

**T.C. İSTANBUL KÜLTÜR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

**DEPREM KOŞULLARINDA YAPI-ZEMİN ETKİLEŞİMİ VE ZEMİN
İYİLEŞTİRİLMESİ**

YÜKSEKLİSANS TEZİ

İnş. Müh. Lale SOYAL

Enstitü No:0409020002

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Programı : Yapı Mühendisliği

Tez Danışman : Prof .Dr. Akın ÖNALP

EKİM 2006

**T.C. İSTANBUL KÜLTÜR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

**DEPREM KOŞULLARINDA YAPI-ZEMİN ETKİLEŞİMİ VE ZEMİN
İYİLEŞTİRİLMESİ**

YÜKSEKLİSANS TEZİ

İnş. Müh. Lale SOYAL

Enstitü No:0409020002

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 09 Haziran 2006
Tezin Savunulduğu Tarih: 14 Temmuz 2006**

**Tez Danışman : Prof .Dr. Akın ÖNALP
Diğer Jüri Üyeleri: Yard.Doç.Dr A. Murat TÜRK
Yard.Doç.Dr. Güven KIYMAZ**

EKİM 2006

**T.C. İSTANBUL KÜLTÜR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

**DEPREM KOŞULLARINDA YAPI-ZEMİN ETKİLEŞİMİ VE ZEMİN
İYİLEŞTİRİLMESİ**

YÜKSEKLİSANS TEZİ

İnş. Müh. Lale SOYAL

Enstitü No:0409020002

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Programı : Yapı Mühendisliği

Tez Danışman : Prof .Dr. Akın ÖNALP

EKİM 2006

**T.C. İSTANBUL KÜLTÜR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

**DEPREM KOŞULLARINDA YAPI-ZEMİN ETKİLEŞİMİ VE ZEMİN
İYİLEŞTİRİLMESİ**

YÜKSEKLİSANS TEZİ

İnş. Müh. Lale SOYAL

Enstitü No:0409020002

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Programı : Yapı Mühendisliği

Tez Danışman : Prof .Dr. Akın ÖNALP

EKİM 2006

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Adapazarı ili zemininin , 1999 Marmara depremi etkisi altında yapmış olduğu davranışlarla, iyileştirilmiş zeminin yapmış olduğu davranışlar karşılaştırılmıştır. Ve kaliteli zemin malzemesiyle ne derece deprem etkisinin sönmömlenebildiği araştırılmıştır.

Yüksek Lisans eğitimimi ve çalışmamı yapabilmem için bana burs veren, her konuda destek olan, engin bilgisi ışığında aydınlandığım bana yol gösteren, manevi babam bildiğim, Sayın Hocam Prof. Dr. Akın ÖNALP'e sonsuz şükranlarımı sunarım.

Bu araştırmalarda Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliğinin Zemin Araştırma laboratuvarında dinamik deneyler ve büro çalışmaları yapılmıştır. Bu laboratuvar ve büro çalışmalarla farklı zeminlerin dinamik özellikleri, farklı zeminlere bağlı zemindeki oturmaları, zemine bağlı deformasyonları,sismik sönmömleme potansiyeli incelenmiştir. Sakarya Üniversitesinde yapmış olduğum çalışmalarda yardımlarını esirgemeyen sayın Yrd.Doç.Dr. Sedat SERT ve İnş.Yük.Müh. Nazile URAL'a yardımlarından dolayı teşekkürlerimi sunarım

Fikirleriyle beni yönlendiren mesai arkadaşlarım ve amirlerime bana bu çalışmamda yapmış oldukları destek ve yardımlardan dolayı, ve özellikle Sayın Lab.Şub.Müdürüm Dr. Murat NURLU'ya , Sayın İnş.Yük.Müh. Esat YARAR'a ve Sayın Türkay BURSA'ya teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimime başlamama vesile olan ve şu an hayatta olmayan Sayın Prof. Dr. Hasan KARATAŞ'ı ve babam Yılmaz SOYAL'ı saygıyla anıyorum.

Annem Meliha SOYAL'a manevi desteklerinden dolayı sonsuz şükranlarımı sunuyorum.

Lale SOYAL
Ankara, Ekim 2006

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ.....	iv
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
FOTOGRAFLAR LİSTESİ.....	v
SİMGE LİSTESİ.....	vi
TÜRKÇE ÖZET.....	vii
YABANCI DİL ÖZET.....	vii
GİRİŞ.....	ix
1. BİRİNCİ BÖLÜM DEPREMLER.....	1
1.1. Depremlerin Oluş Nedenleri ve Türleri	2
1.2. Deprem Türleri	3
1.3. Deprem Parametreleri	3
1.3.1. Odak Noktası	3
1.3.2. Dış Merkez.....	4
1.3.3. Odak Derinliği	4
1.3.4. Şiddet.....	4
1.3.4.1. Eş Şiddet Eğrileri.....	5
1.3.5. Büyüklük.....	5
1.4. Deprem Şiddet Cetveli.....	6
1.4.1.M.S.K. Şiddet Cetveli.....	7
1.5. Deprem Dalgalarının Yayılımı P ve S Dalgaları	9
2. İKİNCİ BÖLÜM DEPREMDE YAPININ ZEMİNLE ETKİLEŞİMİ.....	11
2.1. Yapının Sismik Özellikleri.....	11
2.1.1. Deprem Spektrumu.....	12
2.1.2. Depremde Davranışın Analizi.....	12
2.1.3. Yapı Kusurları.....	14
2.2. Yapının Dinamik Özelliklerinin Titreşim Deneyleri ile Ölçümü.....	15
2.2.1. Serbest Titreşim Deneyleri.....	15
2.2.2. Zorlanmış Titreşim Deneyleri.....	15
2.2.3. Sarsma Tablası Deneyleri.....	16
2.3. Zeminin Sismik Koşullarda Özelliği.....	16
2.3.1. Zemin Büyütmesi.....	19

2.3.2.Sıvılaşma.....	19
2.3.3.Zemin Yenilmesi.....	19
2.4.Deprem Etkilerinin Azaltılması.....	19
2.4.1. Zeminin İyileştirilmesi.....	20
2.4.2. Yapının Güçlendirilmesi.....	20
2.4.3. Yapının Yalıtılması.....	20
3. ÜÇÜNCÜ BÖLÜM	
YAPI ZEMİN ETKİLEŞİMİNİN GRANÜLER YASTIKLA KONTROLO	22
3.1. Problemin Tanımlanması	22
3.2. Zeminin Özellikleri.....	22
3.2.1.Zemin Özelliklerinin Ölçümü.....	23
3.2.1.1.Adapazarı Siltinin Mekanik Özellikleri.....	24
3.2.2.Zeminin Dinamik Özelliklerinin Ölçümü.....	25
3.3. Yapı Zemin Etkileşiminin Modellenmesi.....	27
3.3.1. Binanın Sıvılaşan Zeminde Davranışı.....	28
4. SONUÇLAR.....	49
5. KAYNAKÇA.....	50

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.	Şiddet ve Büyüklük Bağıntısı.....	6
Tablo 2.	Şiddet,Zemin İvmesi,Hız ve Yapı Tiplerindeki Hasar Arasındaki İlişkiler.....	9
Tablo 3.	Silt Numunesinin Özellikleri.....	23
Tablo 4.	Adapazarı Siltinin Mekanik Özellikleri	25
Tablo 5.	Numunelerin birindeboşluk oranı 0,46 iken diğerinde 0,34 olarak ölçülmüştür.....	29
Tablo 6.	Analizde Kullanılan Malzemelerin Özellikleri	31
Tablo 7.	Doğal Gerilmeler Hesaplanırken Kullanılan OCR ve K_0 (Sükunetteki toprak basıncı katsayısı) değerleri	36

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.	Yer kabuğu hareketinin şematik anlatımı.....	2
Şekil 2.	Odak noktası, dış merkez ve sismik deprem dalgalarının yayılışı.....	4
Şekil 3.	Cisim dalgalarının oluşturduğu deformasyonlar.a)P dalgası b)SV dalgası	10
Şekil 4.	Yüzey dalgalarının oluşturduğu deformasyonlar.a)Rayleigh dalgası.b)Love dalgası	10
Şekil 5.	Deprem kaynağından yayılan sismik dalgaların yerin değişik katmanlarınca yansıtılmasını ve kırılmasını gösteren sismik dalga izleri.....	10
Şekil 6.	Yerin içinde P ve S dalga hızlarının ve yoğunluğunun değişimi.....	11
Şekil 7.	İki ayrı dinamik model.....	14
Şekil 8.a	Değişik zeminlerdeki Periyot (T) – Frekans (f) değişimleri.....	17
Şekil 8.b	Sultandağı Sağlık Ocağındaki Üç bileşenli İvme Kayıtları ve Fourier Genlik Spektrum Eğrileri.....	17
Şekil 8.c	Bolvadin Meteoroloji istasyonundaki üç bileşenli mikrotremor kayıtları ve Fourier Genlik Spektrum Eğrileri.....	18
Şekil 9.	Geoteknik modellemede Adapazarı kent merkezinden alınan tipik zemin profili.....	23
Şekil 10.	Üç Ekseli deneyde gerilme dairelerinin büyümesi.....	24
Şekil 11.	Üç Eksenli Hücre Kesme Deneyinde Gerilmeler ve Yenilme Durumu.....	24
Şekil 12.	Sıvılaşmayan siltte, dinamik koşullarla boşluk suyu basıncı-çevrim sayısı eğrisi.....	27
Şekil 13.	Sıvılaşan siltte, dinamik koşullarla boşluk suyu basıncı-çevrim sayısı eğrisi.....	27
Şekil 14.	Temel-zemin ara yüzey modellemesi.....	32
Şekil 15.	Doğal zeminde oturan yapının modellenmesi (0-4m arasında silt).....	33
Şekil 16.	Sisteme etkiyen depremin özellikleri.....	33
Şekil 17.	Sonlu eleman ağı ve hesaplama noktaları.....	34
Şekil 18.	Doğal Durumda Boşluk Suyu Basınçları.....	35
Şekil 19.	Doğal Durumda Düşey Efektif Gerilmeler.....	35
Şekil 20.	1.Hesaplama Adımı (Yapı inşa ediliyor, bodrumdaki zemin boşaltılmış).....	37
Şekil 21.	Doğal zemin kesitinde yapı yükü altında oluşan düşey deplasmanlar.....	37
Şekil 22.	Deprem sonunda oluşan şekil değiştirmiş sonlu eleman ağı (500 kat abartılı).....	38
Şekil 23.	Yapı altında nitelikli zemin olduğunda oturmalar.....	38
Şekil 24.	Yapı altında nitelikli zemin olduğunda, deprem etkisinde oluşan şekil değiştirmiş sonlu eleman ağı (500 kat abartılı).....	39
Şekil 25.	2.Adımda son aşamada ortaya çıkan deforme olmuş sonlu eleman ağı Doğal kesit... 39	
Şekil 26.	Doğal ve iyileştirilmiş zemindeki ötelenmeler karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir... 40	
Şekil 27.	Deprem yükü altında oluşan yatay deplasmanların karşılaştırması..... 41	
Şekil 28.	Yükleme sırasında oluşan Düşey deplasmanlar..... 42	
Şekil 29.	Yatay ivmenin değişimi (üst: sönüm yok, alt: sönümlü)..... 43	
Şekil 30.	Doğal kesitte yatay ivmede değişim (koyu mavi: taban, açık mavi: yapı üstü)..... 44	
Şekil 31.	En üst kirişte moment diyagramları..... 45	
Şekil 32.	Zemin özelliklerinde değişimin üstyapı elemanlarına etkisi..... 46	

FOTOGRAF LİSTESİ

Foto 1.	Üç Eksenli Hücre	24
Foto 2.	Dinamik Üç Eksenli Hücre Kesme Deneyi Sistemi	26

SİMGE LİSTESİ

x''	:İvme
x'	:Hızı
x	:Ötelemeyi
k	:Yay sönümleme sabit katsayısını
p	:Zorlayıcı açısal frekansı
t	:zamanı
F_0	:Maksimum zorlayıcı kuvveti
C	:Sönüm katsayısı sabiti
C_1	:Yapısal sistemin sönüm katsayısı
C_2	:Zeminin sönüm katsayısıdır
φ	: Faz açısı
ξ	:Kritik Sönüm Oranı
ω_d	:Sönümlü açısal frekans
D	:Dinamik çarpan
M	:Yapının kütlesi
$a(t)$:depremde oluşan yer ivmesinin deprem süresi içinde değişimini göstermektedir.

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K}{m}} \quad \text{:Sönümsüz açısal frekans}$$

T	:Periyot
F	:Frekans
σ	:Boşluk suyu basıncının farkı
σ_3	:Çevre basıncı
σ_1	:Asal gerilme
CSR	:Çevrimsel kayma oranı=zeminin deprem ivmesinden aldığı eşdeğer gerilme.
ρ	:Birim hacim ağırlık,
e_0	:Boşluk oranı
E, E'	:Elastisite modülleri
ϕ	:Kayma direnci açısı
K	:Sukunette toprak basıncı katsayısı
OCR	:Aşırı konsolidasyon katsayısı

Üniversite : İstanbul Kültür Üniversitesi
Enstitüsü : Fen Bilimler
Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği
Programı : Yapı Mühendisliği
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Akın ÖNALP
Tez Türü ve Tarihi : Yüksek lisans – Ekim 2006

KISA ÖZET

DEPREM ETKİSİ ALTINDA YAPI-ZEMİN ETKİLEŞİMİ VE ZEMİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Lale SOYAL

1999 Depremi hasarı içinde zemin şartları kısmen irdelendi. Bölgedeki holosen oluşumu, sıvılaşma, yatay deplasman, taşıma gücünün aşılması farklı ve fazla oturmalar yüzünden yapılara hayli zarar verdi.

Elverişsiz zeminlerin ileri teknoloji kullanılarak iyileştirilmesi önerileri de aşırı maliyet artışı yüzünden fazla kabul görmedi.

Bu tez, zemin toprağı yerine, sıkıştırılmış granüler toprak konularak, üst yapının depreme karşı davranışının araştırılması programının bir parçasıdır.

Sıvılaşan ve sıvılaşmayan zemin numuneleri üzerinde sismik parametrelerin bulunması için araştırmalar yapıldı. Bu değerler Adapazarı şartlarında oluşan depremlere karşı beş katlı bir binanın geoteknik modellendirilmesinde kullanıldı.

Tabii zemin ve geliştirilmiş temel üzerinde yapılan nümerik analiz sonuçları, sarsma tablası ve arazi çalışmaları yapacak araştırmacıları cesaretlendirecek niteliktedir.

Anahtar Sözcükler: Zemin dinamiğı, zemin-yapı etkileşimi, sonlu elemanlar, geoteknik modellendirme, spektrum granüler dolgu, oturma, sürtünme, periyot, frekans, titreşim, etkileşim, sönüm.

Bilim Dalı Sayısal Kodu :

University : Istanbul Kultur University
Institute : Institute of Sciences
Program : Structural Engineering
Supervisor : Prof.Dr.Akın Önalp
Degree Awarded : Master of Science, October 2006

ABSTRACT

SEISMIC SOIL-STRUCTURE INTERACTION AND SOIL IMPROVEMENT

Lale SOYAL

Widespread damage observed during the 1999 Marmara earthquake has been partly blamed on poor foundation soils. The Holocene deposits in the region were observed to have failed by liquefaction, lateral spreading and bearing capacity/excessive settlement.

Recommendations to use advanced technology to improve the inferior deposits have met with resistance due to unacceptable costs.

This thesis is part of a research program to study the effect of replacing the foundation soil by a rigid layer of compacted granular soil and observe the modified seismic behaviour of the superstructure.

Laboratory tests were performed on liquefiable and nonliquefiable soil samples to measure their seismic parameters and these values were used in geotechnical modelling of a five storey building experiencing the earthquake in Adapazarı conditions.

A numerical analysis of the building on natural soil and improved foundation has provided results that encourages the investigators to extend the operations to the shaking table and field testing.

Keywords: soil dynamics, soil-structure interaction, finite elements, geotechnical modelling, spectrum, granular fill, period, damping, settlement

Code:

GİRİŞ

Türkiye, dünyanın ikinci aktif deprem kuşağı olan Alpid kuşağı üzerindedir. Depremleri önlemek elimizde değilse de , hasarını en aza indirmek pekala elimizdedir.

Depremlerin önceden kestirilmesi üzerine her ne kadar çalışılsa da, bu günkü teknoloji ile kesin olarak zaman ve mekanı kestirmek mümkün değildir. İleri ki zamanlar da bu mümkün olsa bile, ekonomik zarar azalmayacaktır.

Alarm cihazı kullanmak, derin odaklı depremlerde belki can kaybını azaltabilir, ama Türkiye gibi depremlerin tümünün sığ odaklı olduğu yerlerde bir fayda sağlamaz.

Depremlerin zararını azaltmanın en iyi yolu depreme dayanıklı yapı yapmaktır. Bunun için de pek çok yöntem mevcuttur.

Depreme dayanıklı yapı yapmak,mevcut binaları güçlendirmek, ivme spektrumunu düşürecek şekilde söndürücü elemanlar yerleştirmek veya temel ile zemini tecrit etmek gerekir.

Burada, bu yöntemlerin hepsinden sıra ile bahsedilecektir,ancak ağırlık temel-zemin tecrit yöntemlerine verilecektir. Bu arada yapay malzeme ile (zayıf yay ve kuvvetli sönümden ibaret) pek çok yerde sönümleyiciler projelendirilip uygulanmaktadır.

Ancak bu araştırmada doğal malzeme ile sismik sönümleme çalışmasına, deneylere ağırlık verilecektir. Bu arada bu çalışmanın bir son olmayıp bir başlangıç olduğudur ve ileri aşamada araştırmalar devam edecektir.

BİRİNCİ BÖLÜM

DEPREMLER

1.1 Depremlerin Oluş Nedenleri ve Türleri:

Yerkürenin iç yapısı konusunda, jeolojik ve jeofizik çalışmalar sonucu elde edilmiş verilerin desteklediği bir model bulunmaktadır. Bu modele göre, yerkürenin dış kısmında yaklaşık 70-100 km. kalınlıkta oluşmuş bir taşküre (Litosfer) vardır. Kıtalar ve okyanuslar bu taşkürede yer alır. Litosfer ile çekirdek arasında kalan ve kalınlığı 2.900 km olan kuşağa Manto adı verilir. Manto'nun altındaki çekirdeğin nikel-demir karışımından oluştuğu kabul edilmektedir. Yerin, yüzeyden derine gidildikçe sıcaklığın arttığı bilinmektedir. Enine deprem dalgalarının yerin çekirdeğinde yayılamadığı olgusundan giderek çekirdeğin sıvı bir ortam olması gerektiği sonucuna varılmaktadır. Manto genelde katı olmakla beraber yüzeyden derine inildikçe içinde yerel sıvı ortamları bulundurmaktadır. Taşküre'nin altında Astenosfer denilen yumuşak Üst Manto bulunmaktadır. Burada oluşan kuvvetler, özellikle konveksiyon akımları nedeni ile, taş kabuk parçalanmakta ve birçok "Levha"lara bölünmektedir. Üst Manto'da oluşan bu konveksiyon akımları, radyoaktivite nedeni ile oluşan yüksek ısıya bağlanmaktadır. Konveksiyon akımları yukarıya yükseldikçe taşkürede gerilmelere ve daha sonra da zayıf zonların kırılmasıyla levhaların oluşmasına neden olmaktadır. Halen 10 kadar büyük levha ve çok sayıda küçük levhalar vardır. Bu levhalar üzerlerinde duran kıtalarla birlikte, Astenosfer üzerinde sal gibi yüzmekte ve birbirlerine göre insanların hissedemeyeceği bir hızla hareket etmektedirler.

Konveksiyon akımlarının yükseldiği yerlerde levhalar birbirlerinden uzaklaşmakta ve buradan çıkan sıcak magmada okyanus ortası sırtlarını oluşturmaktadır. Levhaların birbirlerine değdikleri bölgelerde sürtünmeler ve sıkışmalar olmakta, sürtünen levhalardan biri aşağıya Manto'ya batmakta ve eriyerek yitim zonlarını oluşturmaktadır. Konveksiyon akımlarının neden olduğu bu ardışıklı olay taşkürenin altında devam edip gitmektedir.

Yerkabuğunu oluşturan levhaların birbirine sürtündükleri, birbirlerini sıkıştırdıkları, birbirlerinin üstüne çıktıkları ya da altına girdikleri (yitim) bu levhaların sınırları dünyada depremlerin oluştuğu bölgelerdir. Dünyada olan depremlerin büyük çoğunluğu bu levhaların birbirlerini zorladıkları bölgelerde ve itilmekte olan bir levha ile bir diğer levha arasında sürtünme kuvveti aşıldığı zaman oluşur. Bu hareket çok kısa bir zaman biriminde gerçekleşir ve şok niteliğindedir. Sonunda çok uzaklara kadar yayılabilen deprem dalgaları ortaya çıkar.

Bu dalgalar geçtiği ortamları sarsarak ancak depremin oluş yönünden uzaklaştıkça enerjisi azalarak yayılır. Bu sırada yeryüzünde bazen gözle görülebilen, kilometrelerce uzanabilen ve fay adı verilen arazi kırıkları oluşabilir. Bu kırıklar bazen yeryüzünde gözlenemez, yüzey tabakaları ile gizlenmiş olabilir. Bazen de eski bir depremden oluşmuş ve yerüzüne kadar çıkmış, ancak zamanla örtülmüş bir fay yeniden oynayabilir.

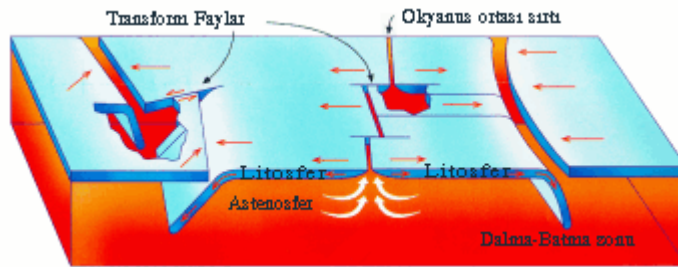
Birbirlerini iten ya da diğerinin altına giren iki levha arasında, harekete engel olan bir sürtünme kuvveti vardır. Bir levhanın hareket edebilmesi için bu sürtünme kuvvetinin aşılması gerekir.

Depremlerinin oluşumunun bu şekilde "Elastik Geri Sekme Kuramı" adı altında anlatımı 1911 yılında Reid tarafından yapılmıştır ve laboratuvarlarda da denenerek ispatlanmıştır.

Bu kurama göre, herhangi bir noktada zamana bağımlı olarak, yavaş oluşan birim deformasyon birikiminin elastik olarak depoladığı enerji, kritik bir değere eriştiğinde, fay düzlemi boyunca var olan sürtünme kuvvetini yenerek, fay çizgisinin her iki tarafındaki kaya bloklarının birbirine görelî hareketlerini oluşturmaktadır. Bu olay ani yer değiştirme hareketidir. Bu ani yer değiştirmeler ise bir noktada biriken birim deformasyon enerjisinin açığa çıkması, boşalması, diğêr bir deyişle mekanik enerjiye dönüşmesi ile ve sonuç olarak yer katmanlarının kırılma ve yırtılma hareketi ile olmaktadır. Aslında kayaların, önceden bir birim yerdeğiştirme birikimine uğramadan kırılmaları olanaksızdır. Bu birim yer değiştirme hareketlerini hareketsiz görülen yer kabuğunda, üst mantoda oluşan konveksiyon akımları oluşturmakta, kayalar belirli bir deformasyona kadar dayanıklılık gösterebilmekte ve sonra da kırılmaktadır. Depremler bu kırılmalar sonucu oluşmaktadır. Bu olaydan sonra da kayalardan uzun zamandan beri birikmiş olan gerilmelerin ve enerjinin bir kısmı ya da tamamı giderilmiş olmaktadır.

Çoğunlukla deprem olayı esnasında oluşan faylarda, elastik geri sekmeler (atım), fayın her iki tarafında ve ters yönde oluşmaktadır. Faylar genellikle hareket yönlerine göre isimlendirilirler. Daha çok yatay hareket sonucu meydana gelen faylara "Doğrultu Atımlı Fay" denir (Şekil-1). Fayın oluşturduğu iki ayrı blok'un birbirlerine görelî olarak sağa veya sola hareketlerinden de bahsedilebilir ki bunlar sağ veya sol yönlü doğrultulu atımlı faya bir örnektir. Düşey hareketlerle meydana gelen faylara ise "Eğim Atımlı Fay" denir. Fayların çoğunda hem yatay, hem de düşey hareket bulunabilir.

Şekil 1'de görülen transform faylar, Okyanus sırtlarında birbirlerinden konveksiyon akımları ile ayrılan litosferin bir çeşit yırtılmasıyla oluşur, böyle yırtılma hallerinde düz bir doğrultu takip edilmeyip zayıf yerler tercih edilir. Okyanus sırtları zayıf yerlere sıçrama yaptığında birbirine yanal atımlı faylarla bağlanırlar. Bu fayların doğrultuları hemen hemen sırtlara diktirler, yani dönüşüm yapmışlardır. İki levhanın birbiri yanından kayarak geçmesiyle meydana gelen ve levhaların yeni bir kabuk oluşturmayacak şekilde, yada eski kabuğu tüketmeyecek şekilde birbirine komşu olduğu yerlerde oluşan levha sınırına "Transform Fay" denir.



Şekil 1. Yer Kabuğu Hareketinin Şematik Anlatımı

Bir deprem oluştuğunda sismik dalgalar deprem kaynağından ışınal olarak uzaklaşır ve yer kabuğunda yayılır. Bu dalgalar yeryüzüne ulaştığında birkaç saniyeden dakikalara değişen bir süre boyunca sarsıntı meydana getirir. Belirli bir sahadaki sarsıntının gücü ve süresi depremin boyutu ve yeri ile o sahanın karakteristiklerine bağlıdır. Büyük bir depremin kaynağına yakın yerlerde yer sarsıntısı çok büyük zararlara yol açar.

Ancak, kuvvetli yer sarsıntısı birkaç değişik sismik tehlike açısından geniş kapsamlı zarara neden olabilir. Sismik dalgaların deprem kaynağından yeryüzüne gelişinde

katettiği yolun çok önemli bir bölümü kaya içinde olsa da, yolun son kısmı zemin içinde katedilmekte, zemin içindeki karakteristikleri de zemin yüzeyindeki sarsıntısının niteliğini önemli ölçüde etkilemektedir. Zeminler bazı frekanslardaki sismik dalgaları sönümleme hareketi ile filitrelerken bazı frekanslardakinin genliğini büyütmektedir (zemin büyütmesi).

Zemin özellikleri genellikle kısa mesafelerde büyük değişimler gösterdiğinden, küçük bir alan içindeki yer sarsıntısının düzeyi de çok değişken olabilir. Geoteknik deprem mühendisliğinin en önemli konulardan biri , yerel zemin koşullarının kuvvetli yer hareketi üzerindeki etkisinin incelenmesidir.

1.2 Deprem Türleri :

Depremler oluş nedenlerine göre değişik türlerde olabilir. Dünyada olan depremlerin büyük bir bölümü yukarıda anlatılan biçimde oluşmakla birlikte az miktarda da olsa başka doğal nedenlerle de olan deprem türleri vardır. Levhaların hareketi sonucu oluşan depremler genellikle "tektonik" depremler olarak nitelenir ve bu depremler çoğunlukla levhalar sınırlarında oluşurlar.

Yeryüzünde olan depremlerin %90'ı bu gruba girer. Türkiye'de olan depremler de büyük çoğunlukla tektonik depremlerdir. İkinci tip depremler "volkanik" depremlerdir. Bunlar volkanların etkinliklerine bağlı olarak oluşurlar.

Yerin derinliklerinde ergimiş maddenin yeryüzüne çıkışı sırasındaki fiziksel ve kimyasal olaylar sonucunda oluşan gazların yapmış oldukları patlamalarla bu tür depremlerin meydana geldiği bilinmektedir. Bunlar da yanardağlarla ilgili olduklarından yereldirler ve önemli zarara neden olmazlar. Japonya ve İtalya'da oluşan depremlerin bir kısmı bu gruba girmektedir. Türkiye'de aktif yanardağ olmadığı için bu tip depremler olmamaktadır.

Üçüncü tip depremler de "çöküntü" depremleridir. Bunlar yer altındaki boşlukların (mağara), kömür ocaklarında galerilerin, tuz ve jipsli arazilerde erime sonucu oluşan boşlukların tavan blokunun çökmesi ile oluşurlar. Hissedilme alanları yerel olup enerjileri azdır ve fazla zarar getirmezler. Büyük heyelanlar ve gökten düşen meteorların da küçük sarsıntılara neden olduğu bilinmektedir.

Bazen büyük bir deprem olmadan önce küçük sarsıntılar olur. Bu küçük sarsıntılara "öncü depremler" denilmektedir. Büyük bir depremin oluşundan sonra da belki birkaç yüz adet küçük deprem olmaya devam etmektedir.

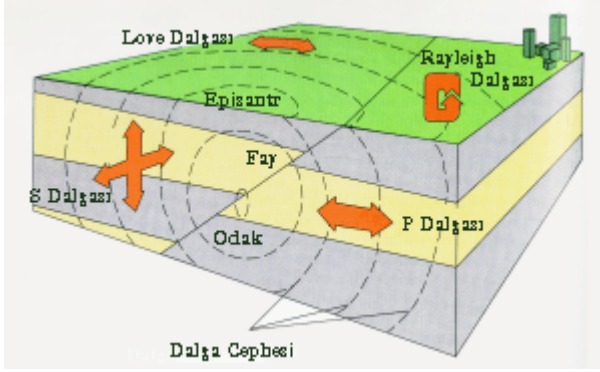
Bu küçük depremler "artçı depremler" olarak isimlendirilir ve büyük depremin oluş anına göre bunların şiddetinde ve sayısında azalım görülür.

1.3 Deprem Parametreleri

Herhangibir deprem oluştuğunda, bu depremin tariflenmesi ve anlaşılabilmesi için "Deprem parametreleri" olarak tanımlanan bazı kavramlardan söz edilmektedir. Aşağıda kısaca bu parametrelerin açıklaması yapılacaktır.

1.3.1 Odak Noktası

Odak noktası yerin içinde depremin enerjisinin ortaya çıktığı noktadır. Bu noktaya odak noktası veya iç merkez de denir (hiposantr). Gerçekte ,bu enerjinin ortaya çıktığı bir nokta olmayıp bir alandır. Ancak pratik uygulamalarda nokta olarak kabul edilmektedir (Şekil-2).



Şekil 2. Odak noktası, dış merkez ve sismik deprem dalgalarının yayılışı

1.3.2 Dış merkez

Dış merkez odak noktasına en yakın olan yer üzerindeki noktadır (episantr). Burası aynı zamanda depremin en çok hasar yaptığı veya en kuvvetli hissedildiği noktadır. Aslında bu , bir noktadan çok bir alandır. Depremin dış merkez alanı depremin şiddetine bağlı olarak çeşitli büyüklüklerde olabilir. Bazen büyük bir depremin odak noktasının boyutları yüzlerce kilometreyle de belirebilir. Bu nedenle "Episantr Bölgesi" ya da "Episantr Alanı" olarak tanımlama yapılması gerçeğe daha yakın olacaktır.

1.3.3 Odak Derinliği

Depremde enerjinin açığa çıktığı noktanın yeryüzünden en kısa uzaklığı, depremin odak derinliği olarak adlandırılır. Depremler odak derinliklerine göre sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırma tektonik depremler için geçerlidir. Yerin 0-60 km. derinliğinde olan depremler sığ deprem olarak nitelenir. Yerin 70-300 km. derinliklerinde olan depremler orta derinlikte olan depremlerdir. Derin depremler ise yerin 300 km.'den fazla derinliğinde olan depremlerdir. Türkiye'de olan depremler genellikle sığ depremlerdir ve derinlikleri 0-60 km. arasındadır. Orta ve derin depremler daha çok bir levhanın bir diğer levhanın altına girdiği bölgelerde oluşur. Derin depremler çok geniş alanlarda hissedilir, buna karşılık yaptıkları hasar azdır. Sığ depremler ise dar bir alanda hissedilirken bu alan içinde çok büyük hasar yapabilirler.

1.3.4 Şiddet

Şiddet herhangi bir derinlikte olan depremin, yeryüzünde hissedildiği bir noktadaki etkisinin ölçüsü olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir deyişle depremin şiddeti, onun yapılar, doğa ve insanlar üzerindeki etkilerinin bir ölçütüdür. Bu etki, depremin büyüklüğü, odak derinliği, uzaklığı yapıların depreme karşı gösterdiği dayanıklılığa bağlı olarak değişir. Şiddet depremin kaynağındaki büyüklüğü hakkında doğru bilgi vermemekle beraber, deprem sonucu oluşan hasarı yukarıda belirtilen etkenlere bağlı olarak yansıtır. Depremin şiddeti, depremlerin gözlenen etkileri sonucunda ve uzun yılların vermiş olduğu deneyimlere dayanılarak hazırlanmış olan "Şiddet Cetvelleri"ne göre değerlendirilmektedir. Diğer bir deyişle deprem şiddet cetvelleri depremin etkisinde kalan

canlı ve cansız herşeyin depreme gösterdiği tepkiyi değerlendirmektedir. Önceden hazırlanmış olan bu cetveller, her şiddet derecesindeki depremlerin insanlar, yapılar ve arazi üzerinde meydana getireceği etkileri belirlemektedir.

Bir deprem oluştuğunda, bu depremin herhangi bir noktadaki şiddetini belirlemek için, o bölgede meydana gelen etkiler gözlenir. Bu izlenimler Şiddet Cetveli'nde hangi derece tanımına uygunsa, depremin şiddeti o düzeyde değerlendirilir. Örneğin, depremin neden olduğu etkiler, şiddet cetvelinde VIII şiddet olarak tanımlanan bulguları içeriyorsa, o deprem VIII şiddetinde bir deprem olarak tariflenir. Cetvellerde, şiddetler Romen rakamıyla gösterilmektedir. Bugün kullanılan başlıca şiddet cetvelleri "Değiştirilmiş Mercalli Cetveli"(MM) ve "Medvedev-Sponheur-Karnik " şiddet cetvelidir(MSK). Her iki cetvel de XII şiddet derecesini kapsamaktadır. Bu cetvellere göre, şiddeti V ve daha küçük olan depremler genellikle yapılarda hasar meydana getirmezler ve insanların depremi hissetme şekillerine göre değerlendirilirler. VI-XII arasındaki şiddetler ise, depremlerin yapılarda meydana getirdiği hasar ve arazide oluşturduğu kırılma, yarıлма, heyelan gibi bulgulara dayanılarak değerlendirilmektedir.

1.3.4.1 Eş Şiddet Eğrileri

Aynı şiddetle sarsılan noktaları birbirine bağlayan noktalara eş şiddet eğrileri (izoseist) denir. Bunun tamamlanmasıyla eşşiddet haritası ortaya çıkar. Genelde kabul edilmiş duruma göre, iki eğri arasında kalan alan, depremlerden etkilenme yönüyle, şiddet bakımından sınırlandırılmış olur. Bu nedenle depremin şiddeti eşşiddet eğrileri üzerine değil, alan içerisine yazılır.

1.3.5 Büyüklük

Büyüklük, deprem sırasında açığa çıkan enerjinin bir ölçüsü olarak tanımlanmaktadır. Enerjinin doğrudan doğruya ölçülmesi olanağı olmadığından, Richter tarafından 1930 yıllarında bulunan bir yöntemle depremlerin aletsel bir ölçüsü olan "Magnitüd" tanımlanmıştır. Dış merkezden 100 km. uzaklıkta ve sert zemine yerleştirilmiş özel bir sismografla (2800 büyütme, özel periyodu 0.8 saniye ve %80 sönümlü Wood-Anderson torsiyon sismografı) kaydedilmiş zemin hareketinin mikron cinsinden (1 mikron 1/1000 mm) ölçülen maksimum genliğinin 10 tabanına göre logaritması depremin büyüklüğü olarak tanımlanmıştır. Bugüne dek olan depremler istatistik olarak incelendiğinde kaydedilen en büyük olay değerinin 8.9 olduğu görülmektedir (31 Ocak 1906 Kolombiya-Ekvador ve 2 Mart 1933 Sanriku,Japonya depremleri).

Büyüklük aletsel ve gözlemsel magnitüd değerleri olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Aletsel magnitüd, yukarıda da belirtildiği üzere, standart bir sismografla kaydedilen deprem hareketinin maksimum genlik ve periyod değeri ve alet kalibrasyon fonksiyonlarının kullanılması ile yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilmektedir. Aletsel magnitüd değeri, gerek hacim dalgaları ve gerekse yüzey dalgalarından hesaplanmaktadır. Genel olarak, hacim dalgalarından hesaplanan büyüklük (m) ile, yüzey dalgalarından hesaplananlar de (M) ile gösterilmektedir. Her iki büyüklük değerini birbirine dönüştürecek bağıntılar mevcuttur.

Ayrıca Mw deprem için hesaplanabilen moment büyüklüğüdür,eğer bir deprem için moment büyüklüğü hesaplanabilmişse, diğer büyüklük türlerine gerek kalmadığı düşünülür. Deprem için gereken momenti belirlemek hepsinden çok daha karmaşıktır. Esas olarak depremin oluşumunun matematiksel modelinin yapılmasına karşılık gelir. Araştırmacıların bilimsel çalışma süreçleri ile hesaplanır, bu yüzden hesaplar belirli bir zaman alır, otomatik uygulamaya konulması zor olmakla birlikte dünyada sayılı birkaç

gözlem evinde sadece belirli bir büyüklüğün üzerindeki depremler için rutin olarak hesaplanmaktadır. Gözlemsel magnitüd değeri ise, gözlemsel inceleme sonucu elde edilen episantr şiddetinden hesaplanmaktadır.

Ancak, bu tür hesaplamalarda, magnitüd-şiddet bağıntısının incelenilen bölgeden bölgeye değiştiği de gözönünde tutulmalıdır.

Gözlemevleri tarafından bildirilen bu depremin magnitüdü depremin enerjisi hakkında fikir vermez. Çünkü deprem sığ veya derin odaklı olabilir. Magnitüdü aynı olan iki depremden sığ olanı daha çok hasar yaparken, derin olanı daha az hasar yapacağından arada bir fark olacaktır. Yine de Richter ölçeği (M) depremlerin özelliklerini saptamada çok önemli bir unsur olmaktadır. Depremlerin şiddet ve magnitüdüleri arasında birtakım ampirik bağıntılar çıkarılmıştır. Bu bağıntılardan şiddet ve büyüklük değerleri arasındaki dönüşümleri aşağıdaki gibi verilebilir.

Tablo 1. Şiddet ve Büyüklük Bağıntısı

Şiddet	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Büyüklük(Richter)	4	4.5	5.1	5.6	6.2	6.6	7.3	7.8	8.4

1.4 Deprem Şiddet Cetveli

Özel bir şekilde depreme dayanıklı olarak projelendirilmemiş yapılar üç tipe ayrılmaktadır:

A Tipi : Kırsal konutlar, kerpiç yapılar, kireç ya da çamur harçlı moloz taş yapılar.

B Tipi : Tuğla yapılar, yarım kargir yapılar, kesme taş yapılar, beton biriket ve hafif prefabrike yapılar.

C Tipi : Betonarme yapılar, iyi yapılmış ahşap yapılar.

Şiddet derecelerinin açıklanmasında kullanılan az, çok ve pek çok deyimleri ortalama bir değer olarak sırasıyla, %5, %50 ve %75 oranlarını belirlemektedir.

Yapılardaki hasar ise beş gruba ayrılmıştır :

Hafif Hasar, Taşıyıcı sistemde az sayıda kılcal çatlaklar dışında hasar geçmemiştir, bölge duvarlarında sıvalarda orta derecede çatlak ve kırılmalar oluşur, ince sıva çatlaklarının meydana gelmesi ve küçük sıva parçalarının dökülmesiyle tanımlanır.

Orta Hasar, Taşıyıcı sistemde bariz hasar vardır, ancak bina ekonomik olarak onarılabilir. Henüz mekanizmalama yoktur. Taşıyıcı olmayan elemanlarda hasar çok olabilir. Duvarlarda küçük çatlakların meydana gelmesi, oldukça büyük sıva parçalarının dökülmesi, kiremitlerin kayması, bacalarda çatlakların oluşması ve bazı baca parçalarının aşağıya düşmesiyle tanımlanır.

Ağır Hasar, Sistemde kısmi veya tamamen mekanizma, düşeyden sapma vardır. Yıkılıp yeniden yapılması daha ekonomiktir. Duvarlarda büyük çatlakların meydana gelmesi ve bacaların yıkılması,

Yıkıntı, Duvarların yıkılması, yarılmaması, binaların bazı kısımlarının yıkılması ve derzlerle ayrılmış kısımlarının bağlantısını kaybetmesiyle tanımlanır.

Fazla Yıkıntı, yapıların tüm olarak yıkılmasıyla tanımlanır.

Şiddet çizelgelerinin açıklanmasında her şiddet derecesi üç bölüme ayrılmıştır . Bunlardan

- a) Bölümünde depremin kişi ve çevre,
- b) Bölümünde depremin her tipteki yapılar,
- c) Bölümünde de depremin arazi, üzerindeki etkileri belirtilmiştir.

1.4.1 MSK Şiddet Cetveli :

I- Duyulmayan

(a) : Titreşimler insanlar tarafından hissedilmeyip, yalnız sismograflarla kaydedilirler.

II- Çok Hafif

(a) : Sarsıntılar yapıların en üst katlarında ,dinlenme bulunan az kişi tarafından hissedilir.

III- Hafif

(a) : Deprem ev içerisinde az kişi, dışarıda ise sadece uygun şartlar altındaki kişiler tarafından hissedilir. Sarsıntı, yoldan geçen hafif bir kamyonetin meydana getirdiği sallantı gibidir. Dikkatli kişiler, üst katlarda daha belirli olan asılmış eşyalardaki hafif sallantıyı izleyebilirler.

IV- Orta Şiddetli

(a) : Deprem ev içerisinde çok, dışarıda ise az kişi tarafından hissedilir. Sarsıntı, yoldan geçen ağır yüklü bir kamyonun oluşturduğu sallantı gibidir. Kapı, pencere ve mutfak eşyaları v.s. titrer, asılmış eşyalar biraz sallanır. Ağzı açık kapılarda olan sıvılar biraz dökülür. Araç içerisindeki kişiler sallantıyı hissetmezler.

V- Şiddetli

(a) : Deprem, yapı içerisinde herkes, dışarıda ise çok kişi tarafından hissedilir. Uyumakta olan çok kişi uyanır, az sayıda dışarı kaçan olur. Hayvanlar huysuzlanmaya başlar. Yapılar baştan aşağıya titrerler, asılmış eşyalar ve duvarlara asılmış resimler önemli derecede sarsılır. Sarkaçlı saatler durur. Az miktarda sabit olmayan eşyalar yerlerini değiştirebilirler ya da devrilebilirler. Açık kapı ve pencereler şiddetle itilip kapanırlar, iyi kilitlenmemiş kapalı kapılar açılabilir. İyice dolu, ağzı açık kapılardaki sıvılar dökülür. Sarsıntı yapı içerisine ağır bir eşyanın düşmesi gibi hissedilir.

(b) : A tipi yapılarda hafif hasar olabilir.

(c) : Bazen kaynak sularının debisi değişebilir.

VI- Çok Şiddetli

(a) : Deprem ev içerisinde ve dışarıda hemen hemen herkes tarafından hissedilir. Ev içerisindeki birçok kişi korkar ve dışarı kaçarlar, bazı kişiler dengelerini kaybederler. Evcil hayvanlar ağıllarından dışarı kaçarlar. Bazı hallerde tabak, bardak v.s.gibi cam eşyalar kırılabilir, kitaplar raflardan aşağıya düşerler. Ağır mobilyalar yerlerini

değiştirirler.

(b) : A tipi çok ve B tipi az yapılarda hafif hasar ve A tipi az yapıda orta hasar görülür.

(c) : Bazı durumlarda nemli zeminlerde 1 cm.genişliğinde çatlaklar olabilir. Dağlarda rastgele yer kaymaları, pınar sularında ve yeraltı su düzeylerinde değişiklikler görülebilir.

VII- Hasar Yapıcı

(a) : Herkes korkar ve dışarı kaçar, pek çok kişi oturdukları yerden kalkmakta güçlük çekerler. Sarsıntı, araç kullanan kişiler tarafından önemli olarak hissedilir.

(b) : C tipi çok binada hafif hasar, B tipi çok binada orta hasar, A tipi çok binada ağır hasar, A tipi az binada yıkıntı görülür.

(c) : Sular çalkalanır ve bulanır. Kaynak suyu debisi ve yeraltı su düzeyi değişebilir. Bazı durumlarda kaynak suları kesilir ya da kuru kaynaklar yeniden akmaya başlar. Bir kısım kum çakıl birikintilerinde kaymalar olur. Yollarda heyelan ve çatlama olabilir. Yeraltı boruları ek yerlerinden hasara uğrayabilir. Taş duvarlarda çatlak ve yarıklar oluşur.

VIII- Yıkıcı

(a) : Korku ve panik meydana gelir. Araç kullanan kişiler rahatsız olur. Ağaç dalları kırılıp, düşer. En ağır mobilyalar bile hareket eder ya da yer değiştirerek devrilir. Asılı lambalar zarar görür.

(b) : C tipi çok yapıda orta hasar, C tipi az yapıda ağır hasar, B tipi çok yapıda ağır hasar, A tipi çok yapıda yıkıntı görülür. Boruların ek yerleri kırılır. Abide ve heykeller hareket eder ya da burkular. Mezar taşları devrilir. Taş duvarlar yıkılır.

(c) : Dik şevli yol kenarlarında ve vadi içlerinde küçük yer kaymaları olabilir. Zeminde farklı genişliklerde cm.ölçüsünde çatlaklar oluşabilir. Göl suları bulanır, yeni kaynaklar meydana çıkabilir. Kuru kaynak sularının akıntıları ve yeraltı su düzeyleri değişir.

IX- Çok Yıkıcı

(a) : Genel panik. Mobilyalarda önemli hasar olur. Hayvanlar rastgele öte beriye kaçar ve bağırır.

(b) : C tipi çok yapıda ağır hasar, C tipi az yapıda yıkıntı, B tipi çok yapıda yıkıntı, B tipi az yapıda fazla yıkıntı ve A tipi çok yapıda fazla yıkıntı görülür. Heykel ve sütunlar düşer. Bentlerde önemli hasarlar olur. Toprak altındaki borular kırılır. Demiryolu rayları eğrilip, bükülür yollar bozulur.

(c) : Düzlük yerlerde çokça su, kum ve çamur tasmaları görülür. Zeminde 10 cm. genişliğine dek çatlaklar oluşur. Eğimli yerlerde ve nehir teraslarında bu çatlaklar 10 cm.den daha büyüktür. Bunların dışında, çok sayıda hafif çatlaklar görülür. Kaya düşmeleri, birçok yer kaymaları ve dağ kaymaları, sularda büyük dalgalanmalar meydana gelebilir. Kuru kayalar yeniden sulanır, sulu olanlar kurur.

X- Ağır Yıkıcı

(a) : C tipi çok yapıda yıkıntı, C tipi az yapıda yıkıntı, B tipi çok yapıda fazla yıkıntı, A tipi pek çok yapıda fazla yıkıntı görülür. Baraj, bent ve köprülerde önemli hasarlar olur. Tren yolu rayları eğrilir. Yeraltındaki borular kırılır ya da eğrilir. Asfalt ve parke yollarda kasisler oluşur.

(b) : Zeminde birkaç desimetre ölçüsünde çatlaklar oluşabilir. Bazen 1 m. genişliğinde çatlaklar da olabilir. Nehir teraslarında ve dik meyilli yerlerde büyük heyelanlar olur. Büyük kaya düşmeleri meydana gelir. Yeraltı su seviyesi değişir. Kanal, göl ve nehir suları karalar üzerine taşar. Yeni göller oluşabilir.

XI - Çok Ağır Yıkıcı

(a) : İyi yapılmış yapılarda, köprülerde, su bentleri, barajlar ve tren yolu raylarında tehlikeli hasarlar olur. Yol ve caddeler kullanılmaz hale gelir. Yeraltındaki borular kırılır.

(b) : Yer, yatay ve düşey doğrultudaki hareketler nedeniyle geniş yarıklar ve çatlaklar

tarafından önemli biçimde bozulur. Çok sayıda yer kayması ve kaya düşmesi meydana gelir. Kum ve çamur fıskırmaları görülür.

XII- Yok Edici (Manzara Değişir)

(a) : Pratik olarak toprağın altında ve üstündeki tüm yapılar baştanbaşa yıkıntıya uğrar.

(b) : Yer yüzeyi büsbütün değişir. Geniş ölçüde çatlak ve yarıklarda, yatay ve düşey hareketlerin yön miktarları izlenebilir. Kaya düşmeleri ve nehir versanlarındaki göçmeler çok geniş bir bölgeyi kaplarlar. Yeni göller ve çağlayanlar oluşur.

Tablo 2. Şiddet, Zemin İvmesi, Hız ve Yapı Tiplerindeki Hasar Arasındaki İlişkiler

Şiddet	Zemin İvmesi (gal) (0.1-0.5 sn periyod aralığı için)	Yer Titresiminin (0.5-2 sn periyod hızı cm/sn aralığı için)	Yapı Tipleri		
			Ax	Bx	Cx
V	12-15	1.0-2.0	% 5 Hafif hasar	-	-
VI	25-50	2.1-4.0	% 5 Orta Hasar % 50 Hafif Hasar	% 5 Hafif hasar	-
VII	50-100	4.1-8.0	% 5 Yıkıntı % 50 Ağır Hasar	% 5 Orta hasar	% 5 Hafif hasar
VIII	100-200	8.1-16.0	% 5 Fazla Yıkıntı % 50 Yıkıntı	% 5 Yıkıntı % 50 Ağır Hasar	% 5 Ağır hasar % 50 Orta Hasar
IX	200-400	16.1-32.0	%50 FazlaYıkıntı	% 5 Fazla Yıkıntı % 50 Yıkıntı	% 5 Yıkıntı % 50 Ağır Hasar
X	400-800	32.1-64.0	% 75 Fazla Yıkıntı	% 50 Fazla Yıkıntı	% 5 Fazla Yıkıntı % 50 Yıkıntı

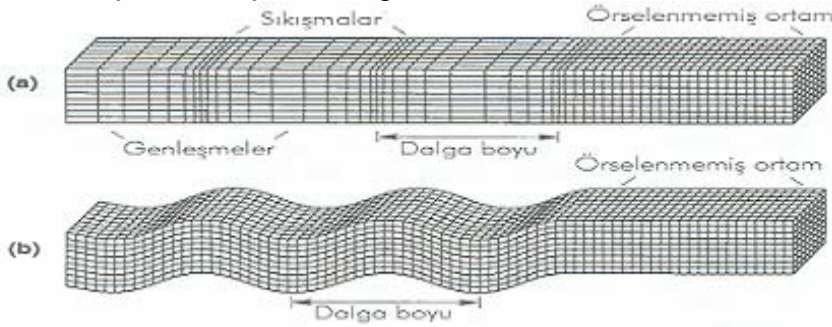
1. 5 Deprem Dalgalarının Yayılımı : P ve S Dalgaları

Büyük depremlerin oluşumu sırasında dünyanın her tarafından ölçülebilecek sarsıntı oluşturmaya yeterli düzeyde enerji ortaya çıkar. Farklı türdeki sismik dalgalar yerin iç kısmında hareket ederken farklı özellikteki katman sınırlarında kırılır ve/veya yansımalarla uğrarlar ve yer yüzeyine farklı yollardan ulaşırlar. Bu kırılma ve yansımalarla ilgili olarak yüzyılın başında yapılan araştırmalar yerin yapısının katmanlı olduğunu ortaya çıkarmış ve her katmanın kendine özgü nitelikleri olduğunu göstermiştir. Bir deprem meydana geldiğinde cisim dalgaları, hacim dalgaları ve yüzey dalgaları denen farklı türde sismik dalgalar ortaya çıkar. Hacim dalgaları yerküre içinde enerji kaynağından başlayarak serbest şekilde her yönde yayılır. Cisim dalgaları yeryüzünde yayılırlar. Cisim dalgalarının yeryüzünde yayılırken ,yerkabuğunun farklı katmanlarından yaptıkları yansımalarla da yüzey dalgaları oluşur. (Love ve Rayleigh dalgaları) Yer kabuğunun iç kısmında hareket eden cisim dalgalarının P ve S olmak üzere 2 çeşidi vardır.

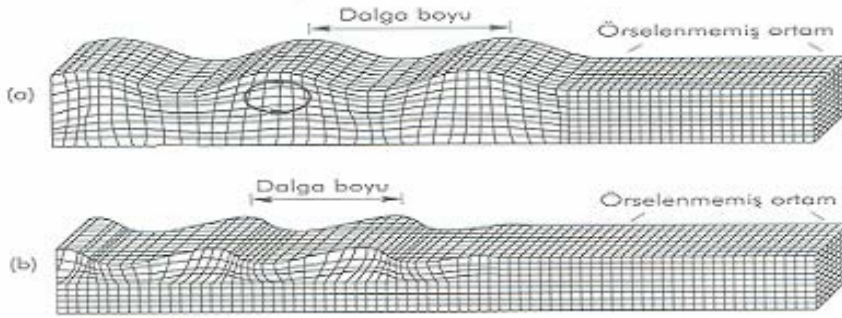
P dalgaları ortamlardan geçerken önce sıkışma sonra genişleme meydana getirir. Bu yüzden birincil, boyuna veya basınç dalgası olarak ifade edilirler. Ses dalgalarına benzeyen bu

dalgalardan etkilenen bir partikülün titreşimi dalga ilerleme yönüne paraleldir. P dalgaları ses dalgalarında olduğu gibi katı ve sıvı ortamlardan geçebilir.

İkincil, enine veya kesme dalgası olarak bildiğimiz S dalgaları içinden geçtikleri ortamda kayma deformasyonlarına yol açarlar. S dalgasından etkilenen bir partikülün hareketi dalga ilerleme yönüne diktir. Kesme dalgaları partikül hareketinin yönüne göre SV (düşey düzlemsel harekete eş) ve SH (yatay düzlemsel harekete eş) olarak 2 gruba ayrılmaktadır. Cisim dalgalarının yayılma-ilerleme hızı içinden geçtikleri ortamın rijitliğine bağlıdır. Jeolojik birimler basınca karşı daha rijit olduklarından, P dalgaları diğer dalgalardan daha hızlıdır ve sismik kayıt istasyonlarına ilk olarak bu dalgalar gelir. Yüzey dalgaları, yeryüzeyi ve yüzeydeki katmanlar ile cisim dalgaları arasındaki etkileşim sonucunda oluşurlar. Bu dalgalar, genlikleri kabaca derinliğe göre üssel olarak azalarak yer yüzeyinde ilerlerler. Özellikleri Şekil.3 ve Şekil.4'te gösterilmektedir.



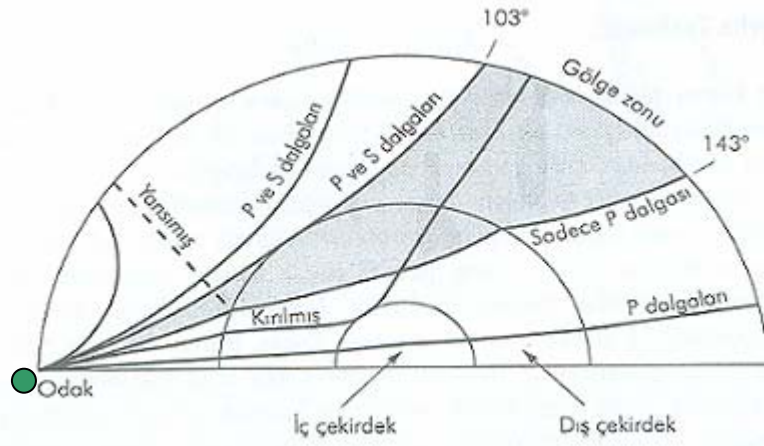
Şekil 3. Cisim dalgalarının oluşturduğu deformasyonlar. a) P dalgası b) SV dalgası



Şekil 4. Yüzey dalgalarının oluşturduğu deformasyonlar. a) Rayleigh dalgası. b) Love dalgası

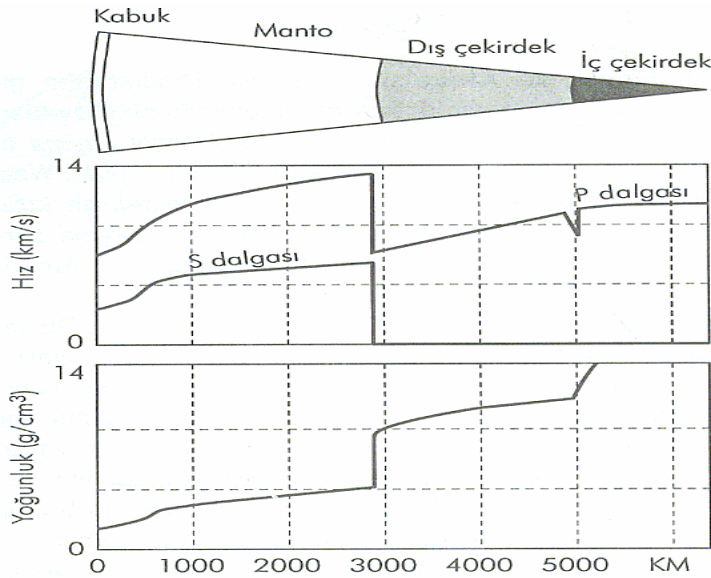
Bu dalgaları üretmek için gerekli olan etkileşimin karakterinden dolayı, bir deprem kaynağından çok uzak mesafelerde yüzey dalgaları daha baskın olmaktadır.

Yerkabuğu kalınlığının yaklaşık 2 katından daha uzak mesafelerde maksimum yer hareketinin oluşmasında cisim dalgalarından çok yüzey dalgaları rol oynamaktadır. Mühendislik açısından en önemli olan yüzey dalgaları Rayleigh dalgaları ve Love dalgalarıdır. P dalgaları ile SV dalgalarının yeryüzeyi ile etkileşiminden oluşan Rayleigh dalgalarında partikülün yatay ve düşey yönlerin ikisinde de hareket etmesi söz konusudur. Bir bakımdan, bir su birikintisi içine atılan taşın oluşturduğu dalgalara benzerler. Love dalgaları, SH dalgalarının yumuşak çökellerle etkileşimi sonucunda oluşur ve bunlarda partikül titreşiminin düşey bileşeni yoktur.



Şekil 5. Deprem kaynağından yayılan sismik dalgaların yerin değişik katmanlarına yansıtılmasını ve kırılmasını gösteren sismik dalga izleri.

Şekil 5.'te yer yapısının deprem sırasında oluşan dalgaların dağılımı üzerine etkisi görülmektedir. Dalga ilerleme hızları genellikle derinliğe bağlı olarak arttığından, dalga izleri (wave paths) yer yüzüne doğru kırılmaktadır. Bunun tek istisnası, dış çekirdeğin hızının manto hızından daha düşük olduğu çekirdek-manto sınırında gerçekleşmektedir. P ve S dalgalarının 0 derece ile 103 derece arasında yerin yüzüne eriştiğine, fakat dış çekirdeğin sıvı karakterinden dolayı 143 derece ile 180 derece arasında sadece P dalgalarının yerin yüzüne eriştiği dikkat çekmektedir. Öte yandan, 103 derece ile 143 derece arasındaki gölge zonunda sadece iç çekirdekten yansıyan izler yerin yüzüne erişebilmektedir (Summer 1969).



Şekil 6. yerin içinde P ve S dalga hızlarının ve yoğunluğunun değişimi (Eiby,1980)

İKİNCİ BÖLÜM

DEPREMDE YAPININ ZEMİNLE ETKİLEŞİMİ

Günümüzde yapılar, özelde binalar, betonarme ve çelik taşıyıcı sistemlerle oluşturulurlar. Depremler esas olarak bunlara yatay kuvvetler uygular. Yapının direnci taşıyıcı sistemin özellikleri kadar üzerinde oturduğu, içinde bulunduğu zeminin özelliği ve yeraltı suyunun durumu ile belirir. Örneğin, taşıyıcı sistemin yetersiz olduğu durumlarda temel zemininin kayada olduğu gibi nitelikli olması durumunda yıkım oluşmadığı sıkça gözlemlenmiştir.

2.1 Yapının Sismik Özellikleri

Depremde yapı hasarını belirleyen iki ana değişken vardır. Yapıya gelen deprem yükü ve yapının deprem yüklerine karşı dayanımı. Yapıya gelen deprem yükü ise yapının bulunduğu noktadaki deprem kuvvetli yer hareketiyle ilişkilidir. Kuvvetli yer hareketinin özellikleri ise depremin büyüklüğüne, depremin olduğu faydaki yırtılma mekanizmasına, deprem merkezinin yapının bulunduğu yere göre yönüne, deprem dalgalarının odaktan gelirken geçtikleri ortama ve yapının bulunduğu yerdeki zemin koşullarına bağlıdır.

Yapıların iki önemli dinamik özelliği vardır: periyot ve sönüm. Yapının periyot ve sönümü yapıya gelen yatay yük düzeyine bağlıdır. Periyot arttıkça yapıya gelen deprem yükü azalabilir. Bu nedenle periyot ve sönüm deprem yer hareketinin spektrumuna bağlı olarak yapıya deprem süresi içinde etkiyen yatay yük düzeyini de belirler. Yapının tasarım sırasında hesaplanan ya da seçilen periyot ve sönüm düzeyleri tasarım yüklerini belirlerken bir deprem sırasındaki yatay yük düzeyi ve yapının hasarına ya da plastik davranışına ve ötelenmelerine bağlı olan yapı periyodu ve sönüm oranında olan değişimler yapıya deprem sırasında yatay yük düzeyini ve yapının hasarını belirleyici olarak bir karşılıklı etkileşim içindedir: Deprem yükü yapının hasarını artırır, yapının periyodu uzar ve sönüm oranı büyür. Yapı periyodu ve sönümünde deprem sırasında olan değişimler yapının deprem davranışı ve deprem hasarını açıklamakta kullanılabilir.

2.1.1 Deprem Spektrumu

Bir deprem anında hareketin spektrumu (davranış) çıkarıldığı zaman, zemin maksimum ivmesi ile maksimum davranış ivmesi arasındaki orana “dinamik büyütme” veya “dinamik amplifikasyon” denir.

Mukabele spektrumu bu değişik dinamik sistemlerin en büyük mukabelelerinin grafiğidir. Buradan periyodu ve sönümü bilinen bir yapının, belli bir depremin kuvvetli yer hareketi altında zorlanacağı en büyük öteleme, ivme ve hız değerleri hesaplanabilir. Mukabele spektrumları yapıların elastik olarak davrandıkları varsayımına göre hesaplanır. Bu varsayımına göre de yapılara gelen yükler büyük boyutlarda olur. Öte yandan, yapıların elastik olarak taşıyabildikleri yükler sınırlıdır. Buna karşın, yaşanan pek çok depremde gözlemlendiği gibi, ağırlığının %10'u gibi bir yatay yüke elastik olarak karşı koyabileceği hesaplarla gösterilmiş ve bu yükü izin verilen gerilme sınırları içerisinde taşıyabilen bir yapının, bu deprem yükünün 3-5 katı üzerinde olan deprem yüklerine yıkılmadan taşıyabilmesinin açıklanması gereklidir.

Bu tasarım yaklaşımında yapı depremde oluşabilecek yatay yüke göre 5-6 kez daha düşük bir yükü elastik olarak taşıyabilecek biçimde tasarlanır. Şiddetli depremde ise yapının elastik ötesi enerji tüketme gücünden yararlanılarak onun depreme karşı koyması, yıkılmaması sağlanır. Bu depreme dayanıklı üstyapı tasarımının temel yaklaşımıdır.

2.1.2 Depremde Davranışın Analizi

Deprem hareketi bir harmonik hareket olsaydı, sorun analitik olarak çözülebilirdi. Ancak depremler binaya gelişigüzel titreşimler getirdiğinden çözüm zorlaşır. Buna rağmen, Fourier spektrumu aracılığı ile deprem birçok harmonik hareketin süperpozisyonu olarak kabul edilir ve çözüm üretilir.

Depremde yapıya etkiyen kuvvet dinamik, bir başka deyişle zaman içinde değişen bir kuvvettir. Bilindiği gibi bu kuvvet kütle ile ivmenin çarpımıdır:

$$F = m \cdot a(t) \dots\dots\dots (1)$$

Burada m : Yapının kütlesi, $a(t)$: depremde oluşan yer ivmesinin deprem süresi içinde değişimini göstermektedir.

Yapının genel hareket denklemi

$$m x'' + c x' + k x = F_0 \sin pt \dots\dots\dots (2)$$

olarak verilir.

Burada

- x'' =İvmeyi
- x' =Hızı
- x =Ötelemeyi
- c =Sönümü
- k =Yay sönümleme sabit katsayısını
- p =zorlayıcı açısal frekansı
- t =zamanı
- F_0 =Maksimum zorlayıcı kuvveti ifade etmektedir.

Bu denklemin çözümü ise

$$x = e^{-\xi w_n t} (A \cos w_d t + B \sin w_d t) + \frac{F_0}{K} \frac{1}{\sqrt{(1 - \beta^2)^2 + 4\xi^2 \beta^2}} \sin(pt - \varphi) \dots\dots\dots (3)$$

Burada $\frac{F_0}{K}$ = Statik ötelenme

$$\beta = \frac{P}{w_n}$$

$$\varphi = \text{Faz açısı} = \text{Arctg} \frac{2\xi\beta}{(1 - \beta^2)}$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K}{m}} = \text{Sönümsüz açısal frekans}$$

$$\xi = \text{Kritik Sönüm Oranı} = \frac{c}{2m\omega_n}$$

$$\omega_d = \text{Sönümlü açısal frekans}$$

$$p = \text{Zorlayıcının açısal frekansı}$$

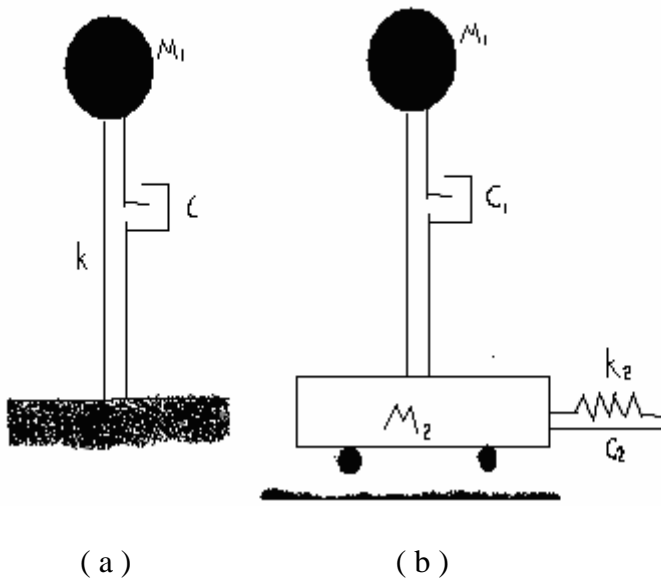
$$\omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \xi^2} \quad (\text{Küçük sönümlerde } \omega_d \cong \omega_n \text{ kabul edilir})$$

$$\frac{1}{\sqrt{(1 - \beta^2)^2 + 4\xi^2\beta^2}} = D = \text{Dinamik çarpan.}$$

Denklemden kullanılan birinci terim geçici titreşim, ikincisi ise kalıcı titreşimdir. Denklemlerdeki A ve B katsayıları başlangıç şartlarından çıkarılacak olup, birkaç salınım sonunda sönümlendiği kabul edileceğinden yalnızca kalıcı kısım irdelenir.

Bu durumda büyütme düşürmek için yapılması gereken iki şey vardır (Şekil.7);

- (a) Bina frekansını düşürmek-periyodunu yükseltmek
- (b) Sönümü arttırmak



Şekil 7. İki ayrı dinamik model

Uygulama her iki özellikten de yararlanma ile yapılmaktadır. Şekil 7a' daki ankastre taban modeli yerine Şekil 7b'deki yatay öteleme yapabilen, serbestlik derecesi 1⁰ arttırılmış model ele alınırsa, hesap sonucu da dinamik çarpan formülünden elde edilecektir. Burada k tek serbestlikli sistemin yay sönümleme sabitidir ve k2 de zemin yay sönümleme sabiti kabul edilmiştir. C1 yapısal sistemin sönüm katsayısı ve C2 zeminin sönüm katsayısıdır. C2, çok büyük bir kritik sönüm oranı verdiği için amplifikasyonu iyice düşürecektir. Depremin birçok harmonik hareketin süper pozisyonu olduğu düşünülse de farklı faz ve frekanstaki dalgalar, ters yönden de etkileyecekleri için genliği azaltır.

Dolayısıyla tam bir rezonans söz konusu değildir. Eldeki spektrumlar, tamamen elastik davranışa göre çıkarılmıştır. Bu durumda bina frekansının değişmez olduğu sabit varsayılmaktadır. Oysa gerçek öyle değildir. Binada mafsallaşma başladıkça frekans düşecek,periyot ve sönüm artacaktır.($T=2\pi/W$) çünkü rijitlik düştüğünde W_n de düşecektir. C sönüm katsayısı sabiti kabul edilir ve C'nin artması söz konusudur, düşmesi değil. Yukarda $C=2 \xi .W_n$, $C1= 2 \xi_1.W_n$, $C2= 2 \xi_2.W_n$ 'dir. ξ = kritik sönüm oranıdır. Bu değer, yapılarda 0,05≈0,1 arasında (elastik sınırdaki) değişir. Ancak temel ötelemesinde bu, 0,2≈0,3 civarındadır. Gerek spektrum eğrilerinden gerek (3) denklemden bu durum daha iyi anlaşılır. Davranış spektrumunda başlangıçta “rezonans” durumunda olan bir bina plastik sınıra geçince D şiddetle düşecektir ve kritik sönüm oranı da artacaktır.

2.1.3 Yapı Kusurları

Depremde binalarda oluşan hasar ve yıkımın deprem ve taşıyıcı sistemin özellikleri yanısıra mühendislik hatalarından kaynaklandığı görülmektedir.

Betonarme taşıyıcı sistemin düzensiz olması en başta gelen yapı kusurudur. Arsa veya mimari proje nedeniyle kirişlerin dolaylı mesnetlenmeleri ve kolonlarla aksel birleşmemeleri bu türden hasarların başlıca nedenleridir. Örneğin, hasar gören birçok binada, zemin kattan sonra çıkma yapılmış olduğu tespit edilmiştir. Betonarme elemanların düzeninde konstrüktif kurallara uyulmaması da önemli bir hasar nedenidir. Etriyelerin yeterli sıklıkta yapılmaması, kiriş-kolon düğüm bölgelerinde hemen hemen hiç etriyenin bulunmaması ve donatıların kenetlenme boylarının yeterli olmaması da bu türden hasar nedenleri arasındadır.

Beton kalitesinin düşük olması, hazır beton yerine şantiyede ilkel koşullarda beton hazırlanması, bir diğer önemli hasar sebebidir. Tamamen yıkılan binalardan çeşitli beton numuneleri alınıp, laboratuvar deneylerine tabi tutulduğunda bunların mukavemetleri 10 MPa civarında bulunmaktadır. Ayrıca, Avcılar, Küçükçekmece gibi ilçelerde yaygın olarak deniz kumu kullanılmış olması, donatılarda korozyona ve dolayısıyla mukavemet ve kesit kaybına neden olmuştur.

Binaların giriş katlarının ticari hacimler (dükkan, market, galeri, depo vb.) şeklinde kullanılmaları “yumuşak kat” olarak tanımlanan ve yeterli rijitliğe sahip olmayan katların ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Deprem bölgelerinde yapılan incelemelerde binalardaki hasarların çok önemli bir bölümünün zemin katların yeterli rijitliğe sahip olmamasından kaynaklandığı tespit edilmiştir. Bazı binalarda ise yer kazanmak amacıyla zemin katlarda bazı kolonların kesildiği görülmüştür.

Binalardaki hasarların bir diğer nedeni ise, daha önceki depremlerde de hasara sebep olan ve ara kat yapılmasından kaynaklanan “kısa kolon” problemidir.

2.2 Yapının Dinamik Özelliklerinin Titreşim Deneyleri ile Ölçümü

Dinamik bir etkene karşı bir yapının tepkisinin analizi en genel halde dahi oldukça zordur. Yapının dinamik özellikleri ve yapıya gelen kuvvetlerin özellikleri hakkında basitleştirici kabullerin yapılması gereklidir. Dinamik zorlamalar altında yapının tepkisi büyük ölçüde uygulanan kuvvetin büyüklüğüne, yapıdaki kütle ve rijitlik dağılımı, yapı-temel zemini etkileşimine, elemanların birleşim durumlarına ve enerji yutabilme özellikleri ile yakından ilgilidir.

Yapıya önceden yerleştirilen ve olayı hareket anında kaydedebilen akselerograflar sayesinde bir yapının deprem gibi bir dinamik yük altında gerçek davranışı hakkında önemli bilgiler elde edilebilmektedir.

Bir yapının dinamik özellikleri hakkında bilgi edinebilmenin diğer yolları üç grupta toplanmıştır.

- 1- Serbest Titreşim Deneyleri
- 2- Zorlanmış Titreşim Deneyleri
- 3- Sarsma Tablası Deneyleri

2.2.1 Serbest Titreşim Deneyleri

Yapıya belli bir başlangıç ötelenmesi veya bir darbe etkisi ile belirli bir başlangıç hızı verilir. Buradan elde edilen titreşim kayıtları değerlendirilir.

2.2.2 Zorlanmış Titreşim Deneyleri

Bir titreşim üretici yardımıyla yapıya harmonik olarak değişen bir kuvvet uygulanır. Yapıda hasar meydana getirmeyecek büyüklükteki bu kuvvetin etkisi altında yapının değişik yerlerinde, ivme veya hız kayıtları alınır ve bu kayıtlar yapının dinamik analizi için gerekli doğal titreşim frekansları ve mod şekilleri enerji tüketimi ve yapı-zemin tepkimesi açılarından değerlendirilir. (M.Erdik, P.Gülkan, Mayıs 1981).

Genellikle zorlanmış titreşim deneyleri yapıya belirli bir yönde harmonik olarak değişen bir kuvvetin uygulanmasıyla gerçekleştirilir. Bir eksen etrafında eksantrik bir ağırlığın belirli frekansla döndürülmesi sonunda yapıya harmonik olarak değişen bir kuvveti uygulamak mümkündür. Ancak bu kuvvetin yönü eksen etrafında devamlı olarak değişeceğinden belirli bir yönde uygulanma şartı sağlanmış olacaktır. Bu da deprem hareketinde tek yönlü hareket modellemesine uymamaktadır. Depremde çok yönlü hareket etkin olduğundan burada etkin olan tek yönlü hareketin getirdiği sorunu ortadan kaldırmak için eksantrik ağırlığı aynı olan ve bir yerine iki kütlelerin birbirine zıt yönlerde aynı frekansla döndürülmesi gerekir. Günümüzde kullanılan VG-1 senkronize titreşim üretici sistemi bu yöntemle dayanmaktadır.

Bina deneylerinde genellikle bir birim kullanılmakta (bir titreşim üretici, bir konsol) ve üreteç yapının en üst katına kuvvetin uygulama eksenini binanın o kattaki rijitlik eksenine ile çalışacak şekilde yerleştirilir.

Herhangi bir doğal modun kolayca uygulanabilmesi için binayı zorlayacak kuvvetin o moda ait en büyük bağıl deplasmanına karşı gelen kat hizasında etki etmesi gerekir. Gerek perdeli, gerekse çerçeve binalarda, en üst katta herhangi bir modal düğüm noktası bulunmamakta ve ilk iki mod'a ait en büyük bağıl deformasyon bu katta bulunmaktadır. M.Erdik, Ö.Yüzügüllü, B.Atalay, E.Yarar, (Ocak 1981). M.Erdik, Ö.Yüzügüllü, B.Atalay, Ç.Yılmaz, (Aralık 1978)

2.1.3 Sarsma Tablası Deneyleri

Belirli bir patene göre tablaya uygulanan dinamik etkiler (ivme, hız, deplasman) altında, tabla üzerine yerleştirilen prototip eleman veya model yapının davranışı incelenir. Bu tür deneylerde dinamik zorlanma olarak gerçek veya yapay deprem kayıtları da kullanılabilir ve yapının kırılmaya kadar olan elastik olmayan davranışları da incelenebilmektedir.

2.3 Zeminin Sismik Koşullarda Özelliği

Zemin ayrık daneler, su ve hava'nın çok değişik oranlarda bir araya geldiği, bu nedenle heterogen ve anizotrop (eşyönsüz) bir jeolojik malzemedir. Bunun doğal sonucu olarak mühendis binayı olabildiğince kayaya oturtmak ister. Ancak depremin etkin olduğu birçok yerde anakaya yüzeyden kazık dahi kullanılamayacak denli derinde bulunduğundan temellerin mevcut zemine oturtulması kaçınılmaz olur.

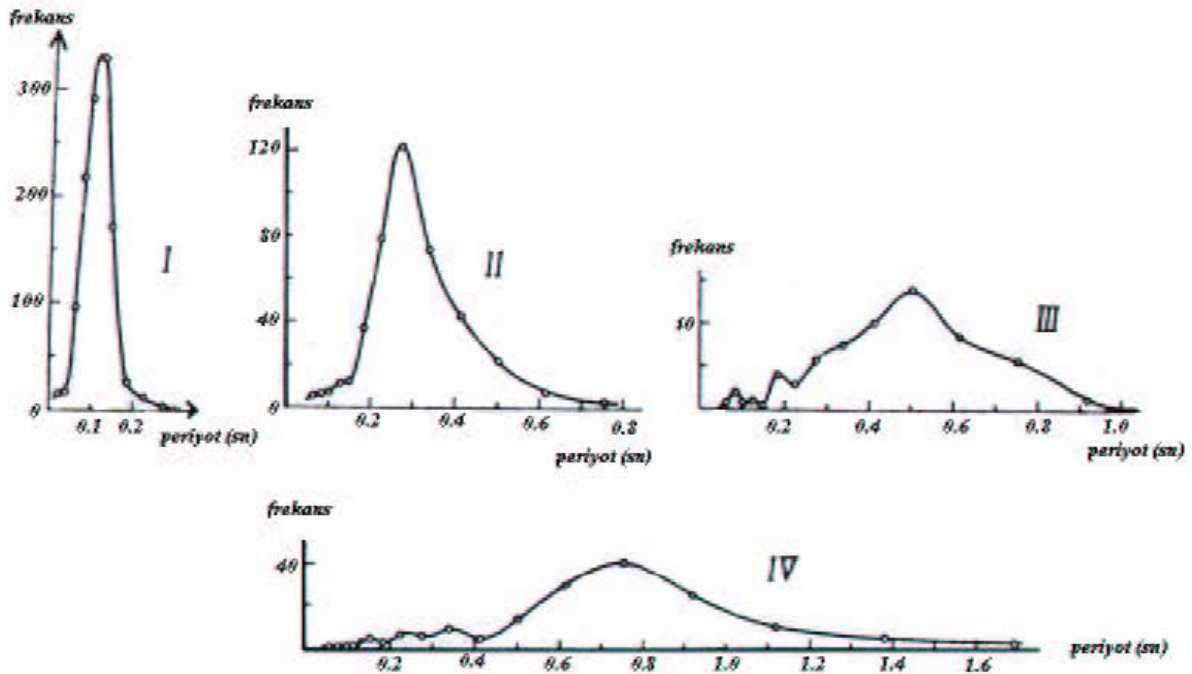
Öte yandan birçok mühendisin yapının deprem davranışında taşıyıcı sistemin eğemen olduğu, zemin özelliklerinin büyük önem taşımadığı gibi bir yanlışlığı içinde olduğu da bir gerçektir. Deprem ivme spektrumu incelendiğinde (Şekil 8.a.- 8.b.- 8.c.) farklı zeminlerdeki periyot (T), frekans(f) ve spektrum eğrilerinden , binanın zeminin özelliğine bağlı olarak önemli davranış farkları gösterdiği görülebilmektedir

Şekil 8.a.'da I. Dağlık bir alanda periyotlar keskin bir pik yapmıştır. 0.1-0.2sn.arasında sıkı dilüvyal bir zemin.

II. 0.2-0.4 sn arasında, yumuşak ve alüvyonal bir zemin.

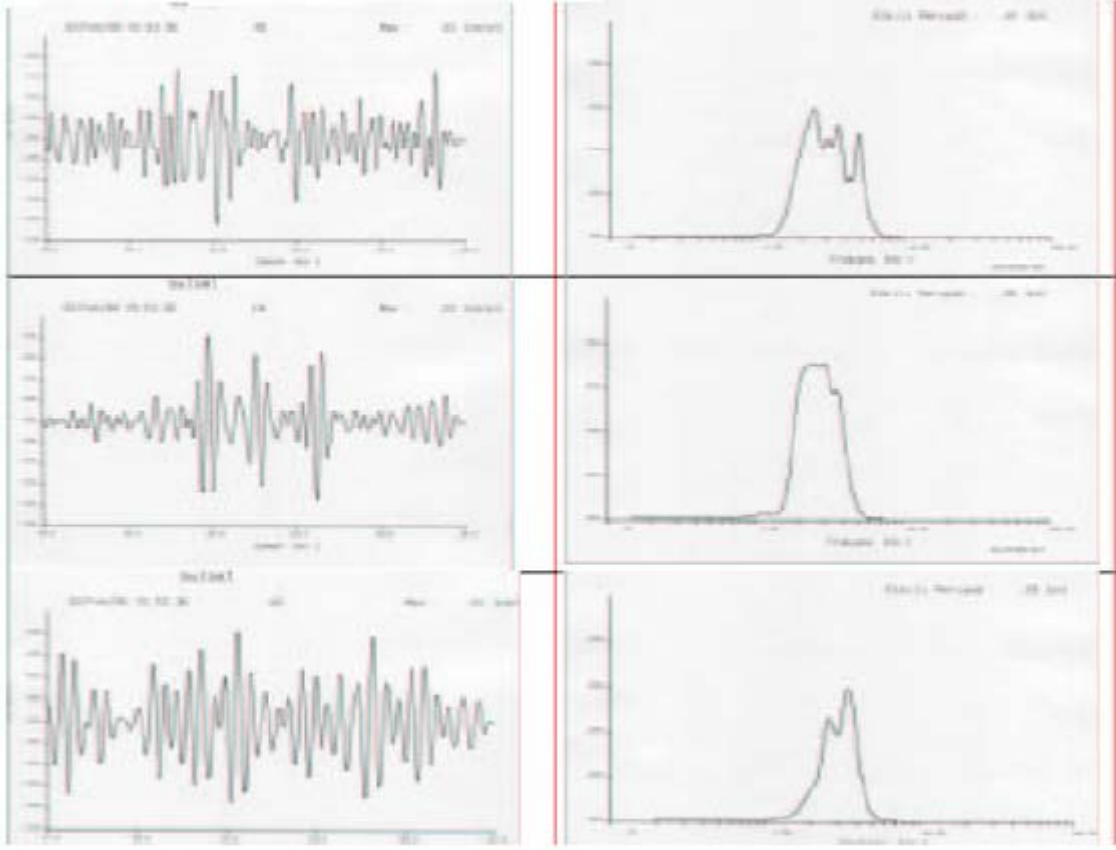
III)0.4-0.8 arasında ve düzensiz bir şekilde, özellikle kalın ve yumuşak zeminlerde ise düze yakın

IV) 0.05-2 sn arasında yumuşak delta depozitleri, bataklık veya deniz dibinin doldurulmasıyla oluşmuş zeminler için periyot dağlılımlar gözlenmektedir.(Şekil 8.a.)

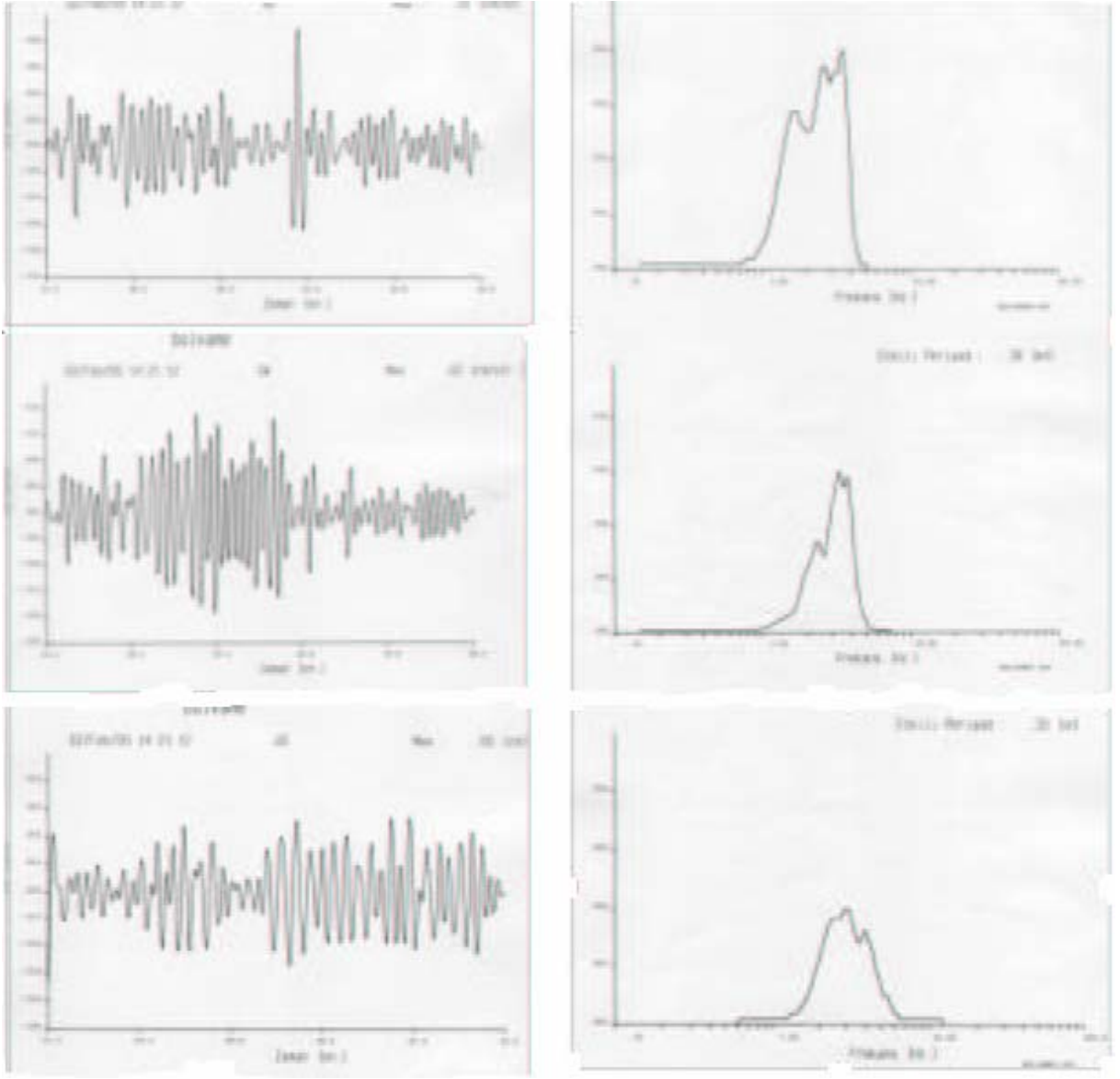


Şekil 8.a. Değişik zeminlerdeki Periyot (T) – Frekans (f) değişimleri.

Şekil 8.b. Ve Şekil 8.c. De farklı zeminlerdeki spektrum kayıtları görülmektedir.



Şekil 8.b. Sultan dağı Sağlık Ocağındaki Üç bileşenli İvme Kayıtları ve Fourier Genlik Spektrum Eğrileri



Şekil 8.c. Bolvadin Meteoroloji istasyonundaki üç bileşenli mikrotremor kayıtları ve Fourier Genlik Spektrum Eğrileri

Zeminin sıkı veya sert olması durumunda (aşırı konsolide kil, sıkı kum-çakıl) zeminin üst yapıya etkisi azalmakta, kalite düştükçe yani kil normal yüklenmiş kum da gevşek hale geldikçe bina zeminden artan olumsuz etkiler almaktadır.

2.3.1 Zemin büyütmesi

Etkisinin ne denli önemli olduğu henüz kazanmamış olmakla birlikte kimi zeminler deprem enerjisini üst yapıya büyüterek aktarırlar .

Zemin büyütmesi , deprem sırasında zeminin ve dolayısıyla yapının,depremi hangi şiddette duyacağıının bir ölçüsüdür. Ayrıca bir zemin tabakasının yüzey kesimlerinde elde edilen kayma dalgası hızının, söz konusu zeminin büyütme seviyelerinin belirlenmesi açısından oldukça önemli bir zemin özelliğidir.

Shima (1978)'de yaptığı araştırmalarla, yüzeyde ölçülen kayma dalgası hızı ile anakaya'da ölçülen kayma dalgası hızı oranına bağlı olarak büyütme faktörünün analitik olarak hesaplanabileceğini göstermiştir. Buna göre anakaya'daki kayma dalgası hız değerinin sabit olduğu bölge üzerinde büyütme neden olan etkinin yüzeydeki kayma dalgası hızından kaynaklandığını belirtmiştir.

Midorikawa (1987); Borcherdt vd. (1991), tarafından yapılan araştırmalarda yer hareketi esnasında ortaya çıkan kayma dalgası hızının gözlenmesi ve analizi sonucunda, açığa çıkan bu hızın ortalama değerinin, yüzeyde belirli derinlikte yer alan zeminlerde meydana gelen büyütme seviyeleri üzerinde önemli bir etkisi olduğunu belirtmişlerdir.

2.3.2 Sıvılaşma

Zemin mekaniğinin en önemli kavramı efektif gerilmelerdir. Öz ağırlık, dış yükler ve deprem etkisi gibi kitle gerilmelerini artırıcı etkiler doygun ortamda zemin iskeletine oranla sıkışmaz kabul edilebilecek boşluk suyu tarafından karşılanır(u_w). Efektif gerilme ortamda beliren toplam gerilmeden(σ) boşluk suyu basıncının farkı olarak tariflenir:

$$\sigma' = \sigma - u_w \dots\dots\dots (4)$$

Zeminde artan efektif gerilme kayma direncini yükseltir, σ' nin sıfıra yönelmesi daneler arasındaki dokunmanın kaybı anlamına geldiğinden zemin sürekliliğini kaybeder ve yenilir.

Sıvılaşma deprem sırasında yükselen boşluk suyu basıncının toplam basınca eşit olduğu, yani efektif gerilmenin sıfıra düştüğü aşamada gerçekleşir. Sıvılaşan zeminin taşıma gücü kaybolduğundan üzerinde oturan bina aşırı hareketler göstererek hizmet dışı kalır.

Üniform kumlar ve plastik olmayan siltler sıvılaşma yeteneğine sahiptir.

2.3.3 Zemin Yenilmesi

Çok genç yumuşak veya gevşek zeminler sıvılaşmasa dahi, depremin uyguladığı çevrimsel gerilmelerden olumsuz etkilenir ve aşırı ötelenmeler gösterirler. Bunun sonucu temelin taşıma gücü aşılır, çoğun da oturmalar kabul edilebilir limitlerin üstüne çıkar.

2.4 Deprem Etkilerinin Azaltılması

Yapının depremin olumsuz etkilerinden korunması için alınabilecek birçok önlem vardır. Olay yapının zeminle olan etkileşiminden kaynaklandığından bu önlemlerin zeminde, yapıda ve her ikisinde birden alınması gündeme gelebilir. Yöntemleri şöyle sıralayabiliriz

- Zeminin iyileştirilmesi
- Yapının güçlendirilmesi
- Yapının yalıtılması

2.4.1 Zeminin İyileştirilmesi

Zemin iyileştirme çalışmaları yetersiz zeminin kaldırılarak yerine kaliteli gereç sıkıştırılmasından kazık uygulamasına, zemin-çimento kolonları oluşturulmasından elektro kimyasal enjeksiyona değişen türlerde ve çok farklı maliyetlerin söz konusu olduğu etkinlikleri kapsar.

2.4.2 Yapının Güçlendirilmesi

Tasarlanan veya mevcut bir yapıda deprem etkileri en basit şekilde stratejik olarak konumlanan perde sistemleri ile karşılanmaktadır.

Mevcut bir yapı, herhangi bir sebepten (kötü projelendirme ve/veya uygulama) beklenen bir depreme dayanacak güçte olmayabilir. Dolayısıyla güçlendirilmesi gerekir. Yapının güçlendirmesinde değişik yöntemler uygulanmaktadır.

Güçlendirme perdeye tamamlama, çelik çerçeve ilavesi, mantolama gibi çeşitli şekillerde olabilir. Ancak unutulmaması gereken bir husus, birim maliyetin, yapı birim maliyetinden fazla olduğudur. Bu sebepten, çoğu kez binanın yıkılıp yeniden yapılması daha ekonomik olabilir.

Ancak ezberle yapılan bir güçlendirme, fayda yerine zarar verebilir. Örneğin hasar görmüş bir binada sadece hasarlı kolonları mantolamak rijitlik dengesini bozabilir. Onun için güçlendirme işi bir projelendirme sonucu yapılmalıdır. Güçlendirme projesi yapılırken aşağıdaki sıra izlenir:

- a-) Zemin etüdü yapılarak zeminin mekanik özellikleri ile hakim frekans belirlenir.
- b-)Herhangi bir spektrum esas alınarak binanın alacağı yatay yük katsayısı belirlenir.Spektral katsayı esas alınarak efektif zemin ivmesi bulunur. Bina ömrü içinde olabilecek, maksimum ivme göz önüne alınarak, güçlendirme yapıp yapılmayacağına karar verilir.

2.4.3 Yapının Yalıtılması

Zemin ve yapı özelliklerinden bağımsız olarak deprem ivmelerinin binaya etkimemesi yalıtım sistemleri ile (sismik izolatör) sağlanabilir. Bunlara pasif sistemler de denmektedir.

Pasif kontrol sistemleri, maliyetlerinin görece düşük ve hesap yöntemlerinin kolay olması sebebiyle günümüzde uygulamasına sık rastlanan sistemlerdir. Pasif kontrol sistemleri uygulama açısından, sismik taban izolasyon sistemleri ve pasif enerji sönümleyiciler olarak iki guruba ayrılırlar. Sismik taban izolasyon sistemleri, temel ile temel üstündeki yapı arasına

kurulan ve yapının zemine bağılı olan temele göre büyük yatay yer değiştirme yapmasına izin veren izolatörlerden oluşur. Bu izolatörler, zeminden gelen yüksek frekanslı (düşük periyotlu) titreşimleri, yaptığı büyük yanal yer değiştirmeler vasıtasıyla, yapıya düşük frekanslı titreşimler olarak iletir. Örneğin, birinci doğal titreşim periyotları ortalama 0.5 saniye olan orta yükseklikteki yapıların periyotlarını 2.5 saniye civarına çıkartırlar. Deprem enerjisi bu büyük yer değiştirmeyle sönümlenir ve yapı rijit bir davranış sergiler. Böylece katlar arası ötelenmeler küçülür ve yapıda hissedilen titreşim ivmesi zemin titreşim ivmesinden az olur.

Sismik taban izolasyon sistemi,yapının doğal titreşim periyodunu arttırarak yapıya etkiyen ivmenin azalmasını amaçlar. spektrum ivmesinde yapı periyodunun artmasıyla yapıya etkiyen ivmenin azalışı ve yanal yer değiştirmenin artmasıyla yapı periyodunun artışı görölmektedir. Taban izolatörleri yapının kolonları altına yerleştirilirler. Muhtemel bir depremde yıkılacağı tahmin edilen, kesit boyutları yetersiz, yedi katlı bir yapının klasik güçlendirme metodu (ek perdeler ve kolonların mantolanması) ve kurşun çekirdekli taban izolasyonu ile korunmasının karşılaştırılması sonucunda taban izolasyonlu çözümlerin ne kadar etkili olduğu daha iyi anlaşılır.

Bu amaçla, yedi katlı bir yapının, mevcut hali ile çözümleri, klasik güçlendirme ile çözümleri ve taban izolasyonlu çözümleri, 1999 Düzce depreminin ivme kayıtları ile zaman tanım alanında dinamik analizi yapılmış ve oluşan kat kesme kuvvetleri incelendiğinde, Taban izolasyonlu çözümlerde kat kesme kuvvetleri önemli ölçüde azalırken klasik güçlendirme metoduyla yapıya eklenen perdeler kat kesme kuvvetlerini arttırdığı görölmüştür.

Klasik güçlendirme ve taban izolasyonlu korumanın maliyet analizleri yapıldığında ise taban izolasyonlu koruma sisteminin, klasik güçlendirme yöntemine göre %30 civarında daha ekonomik olduğu tespit edilmiştir.

Taban izolasyonu inşaatı sırasında, tüm yapı yerine sadece zemin kat boşaltıldığı için yapı inşaat sırasında da hizmet verebilmektedir.

Pasif enerji sönümleyiciler ise, deprem ve şiddetli rüzgâr gibi dış etkilerin yapıda oluşturduğu kesit zorlarını ve yer değiştirmelerini kabul edilebilir ölçüde tutmak için yapıya yerleştirilen mekanik elemanlardır. Bu elemanlar, kinetik enerjiyi (deprem ve rüzgâr enerjisi) ısı enerjisine dönüştürmek veya kinetik enerjiyi titreşim modlarına transfer etmek suretiyle yutarlar. Yapıya etki eden dinamik kuvvetleri ısı enerjisine dönüştürerek sönümleyen sistemler; histeretik sistemler ve viskoelastik sistemler olarak, titreşim modlarına transfer ederek sönümleyen sistemler ise dinamik titreşim sönümleyiciler olarak gruplandırılır.

Histeretik sistemler, sürtünmeli cihazlar ve eğilmeli metal cihazlar olarak ikiye ayrılır. Sürtünmeli cihazlar, sürtünme kuvveti ile, eğilmeli metal sönümleyiciler ise plastik şekil değiştirme ile enerjiyi üzerlerine alarak sönümlerler.

Bunlar kat aralarına yerleştirilerek kat arası deplasmanları sınırlandırılır. Bu cihazlar depremden sonra deforme olurlar ve yenileri ile değiştirilirler. Histeretik sistemler sadece sismik izolasyon uygulamalarında kullanılabilir, rüzgâr gibi sürekli ve daha düşük seviyedeki kuvvetlerde kullanılamazlar. Bu amaçla viskoelastik sönümleyiciler geliştirilmiştir. Bu tür sönümleyiciler her seviyedeki şekil değiştirmelere uygundur.

Viskoelastik sönümleyiciler viskoelastik katı sönümleyiciler ve viskoelastik sıvı sönümleyiciler olarak iki çeşitir. Viskoelastik katı sönümleyiciler, camsı yada kopolimer viskoelastik malzemelerden oluşur. Yapıya etkiyen dış enerjiyi, viskoelastik tabakaların kayma deformasyonundan yararlanarak sönümlerler.

Viskoelastik sıvı sönümleyiciler ise genel olarak bir piston ve içi silikon (akrilik kopolimer) veya yağ dolu bir silindirden oluşur. Pistonun viskoz sıvı içerisinde hareketi sayesinde enerji sönümü sağlanır.

Viskoz malzemeler darbe etkisinde sıkıştırılmaz ve geniş bir frekans aralığında etkili olurlar, küçük boyutlarına rağmen büyük kontrol kuvvetleri sağlarlar. Dinamik titreşim sönümleyiciler, yapı kütlelerinin %1'i mertebesindeki bir kütlenin belli bir düzenekle bina tepesine yerleştirilmesiyle oluşturulan sistemlerdir. Bu tip sönümleyiciler, ayarlı kütle sönümleyiciler (TMD) ve ayarlı sıvı sönümleyiciler (TLD) olarak iki gruba ayrılırlar. TMD'ler yapıya ikinci bir kütlenin bir yay ya da sarkaç ile bağlanmasıyla oluşturulur. Yapı kütlelerine 'M', TMD kütlelerine 'm', yapı ile TMD arasındaki yayın elastik rijitliğine 'k', ve yapının elastik rijitliğine 'K' denirse; doğal frekans $\omega = \sqrt{k/m}$ 'ye ayarlandığında, sisteme uygulanan basit harmonik yük altında, 'M' kütlelerinin tamamen hareketsiz kalacağı gösterilebilir. TLD'ler, tıpkı TMD'ler gibi yapıya ikincil bir kütlenin eklenmesiyle oluşturulur ancak TLD'ler TMD'lerden farklı olarak doğrusal olmayan sistemlerden meydana gelir. TLD'ler birçok sıvı su ya da vinil klorid tabakasının hareketini sağlayan bölmelere sahip genelde polipropilen olan tanklardan oluşurlar. TLD'ler, yapıya etkileyen enerjiyi, sıvının viskoz hareketinden ve sıvıdaki dalga kırılmalarından yararlanarak yutarlar.

Pasif kontrol sistemleri yapıları güçlendirmek yerine yapıya etki eden dış dinamik kuvvetleri kendi üzerlerine alarak sönümleyen sistemlerdir. Bu sistemler yapıları depreme karşı daha iyi korurlar. Yapısal kontrol sistemleri, ekonomik ömrünü tamamlamış yaşlı ve zayıf binaların iyileştirilmesinde kullanılabilirler. Özellikle şiddetli bir depremde yıkılması muhtemel, tarihi değeri olan binalarda uygulamasına sık rastlanır.

Bu sistemlerle izole edilmiş bir yapı 8.0 Richter büyüklüğündeki bir depremde, 5.5 Richter büyüklüğündeki bir depremdeki gibi davranır. Böylelikle kesit boyutları ve malzeme kalitesiyle oynanmadan yapı korunmuş olur. Yapısal kontrol sistemleri ile mevcut bir yapıyı korumaya alırken, klasik güçlendirme sistemlerinde olduğu gibi yapının boşaltılmasına gerek yoktur ve bu sistemlerin maliyetleri daha düşük, yapım süreleri daha kısa ve verimlilikleri daha yüksektir.

1999 depremlerini izleyerek yapılan gözlemler bu sistemlerin Türkiye koşullarında uygulanmadığını açık biçimde göstermiştir. Bunun yerine daha kolay ve maliyeti daha düşük önlemlerin incelenmesi zorunlu olmuştur.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

YAPI ZEMİN ETKİLEŞİMİNİN GRANÜLER YASTIKLA KONTROLU

3.1 Problemin Tanımlanması

1999 Marmara depremlerini izleyerek yapıların güçlendirilmesi çalışmaları gözlemlendiğinde büyük bir çoğunlukla taşıyıcı sistemlerin perde uygulaması ile güçlendirildiği, depremden olumsuz etkilenen zeminlerin ise belirli derinliğe kadar kaldırıldıktan sonra Bölgede kolayca bulunan iri daneli dolgu gerecinin belirli derinliğe kadar sıkıştırılması ile iyileştirilmeğe çalışıldığı görülmüştür.

Ancak bu işlemlerin yapı zemin etkileşiminde ne denli etkin olduğu gereğince araştırılmamış, kaliteli gerecin sınılaşmayı önlediği gerekçesi yeterli bir önlem olarak kabul edilmiştir.

Çeşitli projelerle ilgili olarak bölgede yapılan zemin araştırmaları, zemin tabakalarının sıkışabilme özelliğinin çok yüksek olduğunu ve ayrıca bazı bölgelerdeki zeminlerin sınılaşma potansiyeli gösterdiğini ortaya koymuştur.

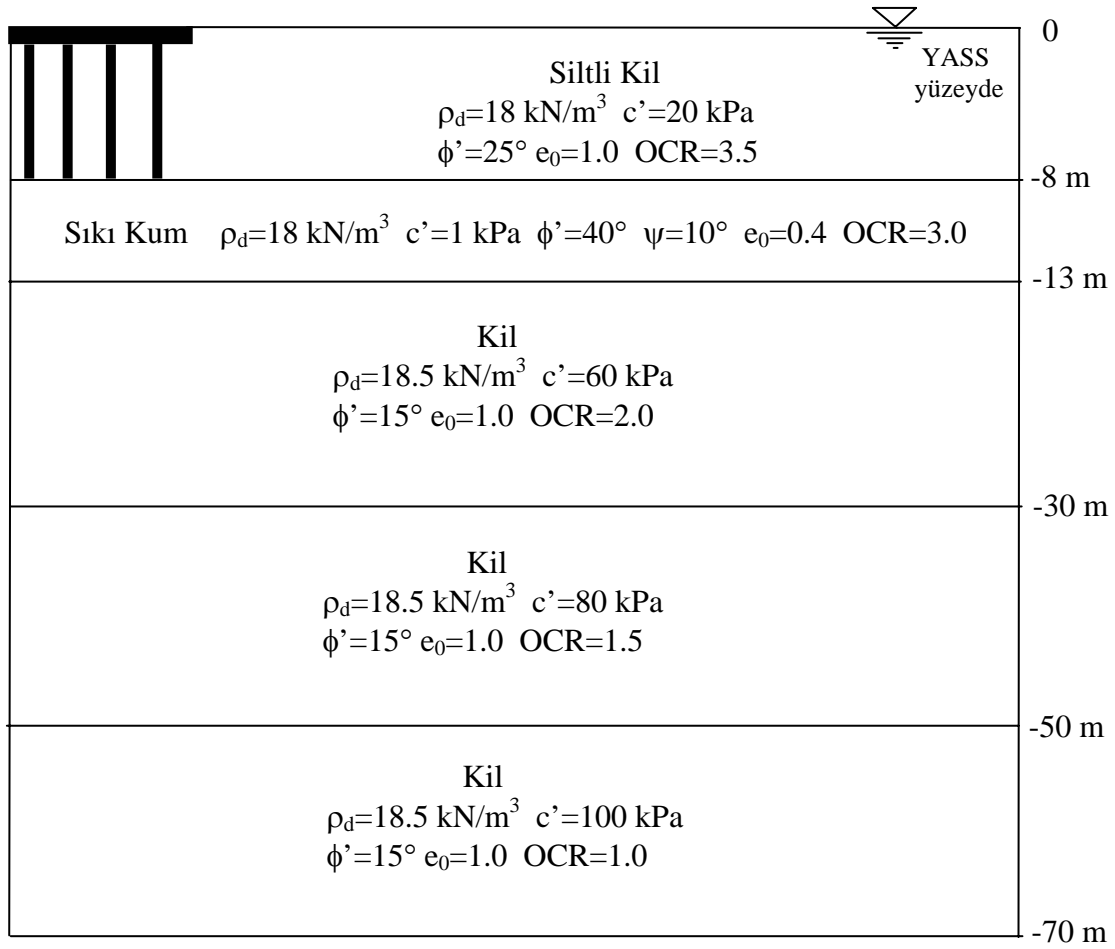
Nitekim, depremi izleyerek yerinde yapılan incelemelerde özellikle Adapazarı, Gölcük ve Yalova'da meydana gelen hasarların başlıca sebebinin zemin problemleri olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışmada depremden olumsuz etkilenen ve etkilenmeyen iki zemin ortamı için geoteknik modelleme yapılmış ve analizlerde 1999 Kocaeli depreminin Adapazarı 'ndan alınan 20 s.lik sismik kayıtları etki ettirilmiştir.

3.2 Zeminin Özellikleri

Adapazarı zeminlerinin özellikleri incelendiğinde bunların yaş ve kökeni nedeniyle deprem koşullarında her türlü yenilmeye elverişli olduğu görülmüştür. Bu nedenle geoteknik modellemede Adapazarı kent merkezinden bir tipik zemin profili seçilmiştir.

Bu profilde (Şekil 9.) yüzeysel temel kullanılması durumunda zeminin yapı tarafından etkilendiği derinlik boyunca yenilme (ground failure) olasılığının bulunduğu önceki çalışmalarla kanıtlanmıştır.



Şekil 9. Geoteknik modellemede Adapazarı kent merkezinden alınan tipik zemin profili.

Bu tür bir zeminden alınan numune laboratuvarında TS1900/2006 uyarınca denenmiş ve TS1500/2000'e göre sınıflandırılmıştır. Özellikleri Tablo. 3'de verilmektedir

Tablo 3. Silt numunesinin özellikleri

RENK	LL	PL	PI	%KUM	%SİLT	%KİL	e	SINIFI
yeşil	27	NP	NP	37	53	10	0.78-0.87	ML

3.2.1 Zemin Özelliklerinin Ölçümü

Zeminin mekanik özellikleri laboratuvarında arazi koşullarına en yakın biçimde üç eksenli hücre kesme deneyinde ölçülür. Bunun nedeni zeminin arazide altında bulunduğu gerilmelerin hücreye uygulanan çevre basıncı σ_3 ile sağlanabilmesidir. Bu gerilme numunenin aldığı ve değişmez tutulabilen hücre su basıncı ile uygulanır (Foto.1.). Numune konsolide edilerek herhangi efektif gerilme (derinlik) için dengeye getirilmek istenirse drenaj muslukları açık bırakılarak fazla boşluk suyu basınçlarının sönmülmesine izin verilir. Sonra istenen gerilme artışları hücre pistonuna yapılan yükleme ile verilir.

Bu da büyük asal gerilme σ_1 'i sağlar. Oluşan gerilme sistemi gerilme dairesi ile temsil edildiğinde, artan σ_1 değerleri büyüyen daireleri Mohr kırılma zarfına yanaştırarak teğetlik sağladığında zeminin seçilmiş çevre basıncında yenildiği görülecektir.(Şekil 10.)

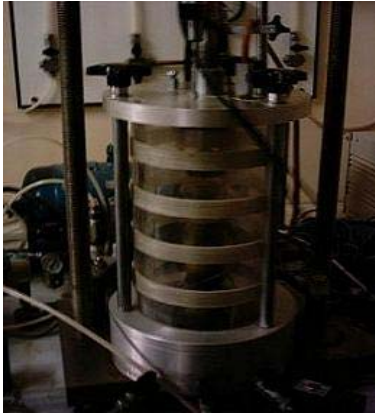
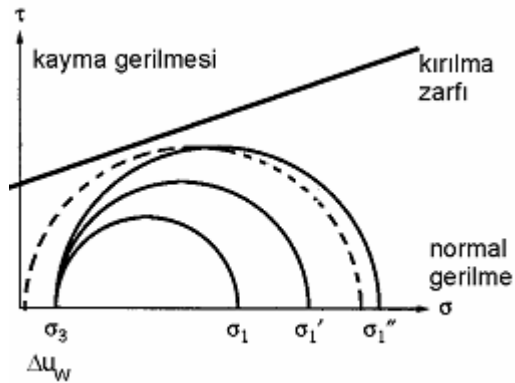
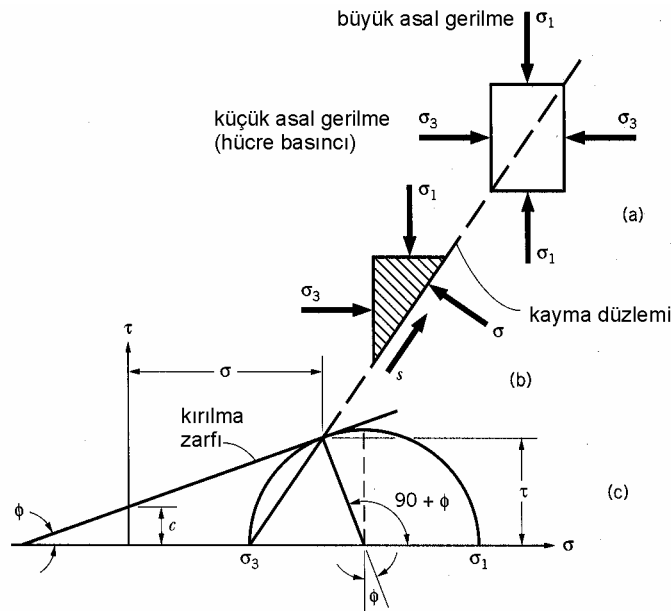


Foto.1. Üç Eksenli Hücre



Şekil 10. Üç Ekseli deneyde gerilme dairelerinin büyümesi

Deneyin önemli avantajı yenilmenin toplam gerilmeler yanında Denklem(4) te tanımlanan efektif gerilmeyi de temsil etmek üzere numunede kesme sırasında beliren boşluk suyu basıncı u_w 'nin de ölçülebilmesidir. Şekil 11.'de teğetliğe yaklaşmış en büyük toplam gerilme dairesinden boşluk suyu basıncının çıkartılması ile beliren efektif gerilme dairesi gösterilmektedir. Bir diğer deyişle, numunede yükselen boşluk suyu basıncının toplam gerilmeler kırılmayı sağlamasa dahi daireyi teğetliğe zorlaması (sola kaçan kırık çizgi) mümkün olacaktır. Teğetliği sağlayan dairenin çapına deviator gerilme σ_d denir.



Şekil 11. Üç Eksenli Hücre Kesme Deneyinde Gerilmeler ve Yenilme Durumu

Yenilme numunenin dayandığı maksimum deviator gerilme σ_{dmax} , veya %20 birim boy kısalmasında tariflenir.

3.2.1.1 Adapazarı Siltinin Mekanik Özellikleri

Adapazarı silti 1999 depremlerinde yumuşama, sıvılaşma ve taşıma gücü sorunları gibi önemli yenilme belirtileri gösterdiğinden bu çalışmada model zemin olarak seçilmiştir. Silt numuneleri üzerinde yapılan drenajsız ve konsolidasyonlu-drenajsız üç eksenli hücre kesme deneylerinde Tablo 4. 'de verilen özellikler ölçülmüştür.

Tablo 4. Adapazarı Siltinin Mekanik Özellikleri

DENEY	c (kPa)	ϕ	c'	ϕ
CID	-	-	8	39°
CIU	45	25	0	48
UU	37	-		

3.2.2 Zeminin Dinamik Özelliklerinin Ölçümü

Zeminin deprem koşullarında davranışı da en kolay biçimde üç eksenli hücrede (CTX) incelenebilmektedir. Bu deneyde belirli hücre basıncında örneğe istenen çevrimsel aksenal gerilme oranı

$$CSR = \frac{\sigma_d}{2\sigma_c} \dots\dots\dots (5)$$

olarak uygulanır.

Çevrimsel kayma oranı CSR zeminin deprem ivmesinden aldığı eşdeğer gerilmeyi temsil etmekte ve

$$CSR = 0.65 \left(\frac{\sigma_v}{\sigma_v'} \right) \left(\frac{a_{hmax}}{g} \right) r_d \dots\dots\dots (6)$$

olarak tariflenmektedir.

Burada maksimum yer ivmesi a_{hmax} , incelenen sahada sıvılaşma olmadığı farz edilen durumda oluşan ivmedir. Başka bir ifade ile, taban kayasındaki ivmenin, zeminin etkisi göz önüne alınarak, fakat boşluk suyu basınçlarında oluşan artış ihmal edilerek bulunan düzeltilmiş değeridir. Derinliğe göre düzeltme yapılan r_d , değerinin sıvılaşma incelendiğinde (NCEER, 1997) ifadesi

$$r_d = 1.0 - 0.00765 z \quad (z \leq 9.15 \text{ m})$$
$$r_d = 1.174 - 0.0267 z \quad (9.15 \text{ m} < z \leq 23 \text{ m})$$
$$r_d = 0.744 - 0.008 z \quad (23 < z < 30 \text{ m})$$

olarak verilir.

Yenilme, tekrarlı yük altında boşluk suyu basıncının yeterince yükselerek efektif gerilmeyi sifıra düşürdüğü ya da %5 veya %15 gibi seçilmiş bir birim boy kısalmasında tariflenir. Foto.2.'de dinamik üç eksenli sistem gösterilmektedir.



Foto.2. Dinamik Üç Eksenli Hücre Kesme Deneyi Sistemi

3.2.2.1 Adapazarı Siltinin Dinamik Özellikleri

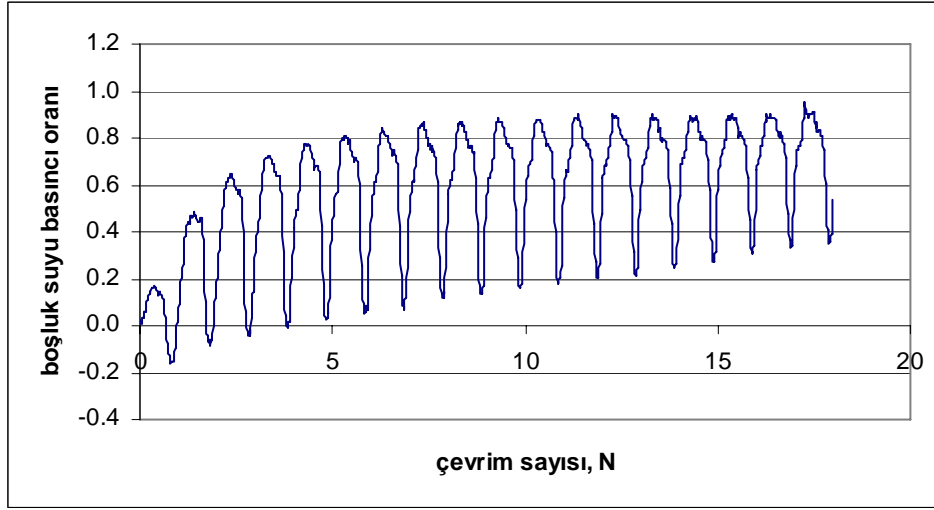
CTX deneyinde yenilme, seçilmiş CSR için boşluk suyu basıncının efektif gerilmeyi sıfıra düşürdüğü boşluk suyu basıncı ve belirli düşey birim boy değıştirmenin sağlandığı çevrim sayısı olarak seçilmiştir.

Yumuşak Adapazarı siltinin iki numenesi üzerinde yapılan deneyde Tablo-5’de gösterilen sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 5. Numunelerin birinde boşluk oranı 0,46 iken diğesinde 0,34 olarak ölçülmüştür.

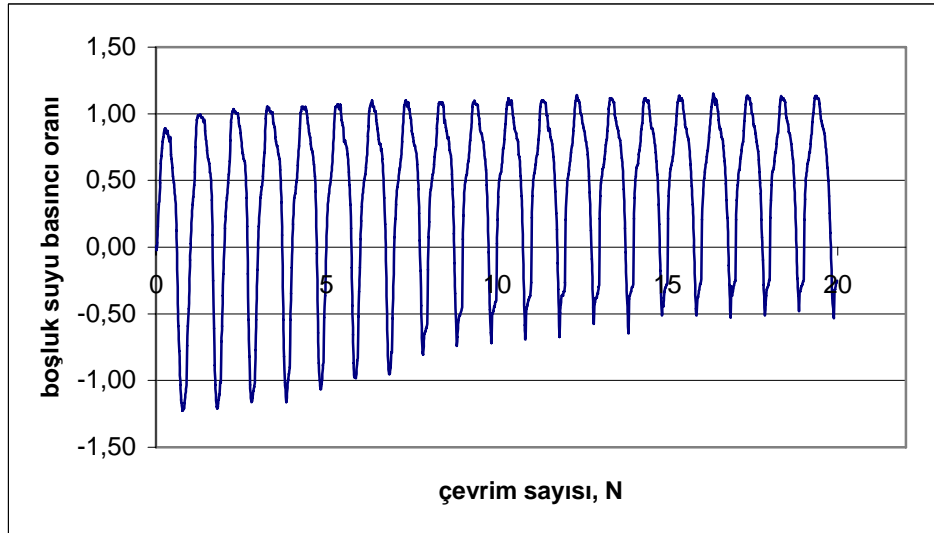
Numune	e	CSR	Sıvılaştığı çevrim sayısı	σ_d (kPa)	Efektif gerilme
1	0.46	0.22	17 çevrimde sıvılaşıyor	90	102
2	0.34	0.32	2 çevrimde sıvılaşıyor	78	63

Burada yenilme için kriter boşluk suyu basıncının efektif gerilmeye oranı boşluk suyu basıncı oranı r_u olarak seçildiğinde Şekil 12. ve Şekil 13.’de gösterilen r_u eğrileri elde edilmektedir.



Şekil 12. Sıvılaşmayan siltte, dinamik koşullarla boşluk suyu basıncı-çevrim sayısı eğrisi.

Birinci numune $CSR= 0.22$ ile 15 çevrimde boşluk suyu basıncı yeterince artış göstermeyip, sıvılaşma görülmemektedir. Fakat zemin numunesi 1. çevrimde %5 çift yönlü eksenel deformasyon genliğine, 3. çevrimde ise %10 çift yönlü eksenel deformasyon genliğine ulaşmıştır.



Şekil 13. Sıvılaşan siltte, dinamik koşullarla boşluk suyu basıncı-çevrim sayısı eğrisi

$CSR= 0.32$ değerinde numune boşluk suyu basıncı yeterince artış gösterdiğinden , sıvılaşma görülmektedir. Sıvılaşmanın olduğu çevrim sayısında aynı zamanda %10 çift yönlü eksenel deformasyon genliğine ulaşmıştır. Boşluk suyu basıncı toplam gerilmeye eşit olduğu için efektif gerilme sıfır olmaktadır. Bir başka deyişle boşluk suyu basıncı oranı 1 değerine ulaşmıştır.

Geoteknik modellemede yenilen zemine örnek olarak birinci örneği almak mümkün olacağından yapı altında Adapazarı silti kullanılmıştır.

3.3 Yapı- Zemin Etkileşiminin Modellenmesi

Çalışmanın bu bölümünde basit bir bina modeli seçilerek önce bunun sıvılaşan bir zemin profili üzerinde davranışı incelenmiştir. Bu amaçla temel zemini olarak 8m kalınlıkta siltli-kil tabakası kullanılmıştır. Bunu izleyerek aynı zemin profiline bina altına 4m kalınlıkta, sıvılaşmayan ve taşıma gücü yeterince yüksek bir kum tabakasının etkisi incelenmiştir.

3.3.1 Binanın Sıvılaştan Zeminde Davranışı

Deprem sırasında zemin titreşim hareketi yapar ve yapıların temellerinde ani ötelenme ve dönmeler olur. Temelin bu hareketlerine binanın üst yapısı (kolon, kiriş ve döşemeler) aynı anda ayak uyduramadığı için buralarda zıt yönde atalet (eylemsizlik) kuvvetleri oluşur. Yapının her yeri titreşim yapmaya başlar, elemanlar değişik biçimler alır, her an değişen büyük kuvvetler, zorlanmalar ortaya çıkar. Sonuç olarak çok karmaşık bir mekanik olay söz konusudur.

Sorun en büyük depremde bile hiçbir hasar görmeyecek yapıların üretilmesi anlamında ortaya konursa çok pahalı ve ekonomik açıdan olanaksız ve de gereksiz yapı biçimleriyle karşılaşırız. Bu konuda genel olarak kabul edilmiş tasarım ölçütleri şunlardır.

1. Sık oluşan küçük depremlerde yapıda hiç hasar oluşmaması.
2. Orta şiddetteki depremlerde yapısal hasar olmaması; yapıların depremden sonra küçük onarımlarla kullanılabilmesi.
3. Şiddetli depremlerde yapının bütünüyle göçmesinin engellenmesi, can kaybı olmaması.

1997 tarihli deprem yönetmeliğinin şiddetli depreme karşılık olarak esas aldığı tasarım depreminin, önem katsayısı $I=1$ olan binalarda, 50 yıllık bir süre için aşılması olasılığı % 0'dur. Bu durumda 1. derece deprem bölgesi için, etkin yer ivme katsayısı ($A_0=0,40g$) olarak verilmiş olup yapının kendisi, zemin ve temellerle ilgili başka etmenler göz önüne alınmazsa, yapıya depremden dolayı kendi ağırlığının % 10'u kadar ek yatay dinamik kuvvetler etkiyeceği kabaca söylenebilir.

Yapıların dinamik yükler altında analizinde günümüzde bilgisayarlar geniş çapta kullanılmaktadır. SAPIV (Bathe,1973) ve onun güncellenmiş biçimi SAP2000, ETABS(Wilson,1975), gibi genel amaçlı bilgisayar programları sayesinde analiz işlemi oldukça basit hale getirilmiştir. Yapının analiz için modellenmesinde, deneysel olarak saptanan dinamik özelliklerin kullanılması ile oldukça gerçekçi sonuçlar elde edilebilmektedir.

PLAXIS sonlu eleman analizi (Finite Element Code for Soil and Rock Analysis), geoteknik mühendisliğindeki deformasyon ve stabilite problemlerinin sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilebilmesi için tasarlanmış bir bilgisayar programıdır. Bu çalışmada, iki boyutta çözüm yapan PLAXIS 7.2 versiyonu kullanılmıştır.

PLAXIS 7.2 Programında, problemler , eksenel simetri veya düzlem deformasyon geometri koşullarında analiz edilmektedir. Yazılımda istenilen kesitin tabakaları, yapılar, yapım aşamaları, yükler ve sınır şartları grafik olarak tanımlanabilmektedir. Kesitin tümü için veya bölgesel olarak eleman boyutu ayarlanması seçeneğini içeren yazılımda, düzgün elemanlardan meydana gelmeyen, sonlu elemanlar ağı otomatik olarak oluşturulmaktadır. Modelin tümü için sonlu elemanlar ağı kullanılmaktadır.

PLAXIS Programının yazılımı, 4 ayrı ve birbirleriyle ilişkili alt programlardan oluşmaktadır.

- 1-)INPUT veri girişi yapılır,
- 2-)CALCULATIONS hesaplamalar yapılır,
- 3-)OUTPUT sonuçlar alınır,
- 4-)CURVES istenilen sonuçların grafik olarak çizimini veren bölümdür.

Plaxis programının yazılım özelliklerine baktığımızda,uygulama sırasında,sorunsuz veri girişi sağlanmaktadır,deprem yüklerinin girilebilmesi, doğrusal olmayan zemin davranışının dikkate alınabilmesi,ek boşluk suyu basınçlarının hesaplanabilmesi, sonlu eleman ağı oluşturulması, moment ve moment kuvvetlerin zarf seklinde sunumu, sonuçların görülmesi ve raporlamasında yapı-zemin etkileşiminin dikkate alınabilmesi açısından analizlerde avantaj sağlamaktadır.

Plaxis programının uygulama özellikleri aşağıdaki gibidir.

1- Modeli oluşturan zemin katmanları, yapılar, inşaat aşamaları, yükler ve sınır koşulları CAD tabanlı çizim moduyla kolayca oluşturulabilir. Oluşturulan geometri modelinden sonlu eleman ağı üretilebilmektedir.

2- Plaxis global ve yersel olarak eleman boyutunun ayarlanmasına olanak veren otomatik sonlu eleman ağı oluşturma özelliğine sahiptir. Sonlu eleman ağındaki eleman sayısı binlerce olabilir. Ağı oluşturan sonlu elemanlar 6 düğümlü ve 15 düğümlü olabilirler.

3- Dayanma yapıları ve tünel kaplamaları gibi esnek yapıların davranışını modelleyebilmek için özel elemanlar kullanılır. Bu elemanların zeminle etkileşimini doğru olarak modelleyebilmek için ara yüzey elemanlar kullanılırlar.

4- Yapı zemin etkileşimini en doğru biçimde modelleyebilmek için özel ara yüzey elemanlar kullanılmaktadır. Bu ara yüzeylerde zeminin kayma direnci açısı ve yapışma değeri gerçek değerinden farklı alınmaktadır.

5- Ankrajları modellemek için elastoplastik yay elemanlar kullanılmaktadır. Bu elemanlar bir eksenel rijitlik ve maksimum kuvvet ile tanımlanmaktadır.

6- Programda dairesel ve dairesel olmayan kesitli tüneller yay ve çizgi elemanlar kullanılarak oluşturulabilmektedir. Tünel kaplaması ve etrafındaki zemin arasındaki etkileşim plak ve ara yüzey elemanlar yardımıyla modellenir.

7- Sınır şartları model kenarlarında deplasmanların sıfır alınması ile modellenir. Buna göre model tabanında yatay ve düşey, model kenarlarında ise yatay deplasmanlar sıfır alınmaktadır.

8- Tekil ve yayılı yükleri modellemek için iki farklı yük sistemi mevcuttur. Tekil yükler geometri noktalarına, yayılı yükler geometriyi oluşturan çizgiler üzerine uygulanmaktadır.

9- Mohr-Coulomb Modeli, geoteknik uygulamalarında iyi bilinen zemin parametrelerine dayanan basit, doğrusal olmayan modeldir. Zeminin doğrusal olmayan davranışının tüm özelliklerini kapsaması da Mohr-Coulomb modeli, tünellerde, temellerde yüklerin hesaplanması için kullanılabilir. Mohr-Coulomb modellerinin yani sıra Plaxis, gelişmiş zemin modelleri için de bir çok çeşit sunar. Hiperbolik elastoplastik pekleşen zemin (Hardening Soil Model) modeli ve yumuşak zemin (Soft Soil Creep) modeli bunlara örnek olarak verilebilir.

10-Programda yer altı su seviyesinin konumuna göre statik su basınçları hesaplanabilmektedir.

11-Programda geçirimsiz killerin yanında geçirimli kumları da modelleyebilmek için drenajlı ve drenajsız özellikler tanımlanmıştır. Buna göre drenajsız zeminlerde ani yükleme yapıldığında oluşan ek boşluk suyu basınçları hesaplanabilmektedir

12-Plaxis deformasyon analizi yapan bir programdır. Programda plastik hesap, konsolidasyon analizi ve yamaç problemleri için duraylılık analizi yapılabilmektedir. Bunlara ek olarak da dinamik modül ile dinamik analiz yapılabilmektedir. Programda otomatik yük artırımı özelliği ile zeminin yük-deformasyon değişimi dikkate alınabilmektedir.

13-Yapıların kademeli olarak inşa edilmesi, kazı yapılması, yüklerin uygulanmasının gerçeğe uygun modellenebilmesi amacıyla bunları temsil eden elemanların aktif hale getirilmesi veya kaldırılması yöntemi kullanılmaktadır.

14-Yükleme sonucu oluşan ek boşluk suyu basınçlarının zamana bağlı olarak sönümlenmesi konsolidasyon analizi ile mümkün olabilmektedir.

15-Güvenlik sayısı, genellikle göçme yükünün çalışma yüküne oranı olarak tariflenir. Bu temeller için doğru bir yaklaşım olmakla birlikte dolgu ve palplanş perdeler için uygun değildir. Bunlarda güvenlik sayısı mevcut kayma direncinin denge için gerekli olan kayma direncine oranlanmasıyla bulunur.

16-Plaxis birden fazla projenin bir seferde ardı ardına çözümüne olanak vermektedir. Özellikle parametrik çalışmalarda çok sayıda model bilgisayarın gece-gündüz duraklamadan çalışmasına izin vererek zaman kaybı olmadan çözülebilmektedir.

17-Şekil değiştirmiş sonlu eleman ağı, toplam ve her aşamada hesaplanan deformasyonlar ve şekil değiştirmeler grafik olarak sunulduğu gibi sonuçlar tablolar halinde de elde edilebilir. Tüm deplasman ve zorlanmaların farklı gösterimi vardır.

18-Modelde hesaplanan toplam ve efektif gerilmeler, boşluk suyu basınçları ve ek boşluk suyu basınçları hem grafik hem de tablo olarak sunulabilir.

Sistem PLAXIS bilgisayar programında modellenirken, ortamdaki tabakalar için Lineer Elastik (LE), Mohr-Coulomb (MC) ve Pekleşen Zemin (HS) davranışları kullanılır. Burada Tablo 6.'dan görüldüğü gibi zeminler için HS modeli seçilmiştir.

Tablo 6. Analizde Kullanılan Malzemelerin Özellikleri

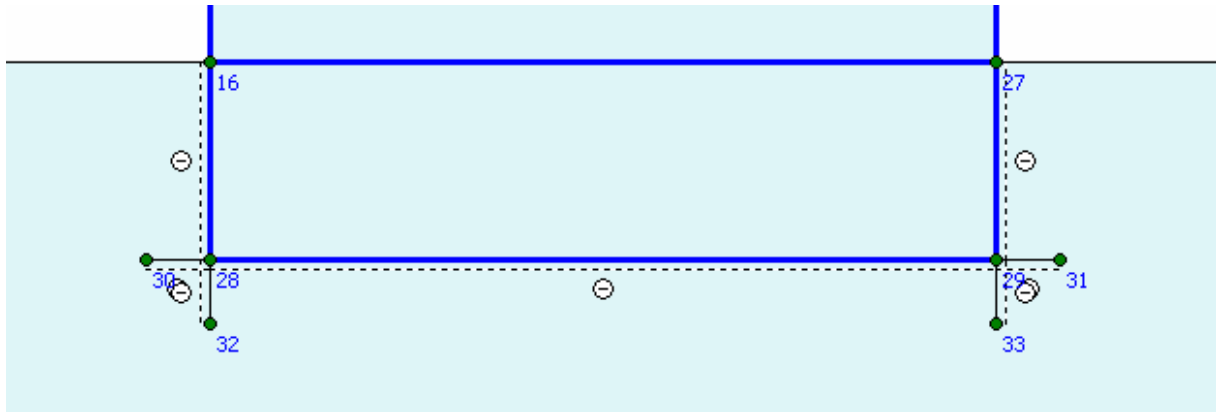
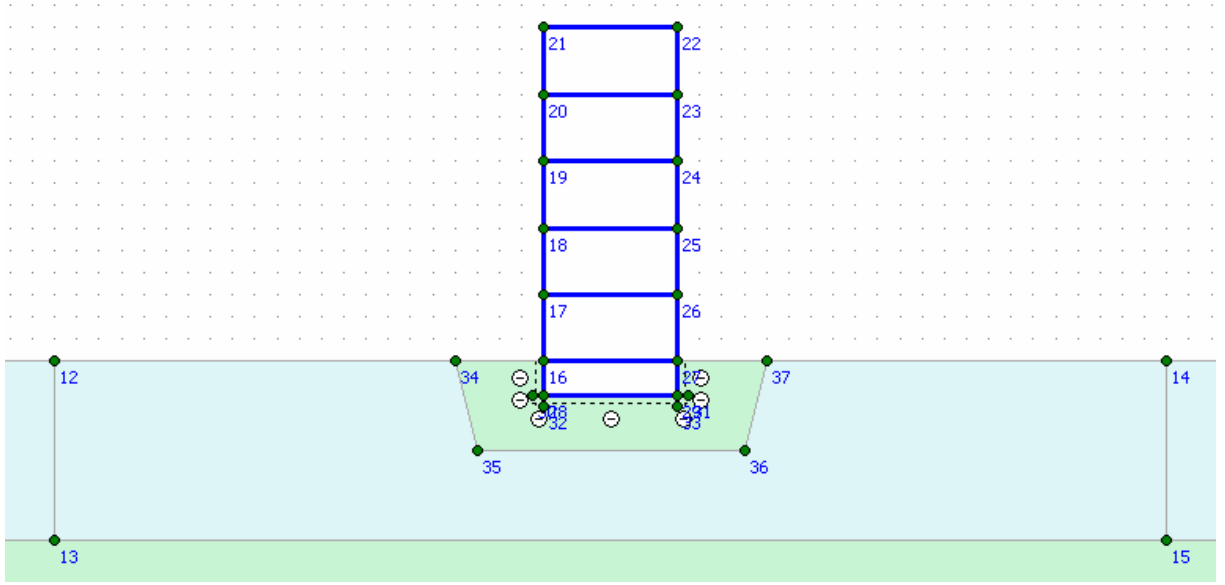
Derinlik (m)	0-8	8-13	13-30	30-50	50-70	Temel ve Çerçeve El.	
İsim	Siltli Kil	Sıkı Kum	Kil	Kil	Kil	Beton	
Malzeme Modeli	HS	HS	HS	HS	HS	Lineer Elastik	
Malzeme Tipi	Drenajsız (<i>Undrained</i>)	Drenajlı (<i>Drained</i>)	Drenajsız (<i>Undrained</i>)	Drenajsız (<i>Undrained</i>)	Drenajsız (<i>Undrained</i>)	Geçirimsiz (<i>Non-porous</i>)	
ρ_{doygun} (kN/m ³)	18	18	18.5	18.5	18.5	24	
e_0	1.0	0.4	1.0	1.0	1.0	-	
E_{50}^{ref} (kPa)	8000	62000	20000	20000	20000	30000000	
E_{oed}^{ref} (kPa)	7000	65000	20000	20000	20000	-	
Üstlük, m	0.7	0.5	0.7	0.7	0.7	-	
c' (kPa)	20	$c'_{int}=15$	1	60	80	100	-
ϕ' (°)	25	$\phi'_{int}=20$	40	15	15	15	-
ψ (°)	0	10	0	0	0	0	-
E_{ur}^{ref} (kPa)	25000	246000	60000	60000	60000	-	
ν'_{ur}	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	
p^{ref} (kPa)	100	100	100	100	100	-	
K_n^{nc} (kPa)	0.577	0.449	0.666	0.666	0.666	-	
y_{ref} (m)	0	0	-13	-30	-50	-	
R_f	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	-	
R_{inter}	0.75	0.75	-	-	-	-	
OCR	3.5	3.0	2.0	1.5	1.0	-	

Tabloda ρ birim hacim ağırlık, e_0 boşluk oranı, E ve E' elastisite modülleri, ϕ kayma direnci açısı, K sukunette toprak basıncı katsayısı, OCR ise aşırı konsolidasyon katsayısını göstermektedir.

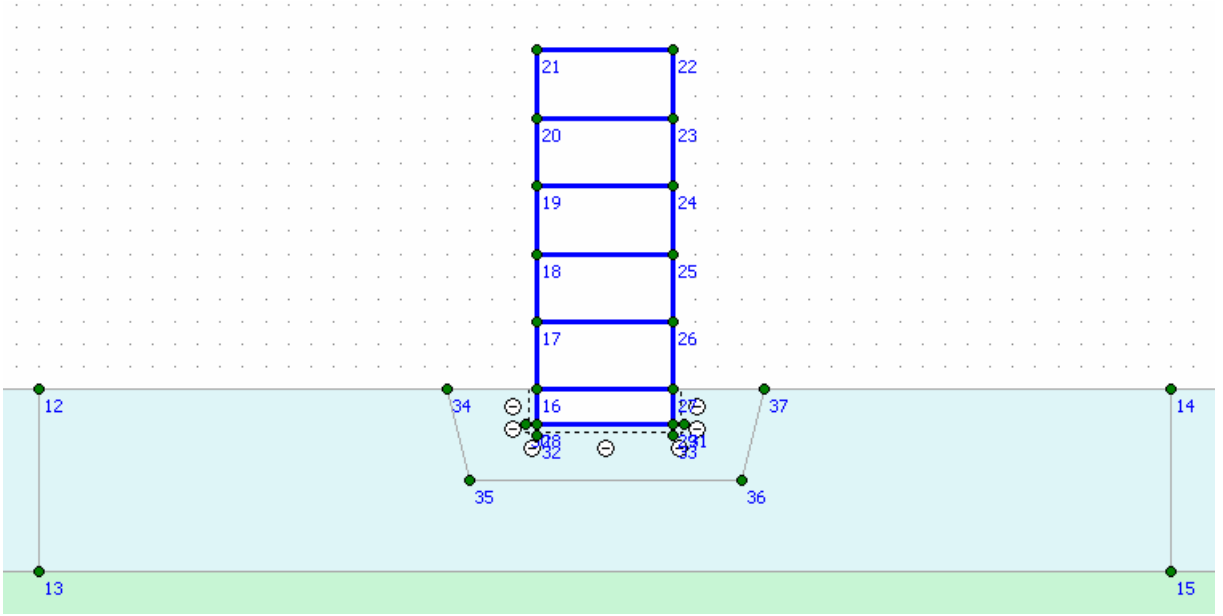
Modellemede temel gömme derinliği, $D_f= 1.50$ m, temel döşeme ve kiriş kalınlıkları 0.50 m; taşıyıcı sistem çerçeve elemanları kalınlıkları ise 0.15 m olarak seçilmiş ve veriler girildiğinde Şekil 14.'deki genel görünüm elde edilmiştir.

Sisteme Adapazarı depremi (yüksek frekanslı bir deprem kaydıdır ve ivmenin 400 gal.i geçtiği görülmüştür.) 20 saniye süreyle etki ettirildiğinde (Şekil 15.), seçilmiş 10 noktadan gelen analiz sonuçlarında ivme, ötelenme ve moment değerleri karşılaştırma için kullanılmıştır.

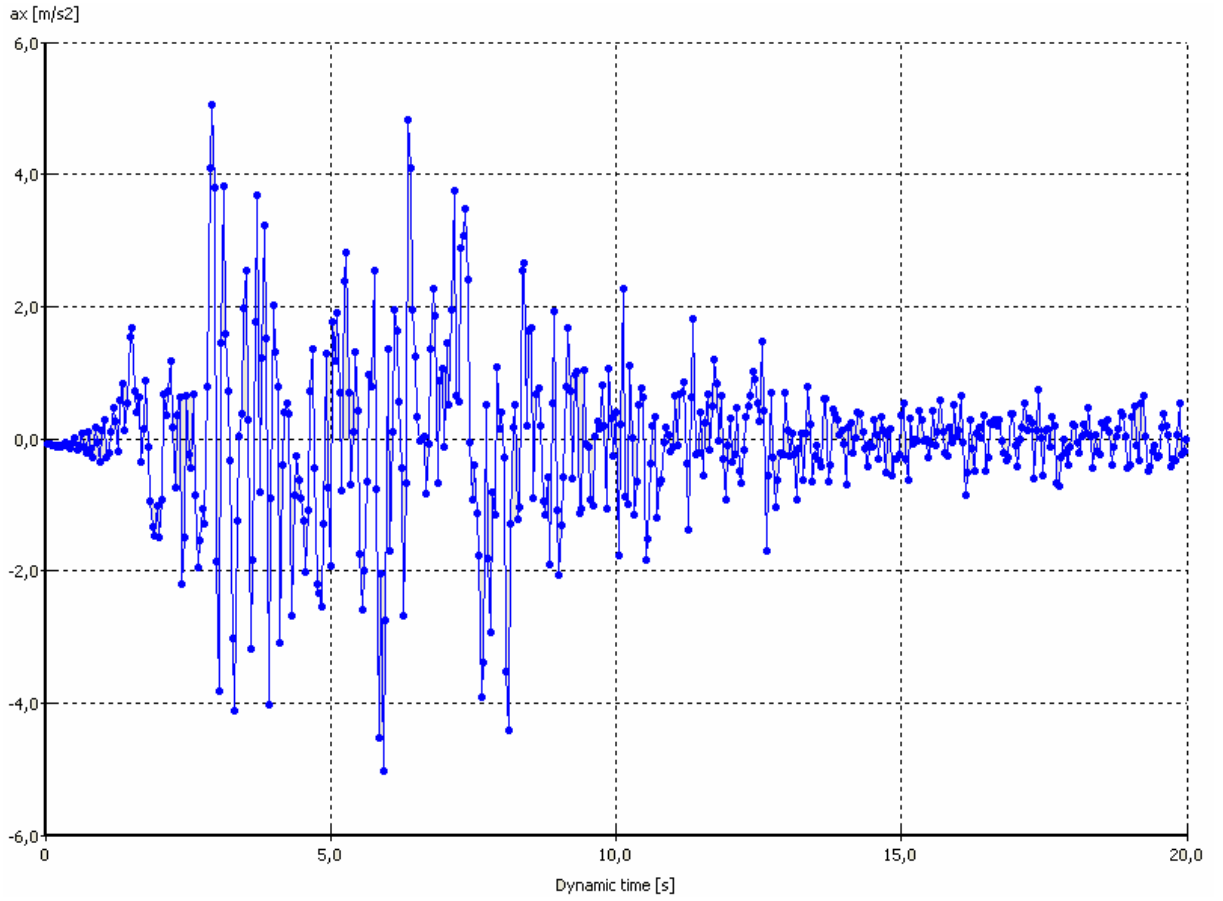
Burada zemin ara yüzünün modellenmesinde ilk denemede, yapının altında (0-8m) siltli kil olan doğal zemin malzemesi kullanılmıştır. Sonraki denemelerde ise modellimizdeki (0-8m.) siltli kili 4m. , derinliğe kadar kaldırarak, yerine daha iyi pekleşen, sıkı kum zemin konulmuştur ve 20 sn'lik Adapazarı deprem kaydı, 500 basamakta hesaba katılmıştır. Plaxis programında yapılan modellemeden elde edilen çizim Şekil 14.'te gösterilmiştir.



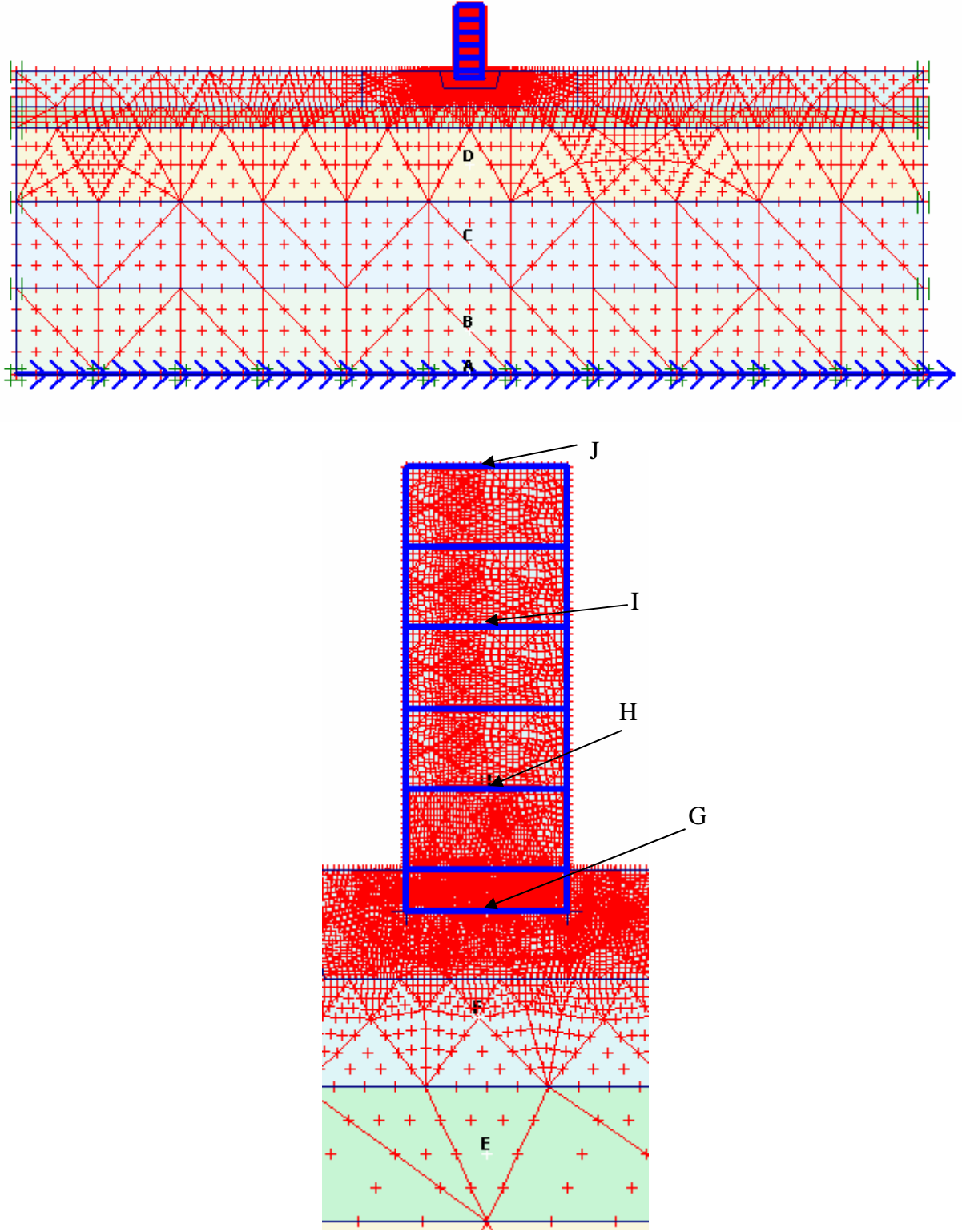
Şekil 14. Temel-zemin ara yüzey modellemesi



Şekil 15. Doğal zeminde oturan yapının modellenmesi (0-4m arasında silt)



Şekil 16. Sisteme etkiyen depremin özellikleri.

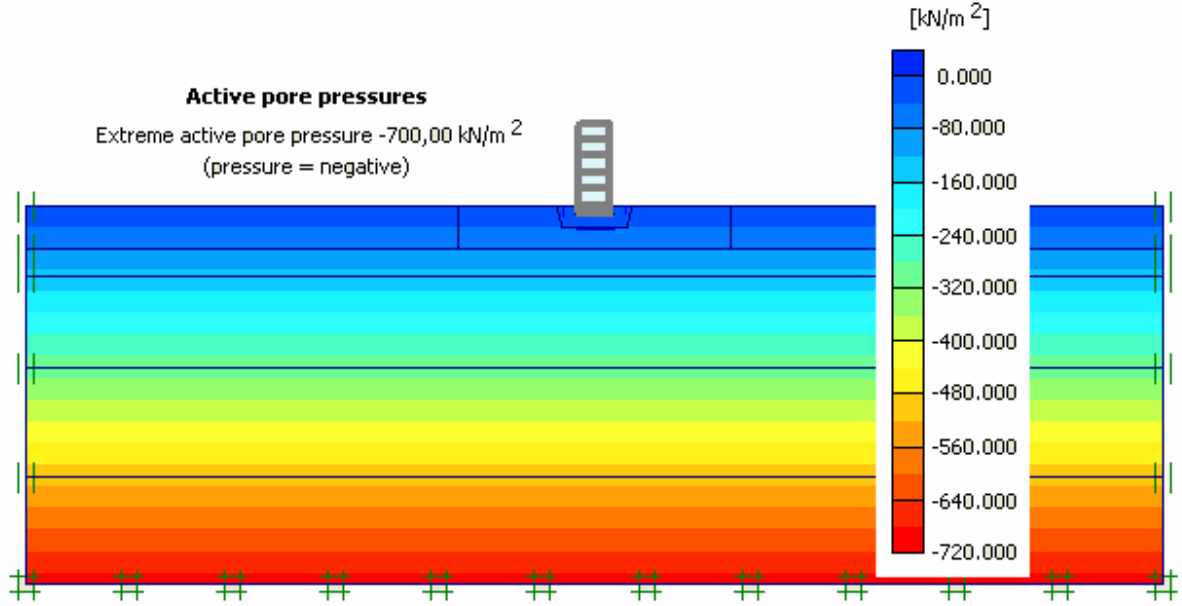


Şekil 17. Sonlu eleman ağı ve hesaplama noktaları

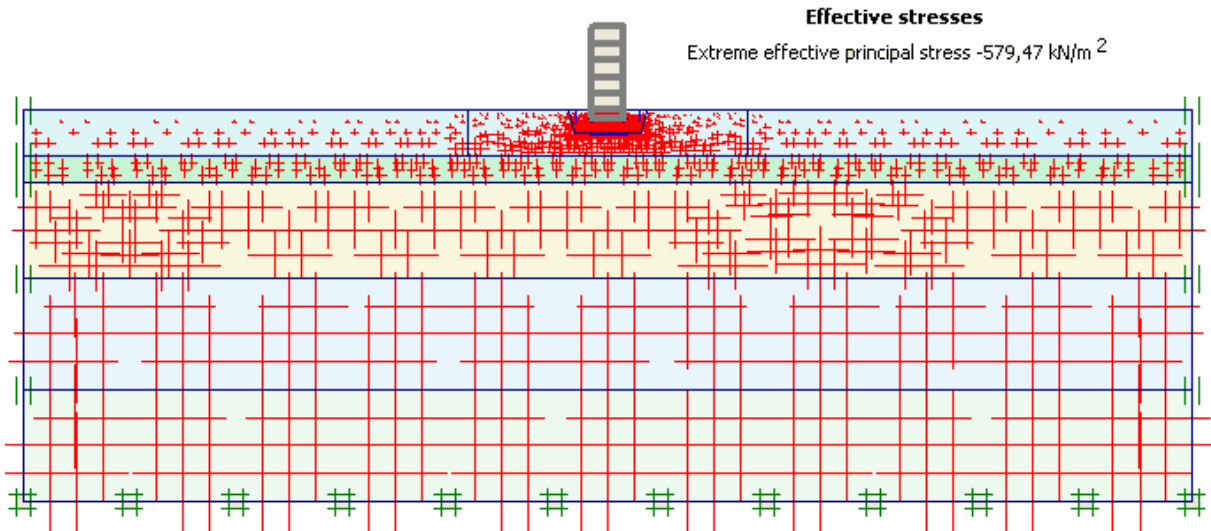
Şekil 17.'de yazılım tarafından otomatik olarak oluşturulan sonlu eleman ağı ve hesaplama için seçilmiş noktalar (A→J) gösterilmektedir.

Plaxis'i kullanarak hesaplama aşağıdaki adımlarla yapılmıştır:

1. Sınır koşullarda model kenarlarında deplasmanlar sıfır alınmıştır. Yani model tabanında yatay ve düşey, model kenarlarında da yatay deplasmanlar sıfır alınmıştır.
2. Zemin ve yapısal elemanların özellikleri programda veri tabanına girilmiştir.(input ile)
3. Şekil 17'de görülen sonlu eleman ağı için hesaplama noktaları seçilmiştir (A'dan J'ye)
4. Modelin sınır şartları programın veri tabanına girildikten sonra, ayrıca veri tabana girilmiş olan Adapazarı deprem kaydı 20 sn.ye süreyle modele 500 adımda uygulanmıştır.
5. Yapılan analiz sonuçları ve çizimler output olarak sonuç veriler de alınmıştır.



Şekil 18. Doğal Durumda Boşluk Suyu Basınçları



Şekil 19. Doğal Durumda Düşey Efektif Gerilmeler

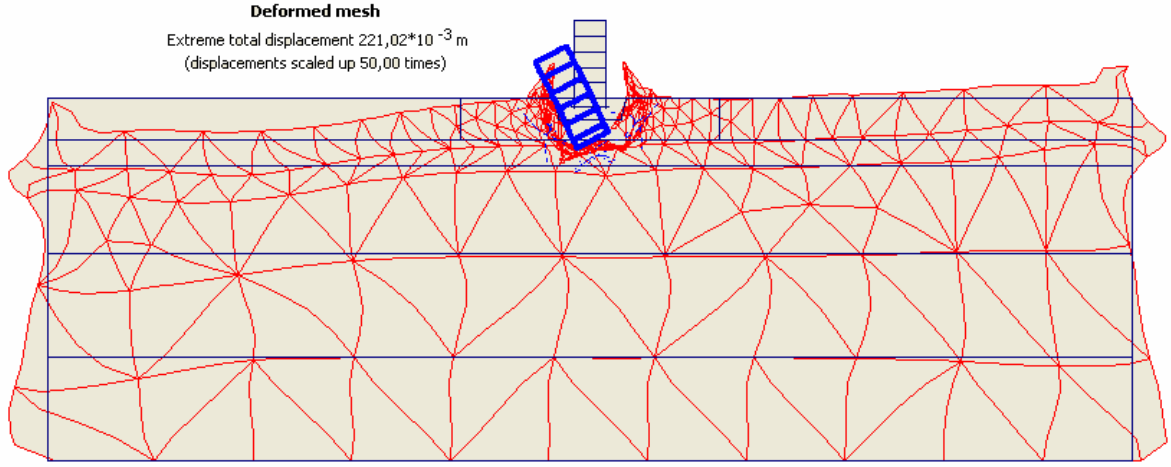
Tablo 7. Doğal Gerilmeler Hesaplanırken Kullanılan OCR ve K_0 (Sükunetteki toprak basıncı katsayısı) değerleri .

K0-procedure

ΣM -weight : 1,000

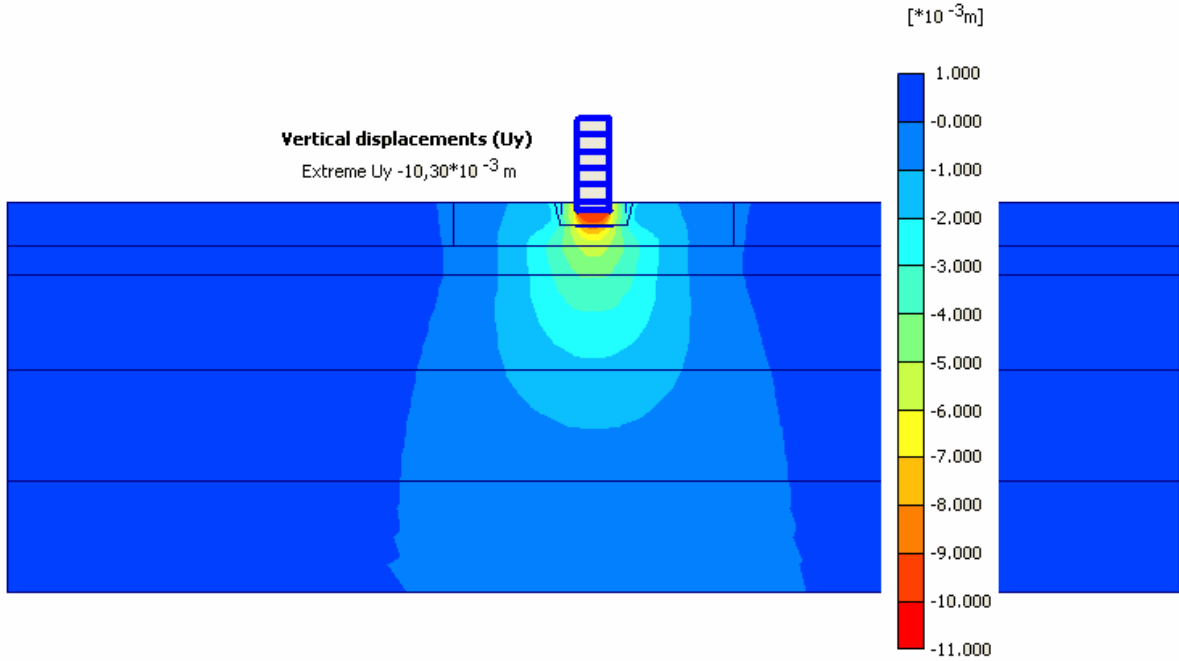
Cluster	Material	OCR	POP	K0
1	Hard. Soil	1,200	0,000	0,839
2	Hard. Soil	1,500	0,000	0,987
3	Hard. Soil	2,000	0,000	1,232
4	Hard. Soil	3,000	0,000	0,572
5	Hard. Soil	3,500	0,000	1,396
6	Hard. Soil	3,500	0,000	1,396
7	Hard. Soil	3,500	0,000	1,396
8	Hard. Soil	3,500	0,000	1,396
9	Hard. Soil	1,000	0,000	0,577
10	Hard. Soil	1,000	0,000	0,577
11	Hard. Soil	1,000	0,000	0,577
12	Hard. Soil	1,000	0,000	0,577
13	Hard. Soil	1,000	0,000	0,577
14	Hard. Soil	3,500	0,000	1,396

Zeminin konsolidasyonu ve buna bağlı gelişen toprak basıncı arasındaki değişimler Tablo 7.'de verilmiştir. Analiz sonucu elde edilen aşırı konsolidasyon katsayısına (OCR) bağlı olarak değişmekte olan sükunetteki toprak basıncı (K_0) arasındaki ilişkiden çıkan sonuçlarda konsolidasyonun OCR =3,500 değerine ulaştığında , toprak basıncı $K_0=1.396$ değerine çıkmıştır. Ancak konsolidasyonun OCR=3,000 değerinde, toprak basıncının $K_0=0,572$ değerine düştüğü görülmektedir, buradanda zemindeki farklılık görülmüştür.



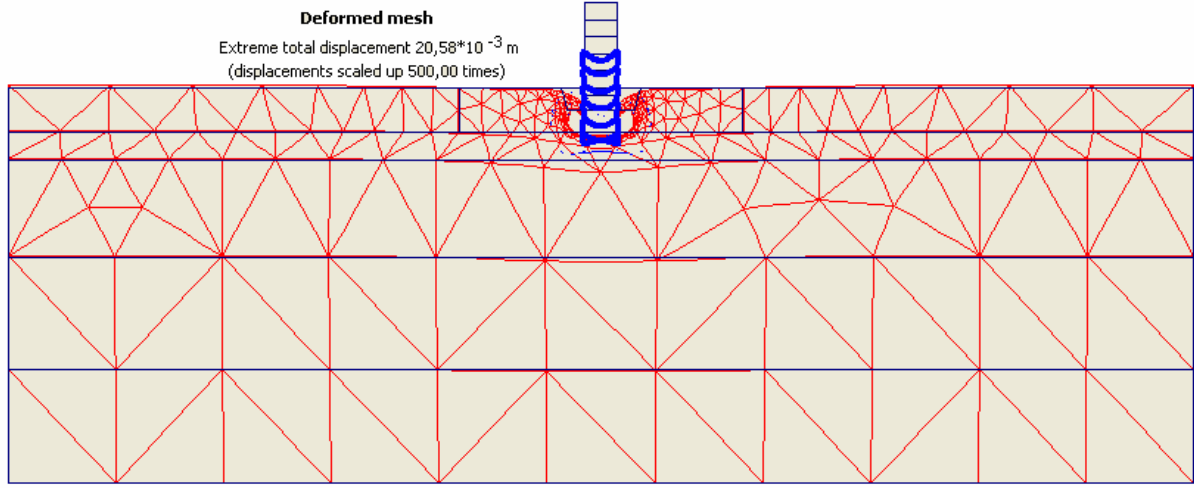
Şekil 22. Deprem sonunda oluşan şekil değiştirmiş sonlu eleman ağı (500 kat abartılı)

2.Hesaplama Adımı: İkinci çözümde yapının altındaki 8m'lik yetersiz zemin 4m derinliğe kadar kaldırılarak yerine Tablo 6.'da özellikleri gösterilen, kaliteli sıkı kum zemin malzemesi yerleştirilmiştir. Bu yeni koşulda hesaplama tekrarlandığında oturmaların $-10,30 \cdot 10^{-3}$ m olduğu, ve dikkati çekecek denli azaldığı görülmüştür. (Şekil 23.)



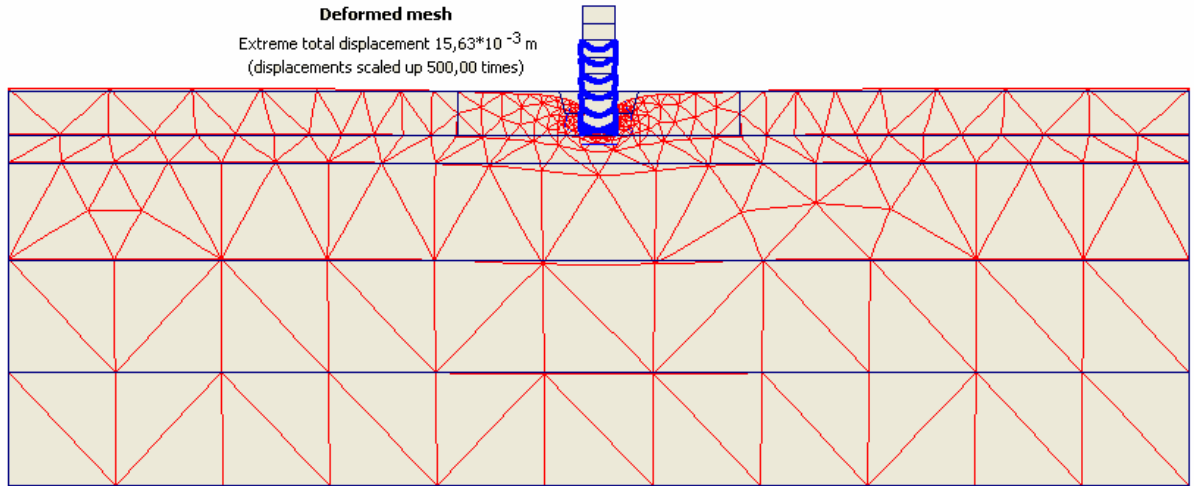
Şekil 23. Yapı altında nitelikli zemin olduğunda oturmalar

Sonlu eleman ağı incelendiğinde (Şekil 24.) üst tabakada zemin rijitliğindeki artışa bağlı olarak oturma ve ötelenmelerde önemli azalmalar görülmüştür.

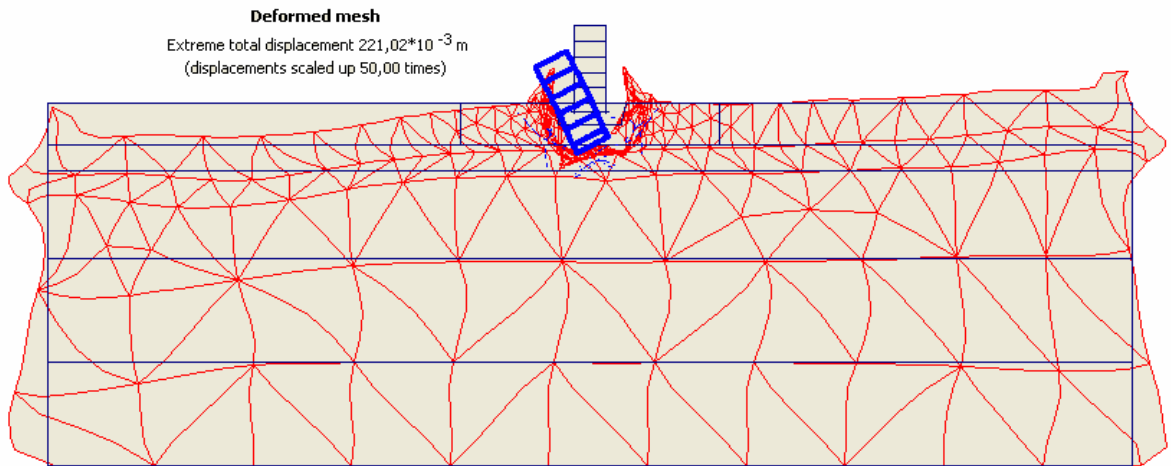
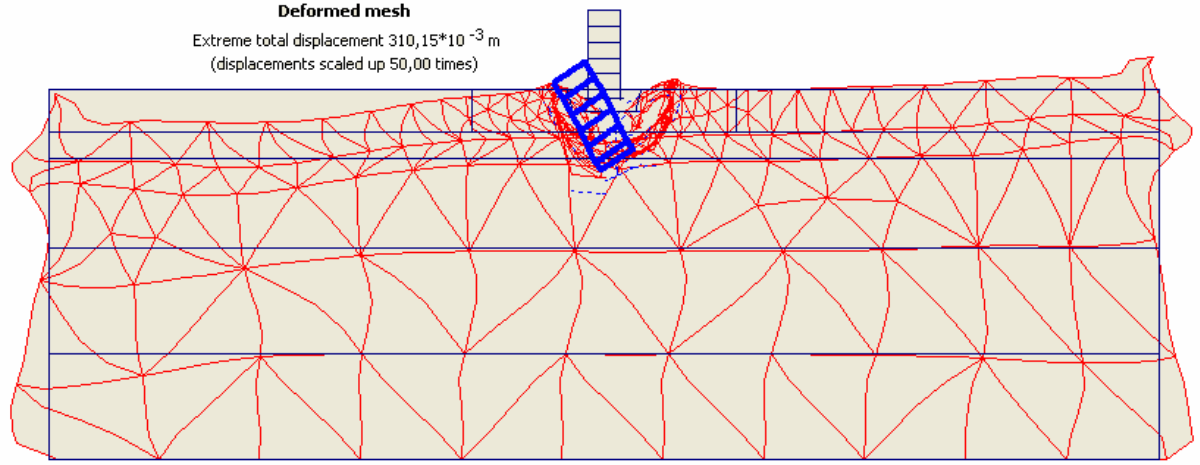


Şekil 24. Yapı altında nitelikli zemin olduğunda, deprem etkisinde oluşan şekil değiştirmiş sonlu eleman ağı (500 kat abartılı).

Yapı altında 0-4 m arasında sıkı kum olması durumunda yapı yükü nedeniyle oluşan düşey deplasmanlar gösterilmiştir. (Şekil 21. ve Şekil 23.'de , Gerilme dağılışı değişmiş: doğal zemin kesitinde yapı yükü altında oluşan düşey deplasmanlar = $-14,76*10^{-3}$ m iken sıkı kum dolgu uyguladığımız modeldeki yapının yükü nedeniyle oluşan düşey deplasmanlar Gerilme Dağılışıda düşüş olduğu görülmüştür.)

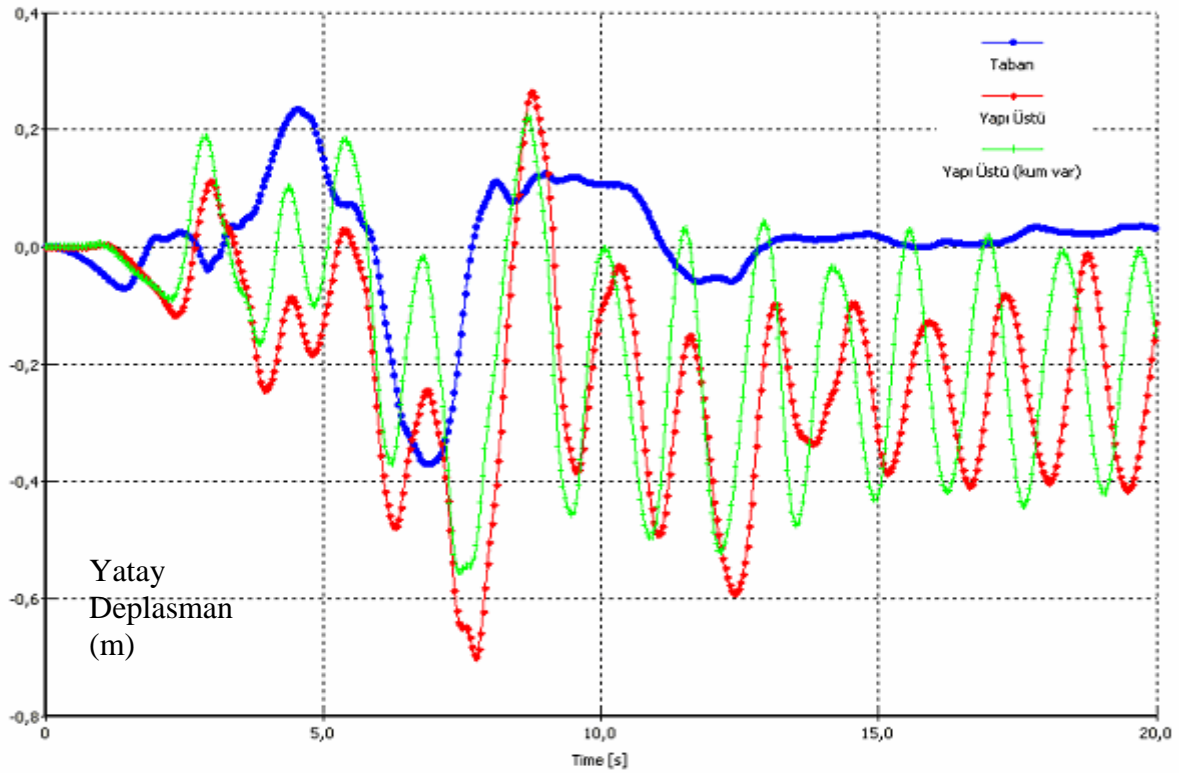


Şekil 25. 2.Adımda son aşamada ortaya çıkan deforme olmuş sonlu eleman ağı Doğal kesit

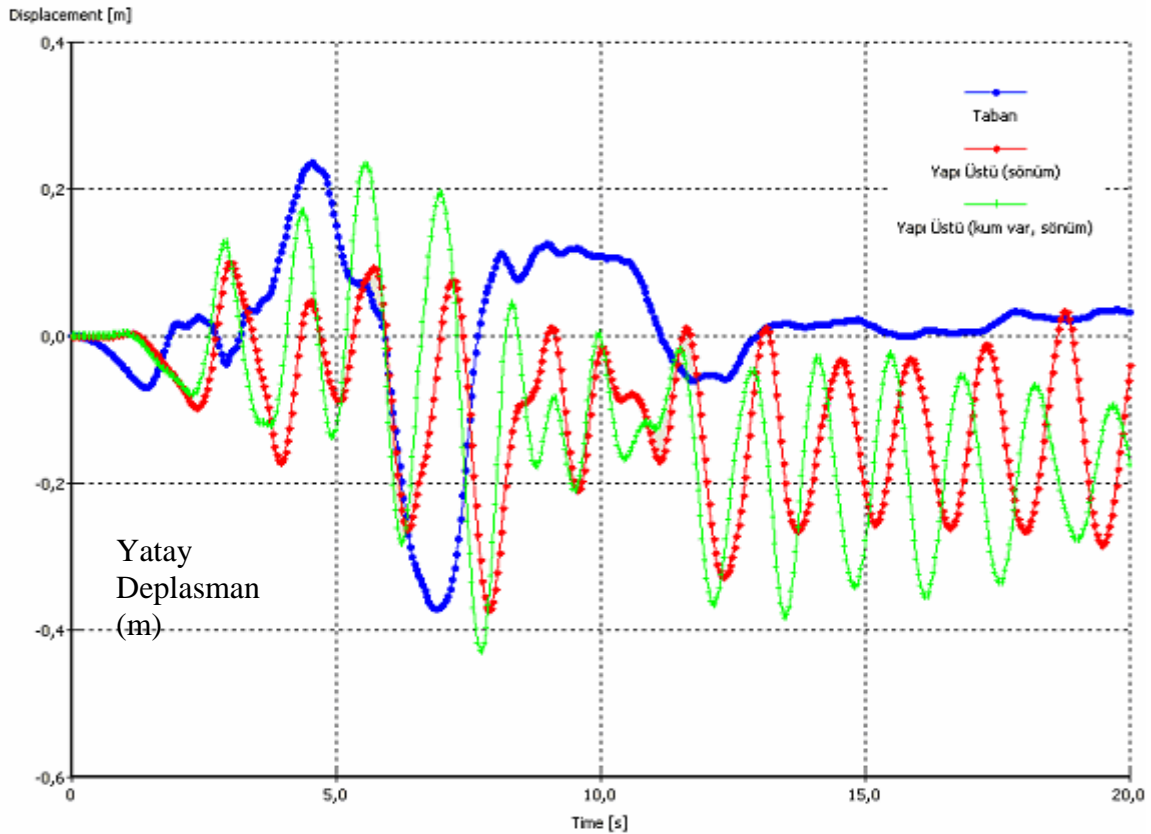


Şekil 26.'da doğal ve iyileştirilmiş zemindeki ötelenmeler karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

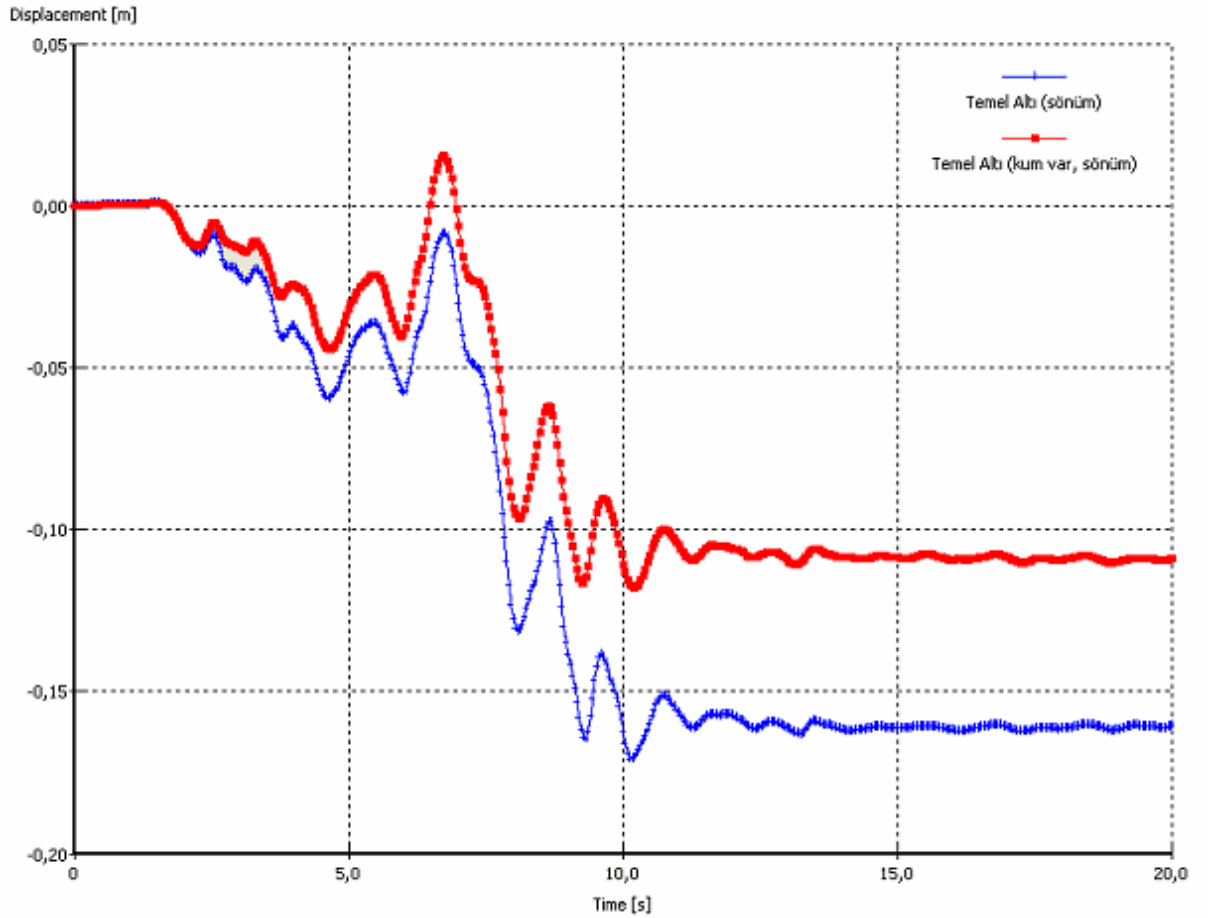
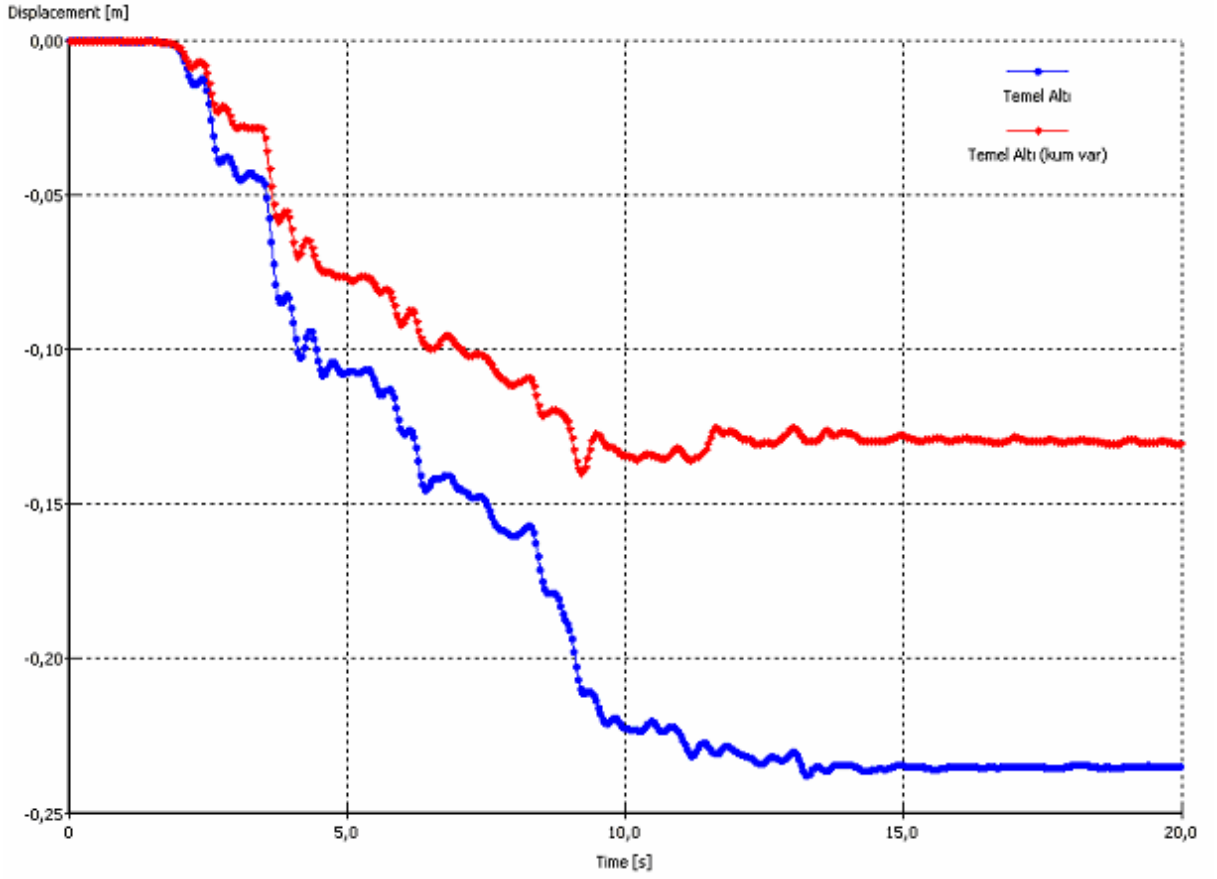
Şekil 26. da doğal zemindeyken öteleme değeri $310,15 \cdot 10^{-3}$ m. iken iyileştirilmiş kaliteli zemin malzemesiyle yaptığı öteleme sonucunda $221,02 \cdot 10^{-3}$ m. değerine azaldığı görülmüştür.



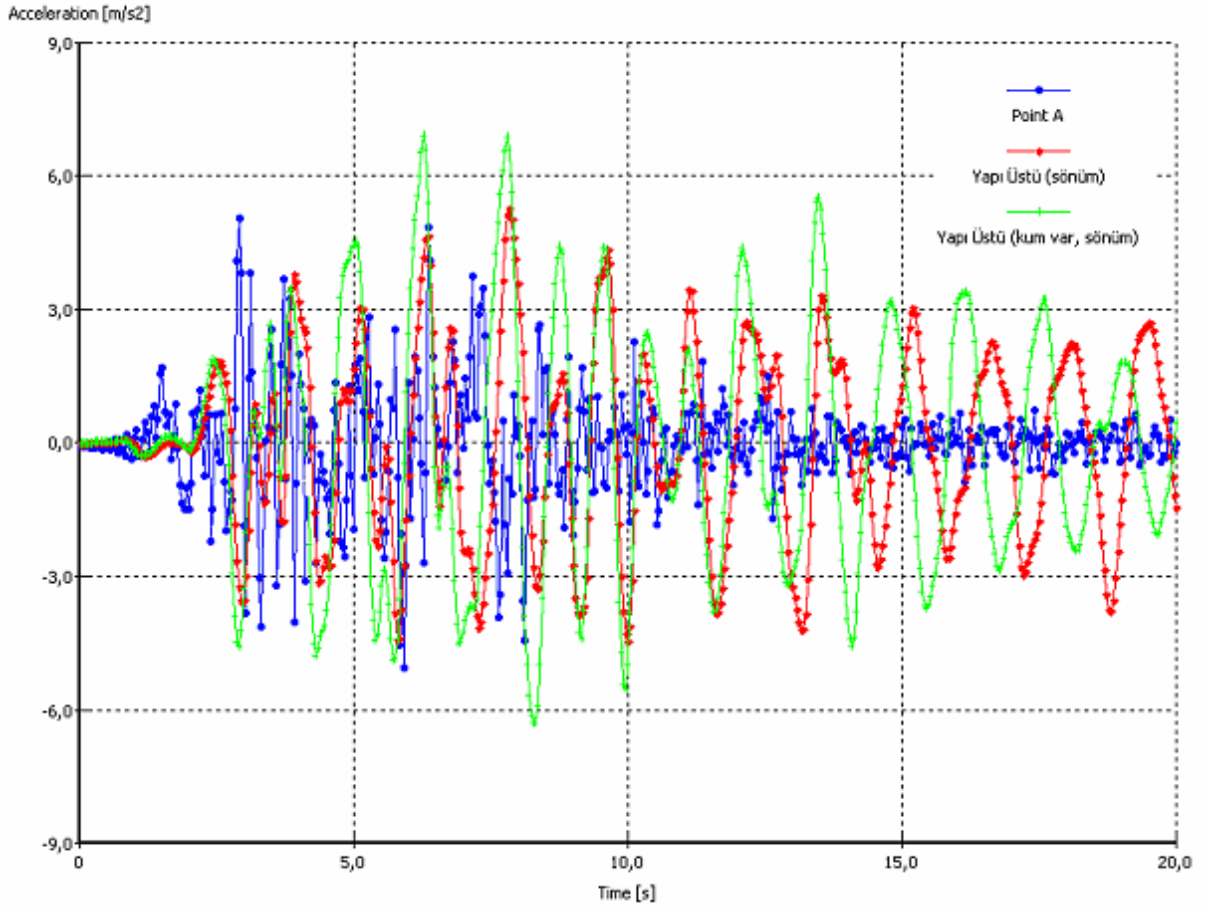
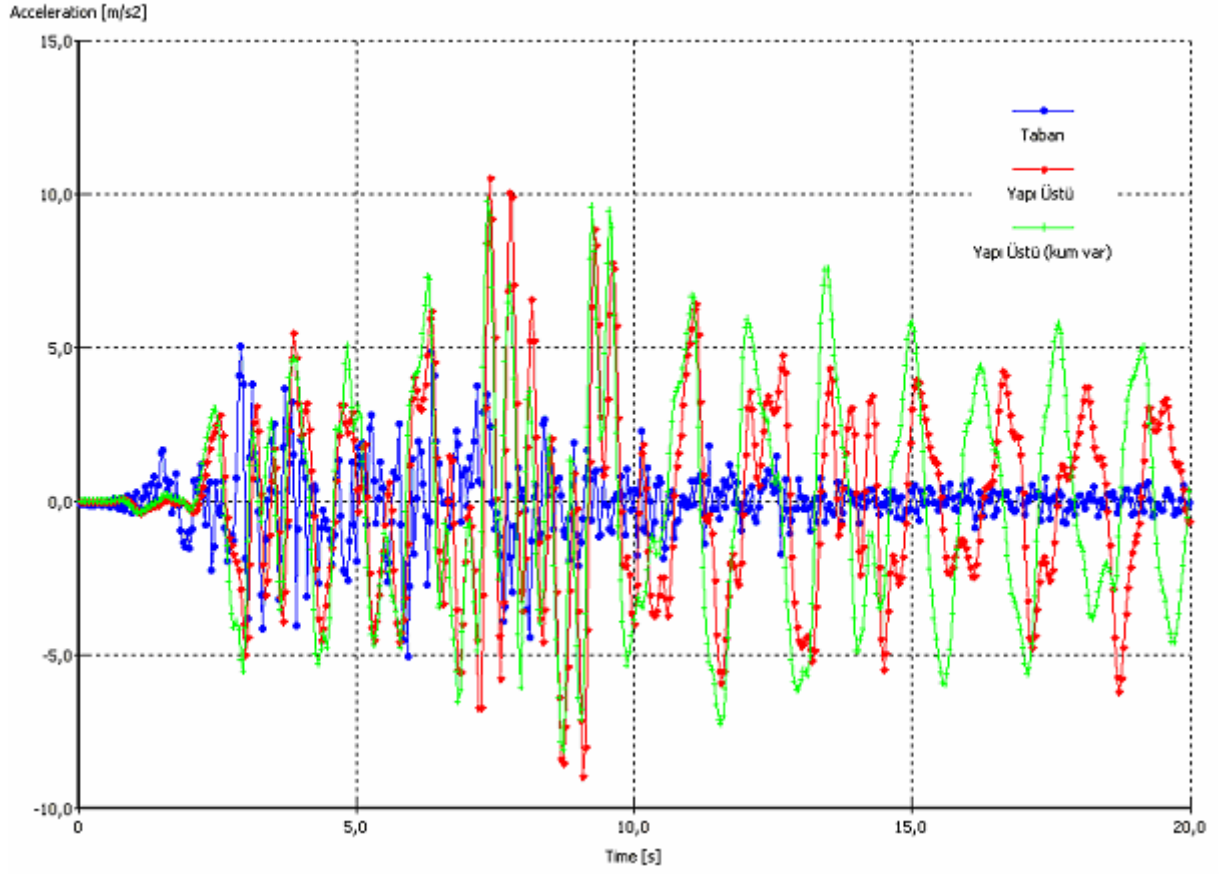
Zemin ve Yapı Elemanlarında Sönümlenme varken deplasmanlarda kayda değer düşüştür ziyade değerin arttığı görülmüştür, sıkı kumun olduğu kayıta ise deplasman değerlerinde düşüş görülmektedir.



Şekil 27. Deprem yükü altında oluşan yatay deplasmanların karşılaştırması (üst: sönüm yok, alt: sönüm var)



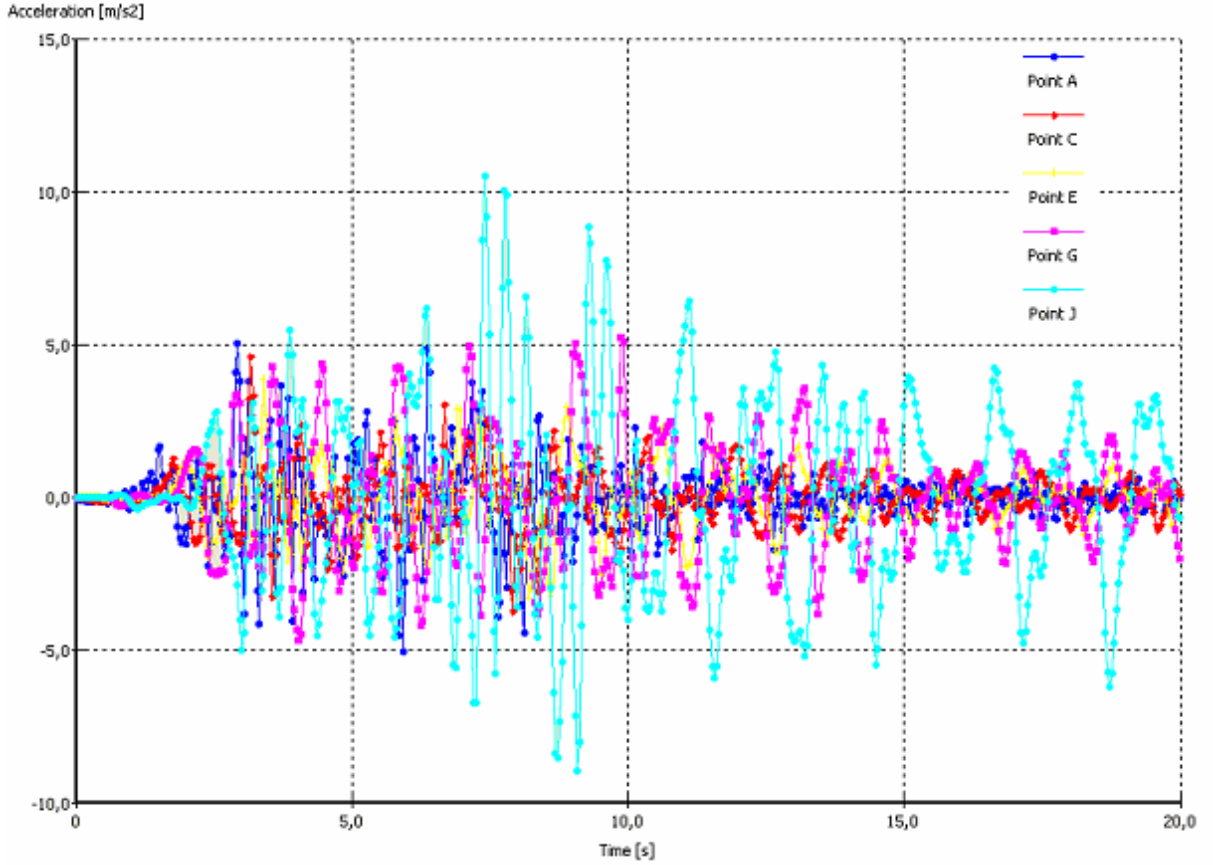
Şekil 28. Yükleme sırasında oluşan Düşey deplasmanlar Temel altında iyileştirilmiş zemin varken ki sönümlü ve sönümsüz hallerdeki deplasman kayıtlarında da sönümleme sonucu düşey deplasmanların da azaldığı görülmüştür. Şekil 28.'de



Şekil 29. Yatay ivmenin değişimi (üst: sönüm yok, alt: sönümlü)

Zeminde sıkı kum olmasının yapı üstüne gelen ivmeyi bir miktarda olsa azalttığı, sönümlendiği görülmüştür.

Doğal kesitte yatay ivmede değişim (koyu mavi: taban, açık mavi: yapı üstü)



Şekil 30. Doğal kesitte yatay ivmede değişim (koyu mavi: taban, açık mavi: yapı üstü)

Şekil 30.'da doğal zemin de yaptığımız model üzerinde seçmiş olduğumuz noktalardan (A→J) alınan ivme kayıtları gösterilmektedir. Buna göre yapının tabanına daha az, yapının üst katlarına ise daha fazla ivme değerlerine ulaştığı gözlenmiştir.

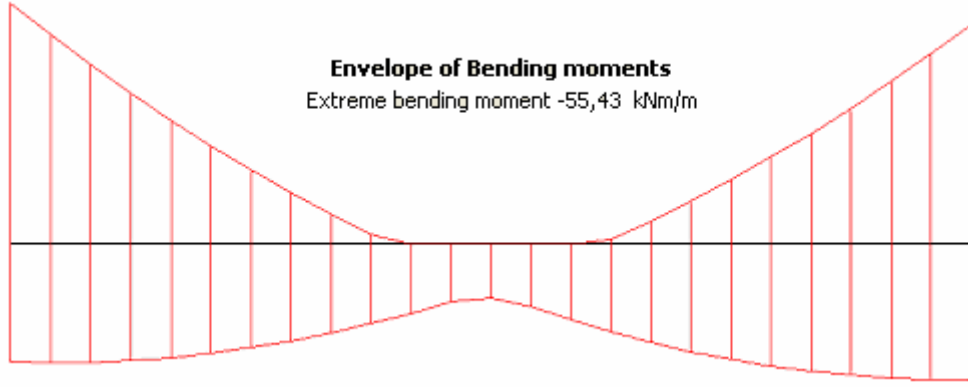
Şekil 31.'de modelimizin en üst kattaki kirişinden alınan moment değerleri karşılaştırılmıştır. Doğal kesitte ve iyileştirilmiş sıkı kumlu kesitte ait moment diyagramları verilmiştir. Doğal kesitteki modelimiz ilk halinde moment değeri $-55,43 \text{ kNm/m}$ iken, iyileştirilmiş zemindeki modelimizin moment değeri $-56,76 \text{ kNm/m}$ dir.

Sönümlenme yaptığımızda doğal kesitteki moment değerimiz $-55,43 \text{ kNm/m}$ değerinden düşerek $-37,44 \text{ kNm/m}$ lik bir moment değeri vermiştir.

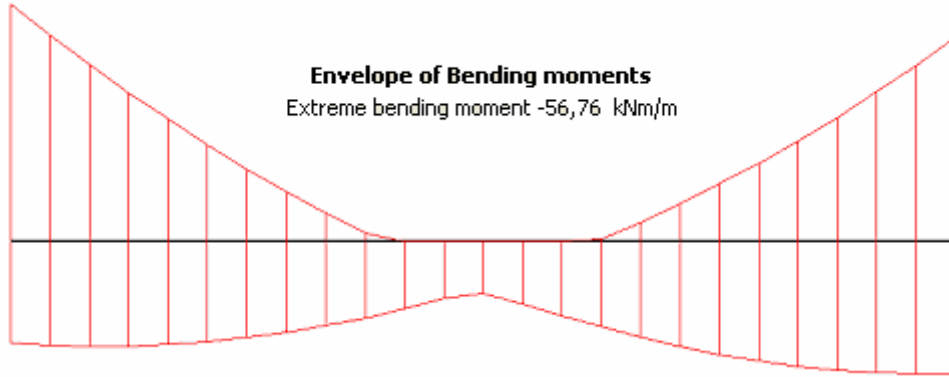
Sönümlenme yaptığımızda iyileştirilmiş sıkı kumlu zemindeki modelimizdeki moment değerimiz $-56,76 \text{ kNm/m}$ değerinden düşerek $-44,58 \text{ kNm/m}$.lik bir değer göstermiştir.

En üst katta momentin fazla olması tercihimizdir, ki üst katlar rahat salınım yapabilir, ancak bizim için önemli olan temel tabana gelen moment değerleridir.

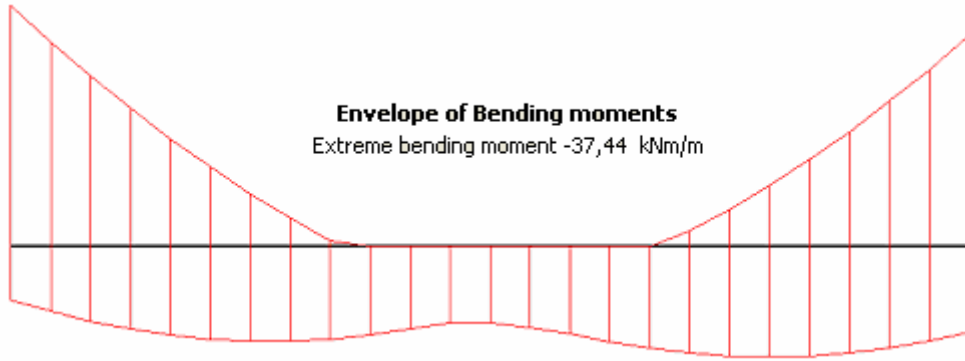
a)Doğal Kesit



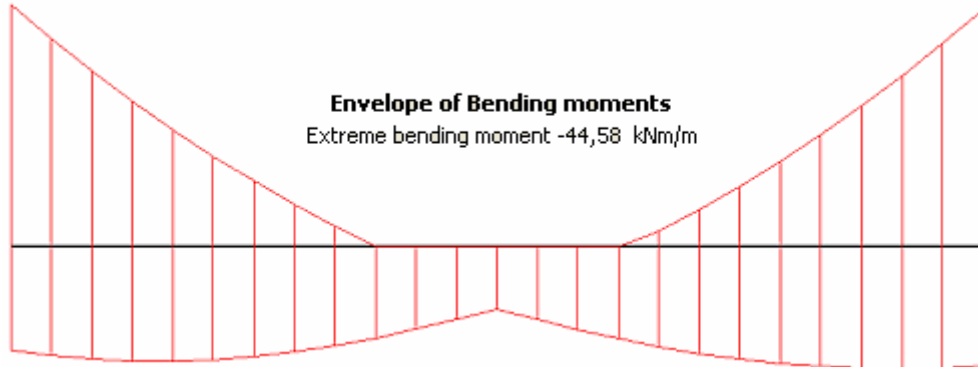
b)İyileştirilmiş zemin



c)Doğal Kesit (sönümlü)

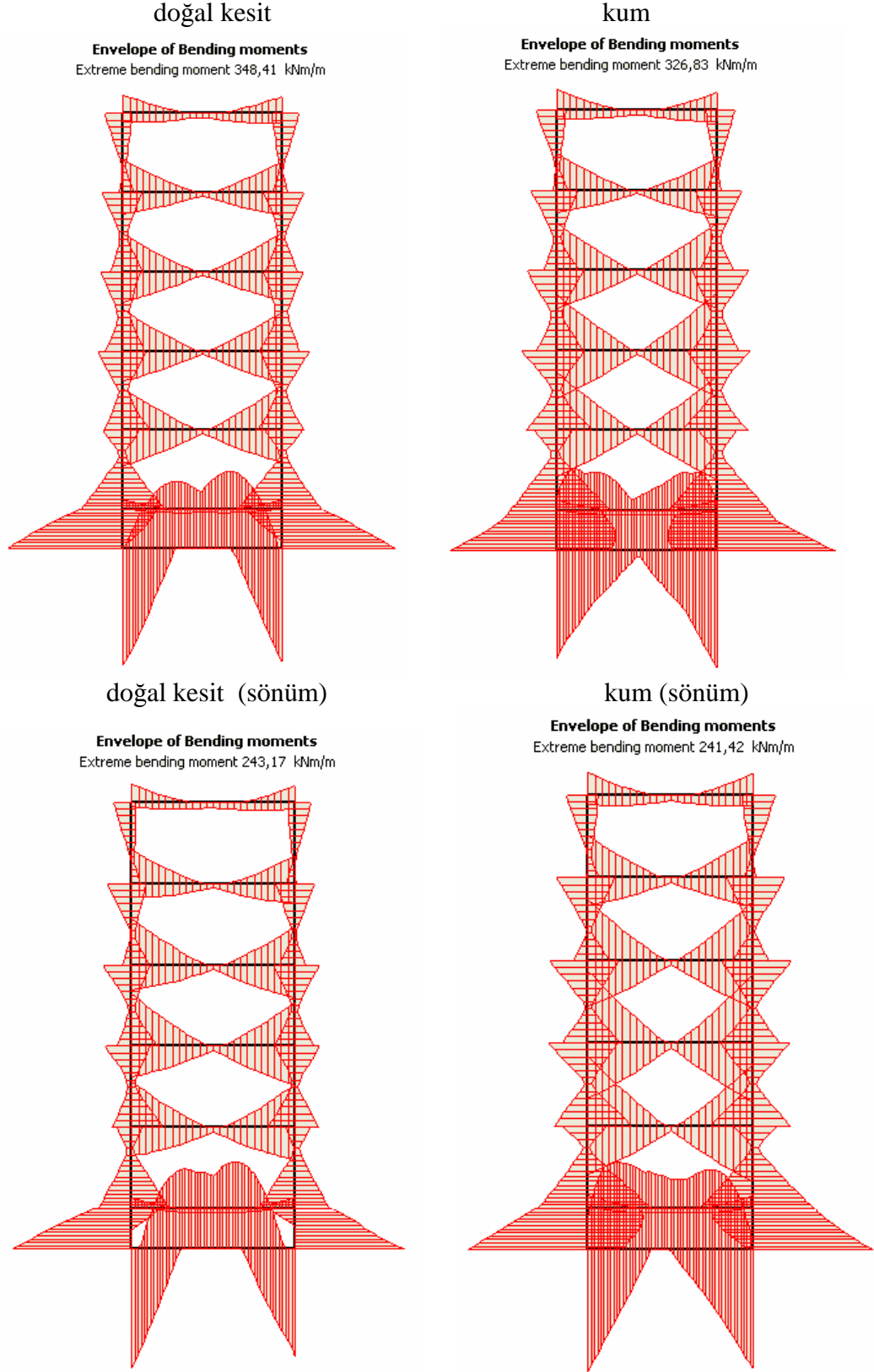


d)Kum var (sönümlü)



Şekil 31. En üst kirişte moment diyagramları

Şekil 32.'de tüm binaya gelen momentin diyagramları görülmektedir. Buna göre doğal zemin kesitinde oluşan, binanın moment değeri 348,41 kNm/m iken ,sönümlü duruma geçtiğinde 243,17 kNm/m'lik bir moment değeri vermektedir, yani 105,24 kNm/m'lik bir moment değeri sönümlenmiştir. Ancak kumlu zemindeki moment değerimiz 326,83 kNm/m iken, sönümlü halde 241,42 kNm/m değerine düşerek 85,41 kNm/m'lik bir sönümleme yaptığı görülmüştür.



Şekil 32. Zemin özelliklerinde değişimin üstyapı elemanlarına etkisi

SONUÇ VE ÖNERİLER:

Yapıların depremde davranışları büyük ölçüde zeminin ve yeraltı su seviyesinin konumuna bağlıdır. Yetersiz zeminde binanın oturma ve ötelenmeleri kabul edilemeyecek değerlere ulaşır.

Bu olumsuz durumu gidermek için zemin iyileştirmesi, kazık gibi yapı elemanları uygulaması ve yapının sismik izolatörle yalıtılması yolları seçilebilir.

Bu tezde zeminin etkilerinin minimuma düşük maliyetli yollardan indirilmesi yolu araştırılmış ve binanın altındaki niteliksiz zeminin makul bir derinliğe kadar kaldırılarak yerine kaliteli dolgu yapılmasının etkileri incelenmiştir. Buna göre oturma ve ötelenmeler tamamen önlememle birlikte önemli azalmalar oluşmaktadır.

Üst yapı ayrıntılı incelenmemekle birlikte, zemin özelliklerinde değişimin taşıyıcı yapı elemanlarında önemli değişim yaptığı söylenememektedir. Buradan perdeli taşıyıcı sistemlere geçilerek daha ayrıntılı hesaplamalar yapılması gerekecektir.

Zeminle ilgili çalışmalar bundan sonra model analizi ile sürdürülecektir. Depremden olumsuz etkilenen ve üstün nitelikli zeminlerin kullanıldığı temel ortamlarının oluşturulması ile bunların üzerine prototip üst yapı oturtularak sarsma tablasında deneyler yapılması öngörülmektedir. Bu şekilde sayısal hesaplamalarla model deneyleri arasındaki bağıntı araştırılacak, gerçek yapılar için öneriler geliştirilecektir.

KAYNAKLAR

- 1 - **Kramer S.L.** Geotechnical earthquake engineering
- 2 - **Ohsaki Y.** Spektral Analysis of Earthquake Wave
- 3 - **DAD.(1980)** Deprem Mühendisliği Açısından Yapı Dinamiğine Giriş, Deprem Araştırma Dairesi Yayınları .
- 4 - **DAD.(1977)**Yapı Dinamiğine Giriş, Deprem Araştırma Dairesi Yayınları .
- 5 - **Bayülke N.** Yapıların Deprem Titreşimlerinden Yalıtımı
- 6 - **Baumann T., J. Böhrer, 2001** ‘seismic design of base-isolated’
- 7 - **Tezcan S.S., Cimilli S. 2001** ‘seismic base isolation’
- 8 - **Tezcan S.S., Erkal A. 2001** ‘seismic base isolation and energy absorbing devices’
- 9 - **Midorikawa,S. (1987)** "Prediction of Isoseismal Map in Kanto Plain due to Hypothetical Earthquake" Journal of Structural Dynamics, (33B):43-48
- 10 - **Shima,E. (1978)** "Seismic Microzoning map of Tokyo" Proc. Second Inter. Conf. on Microzonation, (1):433-443
- 11 - **Borcherdt,R.D.,** Wentworth, C.M., Janssen , A., Fumal,T. & Gibbs,J. (1991) “Methodology for Predictive GIS Mapping of Special Study Zones for Strong Ground Shaking in the San Francisco Bay Region”, Proc. 4th Inter. Conf. On Seismic Zonation, (3):545-552.
- 12 - **Borcherdt,R.D. & Gibbs,J.F.(1976)** "Effect of Local Geological Conditions in the San Francisco Bay Region on Ground Motions and the Intensities of the 1906 Earthquake", Bull. Seism. Soc. Am., (66):467-500
- 13 - **Borcherdt,R.D.(1994)** “Estimates of Site Dependent Response Spectra for Design (Methodology and Justification)”, Earthquake Spectra, (10)4:617-654.
- 14 - **Eiby.G. A. 1980,1981.**Earthquakes. Heinemann, Auckland, 209 pp
- 15 - **Summer 1960,** Some basic misconceptions, Social Problems, 5. Quarantelli, E.L. Images of withdrawal behavior in disasters vol. 8, pp. 68-79.
- 16 - **Erdik M., Yüzügüllü Ö., Atalay B., Yılmaz Ç., (1978).** “Sincan Yenikent Konutları Titreşim Deneyleri”,
- 17 – **Erdik M., Yüzügüllü Ö., (1978).** Sekiz Katlı Tuğla Dolgu Duvarlı Betonarme Bir Yapının Titreşimi"

- 18 - **Erdik M., Gülkan P., (1981)** "Yapılarda Zorlanmış Titreşim Deneyleri"
- 19 - **Erdik M., Yüzügüllü Ö., Atalay B., Yarar E., (Ocak 1981)** "Ağır Panel Prefabrike Yapıların Zorlanmış Titreşim Deneyleri"
- 20 - **Bathe, K.J., Wilson, E.L. (1973)**, SAPIV "Stability and accuracy analysis of direct integration methods", Int. J. Earth. Eng. Struct. Dynam., Vol. 1 pp.283-91.
- 21 - **Wilson E.L.** ETABS ,Yapıların 3 Byutlu Statik ve Dinamik Analizi .