 2.4, Şekil 2.3’ de verilen modelin geometrik özellikleri aynı, makaslama dalgası hızları farklı, doğrusal elastik zemin profillerine ait büyütme fonksiyonlarının frekansa bağlı olarak değişimini göstermektedir. Burada değişim, sert zeminlerde ana kaya hareketini yüksek frekanslarda büyütürken, yumuşak zeminler düşük frekanslarda büyütmesi şeklinde görülmektedir. Şekil 2.4’ de, A sahası maksimum büyütme faktörü 2,40 Hz için 10,25, B sahası maksimum büyütme faktörü 10,0 Hz için 4,19 ve C sahası maksimum büyütme faktörü 15,3 Hz için 2,84 değerlerini almaktadır. Sonuç olarak ana kaya hareketinin zemin yüzeyindeki etkilerinin farklı rijitlikteki zemin ortamları tarafından değişebildiği görülmektedir [30].



Şekil 2.3. Rijit taban kayası üzerinde yer alan zemin profilleri [30]

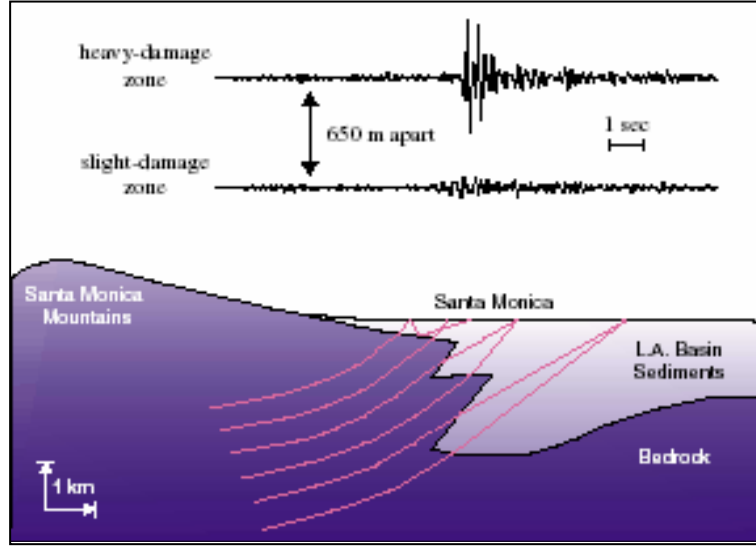


Şekil 2.4. A, B ve C sahalarına ait büyütme fonksiyonları [30]

2.1.2. Basen altı topoğrafyasına bağlı olarak oluşan odaklanma

Basen altı topoğrafyasına ve dalga geliş yönlerine bağlı olarak bazen sismik dalgalar yeryüzünde küçük bölgelerde odaklanabilirler ve bu noktalarda yüksek hasarlara neden olabilirler. Bu olayın en belirgin örneği Northridge depremi sırasında Santa Monica'da gözlenmiştir. 650 m aralığı olan iki istasyonda artçı şok kayıtlarının genlikleri arasında 5 katına varan farklar gözlenmiştir. Bu farklar ana şokun neden olduğu hasar ile ilişkilendirilmiştir [19]. Santa Monica'daki bu yüksek şiddet farkını açıklayabilmek için farklı yollardan gelen dalgaları odaklayan mercek şeklinde bir yer altı modeli önerilmiştir [20]. Bu modelden esinlenerek çizilen benzer model Şekil 2.5'de görülmektedir [18]. Şekil 2.5'de 650 m aralığı bulunan ağır hasar ve hafif hasar bölgesine karşılık gelen hız kayıtları gösterilmektedir.

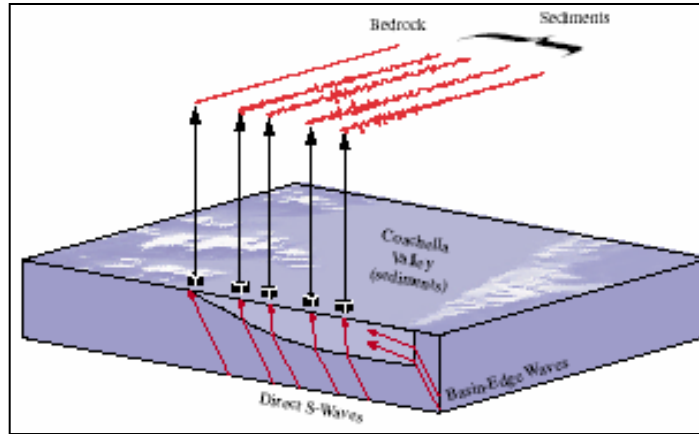
Yaşanılan depremler ve depremin binalar üzerinde bıraktığı hasarlar incelendiğinde basen altı topoğrafyasına bağlı oluşan odaklanma etkisinin yüksek hasarlara sebep olabileceği görülmektedir. Dolayısı ile bu bölgede yapılması planlanan yapılar için odaklanma etkisinin incelenmesi deprem-hasar ilişkisi açısından önem taşımaktadır.



Şekil 2.5. Basen altı topoğrafyasına bağlı olarak oluşan odaklanmanın grafiksel gösterimi [18]

2.1.3. Basen kenarlarında oluşan yüzey dalgaları

Basen kenarı süreksizliklerinde cisim dalgalarının yüzey dalgalarına dönüşmesi ve bu dalgaların zemin tabakaları içinde hapsolmesi yeryüzündeki hareket genliğinin ve süresinin artmasına neden olabilir [31]. Bu dalgaların genliklerinin doğrudan gelen S dalgalarından daha büyük olduğu birçok çalışmada gözlenmiştir. Şekil 2.6' da verilen, basen süreksizliklerinden oluşan yüzey dalgaları için iyi bir örnek 1992 Landers depremi artçı şoklarından Coachella Vadisi'nde gözlenmiştir [18].



Şekil 2.6. Coachella Vadisinde (California) gözlenen basen kenarlarından oluşan dalgalar [18]

İlk S dalgaları ana kayaya göre büyütülmesine rağmen en büyük genlikli dalgalar vadinin kuzey kenarından gelmektedir. Bu gözlemlerin çoğu büyük boyutlu vadilere rastlamaktadır. Bu nedenle buralarda oluşan yüzey dalgaları, yüksek periyotlara ve yüksek seyahat zamanlarına sahip olup sismik kayıtlarda ayrı bir faz olarak kolayca görülebilirler. Fakat küçük boyutlu vadilerde (kalınlık 100 m' den genişlik 10 km' den daha küçük) bu fazlar S dalgaları ile karışır ve ayırt etmek güçleşir. Hız sismogramları S dalgaları ile başlar ve en büyük genlikler düşey vadi kenarından giren enerji tarafından üretilir [18].

2.1.4. Doğrusal olmayan zemin davranışı

Deprem dalgaları ile dinamik olarak yüklenen zeminlerde doğrusal olmayan zemin davranışı jeofizik mühendislerinin önemli bir tartışma konusu olmuştur. Zemin büyütmesinin genliğe bağlı olup olmaması en önemli tartışma konusudur. Zemin davranışının deformasyon genliğine bağımlılığı geoteknik alanda standart bir varsayım olmasına karşın, sismologlar tarafından güçlü yer hareketi gözlemlerinden direkt bir kanıtının olmaması nedeni ile bu faktörün zemin büyütmesine etkisi seyrek olarak düşünülmüştür. Önce doğrusal olmayan zemin davranışının altında yatan temel kavramlar, zemin örnekleri üzerinde yapılan çevrimsel yükleme deneyleri, büyük depremler tarafından üretilen kayma deformasyonu seviyeleri için gerilme-deformasyon ilişkisinin doğrusal olmayıp histerisiz eğrisi şeklinde olduğunu doğrulanmıştır.

Doğrusal olmayan zemin davranışının etkisini incelemek üzere üniform kalınlıkta, doğrusal olmayan ve histerik davranışı gösteren bir yüzey tabakasının davranışı göz önünde bulundurulur. Düşük sarsıntı seviyelerinde davranış büyük ölçüde elastik olacağı için büyütme faktörleri periyot, kayma dalga hızı veya rijit tabaka derinliğine doğrudan bağımlı olacaktır. Yer hareketinin genliği arttıkça meydana gelecek şekil değiştirme seviyeleri artacak ve doğrusal olmayan histerik davranış ortaya çıkmaya başlayacaktır.

Doğrusal olmayan histerezis modeli için kayma dalga hızı ve sönüm, genlik bağımlıdır. Bunun sismolojik açıdan anlamı şudur: Denklem (2.3)' de belirtildiği gibi zemin tabakasının temel rezonans frekansı, dalga yayılım hızı ile orantılıdır. Artan

deformasyon ile Vs dalga hızı azalacak böylece temel rezonans frekansı daha küçük frekanslara doğru kayacaktır.

Artan veri sayısına bağlı olarak, doğrusal olmayan zemin davranışının sismolojik kanıtları da elde edilmeye başlanmıştır. Fakat tersi sonuçlar doğrusal olmayan zemin davranışının henüz tam olarak açıklığa kavuşmadığını göstermektedir [29].

2.1.5. Topoğrafya etkisi

Yer hareketinin bölgesel değişmesine sebep olan faktörlerden biri de topoğrafya etkileridir. Yüzey topoğrafyası, zemin tabakalarının ara yüzeylerinin şekli, deprem dalgalarının çeşitli şekillerde kırılma ve yansımalara uğrayarak bir takım ilave etkilerin oluşmasına sebep olurlar. Dağlık bölgelerde meydana gelen yıkıcı depremlerden sonra tepeler üzerinde yer alan binalarda, düz yerlerdeki binalara göre çok daha fazla hasarın olduğu sık sık rapor edilmiştir. Bununla birlikte topoğrafya etkisi çalışmaları oldukça az sayıdadır. Gözlemsel ve teorik çalışma sonuçlarına göre genel olarak gözlenen, tepe yerlerde deprem dalgalarının büyüdüğü vadi tabanlarında ise küçüldüğü şeklindedir. Bu büyütme yatay bileşenlerde daha belirgin olup, topoğrafyanın eğimi dalga geliş açısı ve yönü ile ilişkilidir.

Zemin yüzeylerinin yatay ve düz bir topoğrafyaya sahip olması düşey doğrultuda gelen SH dalgalarının tamamen düşey doğrultuda yansımaya ve yüzeyde, gelen dalgaların iki katı olan bir etki oluşmasına sebep olurlar. Farklı zeminlerin yatay tabakalandığı bir ortamda, düşey doğrultuda gelen makaslama dalgalarının kırılma ve yansımaları yine düşey doğrultuda olur ve bu yüzden düz topoğrafya ve yatay tabakalaşmanın sebep olduğu bir bölgesel değişme meydana gelmez [2].

Topoğrafya etkisinin en belirgin örneği Meksiko depreminde yaşanmıştır. 1985 Meksiko City depreminde en büyük hasar ve göçme 20-25 katlı binalarda görülmüştür. Şehrin alüvyon zemin üzerine kurulması, ivme değerlerinde artışa neden olmuştur ve yüksek katlı binalarda hasar büyük oranda artmıştır.

3. ZEMİN-YAPI ETKİLEŞİMİ

Yapıların varlığından etkilenmeyen yer hareketlerine açık arazi hareketleri denir. Sert bir kaya üzerine inşa edilmiş bir yapı depreme maruz kaldığı zaman, kayanın son derece yüksek rijitliği kaya hareketini açık arazidekine çok yakın bir aralığa hapseder. Kaya üzerine inşa edilen yapılar sabit tabanlı yapılar olarak adlandırılır [28]. Zemin ve zemin içerisinde temeli olan taşıyıcı sistem, birbirleri ile karşılıklı etkileşim içerisinde. Aynı yapının yumuşak bir zemine oturması halinde göstereceği tepki ile sert bir zemine oturması halinde göstereceği tepki farklı olacaktır. Her şeyden önce, temelin açık arazi hareketinden kaynaklanan deformasyonlara uyum gösterememesi; yapı tabanı hareketinin açık arazi hareketinden farklı olmasına neden olur. Ayrıca, yapının kendi dinamik tepkisi, alttaki zeminde deformasyona neden olur. Diğer bir ifadeyle zemin özellikleri, yapının dinamik hareketlerini etkilerken, yapının hareketleri de zeminin dinamik hareketlerini etkilemektedir. Teknik literatürde bu olaya yapı-zemin etkileşimi denilmektedir [25].

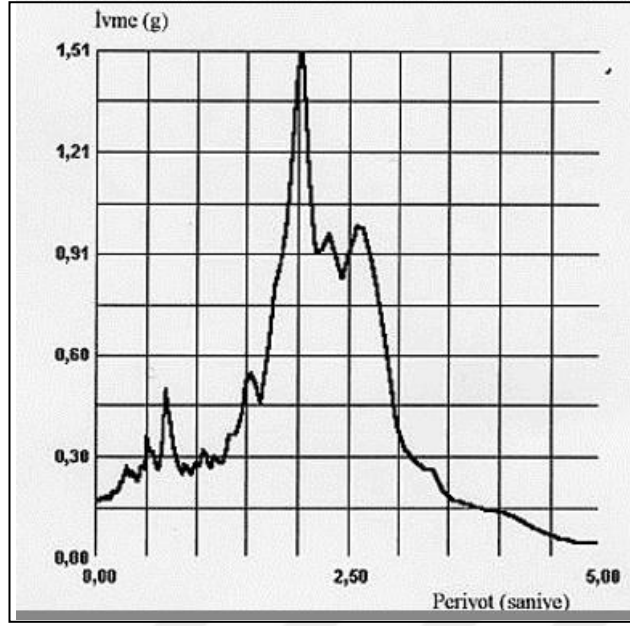
Mühendislik yapıları tasarlanırken, yapı temelinin zemin ile birlikte mümkün olduğunca uyumlu çalışması, gerek geoteknik gerekse yapısal açıdan tasarım kriterlerini yerine getirmesi hedeflenir. Genelde üstyapı ve temel çözümlenmeleri ayrı yapılmaktadır. Üstyapı, en alt kat kolon ve perdeleri ankastre mesnetli olarak çözülmekte, dolayısıyla zeminin yapıdan yapının da zeminden etkilenmediği varsayımı yapılmaktadır. Bu durumda, zemin-yapı etkileşimi yalnızca temel elemanının çözümüne indirgenmektedir. Hâlbuki zemin yapı etkileşimi yüzeysel ve derin temeller, tüneller ve istinat yapıları gibi mühendislik yapılarının tasarımında önemli bir parametredir [27].

Winkler modelinde yapı ile zemin arasındaki etkileşim sabit bir yatak katsayısı yoluyla tanımlanır. Tek parametrelili model olarak da bilinen bu yaklaşım ile temel taban basıncı dağılımının doğru bir şekilde elde edilmesi, temelin şekil değiştirmesinin hesaplanması istisnai durumlar hariç (zemin-yapı etkileşiminin

ihmal edilebildiği koşullar, yapının yay fonksiyonu gören elemanlar ile mesnetlendiği durumlar) mümkün değildir [43]. Bu durumu aşmak üzere birçok araştırmacı çeşitli modeller önermiştir. İki parametrelili model başlığı altında toplanabilen yöntemler sayısal modellemeye elverişli değildir. Bunda başlıca etken düşey yaya ilaveten tanımlanması gereken yatay yay parametresinin belirlenmesindeki ilave güçlüklerdir. Bu güçlüğü aşmak üzere son dönemlerde yapılan bir seri çalışmada Daloğlu ve Vallabhan, üç boyutlu sonlu elemanlar analizleri yürüterek eşdeğer tek parametrelili yatak katsayısı modeli geliştirmişlerdir [13]. Daloğlu ve Vallabhan tarafından önerilen metodoloji daha sonra zeminin doğrusal olmayan davranışını da içerecek şekilde kullanılmıştır [34].

Depremlerin birçoğunda meydana gelen hasar ve can kaybının en önemli sorumlusu alüvyon yani gevşek zeminlerdir. Alüvyon zeminlerin kalınlıkları deprem hasarlarını artırıcı yönde rol oynar. Meydana gelen depremlerde alüvyon kalınlığının az olduğu zeminlerde bina yıkılmaları çok az olurken, alüvyon kalınlığının yüksek olduğu zeminlerin üzerindeki binaların neredeyse tamamına yakınının depremden olumsuz etkilendiği ve yıkıldığı gözlenmiştir. Bu nedenle depreme hassas bölgelerde yapılaşma ve imar konusunda alüvyon kalınlığının bilinmesi, buna göre yapılaşmanın yönlendirilmesi gereklidir.

1985-Meksiko City depreminde, yerleşim bölgesinin altında çok yumuşak zemine dönüşmüş olan eski göl yatağı, uzun periyotlu yer hareketlerini büyütmüş ve maksimum tepkinin 2,0-2,5 saniyelik periyotlarda oluşmasına yol açmıştır. Bu depremde en büyük hasar, doğal titreşim periyotları büyük olan çok katlı yapılarda görülmüştür. İncelemeler sonucu en büyük hasar ve göçmenin 20-25 katlı binalarda görüldüğü tespit edilmiştir. Şehrin kurulduğu zeminin yumuşak olması, ivme değerlerini büyük ölçüde artırmıştır. Bu depremin ivme tepki spektrumu, yapı salınım periyodunun 2 sn civarında olduğunu göstermektedir (Şekil 3.1). Bu örneğe bakıldığında zemin hakim periyodunun büyük olduğu durumlar için yüksek katlı yapılarda oluşabilecek hasarın zemin-yapı etkileşiminde büyük önem taşıdığı söylenebilir.



Şekil 3.1. 1985 Meksiko City depremi ivme tasarım spektrumu [22]



Şekil 3.2. 1985 Meksika Depreminde hasar görmüş bir bina [22]

Şekil 3.2' de verilen fotoğraftaki hasarın sebebi, şehrin üzerine kurulduğu zeminin yumuşak olmasıdır. Böyle bir yerde yapılacak yapıların doğal periyodunun düşük olması, hasar görme ve göçme riskini önemli ölçüde azaltır.



Şekil 3.3. 1963 Üsküp Depreminde hasar görmüş bir bina [22]

1963 yılında Üsküp' te meydana gelen depremde en çok hasar ve yıkımın meydana geldiği yapılar 2 ile 4 katlı binalarda görülmüştür (Şekil 3.3). Burada deprem kaynağının şehre yakın olması ve şehrin üzerine kurulduğu zeminin hakim periyodunun küçük olması en çok hasarın orta yükseklikteki binalarda görülmesine sebep olmuştur. Depremi takip eden yıllarda yapılan çalışmalar sonucunda Üsküp 'de yapılacak yeni binaların kat sayısının 10' dan az olmamasına dikkat edilmiştir. Bu sayede depremden etkilenme riski büyük ölçüde azaltılmıştır.

Yapılarda bıraktığı hasar bakımından depremde kuvvetli yer hareketinin süresi, maksimum ivme değeri kadar önemlidir. Maksimum yer ivmesi yüksek fakat kısa süren bir depremin, maksimum yer ivmesi daha küçük fakat uzun sürmüş bir depreme göre daha az hasar yaptığı çok kez gözlenmiştir.

Uzun süren bir depremde yapı, ağırlığının belli bir yüzdesi, örneğin %10 u kadar bir yatay kuvvet altında 8-10 kere gidip gelirken, kısa süren bir depremde aynı yatay kuvvet altında 2-3 kez gidip gelecektir. Her bir yönü değişen tersinir yüklemde yapı hasarının birikerek artması söz konusu olduğundan uzun süren bir depremin yapacağı hasar daha büyük olacaktır. Çok katlı yüksek yapıların uzun periyotlara sahiptir. Uzak depremlerin hakim periyotları da uzun olduğundan bu uzun periyotlu yapıların uzak depremlerden etkilenmeleri daha fazla olacaktır [22].

4. DBYBHY (2007) ZEMİN KOŞULLARININ BELİRLENMESİ

DBYBHY' de yerel zemin koşullarının tanımlanması için esas alınan zemin grupları Tablo 4.1' de, yerel zemin sınıfları ise Tablo 4.2' de verilmiştir. Tablo 4.1' deki zemin parametrelerine ilişkin değerler, zemin gruplarının belirlenmesinde yol göstermek üzere verilen standart değerlerdir.

1. Aşağıda belirtilen binalarda, gerekli saha ve laboratuvar deneylerine dayanan zemin araştırmalarının yapılması, ilgili raporların düzenlenmesi ve proje dokümanlarına eklenmesi zorunludur. Raporlarda Tablo 4.1 ve Tablo 4.2' ye göre tanımlanan zemin grupları ve yerel zemin sınıfları açık olarak belirtilecektir.

(a) Birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde toplam yüksekliği 60 m' den fazla olan tüm binalar,

(b) Bütün deprem bölgelerinde, bina yüksekliğinden bağımsız olarak, Bölüm 5'de Tablo 5.2 ile tanımlanan Bina Önem Katsayısı' nın $I=1,5$ ve $I=1,4$ olduğu binalar.

2. Yukarıda belirtilen (a), (b) kapsamı dışında kalan diğer binalar için ise, birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde, zemin gruplarının ve yerel zemin sınıflarının Tablo 4.1 ve Tablo 4.2' deki tanımlara göre belirlenmesini sağlayacak yerel bilgilerin ya da gözlem sonuçlarının deprem hesap raporlarında belirtilmesi veya bu konuda yayınlanmış kaynaklara referans verilmesi zorunludur.

Birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde, Tablo 4.1' de (C) ve (D) gruplarına giren zeminlerde, deprem yükleri altında kazıkların yatay yataklanma parametreleri ile yatay ve eksenel yük taşıma güçlerinin belirlenmesi, saha ve laboratuvar deneylerini içeren zemin araştırmalarına göre yapılacaktır.

4.1. Zemin Grupları

DBYBHY' de yerel zemin koşullarının tanımlanması için esas alınan zemin grupları Tablo 4.1' de verilmiştir.

Tablo 4.1. Zemin Grupları [14]

Zemin Grubu	Zemin Grubu Tanımı	Stand. Penetr. (N/30)	Relatif Sıkılık (%)	Serbest Basınç Direnci (kPa)	Kayma Dalgası Hızı (m/s)
(A)	1. Masif volkanik kayalar ve ayrışmamış sağlam metamorfik kayalar, sert çimentolu tortul kayalar... 2. Çok sıkı kum, çakıl... 3. Sert kil ve siltli kil...	--- > 50 > 32	--- 85-100 ---	>1000 --- >400	>1000 >700 >700
(B)	1. Tüf ve aglomera gibi gevşek ve volkanik kayalar, süreksizlik düzlemleri bulunan ayrışmış çimentolu tortul kayalar... 2. Sıkı kum, çakıl... 3. Çok katı kil ve siltli kil...	--- 30-50 16-32	--- 65-85 ---	500-1000 --- 200-400	700-1000 400-700 300-700
(C)	1. Yumuşak süreksizlik düzlemleri bulunan çok ayrışmış metamorfik kayalar ve çimentolu tortul kayalar... 2. Orta sıkı kum, çakıl... 3. Katı kil ve siltli kil...	--- 10-30 8-16	--- 35-65 ---	< 500 --- 100-200	400-700 200-400 200-300
(D)	1. Yer altı su seviyesinin yüksek olduğu yumuşak, kalın alüvyon tabakaları... 2. Gevşek kum... 3. Yumuşak kil, siltli kil...	--- < 10 < 8	--- < 35 ---	--- --- < 100	< 200 < 200 < 200

4.2. Yerel Zemin Sınıfları

DBYBHY' de belirtilen yerel zemin sınıfları Tablo 4.2' de verilmiştir.

Tablo 4.2. Yerel Zemin Sınıfları [14]

Yerel Zemin Sınıfı	Tablo 4.1' e Göre Zemin Grubu ve En üst Zemin Tabakası Kalınlığı (h_1)
Z1	(A) grubu zeminler $h_1 \leq 15$ m olan (B) grubu zeminler
Z2	$h_1 > 15$ m olan (B) grubu zeminler $h_1 \leq 15$ m olan (C) grubu zeminler
Z3	$15 \text{ m} < h_1 \leq 50$ m olan (C) grubu zeminler $h_1 \leq 10$ m olan (D) grubu zeminler
Z4	$h_1 > 50$ m olan (C) grubu zeminler $h_1 > 10$ m olan (D) grubu zeminler

DBYBHY' de T_A , ve T_B yerel zemin sınıflarına bağlı olarak verilen karakteristik periyotları Bölüm 5, Tablo 5.3' de sunulmaktadır. Yapı periyoduna (T) ve zemin karakteristik periyotlarına bağlı olarak spektrum katsayıları $S(T)$ Denklem (5.3a, 5.3b, 5.3c) yardımıyla belirlenebilir.



5. DBYBHY (2007) TASARIM SPEKTRUMU

Tasarım spektrumları yeni yapıların tasarımında kullanılacak deprem yükünü belirlemede kullanılır. Başka bir deyişle, tasarım spektrumu, kaydedilmiş bir deprem için değil, gelecekte ortaya çıkması olası depremler için belirlenir. Doğaldır ki, bir bölgede, gelecekte ortaya çıkması olası depremlere ilişkin bir tasarım spektrumu hazırlamak için, aynı bölgede geçmişte ortaya çıkmış depremlerden yararlanılır. Eğer o bölgede geçmişte yeteri kadar kayıt elde edilememişse, bu durumda benzer özelliklere sahip (deprem odağının kayıt yerinden olan uzaklığı, fay mekanizması, sismik dalgaların yayıldığı zemin cinsi ve yerel zemin koşulları gibi) başka bir bölgede elde edilmiş kayıtlardan yararlanılır.

Tasarım spektrumları geçmişte yaşanmış deprem kayıtları kullanılarak oluşturulurlar. Ancak deprem kayıt cihazları sadece 1900' lü yılların başından itibaren geliştirilmeye ve kullanılmaya başlanmıştır. Bu tarihten önceki depremler tarihi kayıtlar yardımıyla tahmin edilmektedir. Dolayısıyla kimi zaman meydana gelen depremlerin etkileri tasarım spektrumlarında belirtilenden çok farklı olabilmektedir. Örneğin Kobe' de 1995 yılında meydana gelen depremde maddi ve manevi büyük kayıplar verilmiştir. Oysa dünyanın en aktif deprem bölgelerinden birinde bulunan ve teknoloji ve bilim alanlarında dünyanın en iyi ülkelerinden biri olarak gösterilen Japonya'da böyle bir olayın olması şaşırtıcıdır. Bunun en büyük nedeni Kobe' de daha önce bu özellikte bir depremin yaşandığına ilişkin bir veri olmamasıdır. Bu durum dünyanın her yeri için geçerlidir. Yapılan çalışmalar eldeki verilerle sınırlıdır. Dolayısıyla her zaman beklenenden farklı bir etki olabileceği göz ardı edilmemeli ve depremler yaşandıkça tasarımda kullanılacak veriler, yönetmelikler de gözden geçirilip güncellenmelidir [42].

Deprem yüklerinin belirlenmesi için esas alınacak olan Spektral İvme Katsayısı, $A(T)$, yapının periyoduna karşı gelen spektrum katsayısı $S(T)$, bölgedeki deprem tehlikesini gösteren etkin yer ivmesi katsayısı A_0 , ve binanın kullanım türüne göre değişen bina önem katsayısı I , çarpılarak bulunur. %5 sönüm oranı için tanımlanan

Elastik İvme Spektrumu'nun ordinatı olan Elastik Spektral İvme, $S_a(T)$, Spektral İvme Katsayısı ile yerçekimi ivmesi g ' nin çarpımına karşı gelmektedir.

$$A(T) = A_0 \cdot I \cdot S(T) \quad (5.1)$$

$$S_a(T) = A(T) \cdot g \quad (5.2)$$

Burada;

$A(T)$: Spektral ivme katsayısı

$S(T)$: Yapının periyoduna karşı gelen spektrum katsayısı

A_0 : Etkin yer ivme katsayısı

I : Bina önem katsayısı

$S_a(T)$: Elastik Spektral İvme

g : Yerçekimi

5.1. Etkin Yer İvmesi Katsayısı, A_0

Denklem (5.1)' de yer alan Etkin yer ivmesi katsayısı, A_0 , deprem bölgelerine bağlı bir katsayıdır. DBYBHY' de tanımlanan A_0 , Tablo 5.1' de verilmiştir.

Tablo 5.1. Etkin Yer İvmesi Katsayısı (A_0) [14]

Deprem Bölgesi	A_0
1	0,40
2	0,30
3	0,20
4	0,10

5.2. Bina Önem Katsayısı, I

Denklem (5.1)' de yer alan Bina Önem Katsayısı I , binanın kullanım amacı ve türüne bağlı olarak belirlenmiş bir katsayıdır. DBYBHY' de tanımlanan I , Tablo 5.2' de verilmiştir.

Tablo 5.2. Bina Önem Katsayısı (I) [14]

Binanın Kullanım Amacı veya Türü	Bina Önem Katsayısı (I)
<p><u>1. Deprem sonrası kullanımı gereken binalar ve tehlikeli madde içeren binalar</u> a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri; vilayet, kaymakamlık ve belediye, yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) b) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar</p>	1,5
<p><u>2. İnsanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu ve değerli eşyanın saklandığı binalar</u> a) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. b) Müzeler</p>	1,4
<p><u>3. İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar</u> Spor tesisleri, sinema, tiyatro ve konser salonları, vb.</p>	1,2
<p><u>3. Diğer binalar</u> Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb)</p>	1,0

5.3. Spektrum Katsayısı, S(T)

Denklem (5.1) 'de yer alan Spektrum Katsayısı, S(T), yerel zemin koşullarına ve bina doğal periyodu T' ye bağlı olarak Denklem (5.3a), (5.3b) ve (5.3c) ile hesaplanacaktır (Şekil 5.1).

$$S(T)=1+1,5\frac{T}{T_A} \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (5.3a)$$

$$S(T)=2,5 \quad (T_A \leq T \leq T_B) \quad (5.3b)$$

$$S(T)=2,5\left(\frac{T_B}{T}\right)^{0,8} \quad (T_B < T) \quad (5.3c)$$

Denklem (5.3a), (5.3b) ve (5.3c)' deki Spektrum Karakteristik Periyotları, T_A ve T_B, Bölüm 5' de Tablo 5.2 ile tanımlanan Yerel Zemin Sınıfları' na bağlı olarak Tablo 5.3' de verilmiştir.

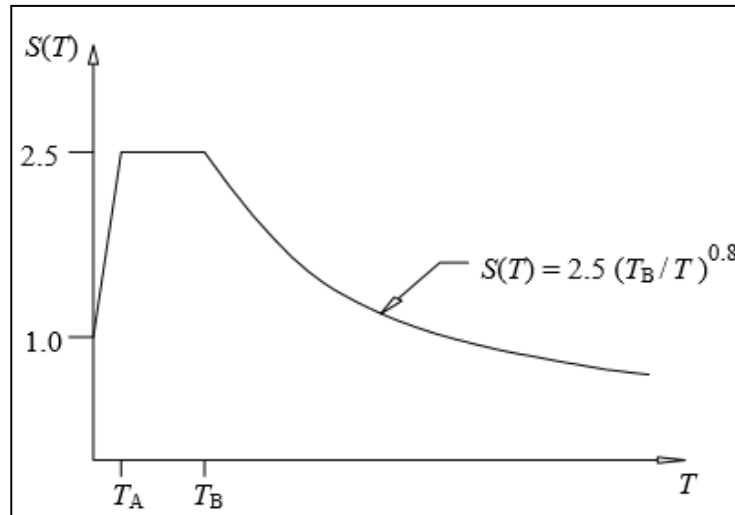
Tablo 5.3. Spektrum Karakteristik Periyotları (T_A , T_B)
[14]

Tablo 5.2' ye göre Yerel Zemin Sınıfı	T_A (saniye)	T_B (saniye)
Z1	0,10	0,30
Z2	0,15	0,40
Z3	0,15	0,60
Z4	0,20	0,90

Bölüm 4' de belirtilen koşulların yerine getirilmemesi durumunda, Tablo 5.3' de Z4 yerel zemin sınıfı için tanımlanan spektrum karakteristik periyotları kullanılacaktır.

5.4. Özel Tasarım İvme Spektrumları

Gerekli durumlarda elastik tasarım ivme spektrumu, yerel deprem ve zemin koşulları göz önüne alınarak yapılacak özel araştırmalarla da belirlenebilir. Ancak, bu şekilde belirlenecek ivme spektrumu ordinatlarına karşı gelen spektral ivme katsayıları, tüm periyotlar için, Tablo 5.3' deki ilgili karakteristik periyotlar göz önüne alınarak Denklem (5.1) ve (5.2)' den bulunacak değerlerden hiçbir zaman daha küçük olmayacaktır.



Şekil 5.1. Elastik spektral ivme katsayıları [14]

6. DEPREM- HASAR İLİŞKİSİ

Bilindiği gibi depremler, yapıya, zamana bağlı olarak değişen yüklerin etkimesine neden olurlar. Buna karşılık olarak da, yapıda zamana bağlı olarak değişen iç kuvvetler oluşur. Depreme dayanıklı yapı tasarımında amaç, sözü edilen bu iç kuvvetlerin etkisinde ortaya çıkması olası hasarın sınırlandırılmasıdır.

Depreme dayanıklı yapı tasarımının temel ilkesi, DBYBHY 2007' de aşağıdaki gibi ifade edilmiştir;

- Hafif şiddetteki depremlerde binalardaki yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının her hangi bir hasar görmemesi,
- Orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlardaki hasarın onarılabilir düzeyde olması,
- Şiddetli depremlerde ise can kaybını önlemek amacı ile kalıcı yapısal hasar oluşumunun sınırlandırılmasıdır.

DBYBHY 2007' e göre, şiddetli deprem, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan tasarım depremidir. Tablo 5.2' de verilen Bina Önem Katsayısı $I = 1$ olan binaların tasarımında kullanılacak olan deprem olarak tanımlanmıştır.

Depremlerde yapısal hasara etki eden faktörler deprem, yerel zemin ve yapı özellikleri olarak 3 grupta tanımlanabilir. Depremler sırasında ortaya çıkan yapısal hasarı belirleyen en önemli faktörlerden biri de depremin büyüklüğü, süresi ve frekans içeriği gibi depreme ait özelliklerdir. Depremler, belirli bir bölgedeki yer hareketi buna sebep olan faylanmanın türü, özellikleri ve oluşan dalgaların içinde yayıldığı ortamın özelliklerinden de etkilenmektedir.

Kocaeli ve Düzce depremleri incelendiğinde meydana gelen hasarların bir noktadan bir noktaya farklı davranış gösterdiği görülmektedir [5, 6]. Bu nedenle sadece sismik veriler kullanılarak yapılan makro bölgelemeden daha detaylı çalışmaların yapılması gerekmektedir. Özellikle zemin tabakalarının cins, kalınlık ve yeraltı su seviyesi gibi

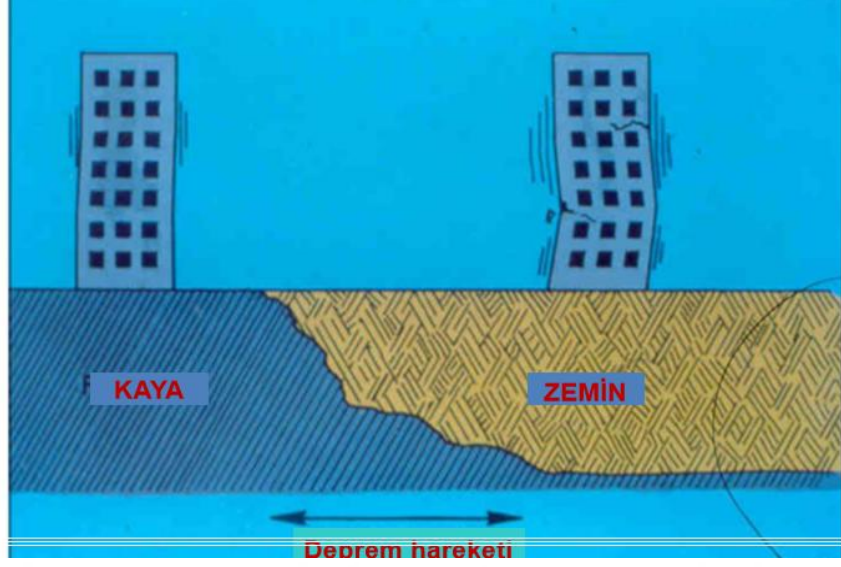
özelliklerin değişebilir olması yakın bölgelerde aynı proje ile inşa edilmesine rağmen farklı hasara yol açabilmektedir [8].

Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Kriz Yönetim Merkezi'nden alınan bilgilere göre 1999 Kocaeli depreminde 66441 konut ve 10901 işyeri ağır hasara, 67242 konut ve 9927 işyeri orta hasara, 80160 konut ve 9712 işyeri hafif hasara uğramıştır. İzmit Körfezi depremi nedeniyle meydana gelen hasarın %48' i, orta hasarın %43' ü ve hafif hasarın %40' ı Kocaeli ilinde meydana gelmiştir. Kocaeli il merkezindeki konutların % 10' u, Gebze ilçe merkezindeki konutların % 0,48' i, Gölcük ilçe merkezindeki konutların % 35,70' i, Kandıra ilçe merkezindeki konutların % 0,25' i, Karamürsel ilçe merkezindeki konutların % 14,19' u ve Körfez ilçe merkezindeki konutların % 12,75' i ağır hasara uğramıştır.

Kocaeli ilinde yüzde olarak en fazla can ve mal kaybı Gölcük ilçesinde olmuştur. İzmit körfezi, İzmit Kuzey Anadolu fayının kuzey kolu üzerinde yer almaktadır ve bu yapı bir seri basenlerden oluşmaktadır. İzmit körfezine boşalan nehirler jeolojik süreç içerisinde Gölcük, Hersek, Kavaklı deltalarını ve Sapanca Gölü ile İzmit körfezi arasındaki geniş ve uzun alüvyon düzlüğünü oluşturmuştur. Bu alanlarda, zemin profili genelde çok kalın, yumuşak-orta katı kil veya gevşek kum tabakalarından oluşmaktadır. Diğer bir deyişle, Kuzey Anadolu Fay Hattının Marmara denizinin güneyi boyunca uzandığı bölgede hem sismik aktivite çok yüksek ve hem de zemin koşulları son derece elverişsizdir. Çeşitli projelerle ilgili olarak bölgede yapılan zemin araştırmaları, zemin tabakalarının sıkışabilme özelliğinin çok yüksek olduğunu ve ayrıca bazı bölgelerdeki zeminlerin sıvılaşma potansiyeli gösterdiğini ortaya koymuştur.

Günümüzde elastik tepki spektrumları üzerinde yapılan istatistiksel çalışmalardan elde edilen bazı gözlemler şu şekilde ifade edilmektedir [3].

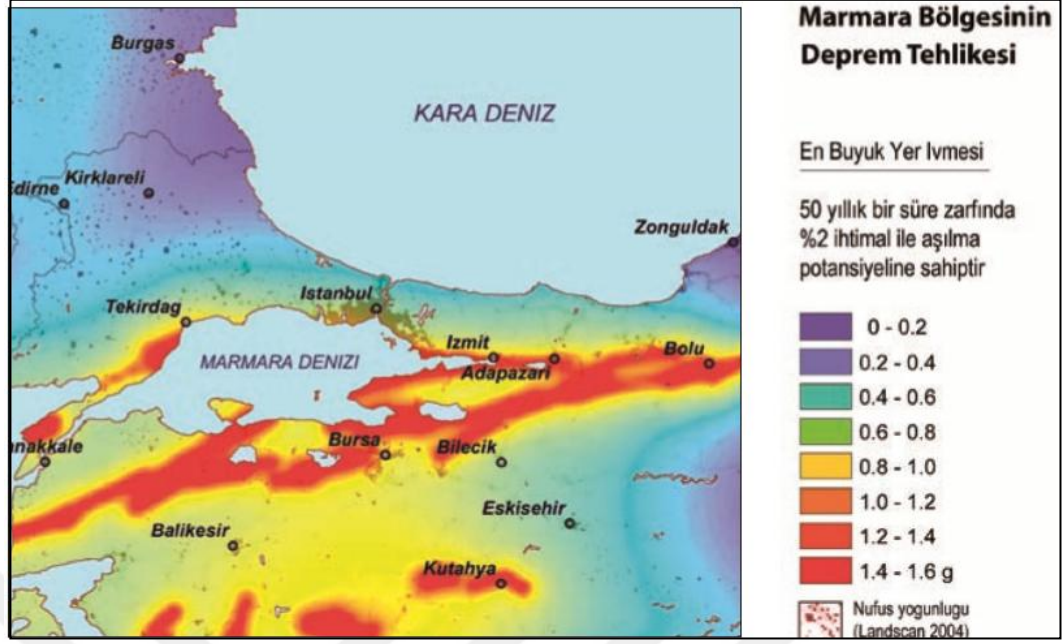
- a) Sert zemin üzerindeki yapılarda maksimum ivme, doğal titreşim periyodu $T=0,15-0,40$ sn olan yapılarda oluşmaktadır. Bu yaklaşık 2-4 kat arasındaki yapılara tekabül etmektedir.
- b) Yumuşak zemin üzerindeki yapılarda maksimum ivme, doğal titreşim periyodu $0,40'$ dan büyük olan yapılarda oluşur. Bu durumda, daha yüksek katlı olan ve doğal titreşim periyodu büyük olan yapılar daha çok hasar görme riski altında olurlar.



Şekil 6.1. Deprem etkisindeki bir yapının zemine bağlı hasar risk durumu [15]

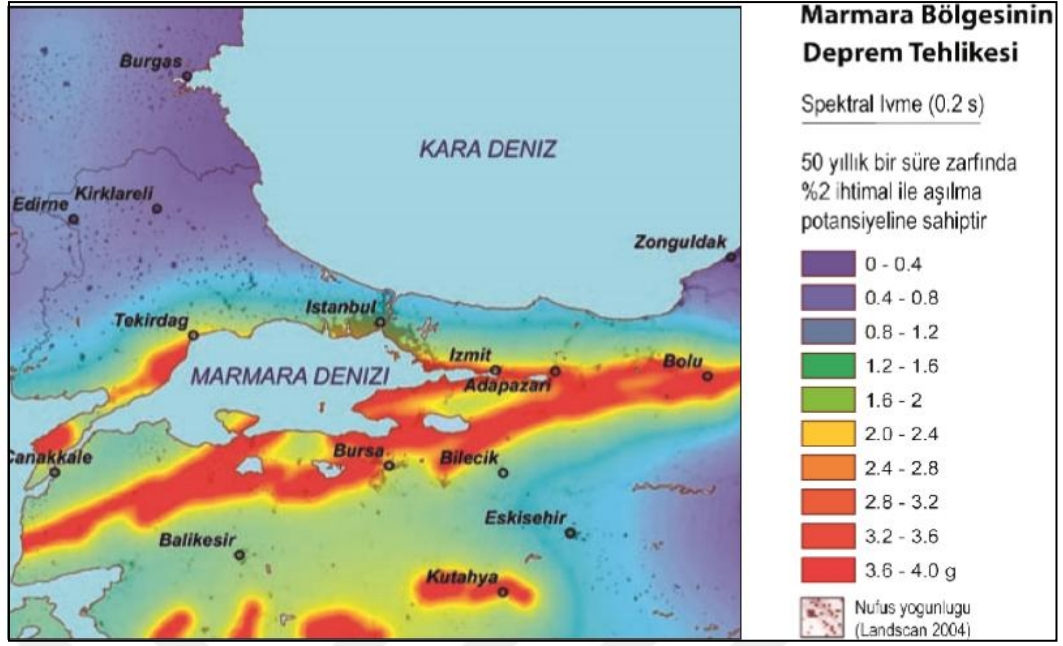
Şekil 6.1’ de aynı boyutlarda farklı zemin yapıları üzerinde yer alan bina modelinin deprem etkisinde binalar üzerinde bıraktığı hasarlar gösterilmiştir. Burada, zayıf zeminde yer alan binanın kaya ortamında bulunan binaya oranla daha çok hasar aldığı temsili olarak gösterilmiştir.

Gülkan ve Kalkan [21] tarafından yapılan bir çalışmada gelecekte Marmara Bölgesi’ndeki muhtemel depremlerin yol açacağı yer hareketinin şiddeti ve ona bağlı olarak meydana gelebilecek hasarın tespiti en büyük yer ivmesi şeklinde Şekil 6.2, Şekil 6.3 ve Şekil 6.4’ de ifade edilmektedir.



Şekil 6.2. Marmara bölgesinin en büyük yer ivmesine bağlı deprem tehlikesi [21]

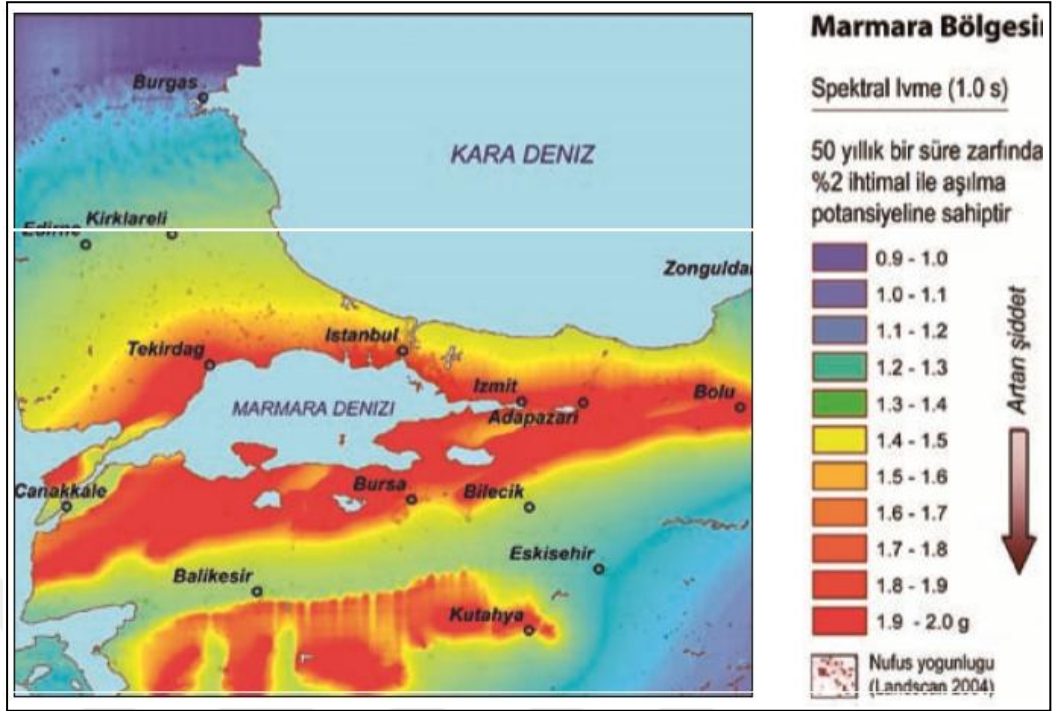
Şekil 6.2’ de renklerle ifade edilen tehlike değerlerinden anlaşılacağı gibi Marmara Bölgesi’nin güney ve doğu kesimlerinde daha yüksek bir tehlike olduğu görülmektedir. Kaya zemin göz önünde bulundurularak hesaplanan en büyük yer ivmesi değeri, Kuzey Anadolu Fay hattı boyunca uzandığı görülmektedir. En büyük yer ivmesi değeri yumuşak zeminlerde meydana gelen sıvılaşma ve toprak kaymasının belirlenmesinde kullanılabileceğini göstermektedir. Ayrıca en tehlikeli bölgeleri yani en şiddetli yer hareketi gösteren kesimler 1901’den günümüze kadar büyüklüğü 4 ve üzeri depremlerin meydana geldiği noktalara denk gelmektedir [28].



Şekil 6.3. Marmara bölgesinin T:0,2s spektral ivme (2-3 katlı yapılar) için deprem tehlikesi [21]

Şekil 6.3' de Marmara bölgesinin T:0,2s spektral ivme (2-3 katlı yapılar) için deprem tehlikesi görülmektedir. Ender depremler sırasındaki yer hareketi 0,2 s periyotta 2,8 g kadar yüksek bir spektral ivme değerine yol açma potansiyeline sahiptir.

Şekil 6.4' de $T = 1$ s için maksimum spektral ivme ise 1,5 g mertebesine ulaşmaktadır. Aktif faya olan uzaklığın fazla olduğu yerlerde(mavi-yeşil bölge) daha düşük seviyelerdeki sarsıntılara daha az sık maruz kalacağı, faya yakın olan bölgelerde (kırmızı-sarı bölge) şiddetli depremlere daha sık maruz kalacağı öngörülmektedir.



Şekil 6.4. Marmara bölgesinin T:1s spektral ivme (7-8 katlı yapılar) için deprem tehlikesi [21]

Bu çalışma, kaba bir tahminle 2-3 katlı betonarme yapılar için $T = 0,2$ s spektral ivme ile alçak yapılardaki hasarı, 8-12 katlı betonarme yapılar için $T = 1$ s spektral ivme orta yükseklikte olan yapılara ait muhtemel hasarın tespitini yansıtmaktadır [21].

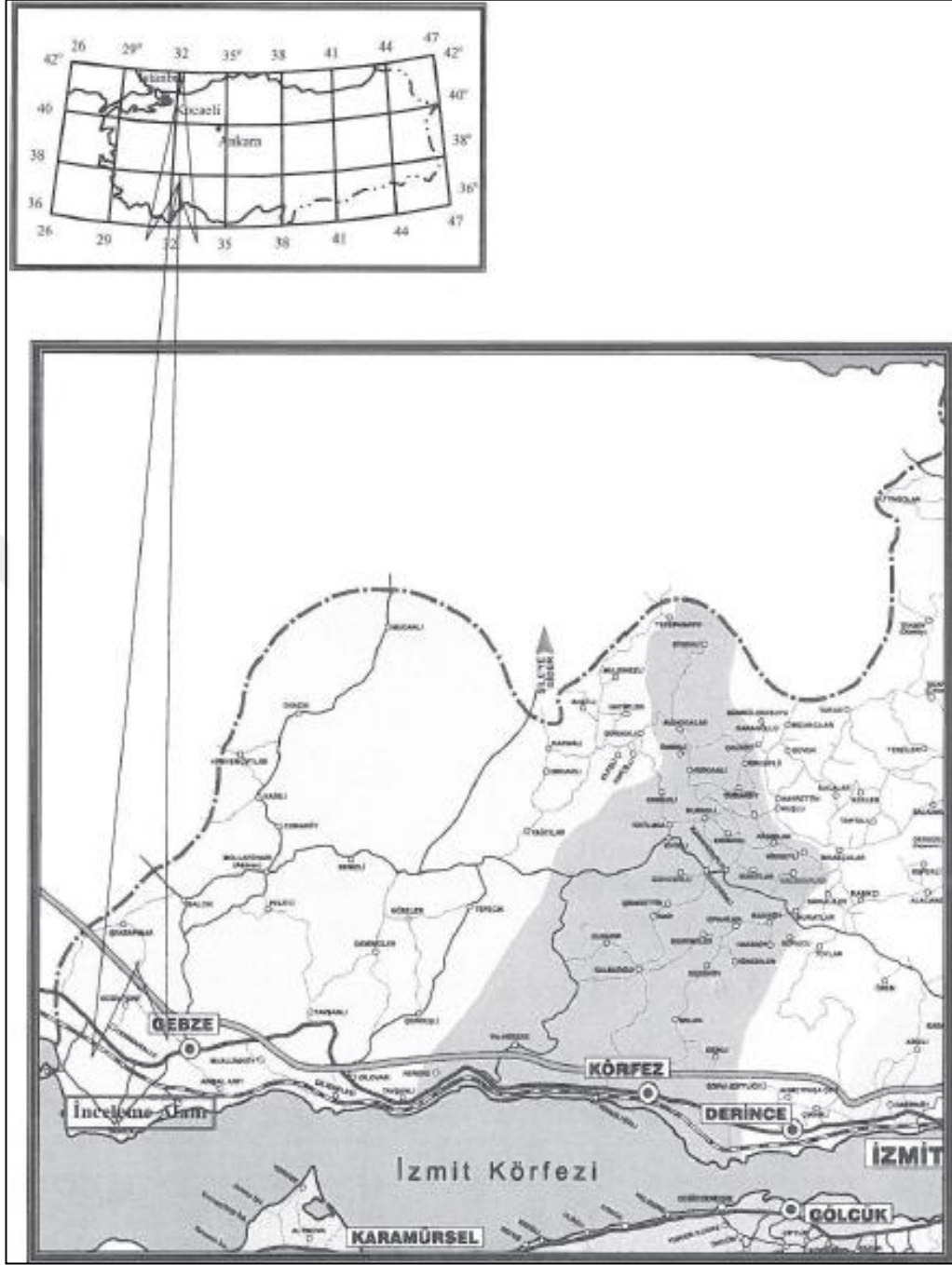
7. ÇALIŞMAYA KONU OLAN ZEMİNE AİT PARAMETRELERİN BELİRLENMESİ

Deprem etkisiyle oluşan deprem dalgalarının süre, genlik ve frekans içeriği gibi önemli özellikleri, ortamın zemin koşullarına göre farklı etkiler şeklinde görülmektedir. Bu etkiler, inceleme alanının litolojik özellikleri ve topoğrafyasına bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle bir deprem etkisinde yapılarda oluşabilecek hasarları öngörebilmek için yapılan geoteknik ve jeofizik çalışmalarda zemin tabakalarının etkisinin belirlenmesi en önemli adımı olarak kabul edilmektedir. Zemin tabakalarının etkisi zemin tabakalarının cinsine, kalınlıklarına ve yeraltı su seviyesine bağlı olarak değişir. İlk adım olarak inceleme alanı içindeki yapılmış jeofizik çalışmaları, sondaj bulguları ve sondajlardan alınmış numuneler üzerinde yapılmış deneylerden bulunan sonuçları birlikte değerlendirilerek zemine ait mühendislik parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, ABM Mühendislik firması ile birlikte Kocaeli ili, Gebze ilçesinin farklı bölgelerinde yapmış olduğumuz geoteknik ve jeofizik çalışmalar ile hazırlanan zemin etüd raporlarındaki mühendislik parametreleri kullanılarak zeminin bina yüksekliğine olan etkisinin irdelenmesi hedeflenmiştir. Çalışma alanına ait yer bulduru haritası Şekil 7.1' de verilmiştir.

İnceleme alanında ayrıntılı Geoteknik (temel araştırma sondaj çalışmaları ve laboratuvar deneyleri) ve Jeofizik çalışmalar (sismik kırılma, düşey elektrik sondaj) yapılmıştır. Elde edilen veriler yardımıyla çalışma alanında temelin kazılacağı örtü tabakasının, doğal şartlar altında dinamik yöntemle tespit edilebilen fiziksel ve elastik parametrelerine ulaşılmıştır.

Bu kapsamda, kaya ve alüvyon ortamı temsil eden, 4 farklı zemin etüd raporuna ait veriler, çalışma 1 için bina model analizlerinde kullanılacak olan zemin parametrelerini belirtmektedir.



Şekil 7.1. İnceleme alanının yer bulduru haritası [1]

7.1. Zemin Model Parametreleri

Çalışma 1’ de kullanılacak olan 4 farklı zemin etüd raporundan alınmış zemin parametreleri Model 1, Model 2, Model 3 ve Model 4 olarak tanımlanmıştır.

- Model 1

Zemin emniyet gerilmesi (q)	: 2,1 kg/ cm ²
Zemin hakim titreşim periyodu (T ₀)	: 0,38 sn
Zemin yatak katsayısı (K)	: 4325 ton/m ³
Deprem Bölgesi	: 1.Derece
Zemin grubu	: B grubu
Zemin sınıfı	: Z2
Bina önem katsayısı (I)	: 1,0
Etkin yer ivme katsayısı	: A ₀ ≥ 4,0 g
Spektrum karakteristik periyotları	: T _A :0,15 T _B :0,40 sn
Birimi	: Killi Kireçtaşı

- Model 2

Zemin emniyet gerilmesi (q)	: 1,25 kg/ cm ²
Zemin hakim titreşim periyodu (T ₀)	: 0,58 sn
Zemin yatak katsayısı (K)	: 1856 ton/m ³
Deprem Bölgesi	: 1.Derece
Zemin grubu	: C grubu
Zemin sınıfı	: Z3
Bina önem katsayısı (I)	: 1,0
Etkin yer ivme katsayısı	: A ₀ ≥ 4,0 g
Spektrum karakteristik periyotları	: T _A :0,15 T _B :0,60 sn
Birimi	: Çakıl- Kum Dolgu

- Model 3

Zemin emniyet gerilmesi (q)	: 2,20 kg/ cm ²
Zemin hakim titreşim periyodu (T ₀)	: 0,37 sn
Zemin yatak katsayısı (K)	: 3460 ton/m ³
Deprem Bölgesi	: 1.Derece
Zemin grubu	: B grubu
Zemin sınıfı	: Z2
Bina önem katsayısı (I)	: 1,0
Etkin yer ivme katsayısı	: A ₀ ≥ 4,0 g
Spektrum karakteristik periyotları	: T _A :0,15 T _B :0,60 sn

Birimi : Killi Kireçtaşı

• Model 4

Zemin emniyet gerilmesi (q) : 1,25 kg/ cm²

Zemin hakim titreşim periyodu (T₀) : 0,57 sn

Zemin yatak katsayısı (K) : 2172 ton/m³

Deprem Bölgesi : 1.Derece

Zemin grubu : C grubu

Zemin sınıfı : Z3

Bina önem katsayısı (I) : 1,0

Etkin yer ivme katsayısı : A₀ ≥ 4,0 g

Spektrum karakteristik periyotları : T_A:0,15 T_B:0,60 sn

Birimi : Kil

8. YAPILARIN MODELLENMESİ VE YAPISAL ÇÖZÜMLEMESİ

Bilindiği gibi depreme dayanıklı yapı tasarımındaki amaç deprem etkisinde bir yapıda oluşabilecek hasarı en aza indirmektir. Bu sürecin adımları şu şekilde sıralanabilir;

- ❖ Zemin parametrelerinin belirlenmesi
- ❖ DBYBHY (2007)' e göre bina modellenmesi

Bu tez çalışmasında binanın modellenmesinde Sonlu Elemanlar Yöntemi kullanılmıştır. Yapısal çözümler ise Sta4CAD V13.1 paket programı ile gerçekleştirilmiştir. Mevcut yönetmeliğe uygun olarak tasarlanmış betonarme bir proje, Sta4CAD yapısal analiz programında farklı zemin türleri için yeniden modellenmiştir.

Çalışmamızda 2 farklı kalıp planı kullanılarak, saha çalışmasından elde edilen kaya ve alüvyon ortamlardaki 4 farklı zemin modeli ve DBYBHY' de tanımlanan 4 yerel zemin sınıfı dikkate alınarak 2 farklı analiz çalışması yapılmıştır.

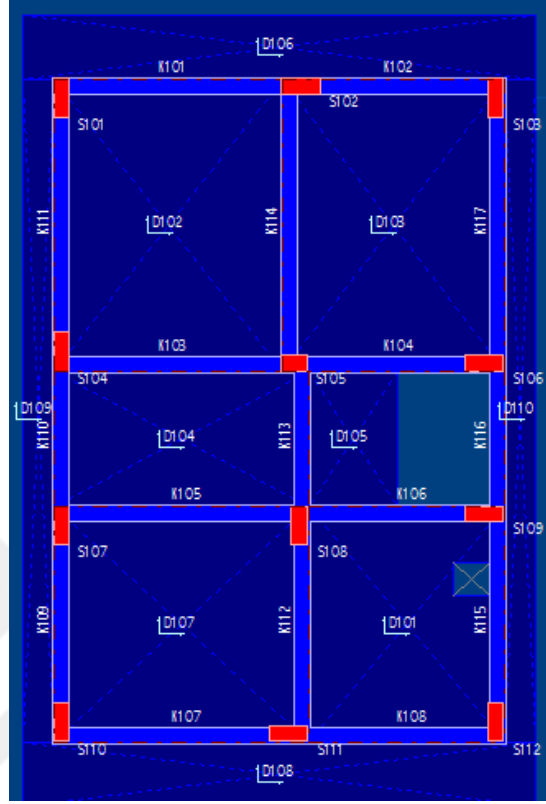
Çalışma 1, Bölüm 8' de belirtilen 4 zemin modeli için 1 kat, 5 kat ve 10 katlı bina modelleri için 12 adet model geometrisi oluşturulmuş ve Sta4CAD paket programı ile analiz edilmiştir.

Çalışma 2, Şekil 8.2' de kalıp planı verilen bina, 6 katlı olarak modellenmiş ve modelin farklı zemin grupları için yapısal çözümleri Sta4CAD paket programı ile gerçekleştirilmiştir. 6 katlı yapı modeli Z1, Z2, Z3 ve Z4 yerel zemin sınıfları için 4 adet model geometrisi oluşturulmuş ve analiz edilmiştir.

8.1. Proje Genel Bilgileri

Çalışma 1' de kullanılacak olan deprem yönetmeliğine uygun olarak tasarlanmış betonarme projenin kalıp planı Şekil 8.1' de verilmiştir. Bina modeli 1,5 ve 10 katlı olarak tasarlanmış ve Bölüm 7.1' de zemin model parametreleri verilen 4

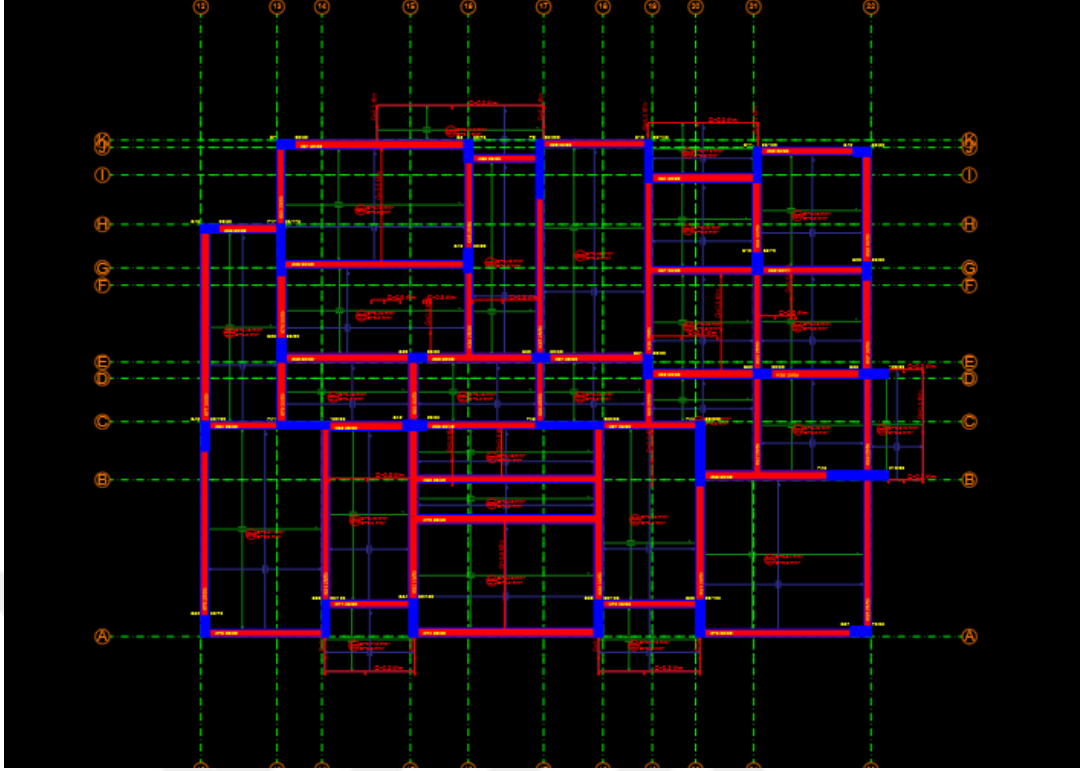
zemin türüne bağlı olarak analizleri gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.



Şekil 8.1. Çalışma 1 için Model bina kalıp planı (1,5 ve 10 katlı bina geometrisi)

Model analizi için gerekli olan parametreler, Bölüm 7’ de verilen Model 1, Model 2, Model 3 ve Model 4 de verilen parametrelerden oluşmaktadır. Bu parametreler, Şekil 8.3’ de verilen yapı genel bilgileri penceresinde 4 farklı model olarak tanımlanmış ve 12 adet model analizi yapılmıştır.

Çalışma 2’ de kullanılacak olan deprem yönetmeliğine uygun olarak tasarlanmış betonarme projenin kalıp planı Şekil 8.2’ de verilmiştir. Bina, 6 katlı olarak modellenmiş ve DBYBHY’ de tanımlanan yerel zemin sınıfları için analiz edilerek analiz sonuç parametreleri incelenmiştir.



Şekil 8.2. Çalışma 2 için model bina kalıp planı (6 katlı bina geometrisi)

YAPI GENEL BİLGİLERİ	
Yapı Proje İsmi	SedaTez
Kat Sayısı	1
Deprem Bölge Katsayısı	0.4
Deprem Yapı Davranış Katsayısı	8
Deprem Yapı Önem Katsayısı	1
Spektrum Karakteristik Periyodu	.15 / .4
Hareketli Yük Katsayısı	0.3
Deprem Yüğü Alt Yüksekliği	0
Zemin Yatak Katsayısı Ko	4325
Zemin Emniyet Gerilmesi	210
Hareketli Yük Azaltma Katsayısı	1
Deprem Yüğü Eksantirisitesi	0.05
Modal Analiz Min. Yük Oranı	0.8
Üst Kat no (TDY için)	1
Aplikasyon Kot Farkı	0
Zemin gerilmesi deprem artırım	0.5

UserKey

PERFORMANS ANALİZ OPSİYONU

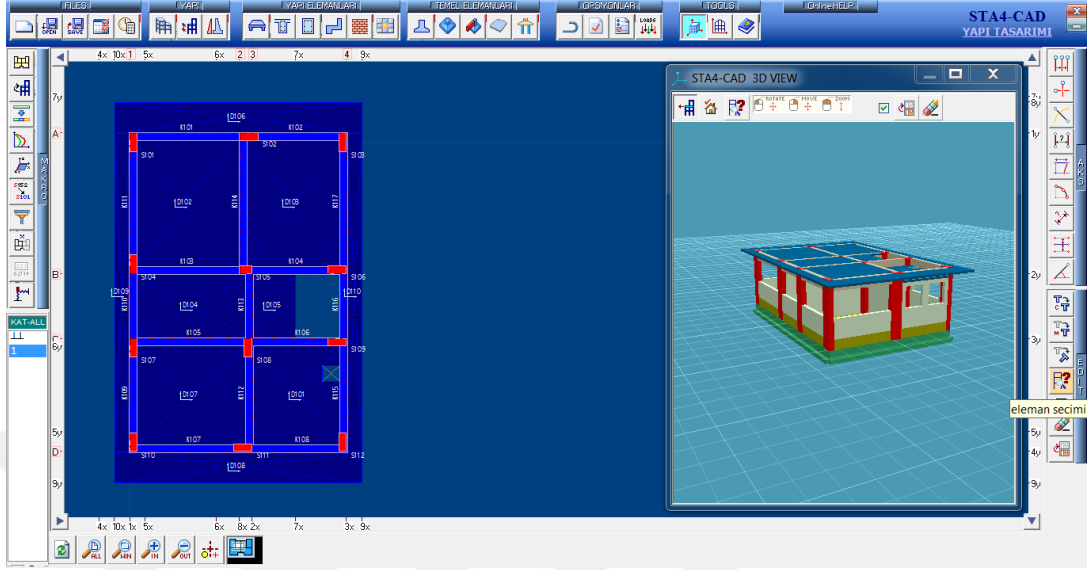
YENİ YAPI PROJESİ DEPREM STANDARDI: TDY2007 DIZAYN STANDARDI: TS500t

Şekil 8.3. Yapı genel bilgileri penceresi

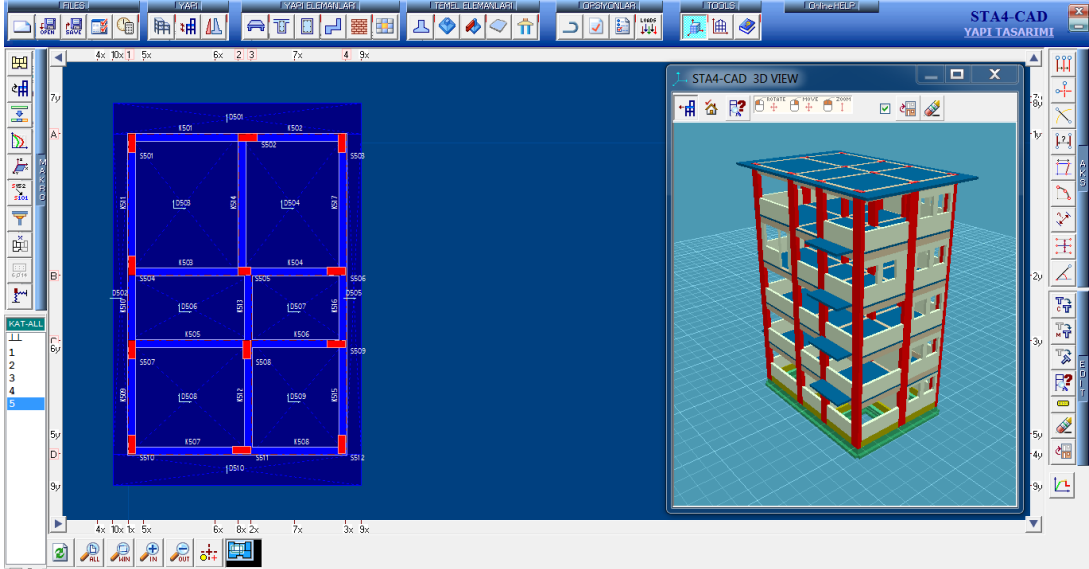
8.2. Üç Boyutlu Bina Modelleri

Yapı genel bilgileri penceresinde 4 farklı zemine ait parametrelerin girilerek 1 katlı bina modelinde kat kopyalamaları yapılarak 5 katlı ve 10 katlı modelleri tasarlanmıştır

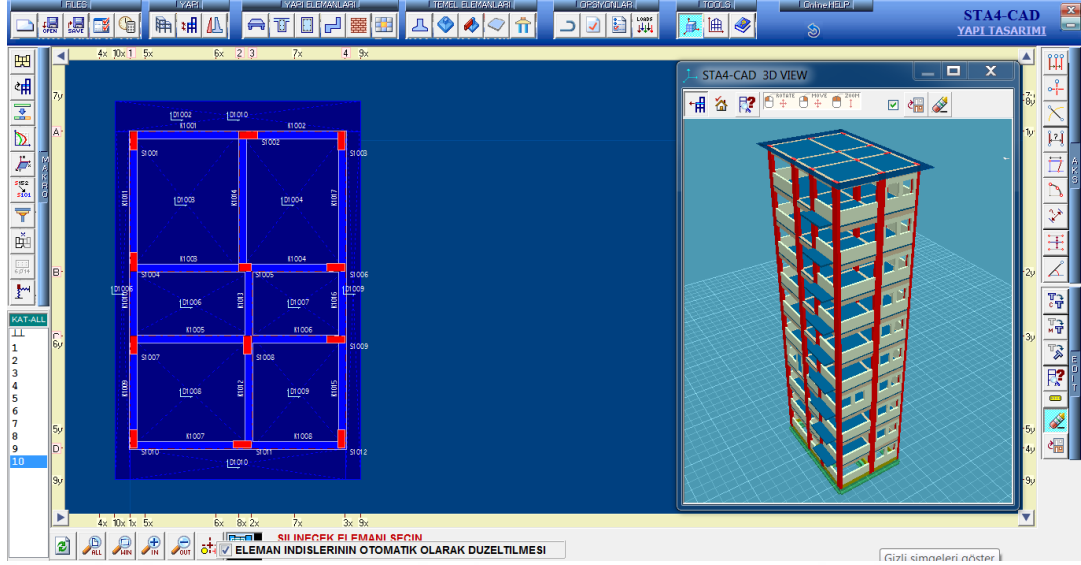
ve çalışmamızın modelleri analize hazır hale getirilmiştir (Şekil 8.4, Şekil 8.5, Şekil 8.6).



Şekil 8.4. 1 katlı bina modeli



Şekil 8.5. 5 katlı bina modeli



Şekil 8.6. 10 katlı bina modeli

8.3. Model Analizleri ve Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

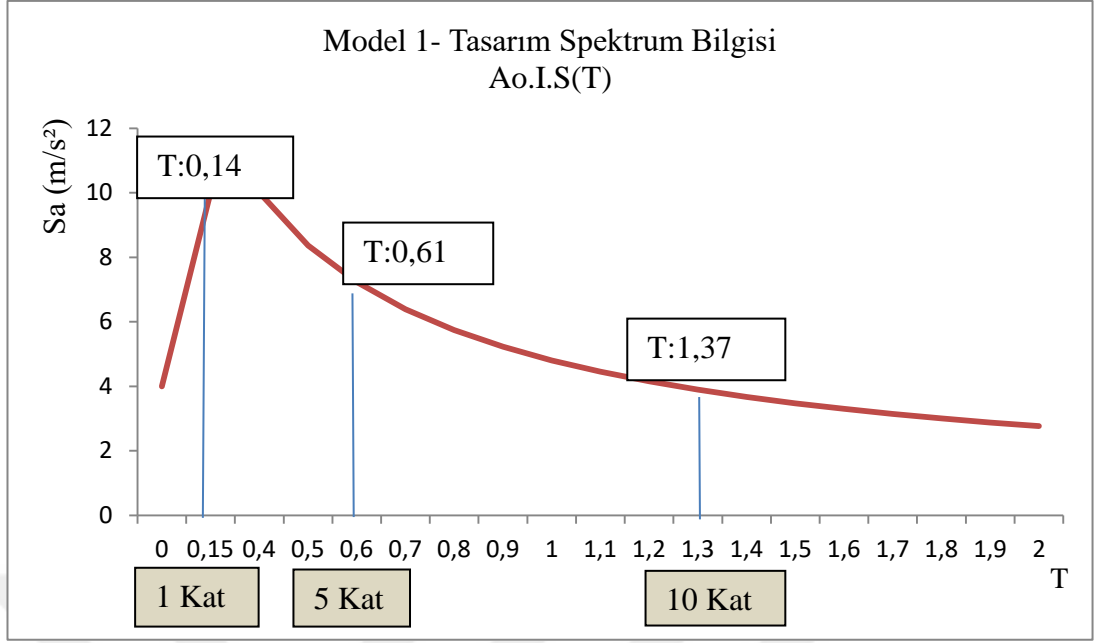
Çalışma 1; 4 farklı zemin türünün 1, 5 ve 10 katlı binalar üzerindeki davranışını irdelemek üzere 12 adet model analizi yapılmıştır. Yapı analizi sonucu elde edilen bina doğal periyotları zemin hakim periyot değerleri ile karşılaştırılarak Tablo 8.1’ de verilmiştir.

Tablo 8.1. Zemin modellerine ait zemin hakim periyotlar ile bina doğal periyotlarının karşılaştırması

	Zemin Hakim Titreşim Periyodu (sn)	1 Katlı Bina Doğal Periyodu (sn)	5 Katlı Bina Doğal Periyodu (sn)	10 Katlı Bina Doğal Periyodu (sn)
Model 1	0,38	0,14	0,61	1,37
Model 2	0,58	0,15	0,73	1,71
Model 3	0,37	0,14	0,64	1,44
Model 4	0,57	0,15	0,7	1,63

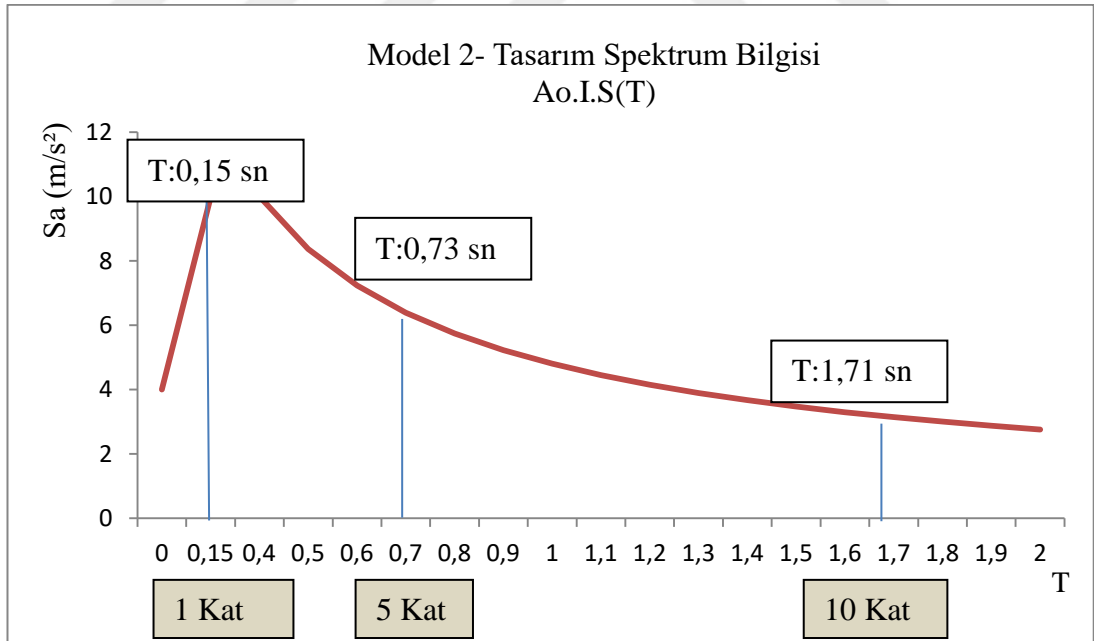
Yapı analizi sonucu elde edilen bina doğal periyotlarının zemin türüne ve bina kat yüksekliğine bağlı değişimleri grafiksel olarak ele alınmıştır.

Model 1 için, 0,38 sn hakim titreşim periyoduna sahip zemin modelinin bina yüksekliğine bağlı değişimi Şekil 8.7’ de verilmiştir.



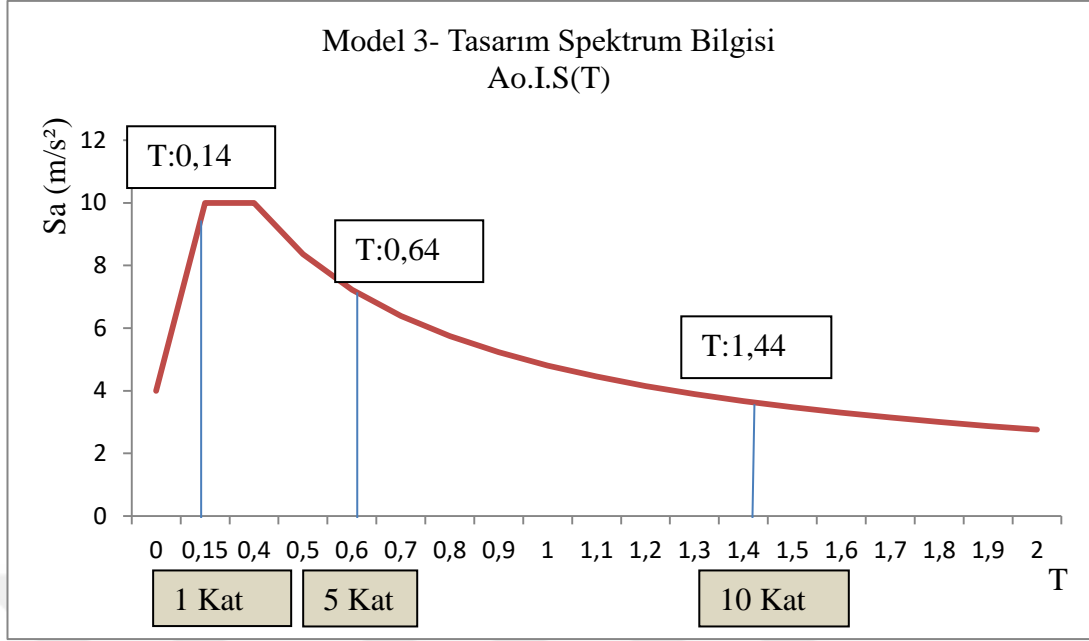
Şekil 8.7. Model 1 için 1,5 ve 10 katlı binalardaki tasarım spektrum grafiği

Model 2 için, 0,58 sn hakim titreşim periyoduna sahip zemin modelinin bina yüksekliğine bağlı değişimi Şekil 8.8' de verilmiştir.



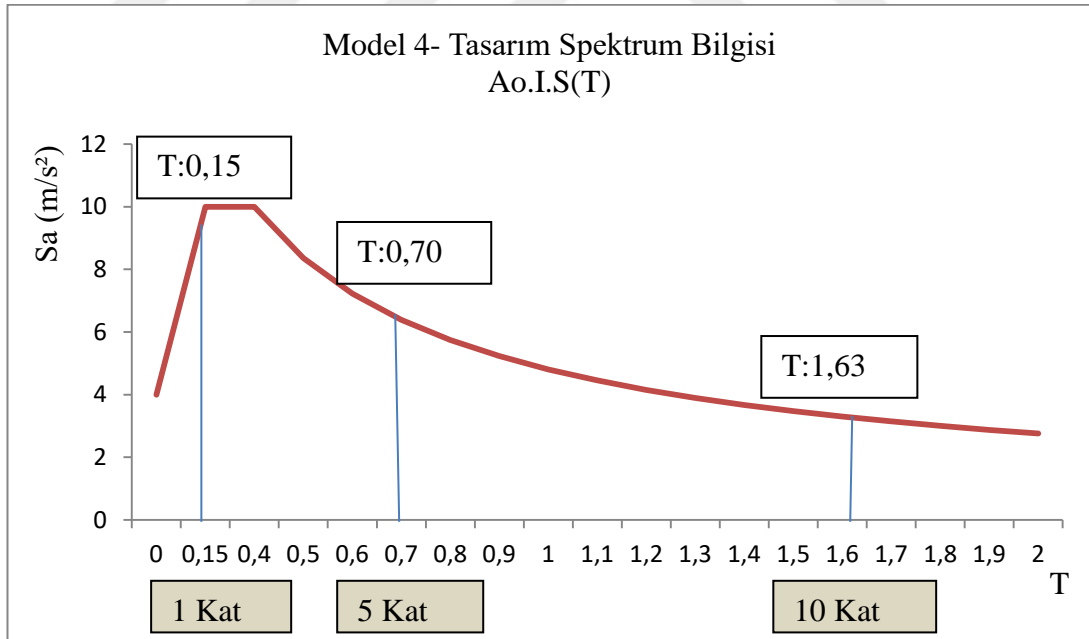
Şekil 8.8. Model 2 için 1,5 ve 10 katlı binalardaki tasarım spektrum grafiği

Model 3 için, 0,37 sn hakim titreşim periyoduna sahip zemin modelinin bina yüksekliğine bağlı değişimi Şekil 8.9' da verilmiştir.



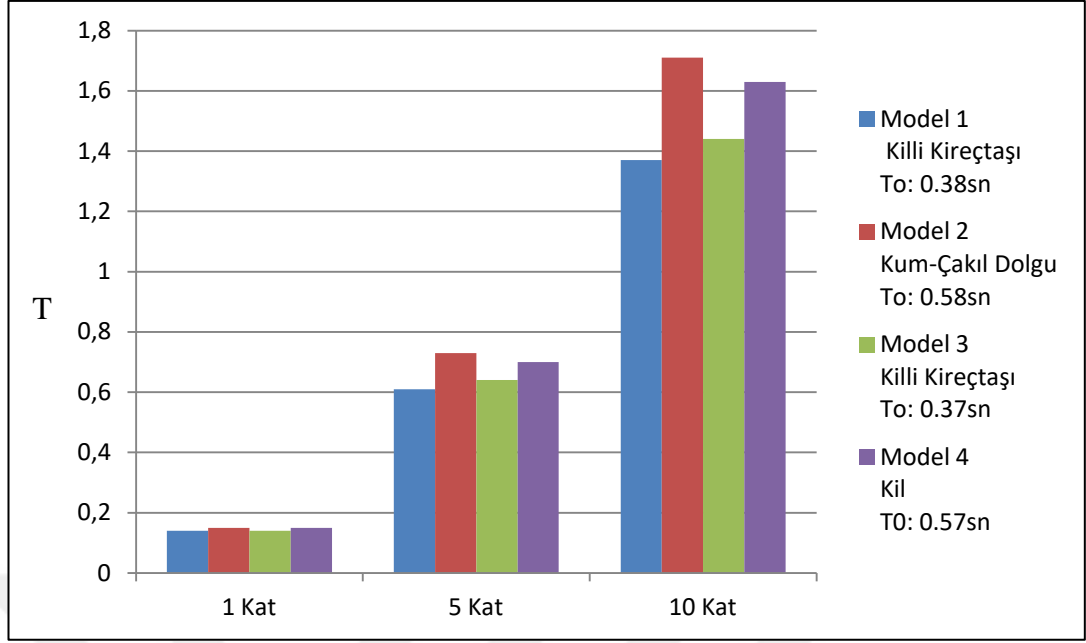
Şekil 8.9. Model 3 için 1,5 ve 10 katlı binalardaki tasarım spektrum grafiği

Model 4 için, 0,57 sn hakim titreşim periyoduna sahip zemin modelinin bina yüksekliğine bağlı değişimi Şekil 8.10' da verilmiştir.



Şekil 8.10. Model 4 için 1,5 ve 10 katlı binalardaki tasarım spektrum grafiği

Zemin hakim periyotları ile bina doğal periyotları karşılaştırmalı grafiksel gösterimi ile zemin türünün farklı yükseklikteki binalar üzerindeki etkisi irdelenmiştir (Şekil 8.11).



Şekil 8.11. Zemin modellerinin bina kat yüksekliğine bağlı değişen bina doğal periyot değerlerinin karşılaştırılması

4 farklı zemin modeli için, bina yüksekliğine bağlı yapılan statik analizlerde, bina doğal periyotları karşılaştırıldığında, zemin hakim titreşim periyodunun yüksek olduğu zemin modellerinin düşük hakim periyotlu zeminlere göre artmakta ve kat yüksekliği arttıkça bu oranın daha da yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir.

Çalışma 2; Şekil 8.2' de kalıp planı verilen binanın 6 katlı modeli oluşturulmuş ve yerel zemin sınıfları Z1, Z2, Z3 ve Z4 için 4 farklı yapısal çözümleme yapılmıştır. Analizlerden elde edilen bina spektrum katsayıları ile spektrum eğrileri oluşturulmuş ve yerel zemin sınıfına bağlı spektrum katsayıları ilişkisi irdelenmiştir.

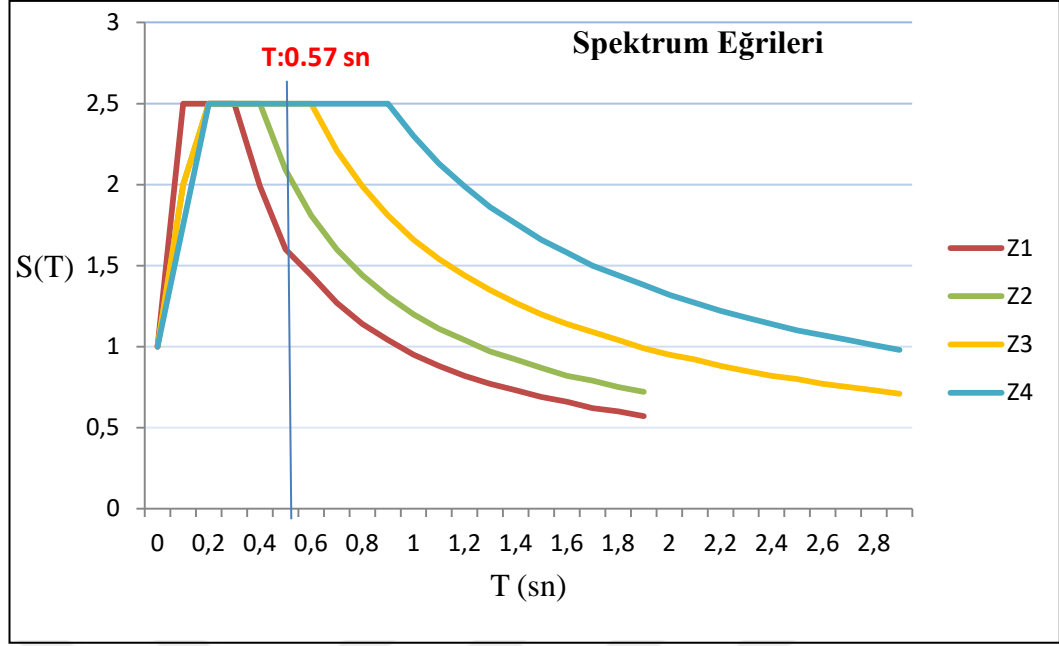
6 katlı bina modelinin 4 farklı analizi sonucu elde edilen spektrum katsayıları karşılaştırmalı olarak Tablo 8.2' de verilmiştir.

Tablo 8.2. 6 katlı bina modeli için yerel zemin sınıflarına bağlı spektrum katsayıları

T(sn)	S(T) Z1	S(T) Z2	S(T) Z3	S(T) Z4
0	1	1	1	1
0,1	T _A : 2,5	2	2	1,75
0,2	2,5	T _A : 2,5	T _A : 2,5	T _A : 2,5
0,3	T _B : 2,5	2,5	2,5	2,5
0,4	1,99	T _B : 2,5	2,5	2,5
0,5	1,60	2,09	2,5	2,5
0,6	1,44	1,81	T _B : 2,5	2,5
0,7	1,27	1,6	2,21	2,5
0,8	1,14	1,44	1,99	2,5
0,9	1,04	1,31	1,81	T _B : 2,5
1	0,95	1,2	1,66	2,3
1,1	0,88	1,11	1,54	2,13
1,2	0,82	1,04	1,44	1,99
1,3	0,77	0,97	1,35	1,86
1,4	0,73	0,92	1,27	1,76
1,5	0,69	0,87	1,2	1,66
1,6	0,66	0,82	1,14	1,58
1,7	0,62	0,79	1,09	1,5
1,8	0,60	0,75	1,04	1,44
1,9	0,57	0,72	0,99	1,38

Yapısal analizi Sta4CAD programında yapılan modelin 4 farklı zemin sınıfı tanımlanarak oluşturulan tasarım spektrum katsayıları değerlerinin belli aralıklarda maksimum olduğu görülmektedir. Bu durum bina periyodunun T_A- T_B zemin periyotları aralığına denk geldiğinden dolayı spektrum katsayısı S(T)' nin 2,5 olarak hesaba katılacağını göstermektedir.

Model analizi sonucu spektrum katsayılarından elde edilen spektrum eğrilerinin 4 yerel zemin sınıfına göre değişimini gösteren grafik Şekil 8.12' de verilmiştir.



Şekil 8.12. Yerel zemin sınıfına bağlı spektrum katsayıları ilişkisi

6 katlı bina modelinin DBYBHY de tanımlanan Z1, Z2, Z3 ve Z4 yemin sınıflarına bağlı yapılan analizlerde, binanın doğal periyodu $T:0,57$ sn elde edilmiştir. Bina spektrum katsayıları karşılaştırıldığında, bina periyodunun Tablo 5.3' de verilen Spektrum Karakteristik Periyotları (T_A , T_B) arasında kaldığı Z3 ve Z4 sınıflarında spektrum katsayısının maksimum değerde olduğu görülmektedir.

DBYBHY' de tanımlanan binaya etkiyen deprem yükü (taban kesme kuvveti);

$$V_t = \frac{W \cdot A(T)}{R_a(T)} \quad (8.1)$$

Burada, V_t , eşdeğer deprem yükü, R_a , taşıyıcı sistem davranış katsayısı, w , yapı toplam ağırlık, $A(T)$ spektral ivme katsayısı olarak tanımlanmıştır.

Denklem (5.1)' de verilen spektral ivme katsayısı, $A(T) = A_0 \cdot I \cdot S(T)$ olarak ifade edildiğine göre, bina önem katsayısı, etkin yer ivme katsayısı ve spektrum katsayısının artması ile deprem yükünün maksimum olduğunu ortaya koymaktadır. Analiz sonucu deprem raporundan elde edilen binaya etkiyen deprem yükleri değerleri Tablo 8.3' de verilmiştir.

Tablo 8.3. Yerel zemin sınıfına bağlı eşdeğer deprem yükleri

	Birim	Z1	Z2	Z3	Z4
X yönünde uygulanan eşdeğer deprem yükü	tf	221,45	278,75	369,41	369,41
Y yönünde uygulanan eşdeğer deprem yükü	tf	225,71	284,12	369,41	369,41

Tablo 8.3' e göre maksimum spektrum katsayısı değerinin alındığı Z3 ve Z4 sınıflarında binaya etkiyen deprem yükünün büyük oranda arttığı gözlenmektedir.

9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Önemli bir deprem kuşağında bulunan Türkiye' nin alan olarak %92' si, nüfus olarak %95' i aktif deprem kuşağı üzerinde bulunmaktadır. Büyük bir toprak kısmı bu kuşak üzerinde bulunan ülkemizde, oldukça sık depremler olmakta ve her depremde büyük can ve mal kaybı yaşanmaktadır. Özellikle 17 Ağustos 1999 Gölcük ve 12 Kasım 1999 Düzce Depremleri, meydana getirdiği yıkım, can ve mal kaybı, bina üzerindeki farklı hasar tipleri, deprem gerçeğinin unutulmaması gerektiğini bir kez hatırlatmış ve bu yıkım ve hasarı ancak depreme dayanıklı yapılar tasarlayarak en aza indirilebileceği gerçeğini öğretmiştir.

Yapıların güvenli ve ekonomik olarak optimum kriterlerde tasarlanması için uygulama alanının zemin mühendislik parametreleri belirlenmeli ve DBYBHY 2007' e göre yapı modellemesi yapılmalıdır. Bu tez çalışmasında optimum kriterlerin sağlanmasında zemin parametrelerinin önemi farklı yükseklikteki binalar üzerindeki etkisi ele alınarak anlatılmıştır. Kaya ve alüvyon ortamlardaki zemin türlerinin farklı yükseklikteki binalar üzerindeki etkisi 16 model analizi yapılarak sonuçları karşılaştırılmıştır.

Çalışma 1' de 4 farklı zemin türü için 3 farklı yükseklikte bina Sta4CAD programı ile modellenmiş ve oluşturulan 12 adet modelin analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Analizlerde dolgu kil ve kaya ortamda bina kat yüksekliği değiştirilerek 1 kat, 5 kat ve 10 katlı bina için yapı analizleri yapılarak şu sonuçlara ulaşılmıştır;

- Aynı zemin koşullarının etkisinde farklı yükseklikteki binalar için bina yüksekliğinin artması ile tasarım ivme spektrumunun büyük ölçüde arttığı gözlenmektedir. Alüvyon ortam modelini temsil eden Model 2 ve Model 4 gibi zemin hakim periyodunun yüksek olduğu zemin modellerinin, kaya ortam modelindeki düşük periyotlu Model 1 ve Model 3 e kıyasla bina doğal periyotlarının %25 oranında daha yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir.
- Yapı tasarımında bina periyodunun T_A - T_B zemin periyotları aralığından mümkün olduğunca uzak olmaları yapıya daha az yatay yük etkilenmesi ve rezonansa girme tehlikesinden uzak olmasını ifade etmektedir. DBYBHY 2007' e göre tasarım

aşamasında yapı periyodunun, zemin spektrum karakteristik periyotları T_A-T_B arasında olması halinde spektrum katsayısı $S(T)$ ' nin en büyük değeri olan 2,5 alınarak hesap yapılmalıdır. Bina tasarım periyodu bu aralıkta ise binanın alacağı deprem yükü en fazladır. Spektrum karakteristik periyotları incelendiğinde bu çalışmada verilen 4 farklı zemin modeli için 5 katın altındaki yapıların maksimum deprem yüküne maruz kalacakları ve daha fazla yapı elemanının hasar göreceğini ortaya koymaktadır.

- Farklı zemin modellerinin bina kat yüksekliğine bağlı değişen bina doğal periyot değerleri karşılaştırıldığında kaya ortam modeli Model 1' de verilen sağlam zemin üzerine oturan yapıların alüvyon ortam modeli Model 2' de verilen yumuşak zemin üzerine oturan yapılara oranla; 1 katlı yapı modellerinde %7, 5 katlı yapı modellerinde %20 ve 10 katlı yapı modellerinde ise %25 oranında arttığı görülmektedir. Model 3' de verilen sağlam zemin üzerine oturan yapılarda Model 4' de verilen yumuşak zemin üzerine oturan yapılara oranla; 1 katlı yapı modellerinde %7, 5 katlı yapı modellerinde %10 ve 10 katlı yapı modellerinde ise %14 oranında arttığı görülmektedir.

Çalışma 2' de 6 katlı bina modeli için DBYBHY' de tanımlanan Z1, Z2, Z3 ve Z4 yerel zemin sınıflarıyla olan ilişkisini irdelemek üzere yapılan analizde bina doğal periyodunun $T:0.57$ sn olarak elde edilmiştir. Modelin zemin sınıfına bağlı değişimini incelemek üzere spektrum katsayı değerleri karşılaştırmalı olarak yorumlanmış ve şu sonuçlara ulaşılmıştır;

- Analizden elde edilen 6 katlı bina modelinin doğal periyodu $T: 0,57$ sn olarak elde edilmiştir. Bina doğal periyodu, DBYBHY' e göre spektrum karakteristik periyotları tablosunda tanımlanan Z3 sınıfı için $T_A:0,15 - T_B:0,60$, Z4 sınıfı için $T_A:0,20 - T_B:0,90$ aralığında olmasından dolayı spektrum katsayısı $S(T)$ ' nin maksimum değeri 2,5 alınarak hesap yapılmaktadır.
- Spektrum değerinin maksimum olduğu Z3 ve Z4 sınıflarında binaya etkileyen eşdeğer deprem yükünün de maksimum olacağı bilinmektedir. Analizden elde edilen deprem yükleri karşılaştırıldığında, 6 katlı bina modelinde Z1 sınıfındaki binaya etkileyen yükün, Z2 sınıfında %25 oranında, Z3 ve Z4 sınıfında %65 oranında arttığı görülmektedir.
- Çalışma 2, bina-hasar ilişkisi yönünden incelendiğinde binaya etkileyen yükün artması ile Z3 ve Z4 sınıfı zeminlerde Z1 ve Z2 sınıfına kıyasla hasar görme riskinin

daha fazla olduğu gör÷lmektedir. Ayrıca bina doğal periyodunun Z3 ve Z4 sınıfı için T_A-T_B aralığında bulunmasından dolayı yapı modelinin rezonans etkisi sebebiyle ağır hasarlar görebileceği öngörülmektedir.

- Yerel zemin sınıfına göre zemin sınıfının artması ile binaya etkiyen yatay yükler, kesitler ve donatı miktarı artmaktadır. Bu durum, deprem etkisindeki modelin daha fazla yapı elemanında hasar alma durumunu ortaya koymaktadır.
- Depreme dayanıklı yapı tasarımında, yapının deprem etkisinde oluşan az deprem yüküne maruz kalması ve ortaya çıkacak hasarın sınırlandırılması hedeflenmektedir. Yapıya etkiyen yükün az ya da fazla olması tamamen tasarımda belirlenebilen bir hesap gerektirdiği ve her zemin ve bina periyoduna göre tasarım yapılabildiği gör÷lmektedir. Zemin karakteristik periyodu sınırlarının dışında olması beklenen bina modelleri için rijitlik azaltılarak uzun periyotlu yapılar tasarlanmalı ya da rijitlik artırılarak kısa periyotlu yapılar tasarlanmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] Tıg M. Z., Zemin ve Temel Etüd Raporu, *ABM Jeo Araştırma Bilgi Merkezi*, Kocaeli, 03-14815, 50-75, 2016.
- [2] Aki K., Local Site Effects on Strong Ground Motion, *Earthquake Engineering Structural Dynamics II, Proc. of the Speciality Conference*, Utah, USA, 27-30 June 1970.
- [3] Altundal A., Depreme Dayanıklı Betonarme Yapı Tasarımı, <http://slideplayer.biz.tr/slide/10770552>, (Ziyaret tarihi: 10 Eylül 2016).
- [4] Ansal A. M. and Erken A., Undrained Behavior of Clay Under Cyclic Shear Stresses, *Journal of the Geotechnical Engineering*, 1989, **115**(7), 968-983.
- [5] Ansal A. M., Effect of Geotechnical Factors and Behaviour of Soil Layers During Earthquakes, Editor: Duma G., *Proceedings of the 10 th European Conference on Earthquake Engineering*, 4th ed., Balkema Publishers, Rotterdam, 151-157, 1994.
- [6] Ansal A. M., Lav A. M., Geotechnical Factors in 1992 Erzincan Earthquake, *5th Conference on Seismic Zonation*, Nice, France, 17-19 October 1995.
- [7] Ansal A. M., Iyisan R., Ozkan, M., A Preliminary Microzonation Study for the Town of Dinar, Editor: Seco P., *Seismic Behaviour of Ground and Geotechnical Structures*, 4th ed., Taylor& Francis Publisher, Rotterdam, 1997.
- [8] Ansal A. M., Zeminlerin Tekrarlı Gerilmeler Altında Davranışları ve Depremlerde Yerel Zemin Koşullarının Etkisi, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Yedinci Ulusal Kongresi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 22-23 Ekim 1998.
- [9] Ansal A. M., Strong Motions and Site Amplification, Editor: Seco P., *Proceeding of the 2nd International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering*, 3rd ed., Balkema Publishers, Portugal, 879-894, 1999.
- [10] Bard P. Y., Bouchon M., The Two-Dimensional Resonance of Sediment-Filled Valleys, *Bulletin of Seismological Society of America*, 1985, **75**(2), 519-541.
- [11] Beliceli A., Eskişehir Yerleşim Yeri Zeminin Büyütme Etkisinin Makaslama Dalga Hızına (Vs) Bağlı Olarak Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 2006, 177940.
- [12] Bol E., Adapazarı Zeminlerinin Geoteknik Özellikleri, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adapazarı, 2003, 136447.

- [13] Daloğlu A. T., Vallabhan C. V. G., Values of k for Slab on Winkler Foundation, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 2000, **126**(5), 463-471.
- [14] TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, *Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007*, 3. Baskı, Mattek Matbaacılık, Ankara, 2007.
- [15] Dirik K., Aktif Tektonik 1 Giriş, <http://docplayer.biz.tr/10488742-Aktif-tektonik-1-giris.html>, (Ziyaret tarihi: 18 Nisan 2016).
- [16] Durville, J. L., Meneroud J. P., Mouroux P. and Simon J. M., Evaluation de l'alea siemique local Microzonage, Editor: Victor Davidovici, *Genie Parasismique*, 1st ed., Presses des Ponts- et- Chaussees Publisher, France, 239-264, 1985.
- [17] Özçep F., Aşçı M., Alpaslan N., Yas T., Gündoğdu D., Statik ve Dinamik (Deprem) Etkiler Altında Zemin Davranışı, *Deprem Sempozyumu Kocaeli 2005*, Kocaeli, Türkiye, 23-25 Mart 2005.
- [18] Field E. H., SCEC Phase III Working Group, Accounting for Site Effects in Probabilistic Seismic Hazard Analyses of Southern California: Overview of the Scec Phase III Report, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 2000, **90**(6B), 1-31.
- [19] Gao S., Liu H., Davis P. M., Knopoff L., Localized Amplification of Seismic Waves and Correlation with Damage Due to The Northridge Earthquake: Evidence for Focusing in Santa Monica, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 1996, **86**(1), 209-230.
- [20] Graves R. W., Pitarka A. and Somerville P. G., Ground Motion Amplification in The Santa Monica Area: Effects of Shallow Basin Edge Structure, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 1998, **88**(5), 1224-1242.
- [21] Gülkan P., Kalkan E., İhtimaller Hesabına Dayalı İstanbul ve Çevresindeki Deprem Tehlikesi, *Bilim ve Teknik Dergisi*, 2010, **43**(513), 30-35.
- [22] Güney D., Depreme dayanıklı yapı tasarımı, <http://docplayer.biz.tr/10326076-Depreme-dayanikli-yapi-tasarimi.html>, (Ziyaret tarihi: 1 Kasım 2016).
- [23] Haşal M. E., İyisan R., Yerel Zemin Koşullarının Zemin Büyütmesine Etkisi: Bir ve İki Boyutlu Analiz, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 10. Ulusal Kongresi*, İstanbul, Türkiye, 16-17 Eylül 2004.
- [24] İyisan R. ve Haşal M. E., Farklı Deprem Hareketinin Ve Yerel Zemin Sınıfının Dinamik Davranışa Etkisi, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 11. Ulusal Kongresi*, Trabzon, Türkiye, 7-8 Eylül 2006.
- [25] Karabörk T., Doğuş S., Zemin Özelliklerinin Çok Katlı Yapıların Dinamik Davranışı Üzerine Etkileri, *Deprem Sempozyumu Kocaeli 2005*, Kocaeli, Türkiye, 23-25 Mart 2005.

- [26] Keçeli A., Cevher M., Zemin Hakim Periyodu ve Bina Yüksekliği Rezonans İlişkisi, *Jeofizik Dergisi*, 2015, **17**(1-2), 59-67.
- [27] Köseoğlu S., *Temeller Statiği ve Konstrüksiyonu 1 Temel Bilgiler*, 3. Basım, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul, 1987.
- [28] Kramer S. L., *Geotechnical Earthquake Engineering*, 4th ed., Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 1996.
- [29] Kurtuluş C., Bozkurt A., *Jeofizik Yöntemlerle Yer ve Yapı İncelemeleri*, 1. Basım, Kocaeli Üniversitesi Yayınları, İzmit, 2007.
- [30] Kutanis M., Elmas M., Yerel Zemin Şartlarının Tasarım Yer Hareketi Üzerinde Etkileri, *Deprem Sempozyumu Kocaeli 2005*, Kocaeli, Türkiye, 23-25 Mart 2005.
- [31] Liu H. L. and Heaton T. H., Array Analysis of The Ground Velocities and Accelerations From The 1971 San Fernando, California Earthquake, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 1984, **74**(5), 1951–1968.
- [32] Livaoğlu R., Doğançün A., Deprem Yönetmeliklerinde Verilen Zemin Sınıflarına Göre Yapı Davranışlarının Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi, *ECAS2002 Uluslararası Yapı ve Deprem Mühendisliği Sempozyumu*, Ankara, Türkiye, 14 Ekim 2002.
- [33] MacMurdo J., Papers Relating to The Earthquake Which Occured in India in 1819, *Philosophical Magazine*, 1824, **63**(313), 105-177.
- [34] Mısıır İ. S., Farklı Oturmaların Yapı Taşıyıcı Sistemine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2004, 150822.
- [35] Muratoğlu Ö., Özkan Ö., Zemin Sınıfları ve Deprem Bölgelerinin Bina Yatay Yüklerine Etkisi, *Deprem Sempozyumu Kocaeli 2005*, Kocaeli, Türkiye, 23-25 Mart 2005.
- [36] Öncel A. O., Deprem Riskini Önleme ve Azaltma, *Deprem Tasarım Çalıştayı*, İstanbul, Türkiye, 11 Ocak 2015.
- [37] Pitalakis K., *Recent Advances in Earthquake Geotechnical Engineering and Microzonation*, 1st ed., Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 2004.
- [38] Psarropoulos P. N., Gazetas G., Tazoh T., Seismic Response Analysis of Alluvial Valley at Bridge Site, Editor: Seco P., *Proceedings of the Second International Conferance on Earthquake Geotechnical Engineering*, 2nd ed., Balkema Publisher, Rotterdam, 841-847, 1999.
- [39] Seed H. B., Idriss I. M., Soil Module And Damping Factors For Dynamic Response Analyses, *Earthquake Engineering Research Center*, EERC 70-10, 1970.

- [40] Semblat J., F., Duval A. M., Dangla P., Numerical Analysis of Seismic Wave Amplification in Nice (France) and Comparisons With Experiments, *Soil Dynamic And Earthquake Engineering*, 2000, **19**(5), 347-362.
- [41] Tezcan S. S., Kaya E., Bal E., Özdemir, Z., Seismic Amplification at Avcılar, *Engineering Structures*, 2002, **24**(5), 661-667.
- [42] Timur T., Yer Sarsıntılarının Yapılar Üzerindeki Etkileri, *Deprem Bölgelerinde Yapı Üretimi Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye, 15-16 Şubat 2002.
- [43] Vallabhan C. V. G., Daloğlu A. T., Consistent FEM-Vlasov Model for Plates on Layered Soil, *Journal of Structural Engineering*, 1999, **125**(1), 108-113.
- [44] Vucetic M., Dobry R., Effect of Soil Plasticity on Cyclic Response, *Journal of Geotechnical Engineering*, 1991, **117**(1), 89-107.
- [45] Yalçinkaya E., Zemin Özelliklerinin Yer Hareketine Etkisi: 1 Ekim 1995 Dinar ve 27 Haziran 1998 Adana-Ceyhan Depremi Örnekleri, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2002, 121171.
- [46] Yalçinkaya E., Bir Boyutlu Modeller İçin Zemin Büyütmesine Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi, *Yerbilimleri Dergisi*, 2004, **17**(1), 47-56.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Şelenbaş S., Kaya ve Alüvyon Ortamlarda Zeminin Bina Yüksekliğine Etkisi, *Uygulamalı Yer Bilimleri Dergisi*, 2017, **16**(1).



ÖZGEÇMİŞ

1985 yılında Kocaeli’ de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Kocaeli’ de tamamladı. 2004 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü’nden 2009 yılında, 2007 yılında Çift Anadal Programı kapsamında hak kazandığı İnşaat Mühendisliği Bölümü’ nden 2012 yılında mezun oldu. 2010 yılında Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı. Lisans eğitimlerinin tamamlanmasının ardından yurtiçi ve yurtdışı enerji sektöründe faaliyet gösteren firmalarda, çeşitli projelerde İnşaat Mühendisi olarak görev almaya devam etmektedir.

