



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KIYI YAPILARINDA DEPREM RİSK ANALİZİ

**İnş.Müh. A.Furkan Çalışkan
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Geoteknik Programı**

**Danışman
Prof.Dr. S.Feyza ÇİNİCİOĞLU**

Haziran, 2010

İSTANBUL



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KIYI YAPILARINDA DEPREM RİSK ANALİZİ

**İnş. Müh. A.Furkan ÇALIŞKAN
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Geoteknik Programı**

**Danışman
Prof.Dr. S.Feyza ÇİNİCİOĞLU**

Haziran, 2010

İSTANBUL

Bu çalışma 29/06/2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliğı Anabilim Dalı Geoteknik programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Prof.Dr.S.Feyza ÇİNİCİOĞLU (Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Doç.Dr. Recep İYİSAN
İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi

Yard.Doç.Dr. M.Kubilay KELEŞOĞLU
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Doç.Dr. C.Melek ALHAN
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Yard.Doç.Dr. Sadık ÖZTOPRAK
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı, bana akademik çalışma yapmayı sevdiren çok değerli hocam Prof.Dr. S. Feyza ÇİNİCİOĞLU'na en içten dileklerle teşekkür ederim

Bu çalışma boyunca yardımlarını esirgemeyen çok kıymetli hocalarım Yrd.Doç.Dr. Kubilay KELEŞOĞLU, Yrd.Doç Dr. Sadık ÖZTOPRAK ve Yrd. Doç. Dr. Esmâ Nur ÇİNİCİOĞLU'na teşekkürü borç bilirim. Çalışmam sırasında bana yardımcı olan değerli arkadaşlarım Murat Anbarcı ve hoşgörüsünden ötürü Dilek Aba'ya ayrıca minnettarım.

Haziran, 2010

Ali Furkan Çalışkan

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	I
İÇİNDEKİLER	II
ŞEKİL LİSTESİ.....	V
TABLO LİSTESİ	XI
SEMBOL LİSTESİ	XII
ÖZET.....	XIII
SUMMARY	XIV
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR	4
2.1. DEPREMLERİN OLUŞ NEDENLERİ VE ÖZELLİKLERİ	4
2.1.1 Depremlerin Oluşum Mekanizmaları.....	6
2.1.2 Faylar.....	6
2.1.3 Deprem Parametreleri.....	7
2.1.4 Zemin Hareketi Parametreleri	8
2.1.5 Depremlerin Büyüklüğü ve Şiddeti.....	9
2.1.6 Deprem Dalgalarının Yayılımı: P ve S Dalgaları.....	11
2.2. YEREL ZEMİN KOŞULLARININ DEPREM HAREKETİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ	12
2.2.1 Tabakalı Zemin Büyütmesi.....	17
2.3 ZEMİNLERİN DİNAMİK DAVRANIŞI.....	17
2.4 DİNAMİK ETKİ ALTINDA ZEMİN DEFORMASYONU	19
2.4.1 Yüzey Yırtılması	20
2.4.2 Yamaç Hareketi	20
2.4.3 Hacimsel Sıkışma	21
2.4.4 Sıvılaşma.....	22
2.5 KRİTİK DURUM ZEMİN MEKANİĞİ	22
2.5.1 Zeminlerde Gerilme- Deformasyon Durumu	22
2.5.2 Normal Konsolide Zeminlerin Drenajsız Gerilme İzleri.....	24

2.5.3 Normal Konsolide Zeminlerin Drenajlı Gerilme İzleri.....	26
2.6 YUMUŞAK ZEMİNLER ÜZERİNDEKİ DOLGULARIN DAVRANIŞ MEKANİZMASI	28
2.6.1 Yumuşak Zeminler Üzerindeki Dolguların Davranış Mekanizmasına Ait Genel Özellikler	28
2.6.2 Yumuşak Zemin Üzerindeki Dolgu Yükününün Etkisi	31
2.6.3 Yumuşak Zemin Üzerindeki Dolgunun Tasarımı.....	31
2.6.4 Yumuşak Zemin Üzerine Dolgu İnşa Edilmesi Sırasında Oluşan Boşluk Suyu Basıncıları, Deformasyonlar ve Gerilmeler	32
2.7 YUMUŞAK ZEMİN ÜZERİNDEKİ DALGAKIRANLARIN TASARIMI, YAPIMI VE SİSMİK DAVRANIŞLARI	33
2.8 HASAR OLASILIK ANALİZLERİ	35
2.8.1 Limit Durumlar	37
3. MALZEME VE YÖNTEM	37
3.1 ÇALIŞMADA KULLANILAN SONLU ELEMANLAR PROGRAMI	38
3.1.2 Soft Soil Creep Model (Yumuşak Zemin Akma Modeli)	41
3.2 DALGAKIRAN TASARIM VE İNŞAATININ MODELLENMESİ.....	43
3.3 KULLANILAN DEPREM KAYITLARI VE GENEL ÖZELLİKLERİ	48
3.4 LOKAL GÖÇME OLASILIĞI ANALİZLERİ.....	70
4. BULGULAR	72
4.1 DALGAKIRAN TASARIMI SONUCUNDA ELDE EDİLEN YÜKLEME PROGRAMI.....	72
4.2 YÜKLEME AŞAMASINDA ELDE EDİLEN DEPLASMANLAR VE PLASTİK NOKTALARIN DAĞILIMI.....	77
4.3 GERİLME İZLERİ VE GÖÇME OLASILIĞI EĞRİLERİ.....	86
4.3.1 İnşaat Bitiminden Uzun Süre Sonra Karşılaşılan Deprem Etkisi	87
4.3.1.1 <i>K Noktası Gerilme izleri ve Hasar Olasılık Eğrileri.....</i>	<i>87</i>
4.3.1.2 <i>T Noktası Gerilme İzleri ve Hasar Olasılık Eğrileri</i>	<i>90</i>
4.3.1.3 <i>S Noktası Gerilme İzleri ve Hasar Olasılık Eğrileri.....</i>	<i>92</i>
4.3.1.4 <i>L Noktası Gerilme İzleri ve Hasar Olasılık Eğrileri</i>	<i>94</i>
4.3.1.5 <i>Q Noktası Gerilme İzleri ve Hasar Olasılık Eğrileri.....</i>	<i>97</i>
4.3.1.6 <i>O Noktası Gerilme İzleri ve Hasar Olasılık Eğrileri.....</i>	<i>99</i>
4.3.1.7 <i>M Noktası Gerilme İzleri ve Hasar Olasılık Eğrileri</i>	<i>102</i>
4.3.1.8 <i>R Noktası Gerilme İzleri ve Hasar Olasılık Eğrileri.....</i>	<i>104</i>
4.3.1.9 <i>Tüm Noktalara Ait Hasar Olasılık Eğrileri.....</i>	<i>106</i>
4.3.1.10 <i>Kil Zemin Aşılma Olasılığı Eğrisi.....</i>	<i>107</i>

4.3.2 Dalgakıran İnşaatı Sonrası Ani Deprem Durumu	107
4.3.2.1 K Noktası Gerilme izleri ve Hasar Olasılık Eğrileri.....	107
4.3.2.2 T Noktası Gerilme izleri ve Hasar Olasılık Eğrileri.....	109
4.3.2.3 S Noktası Gerilme izleri ve Hasar Olasılık Eğrileri.....	111
4.3.2.4 L Noktası Gerilme izleri ve Hasar Olasılık Eğrileri.....	113
4.3.2.5 Q Noktası Gerilme izleri ve Hasar Olasılık Eğrileri	115
4.3.2.6 O Noktası Gerilme izleri ve Hasar Olasılık Eğrileri	117
4.3.1.7 M Noktası Gerilme İzleri ve Hasar Olasılık Eğrileri	119
4.3.1.8 R Noktası Gerilme İzleri ve Hasar Olasılık Eğrileri.....	122
5.TARTIŞMA VE SONUÇLAR	123
KAYNAKLAR	132
ÖZGEÇMİŞ.....	136

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1: Tipik bir deprem kaydı	5
Şekil 2.2: Fay çeşitleri (USGS).....	7
Şekil 2.3: Odak noktası, dış merkez ve sismik deprem dalgalarının yayılışı.....	8
Şekil 2.4 Cisim dalgalarının oluşturduğu deformasyonlar a) P dalgası b) SV dalgası (Kramer, 1996)	12
Şekil 2.5 Yüzey dalgalarının oluşturduğu deformasyonlar a) Rayleigh dalgası b) Love dalgası(Kramer, 1996)	12
Şekil 2.6 Rijit anakaya üzerindeki iki kuramsal zemin çökeli: (a) A sahası; (b) B sahası (Kramer, 1996)	14
Şekil 2.7 A ve B sahaları için büyütme faktörleri (Joyner vd., 1976'dan)	15
Şekil 2.8 A ve B sahaları için büyütme faktörleri (Joyne vd., 1976'dan).....	15
Şekil 2.9 Farklı zemin durumları için ivme spektrumu (Aksel, 2007).....	16
Şekil 2.10 Maksimum-İvme deprem merkezine uzaklık(Aksel, 2007)	16
Şekil 2.11. a) Bir zemin numunesinin yükleme ve boşlatma eğrisi b) sıkışma eğrilerinin idealleştirilmiş halleri (Atkinson ve Bransby, 1978).....	25
Şekil 2.12 Normal Konsolide zeminin drenajsız gerilme izleri (Atkinson ve Bransby, 1978)	26
Şekil 2.13 Normal konsolide zeminin drenajlı gerilme izleri (Atkinson ve Bransby,1978).....	27
Şekil 2.14 Dreanjsız düzlemin q-p'-v uzayında gösterimi (Atkinson ve Bransby, 1978)	28
Şekil 2.15 Taş dolgu dalgakıran (PIANC, 2001)	33
Şekil 2.16 Örnek bir taş dolgu dalgakıran kesiti	34
Şekil 2.17 Tek alt tabakalı taş dolgu dalgakıran tasarım örneği	35
Şekil 2.18 Tipik bir hasar olasılık eğrisi	37
Şekil 3.1 Plaxis programı genel ayarlar	39
Şekil 3.2 Malzeme değerlerinin girildiği pencere	40
Şekil 3.3 Plaxis programında ssc parametrelerinin programa girilmesi	42

Şekil 3.4 SSC Modelin deviatorik gerilme-isotropik gerilme grafiği (Kulhawy ve Mayne, 1990)	43
Şekil 3.5 Taş dolgu dalgakıran sonlu elemanlar ağı	43
Şekil 3.6 Tasarım dalgakıran.....	44
Şekil 3.7 Plaxis hesap aşaması- dalgakıran kademeli yükleme	46
Şekil 3.8 Deprem kaydının girilmesi	47
Şekil 3.9: Düzce Depremi Bolu İstasyonu Doğu Batı doğrultusu İvme –zaman grafiği	50
Şekil 3.10: Düzce Depremi Bolu istasyonuna ait Doğu-Batı Doğrultusu ivme spektrumu.....	50
Şekil 3.11: Düzce Depremi Düzce İstasyonu Kuzey Güney doğrultusu İvme –zaman grafiği.....	51
Şekil 3.12: Düzce Depremi Bolu istasyonuna ait Kuzey-Güney Doğrultusu ivme spektrumu.....	51
Şekil 3.13: Kocaeli Depremi Düzce İstasyonu Doğu Batı Doğrultusu İvme –zaman grafiği.....	52
Şekil 3.14: Kocaeli Depremi Düzce istasyonuna ait Doğu-Batı Doğrultusu ivme spektrumu.....	52
Şekil 3.15: Kocaeli Depremi Düzce İstasyonu Kuzey Güney Doğrultusu İvme –zaman grafiği.....	53
Şekil 3.16: Kocaeli Depremi Düzce istasyonuna ait Kuzey-Güney Doğrultusu ivme spektrumu.....	53
Şekil 3.17: Tabas Depremi Doğu Batı Doğrultusu İvme –zaman grafiği.....	54
Şekil 3.18: Tabas Depremi ait Doğu-Batı Doğrultusu ivme spektrumu	54
Şekil 3.19: Tabas Depremi Kuzey Güney Doğrultusu İvme –zaman grafiği	55
Şekil 3.20: Tabas Depremi ait Kuzey-Güney Doğrultusu ivme spektrumu.....	55
Şekil 3.21: Kobe Depremi Doğu Batı Doğrultusu İvme –zaman grafiği.....	56
Şekil 3.22: Kobe Depremi ait Doğu-Batı Doğrultusu ivme spektrumu.....	56
Şekil 3.23. Kobe Depremi Kuzey Güney Dogrultusu İvme –zaman grafiği	57
Şekil 3.24: Kobe Depremi ait Kuzey-Güney Doğrultusu ivme spektrumu	57
Şekil 3.25: Fruli Depremi Doğu Batı Dogrultusu İvme –zaman grafiği.....	58
Şekil 3.26: Fruli Depremi ait Doğu-Batı Doğrultusu ivme spektrumu.....	58
Şekil 3.27: Fruli Depremi Kuzey Güney Dogrultusu İvme –zaman grafiği.....	59
Şekil 3.28: Fruli Depremi ait Kuzey-Güney Doğrultusu ivme spektrumu	59

Şekil 3.29: El Centro Depremi Doğu Batı Doğrultusu İvme –zaman grafiği	60
Şekil 3.30: Fruli Depremi ait Doğu-Batı Doğrultusu ivme spektrumu	60
Şekil 3.31: El Centro Depremi Kuzey Güney Doğrultusu İvme –zaman grafi.....	61
Şekil 3.32: El Centro Depremi Kuzey Güney Doğrultusu İvme –zaman grafi.....	61
Şekil 3.33: Loma Prieta Depremi Doğu Batı Doğrultusu İvme –zaman grafiği	62
Şekil 3.34: Loma Prieta Depremi ait Doğu-Batı Doğrultusu ivme spektrumu	62
Şekil 3.35: Loma Prieta Depremi Kuzey Güney Doğrultusu İvme –zaman grafiği	63
Şekil 3.36: Loma Prieta Depremi ait Kuzey-Güney Doğrultusu ivme spektrumu.....	63
Şekil 3.37: Rimini Depremi Doğu Batı Doğrultusu İvme –zaman grafiği	64
Şekil 3.38: Rimini Depremi ait Doğu-Batı Doğrultusu ivme spektrumu.....	64
Şekil 3.39: Rimini Depremi Kuzey Güney Doğrultusu İvme –zaman grafiği.....	65
Şekil 3.40: Rimini Depremi ait Kuzey-Güney Doğrultusu ivme spektrumu.....	65
Şekil 3.41: Taft Depremi Doğu Batı Doğrultusu İvme –zaman grafiği.....	66
Şekil 3.42: Taft Depremi ait Doğu-Batı Doğrultusu ivme spektrum.....	66
Şekil 3.43: Taft Depremi Kuzey Güney Doğrultusu İvme –zaman grafiği	67
Şekil 3.44: Taft Depremi ait Kuzey-Güney Doğrultusu ivme spektrumu	67
Şekil 3.45: Melo Depremi Doğu Batı Doğrultusu İvme –zaman grafiği	68
Şekil 3.46: Melo Depremi ait Doğu-Batı Doğrultusu ivme spektrum	68
Şekil 3.47: Melo Depremi Kuzey Güney Doğrultusu İvme –zaman grafiği.....	69
Şekil 3.48: Melo Depremi ait Kuzey-Güney Doğrultusu ivme spektrum.....	69
Şekil 3.49 Zemin içerisinden seçilen noktalar	71
Şekil 4.1 Dalgakıran inşası için iş programı	77
Şekil 4.2 40 cm yüksekliğinde ilk yükleme sonucu oluşan toplam deplasmanlar	78
Şekil 4.3 40 cm yüksekliğinde ilk yükleme sonucu oluşan plastik noktalar (cap point)	78
Şekil 4.4. 1.2 m yüksekliğinde oluşan toplam deplasmanlar.	79
Şekil 4.5 1.2 m yüksekliğinde oluşan plastik noktalar (cap points).....	79
Şekil 4.6 1.2 m yüksekliğinde sonra gelen konsolidasyon bekleme sonrası plastik noktaların azalışı	80
Şekil 4.7 3.6 m yüksekliğinde oluşan toplam deplasmanlar	80
Şekil 4.8 3.6 m yüksekliğinde oluşan plastik noktalar.....	81
Şekil 4.9 6.4 m yüksekliğinde oluşan deplasmanlar	81
Şekil 4.10 6.4 m yüksekliğinde oluşan plastik noktalar.....	82

Şekil 4.11 6.4 m yüksekliğinden sonra gelen konsolidasyon beklemesi sonucu plastik noktaların azalışı	82
Şekil 4.12 13.2 m yüksekliğinde oluşan deplasmanlar	83
Şekil 4.13 13.2 m yüksekliğinde oluşan plastik noktalar	83
Şekil 4.14 15.2 m yüksekliğinde oluşan deplasmanlar	84
Şekil 4.15 15.2 m yüksekliğinde oluşan plastik noktalar	84
Şekil 4.16 İnşaat aşamasının tamamlanmasından 365 gün sonra	85
Şekil 4.17 İnşaat aşamasının tamamlanmasından 90 gün sonra	85
Şekil 4.18 K noktası gerilme izleri - Düzce depremi doğu batı doğrultusu	88
Şekil 4.19 K noktası gerilme izleri -Düzce depremi kuzey güney doğrultusu	88
Şekil 4.20 K noktası gerilme izleri - Düzce depremi düşey doğrultu	89
Şekil 4.21 K noktası göçme olasılığı eğrisi.....	89
Şekil 4.22 T noktası gerilme izleri Düzce depremi doğu-batı doğrultusu	90
Şekil 4.23 T noktası gerilme izleri Düzce depremi kuzey-güney doğrultusu	91
Şekil 4.24 T noktası düzce depremi düşey doğrultu gerilme izleri.....	91
Şekil 4.25 T noktası göçme olasılığı eğrisi	92
Şekil 4.26 S noktası düzce depremi doğu-batı doğrultusu gerilme izleri	93
Şekil 4.27 S noktası düzce depremi kuzey-güney doğrultusu gerilme izleri	93
Şekil 4.28 S noktası düzce depremi düşey doğrultu gerilme izleri	94
Şekil 4.29 S Noktası lokal göçme olasılığı eğirileri.....	94
Şekil 4.30 L noktası gerilme izleri (düzce depremi doğu-batı doğrultusu).....	95
Şekil 4.31 L noktası gerilme izleri (düzce depremi kuzey-güney doğrultusu)	95
Şekil 4.32 L noktası gerilme izleri düşey doğrultu	96
Şekil 4.33 L Noktası göçme olasılığı eğrisi	96
Şekil 4.34 Q noktası gerilme izleri- düzce depremi doğu-batı doğrultusu	97
Şekil 4.35 Q noktası gerilme izleri-düzce depremi kuzey-güney doğrultusu	98
Şekil 4.36 Q noktası gerilme izleri-düzce depremi düşey doğrultu	98
Şekil 4.37 Q noktası göçme olasılığı eğrisi.....	99
Şekil 4.38 O noktası düzce depremi doğu-batı doğrultusu gerilme izleri.....	100
Şekil 4.39 O noktası gerilme izleri-düzce depremi kuzey-güney doğrultusu	100
Şekil 4.40 O noktası gerilme izleri düzce depremi düşey doğrultu	101
Şekil 4.41 O noktası göçme olasılığı eğrisi.....	101
Şekil 4.42 M noktası düzce depremi doğu-batı doğrultusu gerilme izleri	102

Şekil 4.43 M noktası düzce depremi kuzey-güney doğrultusu gerilme izleri.....	102
Şekil 4.44 M noktası gerilme izleri- düzce depremi düşey doğrultu	103
Şekil 4.45 M Lokal Göçme Olasılığı Eğrisi.....	103
Şekil 4.46 R noktası gerilme izleri- düzce depremi doğu-batı doğrultusu.....	104
Şekil 4.47 R noktası gerilme izleri kuzey-güney doğrultusu	104
Şekil 4.48 R noktası düzce depremi düşey doğrultu gerilme izleri.....	105
Şekil 4.49 R Noktası lokal göçme eğrisi.....	105
Şekil 4.50 Tüm hasar olasılık eğrileri	106
Şekil 4.51 Yumuşak Kil Zemin Göçme Olasılık eğrisi	107
Şekil 4.52 K Noktası Gerilme İzleri- Düzce Depremi doğu-batı doğrultusu.....	108
Şekil 4.53 K Noktası Düzce Depremi Gerilme İzleri-kuzey batı doğrultusu gerilme izleri	108
Şekil 4.54 K Noktası gerilme izleri Düzce Depremi düşey doğrultu.....	109
Şekil 4.55 K Noktası göçme olasılığı eğrisi.....	109
Şekil 4.56 T Noktası Gerilme İzleri- Düzce depremi doğu batı doğrultusu gerilme izleri	110
Şekil 4.57 T Noktası Gerilme İzleri-düzce depremi kuzey güney doğrultusu.....	110
Şekil 4.58 T Noktası Gerilme İzleri- düzce depremi düşey doğrultu	111
Şekil 4.59 T Noktası Lokal göçme olasılığı eğrisi.....	111
Şekil 4.60 S Noktası Gerilme İzleri- düzce depremi doğu batı doğrultusu gerilme izleri	112
Şekil 4.61 S Noktası Gerilme İzleri-düzce depremi kuzey güney doğrultusu	112
Şekil 4.62 S Noktası Gerilme İzleri-düşey doğrultu	113
Şekil 4.63 S Noktası Göçme eğrisi	113
Şekil 4.64 L Noktası gerilme izleri- düzce depremi doğu batı doğrultusu	114
Şekil 4.65 L Noktası Gerilme İzleri-kuzey güney doğrultusu	114
Şekil 4.66 L Noktası Gerilme İzleri- Düzce depremi düşey doğrultu.....	115
Şekil 4.67 L Noktası Lokal Göçme olasılığı eğrisi.....	115
Şekil 4.68 Q Noktası Gerilme İzleri- Düzce Depremi Doğu Batı Doğrultusu	116
Şekil 4.69 Q Noktası Gerilme İzleri- Düzce Depremi Kuzey Güney Doğrultusu.....	116
Şekil 4.70 Q Noktası Gerilme İzleri-Düşey Doğrultu.....	117
Şekil 4.71 Q Noktası Göçme olasılığı eğrisi.....	117
Şekil 4.72 O Noktası Gerilme İzleri-Doğu Batı Doğrultusu.....	118

Şekil 4.73 O Noktası Gerilme İzleri-Kuzey Güney Doğrultusu	118
Şekil 4.74 O Noktası Gerilme İzleri-Düşey Doğrultu.....	119
Şekil 4.75 O Noktası Göçme olasılığı eğrisi.....	119
Şekil 4.76 M Noktası Gerilme İzleri-Doğu Batı Doğrultusu	120
Şekil 4.77 M Noktası Gerilme İzleri-Kuzey Güney Doğrultusu.....	120
Şekil 4.78 M Noktası Gerilme İzleri-Düşey Doğrultu	121
Şekil 4.79 M Noktası Göçme Olasılığı Eğrisi.....	121
Şekil 4.80 R Noktası Gerilme İzleri-Doğu Batı Doğrultusu	122
Şekil 4.81 R Noktası Gerilme İzleri-Kuzey Güney Doğrultusu	122
Şekil 4.82 R Noktası Göçme Olasılığı Eğrisi.....	123
Şekil 4.83 K Noktası Göçme Olasılığı Eğrileri.....	126
Şekil 4.84 T Noktası Göçme Olasılığı Eğrileri	126
Şekil 4.85 S Noktası Göçme Olasılığı Eğrileri	127
Şekil 4.86 Q Noktası Göçme Olasılığı Eğrileri.....	127
Şekil 4.87 O Noktası Lokal Göçme Olasılığı Eğrisi	128
Şekil 4.88 M Noktası Lokal Göçme Olasılığı Eğrisi	128
Şekil 4.89 L Noktası Göçme Olasılığı Eğrisi.....	129
Şekil 4.90 R Noktası Göçme Olasılığı Eğrileri.....	129
Şekil 4.91 Yumuşak kil zemin göçme olasılık eğrileri- 365 gün için.....	130
Şekil 4.92 Yumuşak kil zemin göçme olasılık eğrileri- İnşaat Bitimi	130
Şekil 4.93 Yumuşak Kil Zemin Göçme Olasılık Eğrisi-365 gün	131
Şekil 4.94 M Noktası Lokal Göçme Olasılığı Eğrisi	131

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1 SSC zemin modeli ile konsolidasyon parametreleri arasındaki bağıntılar	42
Tablo 3.2 Kil zemin parametreleri	45
Tablo 3.3 Diğer zemin parametreleri	45
Tablo 3.4 Deprem Kayıtları Bilgileri	49
Tablo 4.1 Yükleme Programı.....	73
Tablo 4.2 Çok aşamalı yükleme safhaları deplasman ve boşluk suyu basıncı değerleri	74

SEMBOL LİSTESİ

c	: kohezyon
c'	: drenajlı efektif kohezyon
c_u	: drenajsız kayma mukavemeti
CSL	: kritik durum çizgisi
CSV	: kritik boşluk oranı çizgisi
g	: yer çekimi ivmesi
p'	: efektif normal gerilme
q	: kayma gerilmesi
s	: efektif ortalama gerilme
t	: maksimum kayma gerilmesi
δ_s	: kayma deformasyon artışı
δ_v	: hacimsel deformasyon artışı
λ	: normal konsolidasyon çizgisinin eğimi
γ	: zeminin birim hacim ağırlığı
γ'	: zeminin efektif birim hacim ağırlığı
u	: boşluk suyu basıncı
y	: deformasyon, deplasman

ÖZET

KIYI YAPILARINDA DEPREM RİSK ANALİZİ

Yumuşak zeminler üzerine dalgakıran inşaatı tasarımı, temel zemininde göçmeye sebep olmayacak tasarım ve inşaat programının yapılabilmesini gerektirir. Diğer taraftan deprem tehdidi altındaki bölgelerde dalgakıranlar üzerinde depremin hasar yapıcı etkisi de araştırılmalıdır. Bu tez bu iki konuyu bir arada, yumuşak temel zemininin göçme olasılığı bakımından irdeleyen ve değerlendiren bir yaklaşım sunmaktadır. Sunulan çalışma bir modelleme çalışması niteliğindedir ve modelleme için ticari bir sonlu elemanlar programı kullanılmıştır.

Bilindiği üzere son yıllarda yapılan deprem güvenliğinin araştırılması ve göçme olasılıklarının tayini konusundaki araştırmalar hız kazanmıştır. Bu bağlamda yapılar için hasar görebilirlik eğrileri elde edilmektedir. Ancak yapılardaki hasara sebep olan deprem hareketi bilindiği gibi temel zemini vasıtasıyla iletilmektedir. Bu tezde sunulan çalışmada ise dalgakıran altındaki zemin için deprem durumundaki göçme olasılığı araştırılarak yukarıda tanımlanan konuya zemin açısından bir giriş yapılmıştır. Bu amaçla öncelikle Plaxis V.8 programı ile seçilen bir zemin profili üzerinde belli boyutlardaki dalgakıranın güvenli inşasını sağlayan yükleme programının tasarımı yapılmış ve inşaatın ardından iki farklı zaman için deprem etkisinin analizi yapılmıştır.

Söz konusu iki zaman 1-) İnşaat biter bitmez deprem olması durumu 2-) İnşaat bitiminden uzun süre sonra deprem olması durumudur. Bu iki durum için 10 ayrı zaman tanım alanlı deprem kaydı uygulanmış ve sonuçlar zemin içinde seçilen noktalardaki göçme olasılığı, temel zemininin tamamındaki toplam göçme olasılığı bakımından değerlendirilmiştir.

SUMMARY

SEISMIC RISK ANALYSIS OF COASTAL STRUCTURES

Construction of breakwaters over's soft soils require design and implementation of a construction programming which doesn't cause any failure in the soft foundation soils. In addition to this vulnerability of breakwaters to damage causing effects of earthquakes is also a research topic which attracts the attention of the researches and engineers. This dissertation presents an approach which combines these two subjects to evaluate the safety of breakwaters in the terms of the probable detrimental effects which may be transferred to the structure from the soft soil beneath.

The presented approach an example of a modeling study and a commercial software (Plaxis V.8) was used for this purpose. Earthquake risk assessment studies gained wide popularity in recent years especially to assess the probability of risks for existing structures in earthquake areas. It is, however, well known that the main input which causes the damage comes from the underlying soil. In this sense, the object of this thesis is to provide a reasonable access to the subject from the soils side.

In this study, the first attempt of developing a construction programmed which enables the construction of a heavy breakwater without causing an accountable failure in the foundation soils is fulfilled by using Plaxis software according to the needs of the problem.

Having obtained the stress- strain state at the end of the construction two situations. Were considered to analyze the behavior of foundation soils during earthquakes. These two situations are; 1-) If earthquake hits just after the construction terminated and 2-) If earthquake hits in the long-term after the construction was finished. In both of these

cases 10 different earthquake records were applied and the results were evaluated in the terms of probability of failure by following the stress paths obtained for the locations selected in the foundations soils. Moreover, the local failure probability curve for the whole foundations soils was also found to evaluate the total effect.

1. GİRİŞ

Yumuşak zeminler üzerine inşa edilen ağır yapıların tipik örneği dolgulardır. Dolgular karayolları, demiryolları, baraj ve limanların en önemli bileşenleridir. Kıyı ve liman inşaatı projelerinin bileşenlerinden dalgakıranlar deniz dibi zeminler üzerine inşa edilen dolgu tipleridir. Karada inşa edilen dolguların çoğundan farklı olarak genellikle taş, kaya veya beton bloklarla inşa edilirler. Bu tür ağır dolgu yapıların özellikle yumuşak deniz dibi zeminler üzerine inşa edilebilmeleri önemli zorluklar içerir. Yumuşak zeminlerin karakteristik özellikleri kayma mukavemetlerinin düşük, deformasyon yeteneklerinin büyük olmasıdır ve ağır yüklerle ani olarak karşılaştıklarında göçerler. Göçen zeminde taneler arası iç gerilme dengesi kaybolur. Bu durumda böyle bir yapının inşasında birincil amaç göçmeye sebep olmayacak seviyede yük uygulaması yapılmasıdır. Uygulanan yük zeminde göçmeye sebep olmadıysa bile öncelikle boşluk suyuna aktarılacağından, zemin bünyesinde ilave boşluk suyu basınçları çok artar ve boşluk suyu basıncının sönmülmesi için zaman gerekir. Boşluk suyu basınçlarının sönmülmesi süreci konsolidasyon sürecidir ve bu süreçte yumuşak zemin pekleşir, mukavemeti artar, bir sonraki aşamada yüklenecek yükü taşımaya hazır hale gelir.

Dolguların yumuşak zeminler üzerinde inşa edilebilmesi için uygulanan bu yöntem kademeli veya aşamalı inşa yöntemi olarak adlandırılır ve bu inşaat yönteminin doğru aşamalarında yeterli güvenlik sayısını koruyacak şekilde yapılabilmesini sağlamak üzere geliştirilmiş bilimsel yöntemler mevcuttur (Öztoprak S.ve Çinicioğlu S.F, 2007, Keleşoğlu M.K, Çinicioğlu S.F, 2006). Diğer taraftan deprem riski altındaki bölgelerde dalgakıranın deprem güvenlik durumunda belirlenmesi gerekir. Bu tanımlama inşası henüz tamamlanmış dalgakıranlar için gerekli olduğu gibi, eski dalgakıranlar bakımından da önemlidir.

Bu çalışmanın birinci aşamasında yumuşak deniz dibi zeminler üzerine yapılacak bir dalgakıranın altındaki zeminde lokal veya genel göçmenin oluşmasını engelleyecek bir kademeli yükleme programı veren tasarımın yapılması amaçlanmıştır. Bu tasarımı

yapmak ve yeterli güvenlik seviyesinin her aşamada muhafaza edilebileceği bir yükleme programı elde etmek amacıyla Plaxis sonlu elemanlar programı kullanılmıştır. Dalgakıranın depremsiz durumda yapım aşaması sırasındaki davranışı, kayma gerilmesi (q) ve efektif normal gerilme (p') eksen sistemi içindeki gerilme izleri ile takip edilmiştir. Bilindiği üzere gerilme izleri yükleme aşamalarında Kritik Durum Çizgisine yaklaşmış, konsolidasyon devrelerinde ise sağa doğru hareket ederek Kritik Durum Çizgisi ile temsil edilen göçme durumundan uzaklaşmış, dolayısı ile zemin pekleşmiştir. Plaxis ortamında yükleme aşamalarında, yükleme seviyesi temel zemininde çok az plastik nokta yaratacak seviyede tutulmuş, böylece çok küçük noktasal göçmeler olsa bile göçmenin ilerlemesine fırsat verilmemiştir. Konsolidasyon devrelerinde de plastik noktaların tamamen yok olacağı veya çok azalacağı sürenin tanımlanmasına özen gösterilmiştir. Ayrıca boşluk suyu basınç ve deformasyonlarında zamana ve yüke göre değişimi takip edilmiştir. Bu takip hem global olarak tüm temel zemininde ki maksimum değişimleri esas alarak hem de noktasal olarak davranış değişimlerini yansıtmak bakımından önem arz eden seçilmiş noktalarda yapılmıştır.

Çalışmanın ikinci aşamasında, dalgakıranın inşaatının tamamlanmasından sonra depremle karşılaşması durumunda temel zeminindeki güvenlik durumunun nasıl değişebileceği, aynı şekilde gerilme izleri, boşluk suyu basıncı değişimleri, plastik nokta oluşumu ve deformasyon artışları cinsinden incelenmiş ve bunların değerlendirilmesi sonucunda deprem etkisi altındaki riskin nasıl geliştiği veya azaldığı hasar olasılık eğrileri ile ifade edilmiştir.

Dalgakıran inşasının tamamlanmasından sonra, depremin olacağı zaman olarak iki durum incelenmiştir;

- 1- Dalgakıran tamamlanır tamamlanmaz: Bu durumda zeminde henüz, yapım yüklemesinin etkisi ile oluşmuş, ilave boşluk suyu basınçları yeterince sönmülmemiş ve temel zemini yeterince pekleşmemiştir.
- 2- Dalgakıran inşasının bitiminden 1 yıl sonra: Bu durumda yüklemeden kaynaklanan boşluk suyu basınçları büyük ölçüde sönmülmüştür. Temel zemini pekleşmiş durumdadır.

Her iki duruma ait deprem etkisi altındaki gerilme izi davranışı, yapım aşamasına ait gerilme izi davranışı ile birlikte gösterilmiştir.

Diğer taraftan depremden sonra temel zemininde yeni bir konsolidasyon süreci başlayacaktır ve boşluk suyu basınçları giderek sönmülenecektir. Bu durumdaki davranışı incelemek için her iki durumda da depremden sonra 90 günlük konsolidasyon süreci takip edilmiştir. Her iki duruma ait hasar olasılık eğrileri seçilen noktalardaki göçme olasılık durumunu yansıtacak şekilde oluşturulmuştur.

Tüm bu çalışmalar yapılırken deprem etkisini saptamak üzere uygulanan deprem dalgası içeriği önemlidir. Bilindiği üzere depremlerin yıkıcı veya hasar yapıcı etkileri deprem kaynağının uzaklığına, deprem dalgasının doğrultusuna, depremin içeriğine ve deprem dalgasının içinden geçtiği zeminlerin özelliklerine bağlıdır. Bu sebeple herhangi bir yapı veya temel zemini için hasar olasılık eğrileri elde edilirken o bölgede etkin olabilecek depremin seçimi önemlidir. Bu tezde sunulan çalışma belli bir yer için yapılmamıştır fakat herhangi bir yer için kullanılabilir yaklaşımı örneklemek hedeflenmiştir. Bu sebeple bu çalışmada 10 farklı tarihi deprem kaydı kullanılmıştır. Kullanılan 10 deprem kaydı yukarıda tanımlandığı etkiletirek her birinin göçme oluşturma olasılığı araştırılmış ve bunların bir arada değerlendirilmesi ile hasar olasılık eğrileri elde edilmiştir.

Çalışma giriş bölümü ile birlikte beş bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde yapıların sismik davranışı, depremler, dinamik etkiler altında zemin deformasyonunun incelenmesi, kritik durum zemin mekaniği, dalgakıranlar, hasar olasılık analizleri ile ilgili teorik açıklamalar ve literatürden bugüne kadar yapılmış çalışmalardan örnekler aktarılmıştır. Üçüncü bölümde tasarlanan dalgakıranın genel özellikleri, seçilen deprem verilerinin karakteristik özellikleri, kullanılan sonlu eleman programı (Plaxis V.8.2) tanıtılmış ve deprem risk analizlerinin metodolojisi, seçilen noktalar için gerilme izlerinin çıkarılması, hasar olasılık eğrilerinin elde edilmesi açıklanmıştır. Dördüncü bölümde analizler sonucu elde edilen bulgular, gerilme izleri ve hasar olasılık eğrileri verilmiştir. Beşinci ve son bölümde de bulgular ışığında, tasarlanan dalgakıranın şiddetli bir deprem durumundaki davranışı, zemin-yapı etkileşimi, gerilme izleri ve hasar olasılık eğrileri vasıtası ile yorumlanmış, öneriler getirilmiştir.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. DEPREMLERİN OLUŞ NEDENLERİ VE ÖZELLİKLERİ

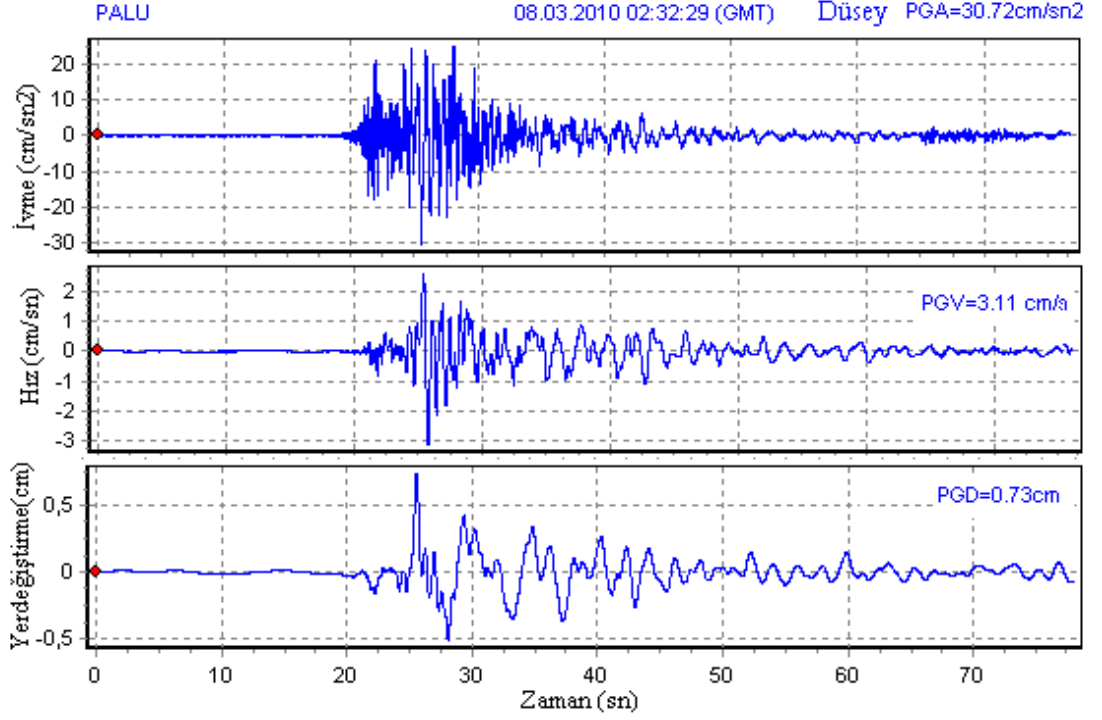
Deprem kısaca yer kabuğu içerisinde oluşan bir enerji akışı olarak tanımlanabilir. En geçerli teorilerden birisi sayılan ve 1911 yılında Reid tarafından ortaya konulan faylanma ya da diğer ismi ile elastik geri sekme teorisine (Elastic Rebound Theory) göre deprem; önceden jeolojik fay olarak adlandırılmış, ayrık ve kırık bir yüzey boyunca, taşkürenin (litosfer) kırılması sonucu meydana gelmektedir ve fayın her iki kenarı arasındaki elastik gerilmenin kademeli olarak artması sonucu tetiklenir. Deprem anında fayın kenarları, serbest kalan elastik gerilme miktarı kadar yer değiştirir.

Deprem esnasında oluşan yer hareketlerinin karakteristikleri hakkında bilgiler, geçmiş dönemde olmuş depremlerin sismograf kayıtlarından elde edilir. Bu kayıtlardaki yatay hareketin her bileşkesi; önce yer hızının ve sonra ötelenmenin zaman tarihçesini elde etmek için zamana bağlı olarak değerlendirilebilir. Kayıtlardan yer hareketinin temel karakteristiklerini oluşturan en büyük zemin ivmesini, en büyük zemin hızını, en büyük zemin ötelenmesini ve etkin zemin hareketinin zamanını belirlemek mümkündür. Bir yer hareketinin davranışının açıklanmasında bu karakteristiklerin ayrı değerlendirilmesi uygun değildir. Daha doğru bir ifade ile bu faktörlerin tamamı deprem esnasında oluşan yer hareketlerinde etkindir. Örneğin potansiyel hasar yaratması muhtemel görülen çok yüksek ivme, eğer çok kısa bir zaman dilimi içinde meydana gelmişse, muhtemelen düşük seviyede hasar yaratacaktır (Seed ve Idriss, 1982). 1957 Meksiko City depremi bu duruma iyi bir örnektir. Şehrin merkezinde ölçülen en büyük zemin ivmesi; yalnızca 0.05-0.1g civarında olmasına rağmen, hareketin frekans karakteristikleri ve depremin oluşum zamanı, büyük yapıların bütünüyle göçmesi için yeterli olmuştur.

Deprem esnasında herhangi bir noktada oluşan yer hareketlerinin karakteristikleri; aşağıda belirtilen faktörler tarafından etkilenir;

- Depremin büyüklüğü
- Depremin kaynak mekanizması
- Enerji boşalım kaynağından olan uzaklık

- Bölgede bulunan fay gibi süreksizlerin dalga yayılma hızına etkisi
- Dikkate alınan bölgedeki yerel zemin koşulları



Şekil 2.1: Tipik bir deprem kaydı

Seed ve Idriss (1982); bu faktörlerden bazılarına ait etkilerin, diğerlerine nazaran daha iyi anlaşılmiş olduğunu ifade etmiştir. Ancak bu etkilerden bazıları henüz açık olarak izah edilememiştir. Örneğin kaynak mekanizması ve dalga yolu jeolojisi gibi faktörlerin etkisi hala bazı soru işaretleri ihtiva etmektedir. Örneğin kaynak mekanizması ve dalga yolu jeolojisi faktörlerin etkisi hala bazı soru işaretleri ihtiva etmektedir.

2.1.1 Depremlerin Oluşum Mekanizmaları

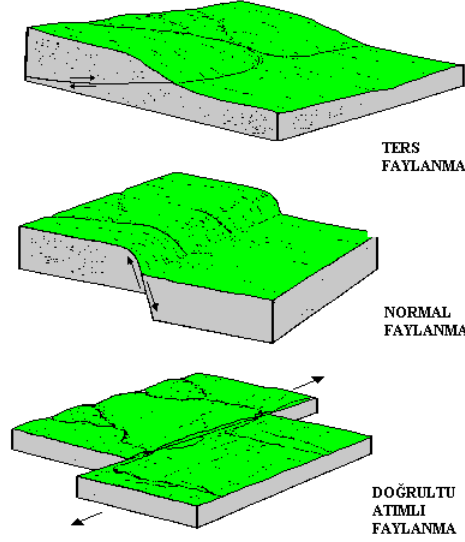
Depremler oluşum türlerine göre tektonik depremler, volkanik depremler ve çöküntü depremler olarak sınıflandırılır. Özellikle tektonik depremler gerek ortaya çıkış sayılarının çokluğu gerek sebep oldukları hasarın büyüklüğü ile ön plana çıkmaktadır.

Elastik geri sekme teorisinin (Reid, 1911) geniş kabul görmesinin ardından depremlerin büyük ölçekli jeolojik yapıları oluşturan deformasyon sürecinin bir parçası olduğu düşüncesi doğmuştur (Howell, 1990). Litosferden daha alt seviyelerde meydana gelen depremlerin oluşum mekanizmalarını elastik geri sekme teorisi ile açıklamak güç olmaktadır. Bu seviyelerde yer alan jeolojik yapıların elastik deformasyon enerjisi birikimine elverişli olmadıkları bilinmektedir. Son yıllarda bütün jeolojik kavramları etkileyen Levha Tektoniği ile bu güçlük sağlıklı bir çözüme kavuşturulmuştur. (Celep, Z. Kumbasar, 1993)

2.1.2 Faylar

Levha tektoniği teorisine göre levhaların göreceli hareketi üç çeşit levha sınırından biri ile açıklanmaktadır. Levha sınırları bazı bölgelerde çok belirgin ve teşhisleri de kolay iken bazı levha sınırları daha büyük levhalar arasında hapsolmuş mikro-levhacıklardan oluşmuş şekildedir. Yerel olarak kabuğun iki bölümü arasındaki hareket, kabuğun jeolojik yapısı içerisinde fay olarak bilinen ve daha önceden mevcut olan yeni bir öteleme hattı boyunca gelişmektedir. Fayların uzunluğu bir kaç metreden yüzlerce kilometreye kadar değişebilir ve derinlikleri de yer yüzeyinden onlarca km derinliklere kadar uzanabilir.

Fay yırtılmasının veya kaymasının ortak yüzeyde ne kadarlık bir alan üzerinde olduğu, depremin büyüklüğünü belirleyen en önemli etkenlerden biridir. Kaymanın oluşturduğu fay alanı büyüdükçe, deprem daha geniş bir alanda hissedilir. Yırtılma bilgisi yer yüzüne yakın olabildiği gibi derinlerde de bulunabilir (Celep, Z. Kumbasar, 1993)



Şekil 2.2: Fay çeşitleri (USGS)

2.1.3 Deprem Parametreleri

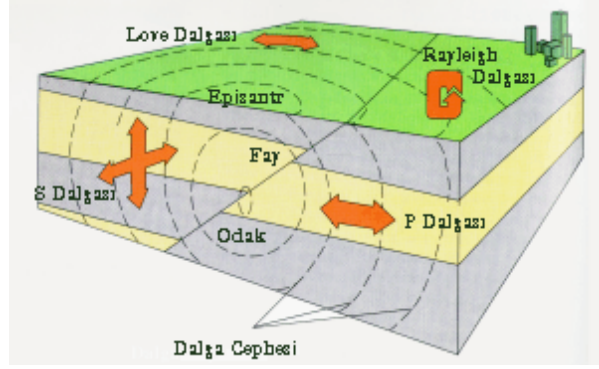
Herhangibi bir deprem oluştuğunda, bu depremin tanımlanması ve anlaşılabilmesi için ‘‘Deprem parametreleri’’ olarak tanımlanan bazı kavramlardan söz edilmektedir. Aşağıda kısaca bu parametrelerin açıklaması yapılacaktır.

Odak Derinliği : Depremi oluşturan ilk kırılmanın başladığı yer altı noktasına depremin odak noktası (Hiposantr) ve bu noktanın yeryüzünde olan derinliğine de odak derinliği denir.

Hiposantr: Kırılmanın başladığı noktaya odak noktası veya hiposantr denir.

Dış merkez: Yüzeyde deprem odağının hemen üstüne rastlayan nokta dış merkez (Episantr) olarak adlandırılır. Dış merkez depremin en kuvvetli hissedildiği bölgedir. Bu bölgede önemli ölçüde dış titreşimler hissedilirse de bunlar hızlı bir biçimde sönümlenir ve yatay titreşimler daha belirgin hale gelir.

Odak-dış merkez uzaklığı deprem derinliğinin ölçüsüdür. Bu derinliğin 60km.den az olduğu durumlarda sığ, 60-300 km arasında orta derinlikte ve 300 km'den fazla ise derin depremler olarak tanımlanır (Celep, Z. Kumbasar, 1993).



Şekil 2.3: Odak noktası, dış merkez ve sismik deprem dalgalarının yayılışı

2.1.4 Zemin Hareketi Parametreleri

Deprem türü ve karakteristiğini tanımlayan deprem parametrelerinin yanında bir de sismik analizleri açıklamak ve deprem sonucu oluşan zemin hareketlerini karakterize etmek için belirlenen parametreler vardır;

- Pik Yatay Zemin İvmesi, PGA_h , veya basit olarak PGA , deprem sırasında zeminin ivmelenmesinin ulaştığı maksimum değerdir. Aynı zamanda pik ivme veya maksimum ivme de denilmektedir.
- Pik Düşey Zemin İvmesi, PGA_v , deprem sırasında zeminin düşey ivmelenmesinin ulaştığı maksimum değerdir.

- Akselogramlar $a(t)$, ivmenin zamanla değişimini gösteren grafiklerdir. Bu akselogramlar yatay ve düşey olup genellikle zamanın düzensiz fonksiyonları şeklinde gösterilmektedir.
- Pik Yatay Zemin Hızı, PGV_h , deprem sırasında zeminin yatay bileşeninin ulaştığı maksimum değerdir.
- Pik Düşey Zemin Hızı, PGV_v , deprem sırasında zeminin hızının düşey bileşeninin ulaştığı maksimum değerdir.
- Pik Zemin Deplasmanı, PGD , maksimum deplasman.

2.1.5 Depremlerin Büyüklüğü ve Şiddeti

Büyüklük, deprem sırasında açığa çıkan enerjinin bir ölçüsü olarak tanımlanmaktadır. Enerjinin doğrudan doğruya ölçülmesi olanağı olmadığından, Richter tarafından bulunan bir yöntemle depremin aletsel bir ölçüsü olan “ Magnitüd” tanımlanmıştır. Dış merkezden 100 km uzaklıkta ve sert zemine yerleştirilmiş özel bir sismografla (2800 büyütmeli, özel periyodu 0.8 saniye ve %80 sönümlü Wood-Anderson torsiyon sismografı) kaydedilmiş zemin hareketinin mikron cinsinden (1 mikron 1/1000 mm) ölçülen maksimum genliğin 10 tabanına göre logaritması depremin büyüklüğü olarak tanımlanmıştır. Bu güne dek olan depremler istatistik olarak incelendiğinde kaydedilen en büyük degerin 8.9 olduğu görülmektedir (31 Ocak 1906 Kolombiya-Ekvator ve 2 Mart 1933 Sanriku, Japonya depremleri). (Richter, C.F, 1935)

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 sonucu elde edilmektedir. Aletsel magnitüd değeri, gerek hacim dalgaları ve gerekse yüzey dalgalarından hesaplanmaktadır. Genel olarak hacim dalgalarından hesaplanan büyüklük

(m) ile, yüzey dalgalarından hesaplananlar ise (M) ile gösterilmektedir. Her iki büyüklük değerini birbirine dönüştürecek bağıntılar mevcuttur.

Genel olarak deprem büyüklük bağıntısı:

$$M = \log \left[\frac{A}{T \cdot m} \right] + a \cdot \log_{10} \Delta + b \quad (2.1)$$

A: Sismik Dalganın genliği

T: Sismik Dalganın periyodu

m: Sismografin büyütmesi

a,b: katsayılar

Sismoğrafların olmadığı dönemlerde depremin ölçüsünü belirlemek amacı ile yapılar, canlılar ve toprak üzerindeki etkileri sınıflandırılmış ve şiddet denilen ölçek ortaya çıkmıştır. Çok çeşitli şiddet ölçekleri önerilmiş ve kullanılmıştır. Mercalli-Sieberg (MS), Rossi-Forel (RF), Omori-Cancani (OC), Mercalli-Cancani (MC), Modifiye Mercalli (MM), Medved-Sponheur-Karnik (MSK) ve Japon (JM) ölçekleri en çok kullanılanmaktadır.

Deprem hareketi sırasında açığa çıkan enerji ile depremin büyüklüğü arasında ilişki kuran bazı bağıntılar önerilmiştir. Richter büyüklüğü M için enerjinin erg cinsinden hesap edildiği

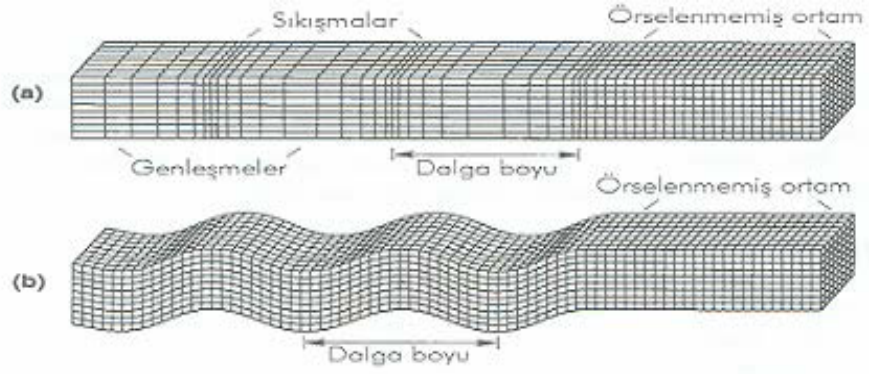
$$\text{Log}E = 11,8 + 1,5M \quad (2.2)$$

Bağıntısında deprem büyüklüğünde meydana gelecek bir birimlik artman enerjinin 32 katlık bir artmaya eşdeğer olduğunu görülmektedir (Celep, Z. Kumbasar, 1993)

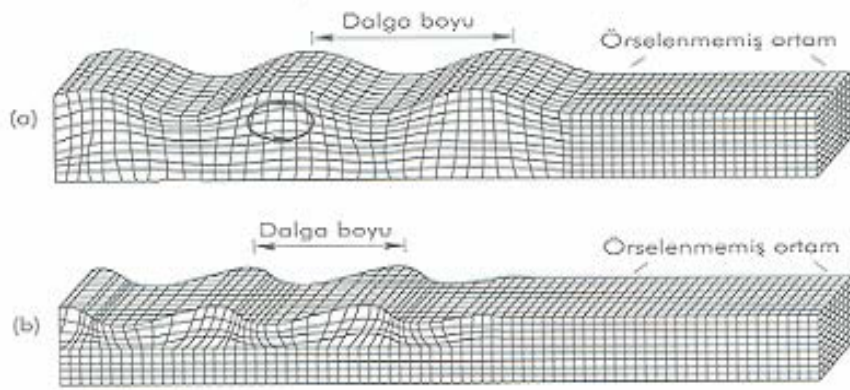
2.1.6 Deprem Dalgalarının Yayılımı: P ve S Dalgaları

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 oluşunu ortaya çıkarmış ve her katmanın kendine özgü nitelikleri olduğunu ortaya çıkarmıştır. Bir deprem meydana geldiğinde cisim dalgaları, hacim dalgaları ve yüzey dalgaları denen farklı türde sismik dalgalar ortaya çıkar. Hacim dalgaları yer küre içinde enerji kaynağından başlayarak serbest şekilde her yöne dağılır. Cisim dalgaları ise yeryüzünde dağılırlar. Cisim dalgalarının yeryüzünde yayılırken, yer kabuğunun 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 iki çeşidi vardır (Kramer,1996)

P dalgaları ortamlardan geçerken önce sıkışma sonra genleşme meydana getirirler. Bu yüzden birincil, boyuna veya basınç dalgası olarak ifade edilirler. Ses dalgalarına benzeyen bu dalgalardan 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 iki şekilde tanımlanır. 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, yer yüzeyi ve yüzeydeki katmanlar ile cisim dalgaları arasındaki etkileşim sonucunda oluşurlar. Bu dalgalar, genellikle kabaca derinliğe göre üssel olarak azalarak yer yüzeyinde ilerlerler. Özellikleri Şekil 2.4 ve Şekil 2.5'te gösterilmektedir (Kramer,1996)



Şekil 2.4 Cisim dalgalarının oluşturduğu deformasyonlar a) P dalgası b) SV dalgası (Kramer, 1996)



Şekil 2.5 Yüzey dalgalarının oluşturduğu deformasyonlar a) Rayleigh dalgası b) Love dalgası(Kramer, 1996)

2.2. YEREL ZEMİN KOŞULLARININ DEPREM HAREKETİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Yerel zemin koşullarının kuvvetli yer hareketlerini önemli ölçüde etkilediği, yakın tarihlerde meydana gelmiş yıkıcı depremlerde tesbit edilen yapısal hasar ve aletsel ölçümlerle açıkça ortaya konmuştur. Deprem anında oluşan yer hareketleri yapılara etkileyen sismik kuvvetleri doğrudan etkilediği gibi, aynı zamanda deprem sırasında zemin tabakalarının davranışı ve zemin göçmesi gibi durumlar açısından da çok önemlidir.

Deprem anında oluşan yer hareketleri kaynak, izlenen yol ve arazi özellikleri gibi birçok faktörden etkilenmektedir. Bu nedenle, oluşacak yer hareketlerinin değerlendirilmesi için;

- a) Yerel Arazi Koşulları
- b) Yer Hareketlerinin Sönümlenmesi
- c) Bölgesel Sismisite

gibi faktörlerin dikkate alınması gerekir.

MacMurdo (1924), 1819'daki Cutch (Hindistan) depremi ile ilgili olarak ‘’ doğrudan kaya üzerine oturtulan yapılardaki hasarın, temeli kayaya kadar inmeyen yapılardaki kadar olmadığını’’ belirtmiştir. Mallet (1862), 1857 Neapoliten depremi ile ilgili raporunda yerel jeolojik şartların hasar üzerindeki etkisine dikkat çekmiştir. Wood (1908) ve Reid (1910), 1906 San Francisco depremindeki yer sarsıntısı şiddetinin yerel zemin ve jeoloji ile ilişkisini ortaya koymuşlardır. Gutenberg (1927) farklı yer altı şartlarına ait mikro deprem kayıtlarına dayalı olarak zemine bağlı büyütme faktörleri geliştirmiştir.

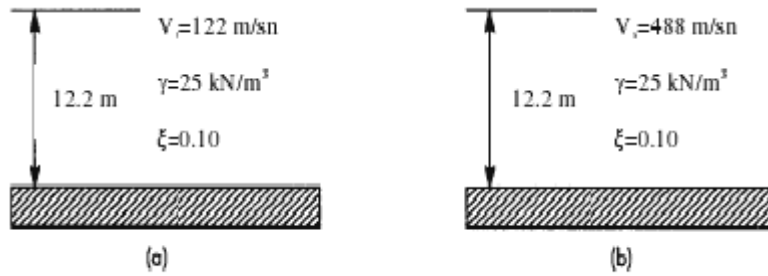
Yerel zemin koşullarının depremin yol açtığı hasara etkisi uzun zamandan beri bilinmekle beraber bu konuda aletsel ölçümlerde ve hesap çalışmalarında son 50 yılda önemli gelişmeler meydana gelmiştir. Bu konudaki ilk önemli bilgiler, 1957 San Fransisco depreminde değişik noktalarda alınan bazı ölçümlerden elde edilmiştir. Bu ölçümler, birbirine yakın bölgelerde oluşan yer ivmelerinin bazen birbirinden %100'e varan farklılıklar gösterdiği ve bunun büyük olasılıkla ölçüm istasyonları altındaki zemin koşullarından ileri geldiğini ortaya koymuştur (Idriss ve Seed, 1968)

1985 Mexico City depreminde meydana gelen hasar dağılımı, sismik davranış üzerinde yerel koşulların etkisini açık bir şekilde ortaya koymuştur. Genellikle 0.04g değerinden düşük olan taban kayası pik ivme değerleri, eski bir göl yatağında yer alan kalın kil tabakalarında yaklaşık 5 misli büyümeye maruz kalmış ve periyodları arazi periyodlarına yakın yapılarda çok büyük hasarlara yol açmıştır. 1989 Loma Prieta depreminde de hasarın büyük çoğunluğu yumuşak zemin tabakalarının yer aldığı San

Fransisco-Oackland bölgesinde meydana gelmiş ve buralarda spektral ivmelerin yakınlardaki kayalık bölgelere göre 2-4 defa büyüdüğü gözlenmiştir. Bütün bu gözlemler, depreme dayanıklı tasarım için yerel zemin koşullarının dikkate alınması gerektiğini göstermektedir (Seed ve diğerleri, 1990).

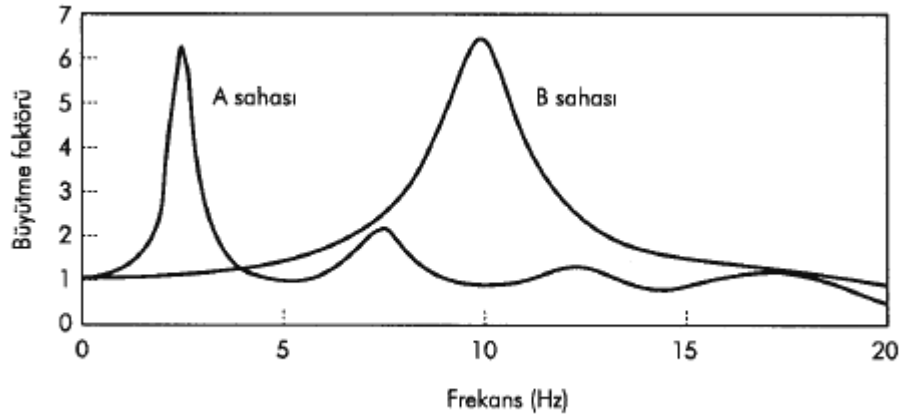
Zemin yüzeyi hareketlerinin yerel zemin şartlarından etkilenmesine yol açan, bir çok önemli teorik sebep vardır. Çoğu sahalarda yüzeye yakın malzemelerin yoğunluğu, S dalgası iletme hızı, derin tabakalara kıyasla daha düşüktür. Yayılma ve metaryal sönümleme etkilerinin ihmal edildiği durumda, elastik enerjinin korunması ilkesine göre derinden yüzeye doğru olan enerji akışı ($p v_{su}^2$) sabit olmalıdır. Bu nedenle dalgalar yüzeye yaklaşırken p (zemin yoğunluğu) ve V_s (Kayma dalgası hızı) azaldığından partiküler hızı artmaktadır (Kramer, 1996).

Şekil 2.5’de gösterilen iki zemin profili ele alındığında geometrileri aynı olmakla beraber biri diğerine göre çok daha rijittir. Eger zeminin doğrusal elastik ve ana kayanın da rijit davrandığı varsayılırsa, profillere ait büyütme fonksiyonları Şekil 2.2’de gösterildiği gibi olur. Açık bir şekilde görüldüğü gibi daha yumuşak olan zemin (A profili) düşük frekanslı ana kaya hareketini daha sert olan zemine göre (B profili) daha yüksek oranda büyütecektir.



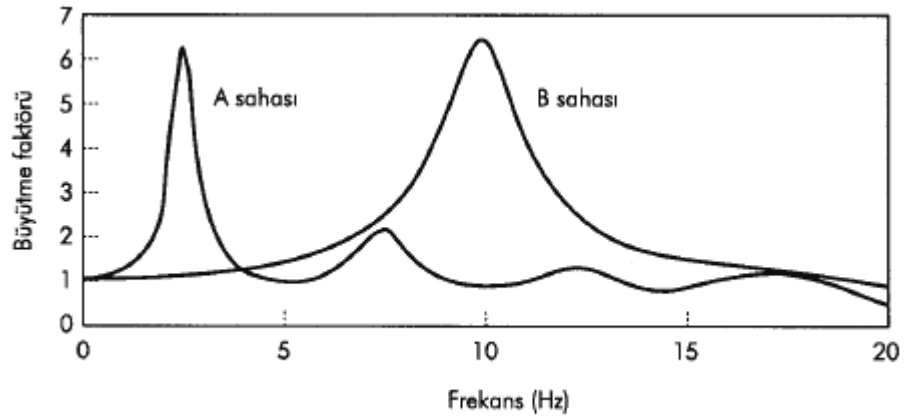
Şekil 2.6 Rijit anakaya üzerindeki iki kuramsal zemin çökeli: (a) A sahası; (b) B sahası (Kramer, 1996)

B sahasındaki zeminin S dalga hızının, A sahasındakinin dört katı olması hariç diğer zemin özellikleri aynıdır.



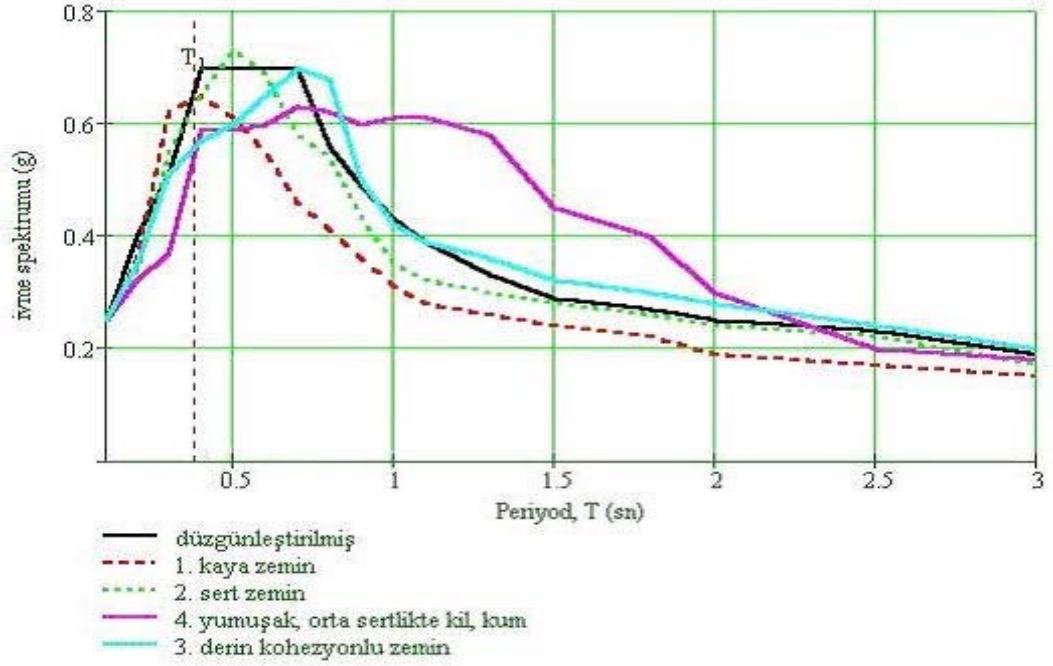
Şekil 2.7 A ve B sahaları için büyütme faktörleri (Joyner vd., 1976'dan)

B sahasındaki zeminin S dalga hızının, A sahasındakinin dört katı olması hariç diğer zemin özellikleri aynıdır.

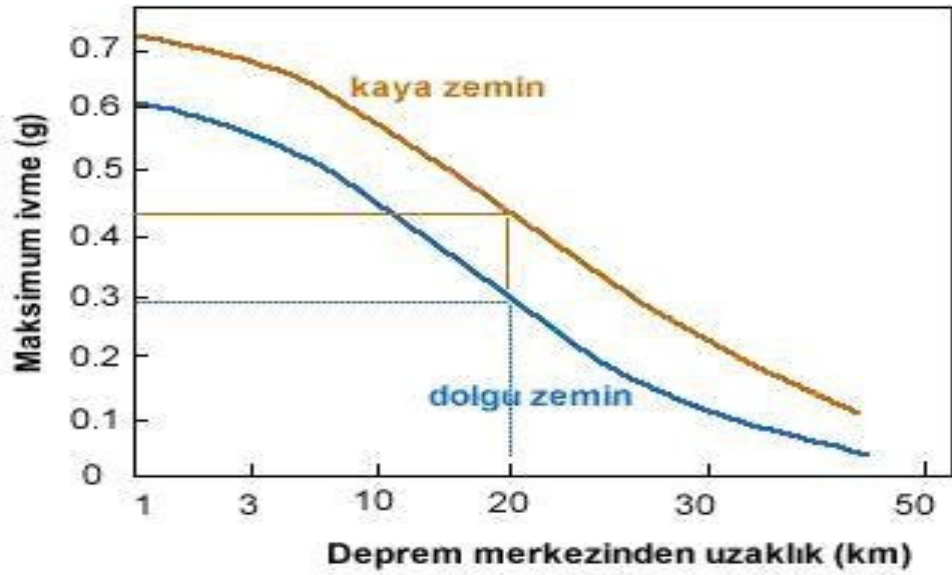


Şekil 2.8 A ve B sahaları için büyütme faktörleri (Joyner vd., 1976'dan)

1985 Michoacan ($M_s=8.1$) depreminin, dış merkezine çok yakın bölgelerde, orta şiddette hasarlar meydana getirirken, merkez üssünden 350 km mesafedeki Mexico City'de çok ağır hasarlar meydana getirmesi, yerel zemin şartları ve yıkıcı yer hareketleri arasında önemli ilişkiyi somut bir şekilde göstermiştir (Hanazato, 1988, Aviles, 1998b; Yang 2000). Benzer şekilde, 1999 Marmara depreminde, sediment zemin tabakaları üzerinde yer alan Adapazarı şehrinde yaygın bir biçimde ağır hasarlara rastlanırken, şehrin çevresindeki tepelerin üzerinde yer alan yapılarda ciddi hasarlara ender olarak rastlanmıştır.



Şekil 2.9 Farklı zemin durumları için ivme spektrumu (Aksel, 2007)



Şekil 2.10 Maksimum-İvme deprem merkezine uzaklık(Aksel, 2007)

2.2.1 Tabakalı Zemin Büyütmesi

Zemin özelliklerine bağlı olarak belirli periyod aralığındaki yer sarsıntısı önemli ölçüde artabilir ve bu büyütme etkisi , zeminin yumuşaklığı ve gevşekliği ölçüsünde oranında artar. Buna ilave olarak son yıllarda yapılan araştırmalarda tabakalı zeminlerin büyütme etkisinin sanılandan çok daha önemli olduğu ortaya çıkmıştır.

Bir gerilme dalgasının zemin içinde yayılımı sırasında dalga farklı empendansa sahip bir yüzeye ulaştığında bu yüzeyden yansiyarak geri dönebilir. Farklı empendans olarak tanımlanan yüzey örneğin yer altı su tablası, zemin yüzeyi veya kaya tabakası olabilir (Rıgas ve Sebas, 1999) .

Daha düşük empendansa sahip yüzeylere ulaşan basınç dalgaları çekme dalgaları olarak yansır ve böylece başlangıç basınç dalgasının genliğini azaltıcı bir etki oluşur. Oysa ki basınç dalgaları daha yüksek empendansa sahip yüzeylere ulaştıkları zaman yine basınç dalgası olarak yansır ve genlikleri arttığı gibi dalga alanları da genişler (Dowding 1996).

Zemin büyütme etkisi olarak tanımlanan birincil derecedeki etkinin belirli bir nokta veya alan için hesaplanabilmesi amacı ile geliştirilmiş bir çok yöntem bulunmaktadır. Genel bir yaklaşım olarak taban kayması olarak tanımlanan formasyondan yukarı doğru hareket ettiği varsayılan kayma dalgaları analiz edilmektedir (Özaydın, K. 1996)

2.3 ZEMİNLERİN DİNAMİK DAVRANIŞI

Yapıların deprem yükleri altında nasıl bir davranış göstereceğinin tahmin edilebilmesi için temel sisteminin ve özellikle sistemin bir parçası olan temel zeminlerinin deprem yükleri altında nasıl davranacağını bilmesi gereklidir.

Zeminler tekrarlı kayma gerilmeleri altında türlerine, sıklıklarına, aşırı veya normal konsolide olmalarına, statik kayma gerilmelerine ve tekrarlı yüklerin çevrim sayısına ve etkime süresine göre farklı davranışlar sergilerler. Depremin yol açtığı tekrarlı kayma

gerilmelerinin genliğine bağılı olarak ortaya çıkan boşluk suyu basıncı artışları ve şekil değiştirmeler, kayma mukavemetinde bir azalma ve zeminde bir yumuşama meydana getirir. Kayma mukavemetinde ortaya çıkan bu azalmanın mertebesi, büyük ölçüde zeminin gerilme-şekil değiştirme özelliklerine bağılıdır (Ansal ve Erken, 1989).

Tekrarlı yüklerin etkisinde kalan zemin tabakalarının davranışı, temel görevi yaptıkları üst yapılar ağıısından önemlidir. Tekrarlı yükleme sonucu zemin taşıma gücündeki azalmaların ve meydana gelebilecek oturmaların önceden belirlenmesi gerekir. Bu amaçla dinamik laboratuvar ve arazi deney yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemlerle zeminin tekrarlı yükler etkisi altındaki gerilme-şekil değiştirme (dinamik kayma modülü ve sönüm oranı) ve mukavemet özellikleri (kayma genliği ve çevrim sayısı) saptanabilmekte ve zemin davranışları incelenabilmektedir (Ansal, Yıldırım ve Erken, 1995).

Zemin tabakaları, içinden geçen deprem dalgalarının özelliklerini etkilediği kadar, deprem dalgaları, örneğin sıvılaşma ve şev kaymalarında gözlemlendiği gibi zemin tabakalarının mukavemet ve şekil değiştirme özelliklerini de etkiler. Böyle durumlarda bu tabakalar üzerinde yer alan yapılar sadece zemin özelliklerinin değişmesi sonucu büyük hasar görebilirler. Bu nedenle bu tür potansiyele sahip bölgelerin belirlenmesi ve incelenmesi gerekir.

Tekrarlı gerilmelerin etkisinde kalan bir zemin elemanında kayma mukavemeti iki şekilde ve iki aşamada tanımlanabilir. Birincisi genellikle, dinamik kayma mukavemeti olarak bilinen ve belirli bir sınır değerini aşmasına neden olan tekrarlı gerilme genliği değeri olarak tanımlanmaktadır. İkinci kayma mukavemeti tanımlaması ise tekrarlı gerilme sonrası bulunan statik kayma mukavemeti ile ilişkilidir. Şimdiye kadar yapılan çalışmalardan çıkan genel sonuç depremler sırasında oluşan kayma gerilmelerinin yeterli derecede büyük olması durumunda büyük deformasyonlara ve göçmelere yol açabileceğidir. Diğer bir sonuç ise tekrarlı gerilme uygulamaları ile oluşan büyük şekil değiştirmelerin, yumuşama ve boşluk suyu basınçları artımı ile efektif gerilmelerde azalmaya yol açabileceği ve dolayısı ile kayma mukavemetinde bir azalma meydana gelebileceğidir.

Depremler sırasında oluşan kuvvetli yer hareketleri değişken ve düzensiz bir yüklem niteliği gösterir. Bu da zemin tabakalarında tekrarlı fakat düzensiz kayma gerilmelerinin oluşmasına yol açar. Şiddet ve yön değiştiren bu tekrarlı kayma gerilmelerinin etkisi altında kalan zeminlerde oluşan boşluk suyu basınçları ve deformasyonların, mukavemet ve gerilme-şekil değiştirme özelliklerinde meydana getirdiği değişmenin bilinmesi, stabilitenin gerçekçi bir biçimde hesaplanması için gereklidir. Zemin elemanlarında tekrarlı yüklemeler sonrası oluşan kayma mukavemeti ve gerilme-şekil değiştirme özelliklerindeki değişimler önemli bir inceleme konusudur.

Deprem esnasında yer hareketlerinin önemli bir kısmının ana kayadan yüzeye doğru yayılan kayma dalgalarının etkisiyle olduğu kabulüne dayanır. Zeminlerin doğrusal olmayan davranışlarını göz önüne alan sayısal analiz yöntemlerinin gerçeğe yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Gerilme ve deformasyon sınır şartlarına uygun sayısal analiz yönteminin seçilmesinden sonra incelenecek yahut ta tasarlanacak bölgede olması muhtemel yer hareketinin özellikleri (en büyük ivme, hakim periyot, etkiye süresi) belirlenir. Zemin tabakalarının depremler sırasındaki davranışının sayısal analiz yöntemleri ile incelenmesinde en önemli aşama tabakaların, geoteknik, jeolojik ve jeofizik özelliklerine ait gerek laboratuvar gerekse arazi deneylerinden elde edilen verilerin güvenli olmasıdır.

2.4 DİNAMİK ETKİ ALTINDA ZEMİN DEFORMASYONU

Dinamik etkiler zeminlerde deformasyona sebep olmaktadır. Dinamik etkiler sonucu zeminlerde gözlemlenen deformasyonları şu şekilde sıralayabiliriz;

- Yüzey yırtılması
- Bölgesel çökme
- Yamaç hareketleri
- Hacimsel sıkışma
- Sıvılaşma
- Oturma ve taşıma gücü yenilmeleri
- Akma kaymaları

- Yanal yayılmalar
- Kum volkanları

Dinamik etkiler özellikle de deprem etkisi farklı deprem karakteristiklerinde ve farklı zemin türlerinde yukarıda sıralanan deformasyonlara sebep olmaktadır. Deprem kaynaklı bu deformasyonların detaylı şekilde incelenmesi bu bölümde verilecektir.

2.4.1 Yüzey Yırtılması

Fay yer değiştirmesi, Bonilla tarafından 1970 de belirli bir yönde ölçülen bir fayın iki kenarının göreceli hareketi olarak tanımlanmıştır. Transform fay sınırlarındaki büyük depremler genel olarak doğrultu atılımlı faylar üzerindeki yüzey kırığı ile birlikte gelişmektedir. Depremler sırasında fayların yırtılma uzunluğu yüzey yırtılmalarının etkisinin gözlemlenmesi için oldukça önemlidir. Binalarda, köprülerde, barajlarda, tünellerde, kanallarda ve yer altı tesislerinde ciddi hasarların ortaya çıktığı yüzey yırtılmaları gözlemlenmiştir. Büyük hasarlara neden olmasından dolayı yüzey yırtılmaları incelenmesi gereken bir konudur. 21 Eylül 1999 Chi-chi (Tayvan) depremi sırasında oluşan yüzey kırığından barajlar ve köprüler zarar görmüş, baraj gövdesi ve köprü ayakları yıkılmıştır (Kayabalı, 2003)

2.4.2 Yamaç Hareketi

Depremlerin ikincil etkilerinden birisi de yamaç hareketleridir. Deprem kökenli yamaç hareketleri düşmeler ve kaymalar olarak iki gruba ayrılır. Düşmeler, deprem sırasında oluşan, yer sarsıntısı etkisiyle oluşan serbest düşme özelliği ile tanımlanmaktadır. Bu düşmeler genel olarak, kaya parçalarının uçurum, dik yamaç, mağara, kemer veya tünelden ayrılması ile oluşmaktadır. Kaymalarda düşmelerden farklı olarak belirgin bir göçme veya kayma yüzeyi boyunca kayma deplasmanı ve deformasyonu oluşmaktadır. Deprem kökenli kaya düşmesi hareketi için, yamaç eğimi genel olarak 40⁰ veya üzerinde olmalıdır. 31 Mayıs 1970 Peru depreminin tetiklediği bir moloz çığı yıkıma neden olmuştur (Kayabalı,2003)

2.4.3 Hacimsel Sıkışma

Hacimsel sıkışma, zemin sıkışması olarak ta verilmektedir. Hacimsel sıkışma olgusu, zemin danelerinin sıkışmasına neden olan deprem kökenli yer sarsıntısı ile meydana gelir. Kuru ve gevşek kumlar veya çakıllar gibi çimentolanmamış kohezyonsuz zeminler, bu tip harekete daha fazla duyarlıdır. Hacimsel sıkışma, büyük ölçekli zemin yüzeyi oturması ile sonuçlanmaktadır. Örneğin, Grantz vd. 1964 Alaska depremi sırasında alüvyonda 0.8 m kadar oturma gibi ilginç bir durum gözlemlenmiştir (Kayabalı, 2003).

Silver ve Seed kuru kohezyonsuz zeminlerin deprem kökenli oturmasını üç ana faktöre bağlamıştır.

- Zeminin rölatif sıkılığı (D_r) : Zemin sıkılığına bağlı olarak hacimsel sıkışma hareketinin etkisi değişmektedir. En düşük bağıl sıkılıktaki kohezyonsuz zeminler, zemin sıkılaşmasına en çok duyarlıdır. Zemin ne kadar gevşek ise, hacimsel sıkışmaya karşı o kadar duyarlıdır. Zeminin sıkılık durumunu belirlemek için genellikle standart penetrasyon deneyi kullanılmaktadır.
- Depremin neden olacağı maksimum kayma deformasyonu τ_{max} : Depremin neden olacağı kayma deformasyonu büyüklüğüne göre, kohezyonsuz bir zeminin sıkılaşma eğilimi de artmaktadır. Kayma deformasyonun miktarı, pik yer ivmesi a_{max} a bağlı olarak değişmektedir. Yüksek a_{max} değerlerinde büyük deformasyonlar oluşmaktadır.
- Kayma deformasyonu devir sayısı: Kayma deformasyonu devir sayısı gevşek zemin yapısının sıkılaşma eğilimini arttırmaktadır. Örnek olarak gevşek kumlarda, titreşime maruz kalma süresi arttıkça oturmanın da o kadar büyük olduğu gözlemlenmiştir. Kayma deformasyonu devir sayısı ise deprem büyüklüğü ile ilişkili olarak değişmektedir.

2.4.4 Sıvılaşma

Bir deprem anında, kayma dalgalarının yayılımının neden olduğu devirsel kayma gerilmelerinin uygulanması, boşluk suyu basıncında bir artışa ve gevşek kumun büzülmesine neden olmaktadır. Bu sismik sarsıntı çok hızlı meydana geldiği için, kohezyonsuz zemin drenajsız yüklemeye maruz kalır ve boşluk suyundaki artış, çamur fişkirmaları veya kum kaynamaları şeklinde zemin yüzeyine doğru akışa neden olur. Yer sarsıntısı nedeniyle yüksek boşluk suyu basınçlarının gelişimi ve suyun yukarı doğru akışı kumda sıvılaşma denilen olay meydana getirir. Sıvılaşmanın olgusu sırasında efektif gerilme sıfırdır ve zemin daneleri suda yüzüyormuş gibi davranış göstererek herhangi bir tutucu kuvvet kalmadan hareket eder. (Kayabalı,2003)

2.5 KRİTİK DURUM ZEMİN MEKANİĞİ

2.5.1 Zeminlerde Gerilme- Deformasyon Durumu

Bir zemin kütlelerinde yüklenen noktanın veya mekanizmanın değişimi harekete neden olmaktadır. Sistem üzerinde etkili olan kuvvetler, sistem içinde gerilmelerin oluşmasına neden olmaktadır ve bunlar dengede olmak zorundadır. Aksi takdirde kütlelerin hızlanması söz konusudur. Deplasmanlar ise deformasyonların doğmasını sağlamaktadır ve bunların uyumlu olması da gerekmektedir. Deplasmanlar ile deformasyonların uyumsuz olması durumunda göçme meydana gelmektedir (Öser, 2010)

Gerilme-deformasyon ve kuvvet-deplasman çiftlerinin genellikle üç boyutlu olarak ele alınması istenmektedir ancak bu durumda matematiksel ifadelerin karmaşık olması nedeniyle problem iki boyutlu hale getirilmektedir. Problemin iki boyutlu hale getirilmesi iki şekilde yapılmaktadır.

- 1) Düzlem deformasyon durumu
- 2) Eksenel simetri durumu

Düzlem deformasyon durumu dolgular, duvarlar ve temeller gibi bir boyutlu kesit alanına göre oldukça büyük olan problemlerde kullanılmaktadır. Düzlem deformasyon durumunda yapının çok uzun tarafı boyunca deformasyon sıfır kabul edilmektedir.

Kayma düzlemi üzerindeki ortalama efektif normal gerilme (s')

$$s' = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \quad (2.3)$$

Maksimum kayma gerilmesi (t')

$$t' = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{\sigma_1' - \sigma_3'}{2} \quad (2.4)$$

Düzlem deformasyon durumunda hacimsel deformasyon artışı ($\delta\epsilon_v$)

$$\delta\epsilon_v = \delta\epsilon_1 + \delta\epsilon_3 \quad (2.5)$$

Kayma deformasyon artışı ($\delta\epsilon_s$)

$$\delta\epsilon_s = \delta\epsilon_1 - \delta\epsilon_3 \quad (2.6)$$

Şeklinde hesaplanmaktadır. Eksenel simetri durumunda ise efektif eksenel (düşey) gerilme σ'_1 , yanal gerilmeler ise σ'_2 ve σ'_3 olarak tanımlanmaktadır ve $\sigma'_2 = \sigma'_3$ olmaktadır. Eksenel simetri durumunda düşey ve yatay deformasyon artışları $\delta\epsilon_a = \delta\epsilon_1$ ve $\delta\epsilon_1 = \delta\epsilon_2 = \delta\epsilon_3$ şeklinde olmaktadır.

Eksenel simetri durumunda deviatör gerilme ve kayma gerilmesi, eksenel gerilme ile yatay gerilmenin farkı olarak tarif edilmektedir.

$$q = \sigma_a - \sigma_r = \sigma_a' - \sigma_r' \quad (2.7)$$

Ortalama efektif gerilme (p')

$$p' = \frac{\sigma_a' + 2.\sigma_r'}{3} \quad (2.8)$$

Gerilme izleri genellikle q-p' eksen takımında elde edilmektedir. Eksenel simetri durumunda kayma deformasyonu ve hacimsel deformasyon artışları aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$\delta\epsilon_q = \frac{2.(\delta\epsilon_a - \delta\epsilon_r)}{3} \quad (2.9)$$

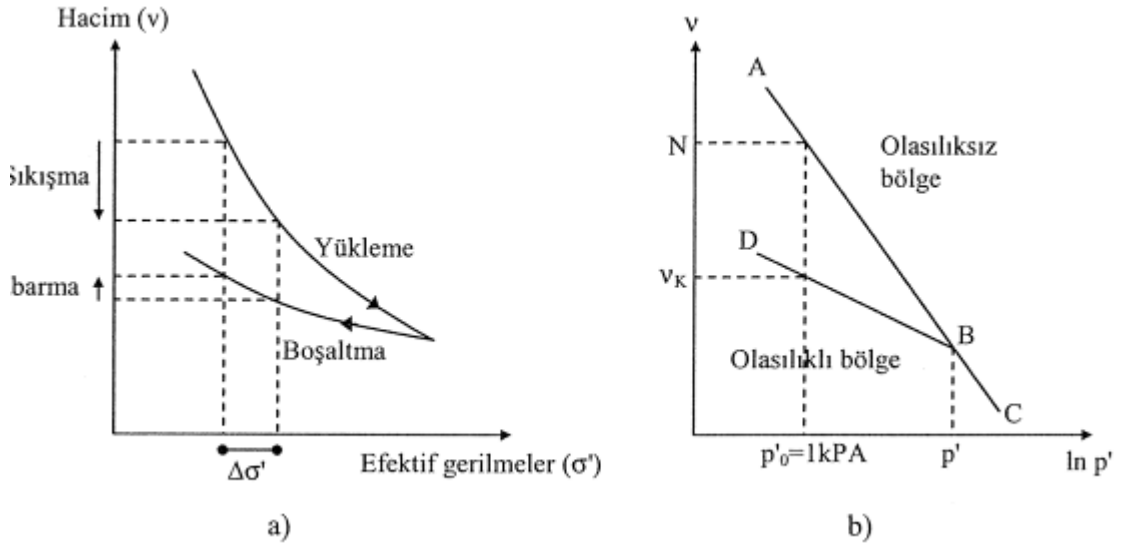
$$\delta\epsilon_q = \delta\epsilon_a + 2. \delta\epsilon_r \quad (2.10)$$

2.5.2 Normal Konsolide Zeminlerin Drenajsız Gerilme İzleri

Bir zemin numunesi üzerine uygulanan efektif gerilmelerde değişim olması durumunda o zemin numunesinin hacminde değişim meydana gelmektedir. Efektif gerilmeler ile zemin hacmi arasındaki zamana bağlı değişim konsolidasyon olarak tanımlanırken, zamandan bağımsız değişim sıkışma olarak adlandırılmaktadır. Şekil 3.2' de bir zemin numunesinin üzerine basınç uygulanması ve bu basıncın kaldırılması durumundaki hacimsel değişim görülmektedir.

Zeminin yüklenmesi durumunda zemin numunesinde sıkışma etkisi, yükün boşaltılması sırasında ise zemin numunesinde kabarma etkisi görülmektedir.

Bir zemin numunesinin sıfır ilave boşluk suyu basıncı ile dengede olması durumunda bu numune sıkışma çizgisi üzerinde bulunmaktadır ve normal konsolide bir zemindir. Bu nedenle sıkışma çizgisi " normal konsolidasyon çizgisi" olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 2.11. a) Bir zemin numunesinin yükleme ve boşaltma eğrisi b) sıkışma eğrilerinin idealleştirilmiş halleri (Atkinson ve Bransby, 1978)

Bir zemin numunesi üzerine uygulanan basıncın kaldırılması durumunda zeminde kabarma oluşmakta ve numune kabarma çizgisi üzerinde hareket etmektedir. Bu tür zeminler ise aşırı konsolide zeminler olarak adlandırılmaktadır.

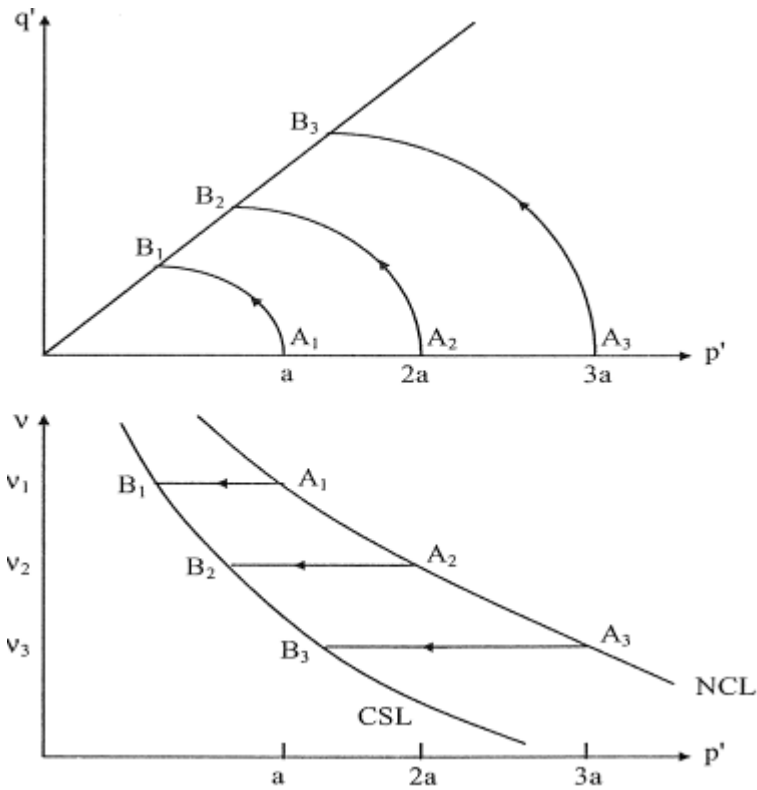
Kilin izotropik sıkışmasını ifade eden noktalar izotropik normal konsolidasyon çizgisi ile gösterilmektedir ve normal konsolidasyon çizgisinin sol tarafında kalan noktalar kabarma çizgisi üzerinde hareket edebilmektedirler. Ancak normal konsolidasyon çizgisinin sağ tarafındaki gerilme durumları olanaksızdır. Böylece normal konsolidasyon çizgisinin eğimi λ ile ifade edilirken aşırı konsolidasyon çizgisinin eğimi κ ile tarif edilmektedir. Bu eğrilerin yerlerinin belirlenmesi için ise $p = 1.0 \text{ kPa}$ 'a karşılık gelen özgül hacim değerleri olan N ve v_K değerleri kullanılmaktadır.

Normal konsolidasyon ve aşırı konsolidasyon çizgilerinin elde edilmesi için aşağıdaki denklemlerden yararlanılmaktadır.

$$v = N - \lambda \cdot \ln p' \qquad v = v_K - \kappa \cdot \ln p' \qquad (2.11)$$

λ , N ve κ zemin sabitleri olup deneysel olarak elde edilmektedirler.

Doygun bir zemin numunesinin drenajsız olarak yüklenmesi durumunda yüklemenin hızlı olması nedeniyle boşluk suyu basıncının sönmülenmediği ve zemin numunesinin hacminde değişiklik olmadığı kabul edilmektedir. Drenajsız gerilme izleri q - p' uzayında incelendiğinde p' değerinde artışın olduğu görülmektedir. Drenajsız yükleme sırasında hacimsel değişimin olmaması nedeniyle gerilme izleri v - p' düzleminde yatay doğru şeklinde olmaktadır.

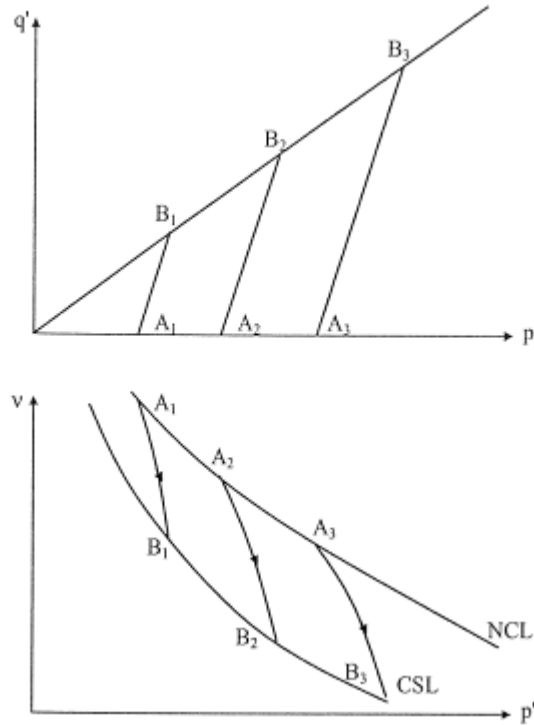


Şekil 2.12 Normal Konsolide zeminin drenajsız gerilme izleri (Atkinson ve Bransby, 1978)

2.5.3 Normal Konsolide Zeminlerin Drenajlı Gerilme İzleri

Normal konsolide durumda olan bir zeminin drenajlı olarak yüklenmesi durumunda yükün yavaş olarak uygulanması nedeniyle zemin içerisinde ilave boşluk suyu basıncı oluşmamaktadır. q - p' düzleminde; drenajlı yükleme sırasında ilave boşluk suyu basıncı oluşmayacağı için gerilme izleri doğru şeklinde olmaktadır. v - p' düzleminde ise p' değeri artarken v değeri azalacağından gerilme izi eğri şeklinde olmaktadır.

Normal konsolide zeminler drenajlı ve drenajsız şartlarda üzerlerine yük uygulanması durumunda belirli bir noktaya geldiklerinde kırılmaktadır. Bu kırılma noktaları q - p' düzleminde bir doğruyu, v - p' düzleminde ise normal konsolidasyon çizgisine benzer bir eğriyi oluşturmaktadırlar.



Şekil 2.13 Normal konsolide zeminin drenajlı gerilme izleri (Atkinson ve Bransby,1978)

Drenajlı ve drenajsız yükleme durumlarında her ikisinde de oluşan bu çizgiye ‘‘ kritik durum çizgisi (CSL) ‘‘ adı verilmektedir. Kritik durum çizgisinin q - p' düzleminde değişimi:

$$q = M \cdot p' \quad (2.12)$$

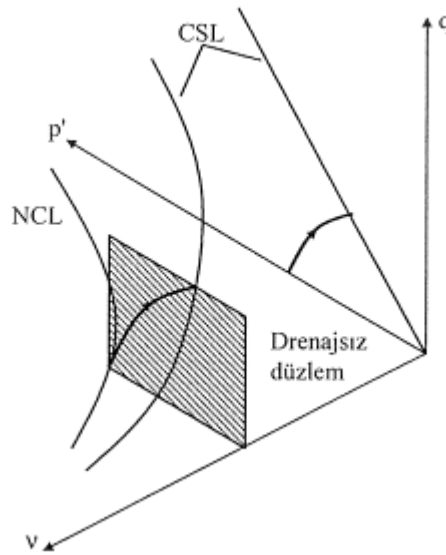
Yukarıdaki denklemde M , kritik durum çizgisinin sabit hacimli düzlemi üzerindeki izdüşümünün eğimidir. Kritik durum çizgisinin eğimi, normal konsolidasyon çizgisi ile

aynı olmaktadır. Bu durumda, kritik durum çizgisinin denklemi aşağıdaki şekilde yazılmaktadır:

$$V = \Gamma - \lambda \ln p' \quad (2.13)$$

Γ , 1.0 kN/ m² ye karşılık gelen özgül hacim değerini vermektedir.

Bir zeminin drenajsız şartlarda yüklenmesi durumunda, zeminin özgül hacmi kalacağından normal konsolide bir zeminin sahip olduğu gerilme izi, kritik durum çizgisine ulaşıncaya kadar özgül hacmin sabit kaldığı q-p' düzlemine paralel bir düzlem üzerinde hareket etmektedir. Bu düzlem "drenajsız düzlem" olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 2.14 Drenajsız düzlemin q-p'-v uzayında gösterimi (Atkinson ve Bransby, 1978)

2.6 YUMUŞAK ZEMİNLER ÜZERİNDEKİ DOLGULARIN DAVRANIŞ MEKANİZMASI

2.6.1 Yumuşak Zeminler Üzerindeki Dolguların Davranış Mekanizmasına Ait Genel Özellikler

Yumuşak zeminlerin temel zemini olarak kullanıldığı durumlarda, mühendislik açısından iyi ve dengeli bir yapıya ulaşabilmek için davranış mekanizmasını önceden bilmek ve uygun şekilde tasarım yapmak gerekmektedir. Davranış mekanizmasını

tanımlayabilmek için öncelikle problemi oluşturan temel etkenleri basite indirgeyerek açıklamakta fayda vardır; Dolgudan gelen düşey yüklere karşı temel görevi gören yumuşak zeminin bu yükleri göçmeden taşıyabilmesi açısından problem bir taşıma kapasitesi problemi, dolgu ile birlikte alttaki yumuşak zeminin içerisinde oluşabilecek kayma yüzeyleri üzerinde üzerin de kaymanın önlenmesi bakımından da problem bir stabilite problemidir (Toğrol ve Çinicioğlu, 1994)

Kalın yumuşak zemin tabakaları üzerine dolgu inşa edilmesi sırasında dolgu yükünün etkisi ile yumuşak zeminin taşıma gücü ve deformasyon özelliklerine bağlı olarak oluşan yanıl akma hareketinin, dolgunun stabilitesini zorlayacak boyuta ulaşmasını önlemek ve dolgu seviyesinin güvenli sınırlar içerisinde kalmasını da sağlamak gerekir. Yumuşak, doymuş zeminler üzerine dolgu inşa edilmesi sırasında karşılaşılan stabilite sorunlarının temel sebeplerinden birisi inşaat sırasında karşılaşılan stabilite sorunlarının temel sebeplerinden birisi, inşaat sırasında oluşan ilave boşluk suyu basınçları olmakta ve yüksek değerlere ulaşabilen ilave boşluk suyu basınçları efektif gerilmeleri, dolayısı ile de mukavemeti azaltarak temel zemini içerisinde bölgesel kaymalara ve hatta topyekun göçmeye sebep olmaktadır (Çinicioğlu, 1993).

Yumuşak kil zeminler genellikle normal konsolidasyon durumundadırlar. Çoğu araştırmacıya göre az miktarda aşırı konsolidasyon özelliği de göstermektedirler, fakat bu durum yumuşak zeminin ilk yüklenmesi sırasında hızlı şekilde konsolide olması ile ortadan kalkmakta ve zamanla yumuşak zemin normal konsolide, drenajsız davranış özelliği göstermektedir. Bu sebeple yumuşak zeminler üzerine inşa edilen dolguların stabilite analizinde çoğunlukla toplam gerilme analizine dayanan hesap yöntemi tercih edilmektedir. Chaipus (1982), alışılmış stabilite analizlerinde sadece basit kuvvetler ve gerilmeler kullanıldığına, oysa yumuşak zeminlerde göçmenin büyük yer değiştirmeler ile oluştuğuna dikkat çekmiştir. Bu durum yumuşak zemin içerisinde bölgesel plastik akmaların oluşumunda, gerilme ve boşluk suyu basıncı davranışında plastik davranışın etkili olduğunu göstermektedir (Çinicioğlu, 1993). Dolayısı ile yumuşak zemin üzerine inşa edilen dolguların davranışını analiz etmek amacı ile plastisite teorisinin önemli teoremlerini kullanmak gerekmektedir.

Yumuşak zeminler üzerine dolgu inşa edilirken oluşabilecek göçme mekanizmasından yararlanılarak alt ve üst sınır göçme yüklerinin tanımlanması plastik analiz çözümlerinden yararlanılarak yapılabilir. Fakat dolgunun inşası sırasında gerek yükleme döneminde gerek yüklemeyi takip eden alttaki zeminin konsolidasyonu ile gelişen bekleme devirlerinde zemin bünyesi içindeki davranış biçimi statik değildir. Bu bakımdan tek bir göçme mekanizması ile yumuşak zemin üzerindeki dolgu davranış problemini çözmek ve bu konuda tanımlama yapmak mümkün değildir. Süreklilik gösteren gerilme dağılımlarındaki değişimlerle birlikte, kayma yüzeylerinin ve dolayısı ile göçme mekanizmalarının da değişmesine yol açabilecek bu davranış biçimini plastik göçme mekanizmaları ile birlikte gerilme izlerinden zemin davranışını takibe imkan veren bir yöntem geliştirerek çözmek dolgu tasarımına gerçekçi ve doğru çözümü getirecektir.

Yumuşak zeminler taşıma kapasitesi düşük zeminlerdir ve bu zeminler üzerinde her türlü güvenliği sağlayacak dolgunun istenilen yükseklikte inşa edilmesi için başvuru yöntem aşamalı yükleme yöntemidir (Çinicioğlu,1993). İnşa yöntemlerinin ilki ‘‘ tek aşamalı inşa tekniği’’, ikincisi ise ‘‘ çok aşamalı inşa tekniği’’dir. Tek aşamalı inşa tekniğinde tasarımda öngörülen dolgu yüksekliğine tek bir yükleme programı ile ulaşılmaktadır. Tek aşamalı inşa edilen dolguların maksimum yükseklikleri yumuşak zemin içerisindeki göçme mekanizmasından elde edilen taşıma gücü kavramından yararlanılarak bulunabilmektedir. Fakat dolguları, tek aşamalı olarak inşa edildiklerinde ulaşabileceklerinden daha büyük yükseklikte inşa etmek ve bekleme devirlerinde gelişen konsolidasyondan dolayı oluşan mukavemet artışından faydalanabilmek amacı ile çok aşamalı inşa etmek son yılların yaygın olarak kullanılan yöntemlerinden biridir. Dolguların çok aşamalı inşa edilmesiyle yumuşak zemin bir seri yükleme durumu ile karşılaşır. Bu durumda her aşamada zeminin kayma mukavemetinin izin verdiği ölçüde yükleme yapılır ve her yükleme aşamasından sonra uygulanan yeni yükler altında zeminin konsolide olması, sıkışması ve dolayısıyla kayma mukavemetinin artması amacı ile bir bekleme devresine girilir (Bjerrum, 1972) (Pilot, 1992).

2.6.2 Yumuşak Zemin Üzerindeki Dolgu Yükününün Etkisi

Yumuşak zeminler genellikle çok sıkışabilir ve düşük kayma mukavemetine sahip zeminlerdir. Yumuşak zeminin bu özellikleri, dolgu inşasında kullanılmakta olan stabilite ve deformasyon hesap yöntemlerini zorlaştırmaktadır. Çünkü çoğu zaman tabii zeminlerin içerisinde bulunan organikliğin etkisi ile bu özellikler daha belirgin hale gelmektedir.

Yumuşak zeminin dolgu yükü ile yüklenmesi sonucunda ilk aşamada zeminin kayma mukavemetine bağlı olarak bir miktar akma meydana gelecektir. Bu durumda dolgu altındaki zeminde bir yanıl hareket oluşarak, zeminin dolgu altından kaçmaya çalışacağı bilinmektedir. Eğer yükleme ani olarak yapılırsa bu durumda oluşan akmanın hacmi daha büyük olacaktır. Fakat yinede unutulmaması gereken yapıım sırasında uygulanan dolgu yükü ne kadar küçük olursa olsun bir miktar akma olayı oluşmaktadır. Bu olay dolgunun oturduğu seviyede taşıma gücünün yeterli olmasını temin edecek karşı ağırlık sağlanıncaya kadar devam etmektedir (Toğrol ve Çinicioğlu,1994).

2.6.3 Yumuşak Zemin Üzerindeki Dolgunun Tasarımı

Yumuşak zemin üzerine inşa edilen dolgularda dolgu tabanında ve alttaki zemin içerisinde deformasyonların oluşacağı bilinmektedir. Zemin yüzeyinde oluşan deformasyonların tamamen karşılanması durumunda dolgunun düşey yükü yumuşak zemine doğrudan etki etmekte ve buna bağlı olarak da yumuşak zeminin zamanla konsolide olması sebebi ile taşıma kapasitesinde bir miktar artışın olduğu görülmektedir (Ünal, 1994)

Yumuşak zeminler üzerinde dolgu inşaatına yönelik geoteknik tasarımın en önemli kriterlerinden ikisi yumuşak zeminin yüklenmesi sonucu oluşan oturmaların tahmin edilmesi ve stabilite şartlarının sağlanmasıdır, (Toğrol ve Çinicioğlu, 1994). Yumuşak zeminlerin oturma probleminin tasarımında bu zeminde oluşan oturma, yatay

deformasyon ve deplasmanların hep birlikte göz önüne alınması gerekir. Probleme çok boyutlu bakmak problemin bileşenlerini tanımak açısından yararlı olmaktadır. Yumuşak zeminin dolgu yükü ile yüklenmesi sonucu oluşmakta olan oturmalar, yumuşak zeminin yanal deformasyonları ile deformasyonlarda stabilitesi ile ilgilidir. Çünkü çoğunlukla deformasyonları kontrol etmek, hem dolgulardaki oturmaları en aza indirmek hem de yatay deformasyonları kontrol etmek açısından yararlıdır ve stabilitenin dolaylı olarak sağlanması demektir. Bu bakımdan, yumuşak zeminler üzerinde dolgu inşaatının değişik evrelerinde oluşacak hacim değişikliklerinin tip ve özelliklerinin tanımlanması dolgu tasarımının gelişimine rehberlik edecektir (Toğrol ve Çinicioğlu, 1994)

2.6.4 Yumuşak Zemin Üzerine Dolgu İnşa Edilmesi Sırasında Oluşan Boşluk Suyu Basınçları, Deformasyonlar ve Gerilmeler

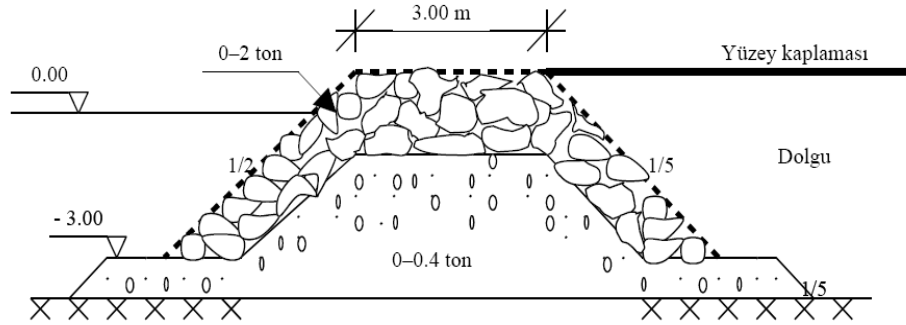
Yumuşak zeminler üzerine dolgu inşa edilmesi sırasında göz önüne alınması gereken deformasyonlar, boşluk suyu basınçları ve gerilmelerin stabilite üzerindeki etkisinin, yönünün ve derecesinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Yumuşak zeminin dolgu ile yüklenmesi sonucu zemin içerisinde bir hareket gelişecek ve özellikle yükün uygulandığı noktalarda boşluk suyu basınçları artacaktır. Bu artışın sebebi ise, alttaki zemin içerisindeki boşluklardaki suyun bu yükü ilk alan ve ilk tepki gösteren olmasıdır. Eğer zemin suya doygun ve permeabilitesi düşük ise suyun drene olması ve ilave boşluk suyu basınçlarının dağılımı uzun süre almaktadır. Zeminin içerisinde belirlenen bir nokta üzerine etki eden toplam gerilme ile boşluk suyu basıncı arasındaki fark efektif gerilmeyi vermektedir. Bunun bir anlamı da yük altındaki zemin elemanının sıkışması, şekil değiştirmesi ve kaymaya karşı mukavemeti gibi ölçülebilen bütün mühendislik davranışlarının kontrol edilmesine yarayan efektif gerilmeyi vermesidir. Bu değişim sebebi ile oluşan ilave boşluk suyu basıncı, yumuşak zemin içerisindeki suyun drene olmasına fırsat verecek süre sağlanırsa zamanla dağılacaktır (Ünal, 1994).

Sonuç olarak yumuşak zemin üzerine inşa edilen bir dolgunun göçme mekanizmalarında değişime yol açabilecek davranış biçimi, gerilme dağılımları, kayma yüzeylerini, stabilitesini ve taşıma gücünü dikkate alan plastik analiz çözümlerini

kullanarak açıklamak ve zemin davranışını gerilme izleri ile açıklayabilen bir yaklaşımı göz önüne almak daha gerçekçi hesap yapılmasını sağlayacaktır.

2.7 YUMUŞAK ZEMİN ÜZERİNDEKİ DALGAKIRANLARIN TASARIMI, YAPIMI VE SİSMİK DAVRANIŞLARI

Dalgakıranlar genellikle taş dolgu, masif veya bu ikisinin deniz tabanına yerleştirilmiş kombinasyonundan oluşan yapılardır. Dalgakıranlarda yatay dış yüklere karşı stabilite, taşların kayma direnci ve masif yapılarda ise altındaki sürtünmeyle sağlanmaktadır. Deprem sırasında tanımlanan hasar şekilleri, kesonların veya taş dolgu dalgakıranların temelleri altındaki oturmalar ve yanıl deformasyonlar ile belirlenmektedir (PIANC, 2001)



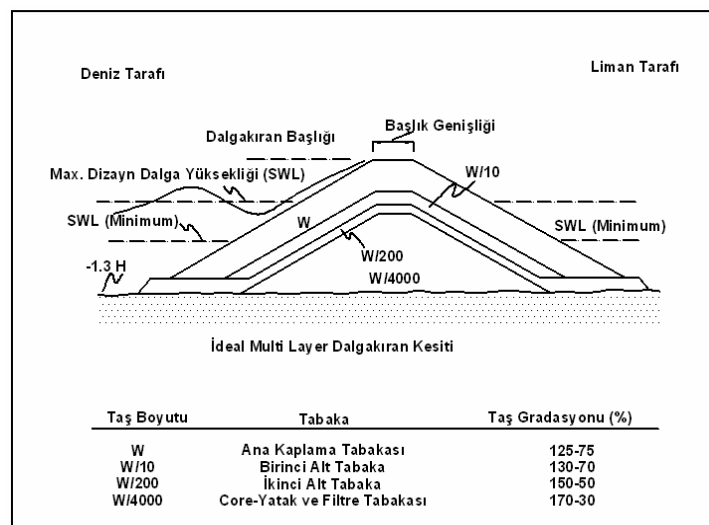
Şekil 2.15 Taş dolgu dalgakıran (PIANC, 2001)

Düzenli yerleştirilmiş taş dolgu dalga kıranlar ortada ocak artığı malzemedan oluşan yoğun bir çekirdekten (bazı durumlarda kaya dolgudan da oluşabilir çekirdek), bu çekirdek üzerine belirli eğime sahip ocak taşlarından oluşan filtre tabakasından ve son olarak dalgaları ilk olarak sönmüleyebilecek daha büyük ocak taşlarından veya prefabrik beton bloklardan bir veya iki sıra olarak meydana getirilen koruyucu tabakadan oluşur.

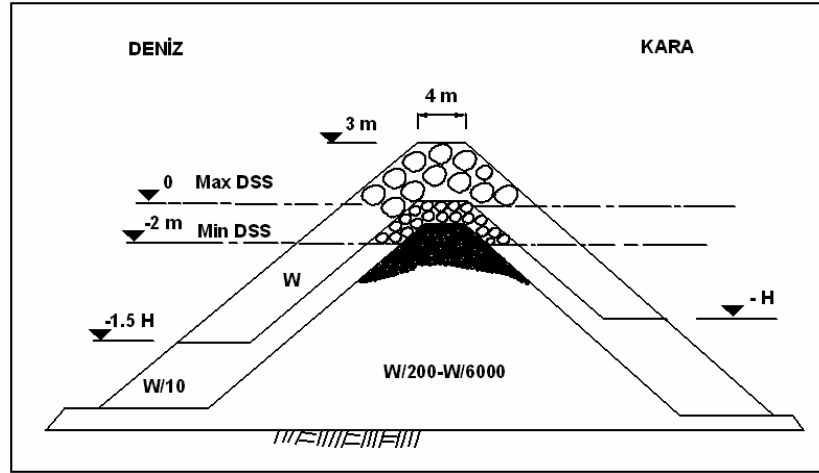
Dalgakıranlar genellikle limti dalga etkileri, tasarım fırtına alanındaki dalga aşmaları ve bunlara bağlı dalga hareketlerine dayanan yapılar olarak inşa edilirler. Bununla birlikte, ana tasarım unsuru olarak ön plana çıkan ise geoteknik dizayndır. Dalgakıranlar

yumuşak zemin elemanlarından oluşan deniz tabanı üzerine inşa edilen yüksek ağırlıkta yapılardır. Bu durum hem inşaat aşamasında, hem de olası bir deprem durumundaki davranışı açısından dikkate alınması gereken en önemli unsurdur. Büyük depremlerin tasarım deniz koşullarıyla aynı anda meydana gelmesi mümkün değildir çünkü her iki olay her zaman aynı zaman diliminde oluşmaz. Bu sebeple tasarım fırtına dalgası hareketleri ve deprem birbirinden bağımsız yük durumları olarak ele alınmaktadır.

Uygun tasarım kriterlerinin seçiminde, dalgakıranın işlevi (koruyacağı liman bazında) ve depremin neden olacağı olası hasar durumları göz önüne alınmaktadır. Bütün dalgakıranlarda geçerli olan bir başka önemli tasarım kriteri de kret seviyesinde izin verilen oturma miktarıdır. Bunun için tasarımın zeminin geoteknik özelliklerini kapsayan, zeminin statik taşıma gücü ve dinamik davranışının göz önüne alındığı bir tasarım olmalıdır. Bununla birlikte oturmaların kontrol altında tutulması ve istenilen miktarda oluşabilmesi için titizlikle bir iş programı çıkarılmalı, kademeli yüklemeler bu iş programı çerçevesinde yapılmalıdır. Kret seviyesinde izin verilen oturmalar dalga aşmasının ve dalga iletiminin miktarının belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Üzerinde yol veya başka yüklemeler taşıyan dalgakıranlarda, kret seviyesinde izin verilen oturma tasarım kriterine ek olarak üst yapıdaki yer değiştirmelerin de hesaba katılması gerekmektedir.



Şekil 2.16 Örnek bir taş dolgu dalgakıran kesiti



Şekil 2.17 Tek alt tabakalı taş dolgu dalgakıran tasarım örneği

Deprem sırasındaki genel hasar şekilleri, kesonların veya taş dolgu dalgakıranları temellerinin altındaki oturmalarla belirlenmektedir. Bununla birlikte yanal deplasman miktarı da önemli bir ölçüdür. Orta ölçekli depremlerde hasar, genellikle yumuşak kil katmanlarında ki büyük sismik ivmelerden dolayı meydana gelmektedir.

Deprem nedeni ile kimi zaman tsunami de oluşabilir. Bu durumda hasar genellikle kesonların aşınması veya taş dolgu içine doğru meyilli hale gelmesi şeklinde kendini göstermektedir.

2.8 HASAR OLASILIK ANALİZLERİ

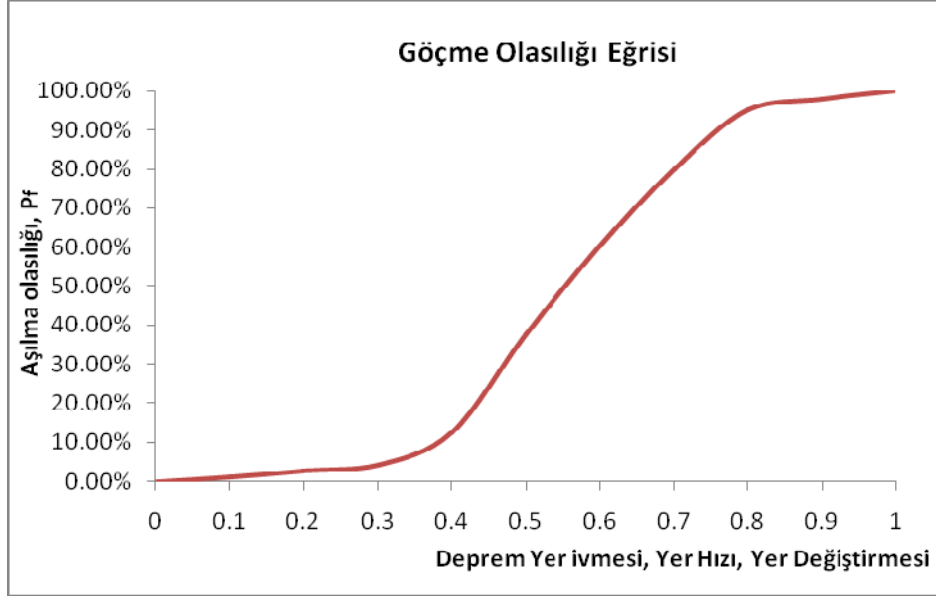
Deprem analizlerinde kullanılması gerekli olan deprem verilerindeki eksiklik ve belirsizlik olasılık kavramlarının kullanılmasını zorunlu hale getirmiştir. Yapıların deprem davranışlarının ilk akma veya göçme gibi belirli limit durumlarına bağlı olarak belirlenen aşılma olasılığı gibi parametrelerle değerlendirilmesi, yapının performansının daha gerçekçi tanımlanmasına olanak verecektir. Hasar olasılık analizlerinde kullanılan deprem davranışına ait aşılma olasılıkları, deprem karakteristiklerini ifade eden ivme, hız ve yer değiştirme gibi parametlerden sadece birine bağlı olarak belirlenmektedir (Korkmaz, 2005)

Literatürde performansa bağlı analiz yöntemleri ve kırılma analizleri adı altında pek çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar ekseriyetle betonarme ve çelik yapılar eksenli yapılmış, dolgu ve kıyı yapıları üzerinde de zemin eksenli bazı araştırmalar yapılmıştır. Dolgular için hasar olasılık analizlerinde depremlere ait kesin ivme kayıtları kullanılmaktadır. İtme analizi gibi metotların aksine dinamik zaman tanım alanında analiz ile deprem tarafından üretilen yer değiştirme talepleri doğrudan elde edilebilmektedir. Bu tip hasar analizlerinde yapının kütle ve rijitlik karakteristiklerinin ifade edilmesi için gerekli olan serbestlik derecesi kadar kurulabilir.

Hasar olasılık eğrileri aşılma olasılığına karşılık en büyük yer ivmesi ile gösterilen sismik eğriler ile ifade edilmektedir. Deprem nedeni ile oluşan elastik ötesi şekil değiştirmeler yapı stabilitesinde kayıplara neden olur. Yapılarda ortaya çıkabilecek büyük şekil değiştirmeler ve stabilite kayıpları hasar ile ifade edilmektedir.

Hasar olasılık analizlerindeki belirsizlikler genellikle üç ana başlık altında toplanabilir. Bunlar, yapının modellenmesindeki belirsizlikler, yapıya etkiyebilecek deprem karakteristiği ve yapı performans limit durumundaki belirsizlikler. Yapı performansının belirlenmesinde kullanılan hasar olasılığı ifadesi olarak belirtilen P_f 'nin tesbitinde deprem verisinin en büyük yer ivmesi, en büyük yer hızı, en büyük yer değiştirmesi parametrelerinin bir fonksiyonu veya bağlı değişkeni olarak ifade edilen hasar olasılık eğrileri yapının olasılıklı performansını değerlendirmekte kullanılır (Korkmaz, 2005)

Risk analizlerinin olasılığın dahil edilmediği deterministik yöntemlerle yapılması, yapının deprem davranışının ifade edilmesi açısından yetersiz kalmaktadır. Güvenirlilik esaslı performans analizlerinde olasılık kavramlarının tanımlanması aynı zamanda risk değerlendirme analizlerinin yapılmasına da olanak sağlamaktadır. Böylelikle yapı sistemlerinin risk ifadeleri ve aşılma olasılıkları da elde edilir (Rosidi, 2004)



Şekil 2.18 Tipik bir hasar olasılık eğrisi

2.8.1 Limit Durumlar

Limit durumları yapının göçme, burkulma, oturma, denge kararsızlığı, yanal yer değiştirme limiti ve kullanılabilirlik gibi tüm olası durumların tasarımda eşik değerler olarak ifade edilmesidir. Ancak ilk akma ve göçme bu limit durumlar içinden iki ana limit durumudur. İlk akma yapının herhangi bir yerinde ilk plastik mafsallın oluşumu olarak tanımlanır. Deprem etkisinde kalan bir yapı ilk akma noktasına ulaşmazsa yapının tepkisi elastik sınırdadır. Yapının göçmesi tükenme mekanizmasının oluşumu olarak tanımlanır. Göçme limit durumu dayanım limit durumunu temsil eder.

3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu bölümde çalışmanın amacı ve bu amaca ulaşmak için kullanılan yöntemler anlatılmıştır. Kıyı yapıları adı altında, bir yapı türü olarak seçilen dalgakıranların deprem risk analizleri, dinamik deprem yükleri altında zemin-yapı etkileşimi göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Analizlerde kullanılmış olan sonlu elemanlar programı, deprem kayıtları ve tasarlanan dalgakıran hakkında ayrıntılı olarak bilgi verilmiştir.

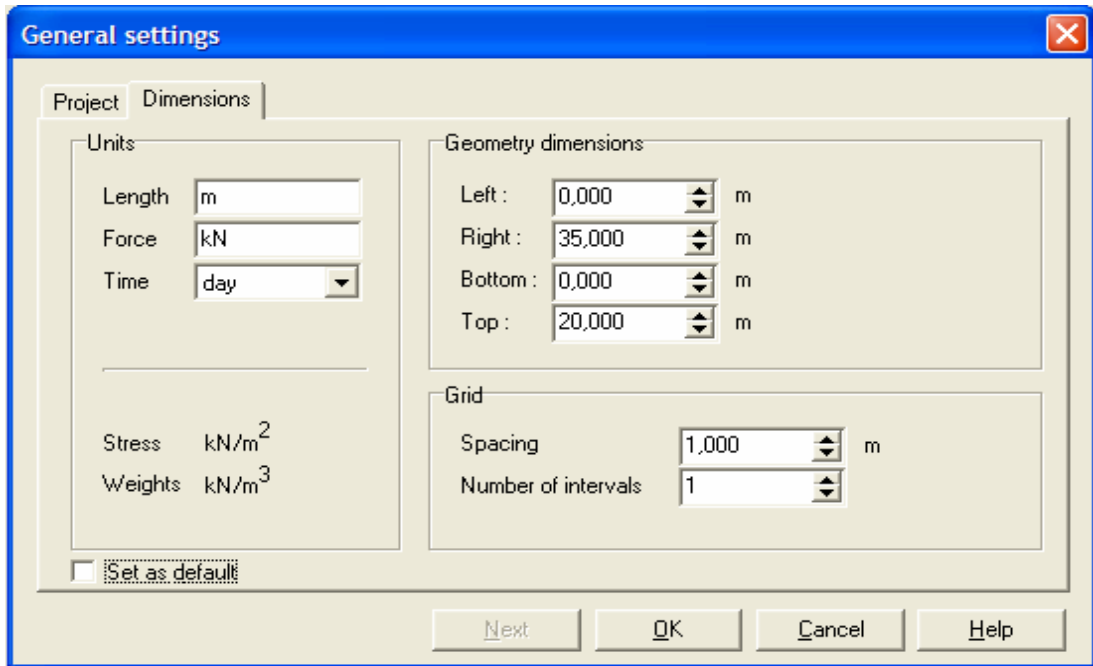
Bu tez çalışması kapsamında bir taş dolgu dalgakıran tasarlanmış, kademeli yükleme aşamaları ve çalışma programı çıkarılmıştır. Tasarım ve inşaat aşaması tamamlandıktan sonra, daha önceden hazırlanan önemli depremlere ait kayıtlar, sonlu elemanlar programı vasıtası ile kullanılmış ve dinamik durumda meydana gelen deplasmanlar hesaplanmıştır. Özellikle dalgakıranın altında bulunan yumuşak kil zemin üzerinde seçilen noktalardaki efektif gerilme (p') ve kayma gerilmesi (q') değerleri alınmış kritik durum zemin mekaniği teorisi kullanılarak hasar olasılık eğrileri çıkarılmıştır. Böylelikle, deprem anında dalgakıran altında bulunan yumuşak kil zeminin nasıl bir davranış göstereceği görülmüş olup, dalgakıran için bir risk analizi ortaya konmuştur.

3.1 ÇALIŞMADA KULLANILAN SONLU ELEMANLAR PROGRAMI

Bu çalışma kapsamında sonlu elemanlar yazılımı olarak Plaxis 8.2 programı kullanılmıştır. 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. Plaxis 8.2 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.

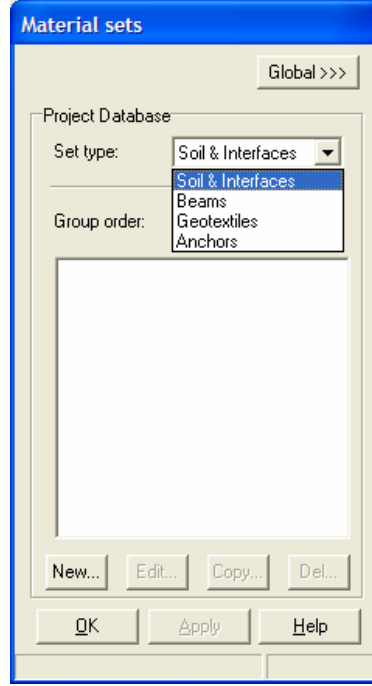
Plaxis programının yazılımı, 4 ayrı ve birbiriyle ilişkili alt programlardan oluşmaktadır.

- INPUT: Veri girişi yapılır.
- CALCULATIONS: Hesaplamalar yapılır
- OUTPUT: Sonuçlar alınır.
- CURVES: İstenilen sonuçların grafik olarak çizimini veren bölümdür.



Şekil 3.1 Plaxis programı genel ayarlar

Plaxis programının yazılım özelliklerine baktığımızda, uygulama sırasında, sorunsuz veri girişi sağlanmaktadır. Deprem yüklerinin girilebilmesi, doğrusal olmayan zemin davranışının dikkate alınması, ilave boşluk suyu basınçlarının hesaplanabilmesi, gerilme-deformasyon davranışın incelenebilmesi ve raporlanması ile yapı-zemin davranışının dikkate alınması açısından analizlerde avantaj sağlamaktadır.



Şekil 3.2 Malzeme değerlerinin girildiği pencere

Plaxis programının uygulama özellikleri aşağıdaki gibidir;

- Modeli oluşturan zemin katmanları, yapılar, inşaat aşamaları, yükler ve sınır koşulları CAD tabanlı çizim moduyla kolayca oluşturabilir. Daha sonra oluşturulan geometri modelinden sonlu elemanlar ağı üretilebilmektedir.
- Plaxis eleman boyutunun ayarlanmasına olanak veren otomatik bir sonlu elemanlar ağı oluşturma özelliğine sahiptir. Sonlu eleman ağındaki eleman sayısı binlerce olabilir. Ağ oluşturan sonlu elemanlar 6 düğümlü ve 15 düğümlü olabilirler.
- Yapı-zemin etkileşimini en doğru biçimde modelleyebilmek için özel arayüz elemanları kullanılmaktadır.
- Tekil ve yayılı yükleri modelleyebilmek için iki farklı yük sistemi mevcuttur. Tekil yükler geometri noktalarına, yayılı yükler geometriyi oluşturan çizgiler üzerine uygulanmaktadır.
- Sınır şartları model kenarlarına deplasmanların sıfır alınması ile modellenir. Buna göre model tabanında yatay ve düşey, model kenarlarında ise yatay deplasmanlar sıfır alınmaktadır.

- Mohr-Coulomb Modeli geoteknik uygulamalarında, iyi bilinen zemin parametrelerine dayanan basit, doğrusal olmayan bir modeldir. Zeminin tüm özelliklerini kapsamasada Mohr-Coulomb modeli, tünellerde, temellerde yüklerin hesaplanması için kullanılabilir. Bunun haricinde Plaxis zemin davranışı için çok daha gelişmiş modellerde sunar. Hiperbolik elastoplastik pekleşen zemin (Hardening Soil Model) modeli ve yumuşak zemin (Soft Soil Creep) modeli özellikle bu gelişmiş modelleri arasında daha sık kullanılırlar. Bu tez çalışması kapsamında dalgakıranın altında bulunan yumuşak kil zemin için Soft Soil Creep model kullanılmıştır.
- Programda yer altı su seviyesinin konumuna göre statik su basınçları hesaplanabilmektedir.
- Programda geçirimsiz killerin yanında geçirimli kumları da modelleyebilmek için drenajlı ve drenajsız özellikler tanımlanmıştır. Buna göre drenajsız zeminlerde ani yükleme yapıldığında oluşan ilave boşluk suyu basınçları hesaplanabilmektedir.
- Plaxis deformasyon analizi yapan bir programdır. Programda plastik hesap, konsolidasyon analizi ve yamaç problemleri için duraylılık analizi yapılabilmektedir. Bunlara ek olarak dinamik modül ile dinamik analiz yapılabilmektedir.
- Yapıların kademeli olarak inşa edilmesi, kazı yapılması, yüklerin uygulanmasının gerçeğe uygun modellenebilmesi amacı ile bunları temsil eden elemanların aktif hale getirilmesi ve kaldırılması yöntemleri kullanılabilir.
- Yükleme sonucu oluşan ilave boşluk suyu basınçlarının zamana bağlı olarak sönümlenmesi konsolidasyon analizi ile mümkün olabilmektedir.

3.1.2 Soft Soil Creep Model (Yumuşak Zemin Akma Modeli)

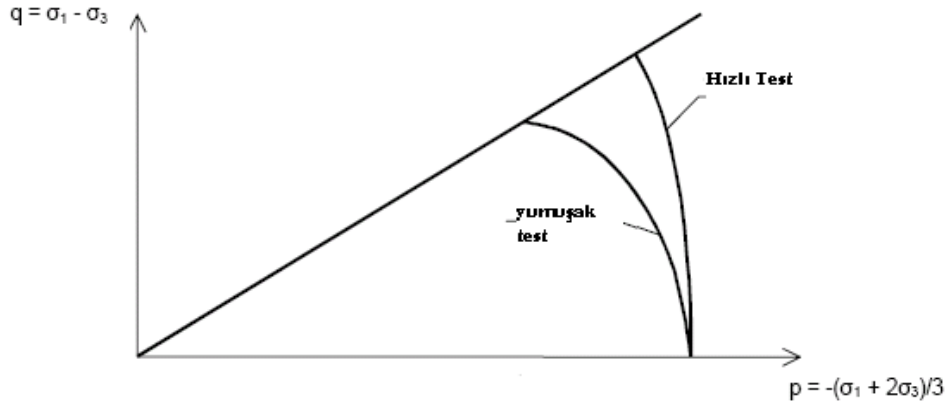
Yumuşak zeminler olarak killeri, siltli killeri ve turba'yı tanımlayabiliriz. Mevcut geoteknik probleminde zemin elemanları bu yumuşak zeminlerden oluşuyor ise Yumuşak Zemin Akma Modeli kullanmak daha doğru sonuçlar verir. Yumuşak zemin akma modeli yumuşak killerin viskoz davranışını ikincil konsolidasyon katsayısı c_a

bağlı olarak tanımlayabilmektedir (Keleşoğlu ve Çinicioğlu, 2005) . Bu modelde kullanılan parametreler; λ^* , κ^* , μ^* , c , φ ve k olarak verilebilir. Bu parametreler konsolidasyon parametrelerinden tablo 3.1 'den hesaplanabilir.

Tablo 3.1 SSC zemin modeli ile konsolidasyon parametreleri arasındaki bağıntılar

$$\lambda^* = \frac{Cc}{2.3(1+e)} \quad \kappa^* = \frac{2}{2.3} \frac{Cr}{(1+e)} \quad \mu^* = \frac{C\alpha}{2.3(1+e)}$$

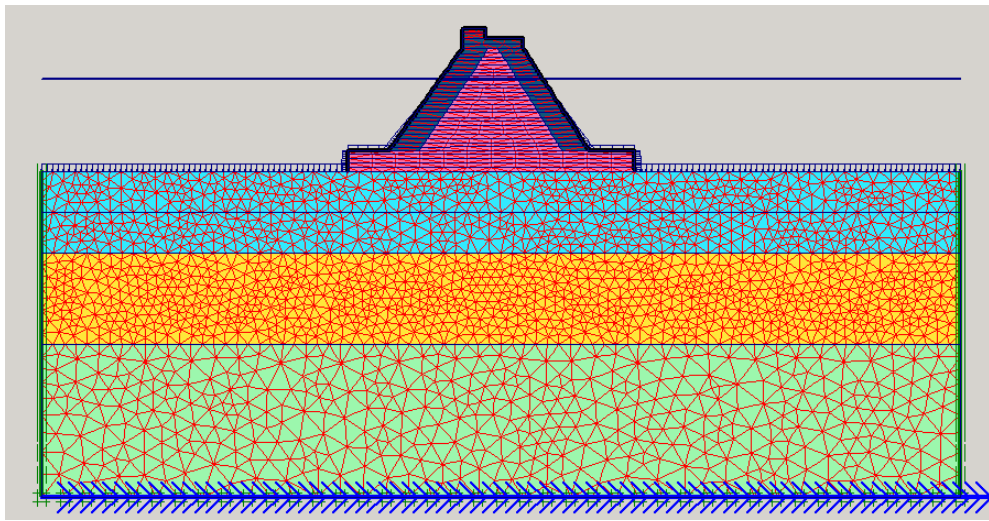
Şekil 3.3 Plaxis programında ssc parametrelerinin programa girilmesi



Şekil 3.4 SSC Modelin deviatorik gerilme-isotropik gerilme grafiği (Kulhawy ve Mayne, 1990)

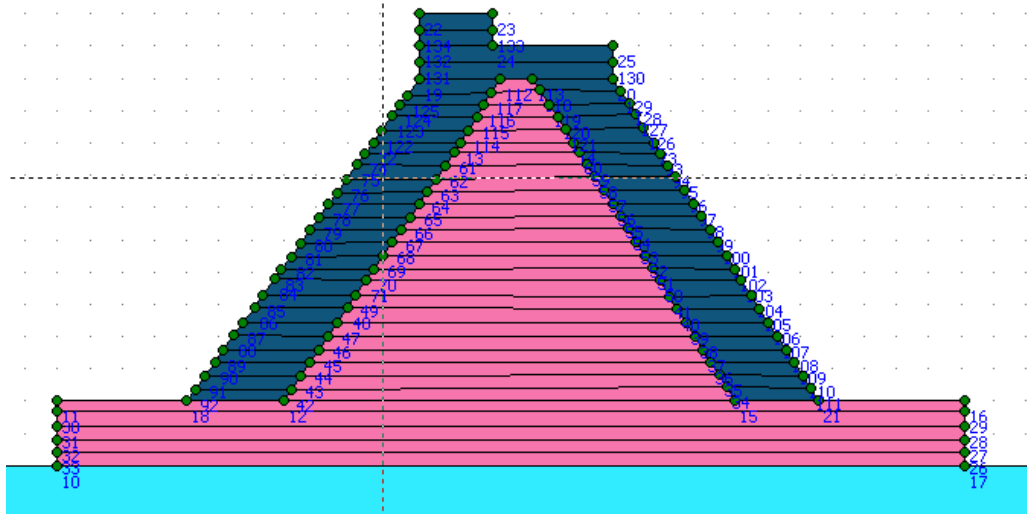
3.2 DALGAKIRAN TASARIM VE İNŞAATININ MODELLENMESİ

Bu çalışmada bir taş dolgu dalgakıran plaxis de tasarlanmış olup, zemin tabakaları belirlenmiş ve kademe kademe yükleme yapılarak bütün inşaat safhaları tanımlanmıştır. Her yüklemenin ardından zemin durumu incelenmiş ve bu doğrultuda her yüklemenden sonra zeminin durumuna göre belirli konsolidasyon süreleri verilmiştir. Böylelikle sağlıklı bir inşa faaliyeti için gereken çalışma programı da ortaya çıkmıştır. Şekil 3.4 de dalgakıran geometrisi ve sonlu eleman ağı gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Taş dolgu dalgakıran sonlu elemanlar ağı

Taş dolgu dalgakıran 14m yüksekliğinde, 30 m eninde, 2 m kret boyuna ve enine sahiptir. Tek katmanlı bir çekirdek tabakası, onun üzerinde de beton bloklardan oluşan bir zırh tabakası vardır. Şekil 3.5 de de görüldüğü üzere kademeli yüklemeye uygun biçimde 50 cmlik parçalara bölünmüş ve bu şekilde çözüm yapılmıştır.



Şekil 3.6 Tasarım dalgakıran

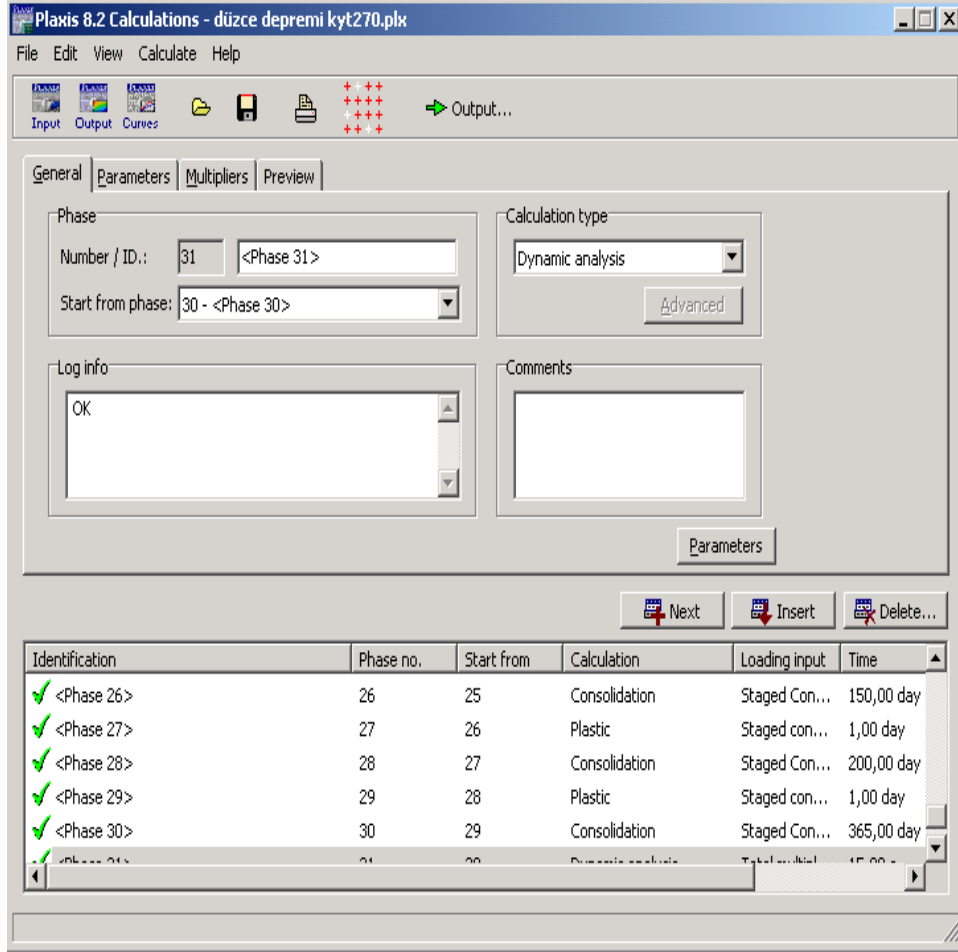
Dalgakıranın altındaki zemin için Fransa'nın Cubzac-Les- Ponts bölgesinde yapılan test dolgusunun altındaki yumuşak kil parametreleri ilk 8 m için kullanılmış, sonra ki 9 m orta sıklıkta kum, en alt tabakada ise kaya tabakası yer almıştır. Tablo 3.2 de Cubzac zeminine ait parametreler ve tablo 3.3 de diğer zemin parametreleri verilmiştir.

Tablo 3.2 Kil zemin parametreleri

Tabaka Adı	Dr.	S.E.M	E_{ref}	V (nu)	c_{ref}	φ	K_x	K_y
Kum	8-17 m	MC	4,393E+4 kN/m	0,3	5kN/m ²	31°	10m/gün	10m/gün
Kaya Tabakası	17-32m	MC	1,25E+6 kN/m	0,35	1kN/m ²	35°	0,5m/gün	0,5m/gün
Dolgu	-	L.E	1E+6 kN/m	0,25	1kN/m ²	35°	0.5m/gün	0,5m/gün

Tablo 3.3 Diğer zemin parametreleri

Tabaka Adı	Dr.	S.E.M.	λ^*	κ^*	μ^*	c	φ	K_x	K_y	γ_{sat}
Yumuşak kil	0-8 m	SSC	0.160	0.012	0.0064	1 kN/m ²	26	1.297E-4 m/gün	8.648E-5 m/gün	15

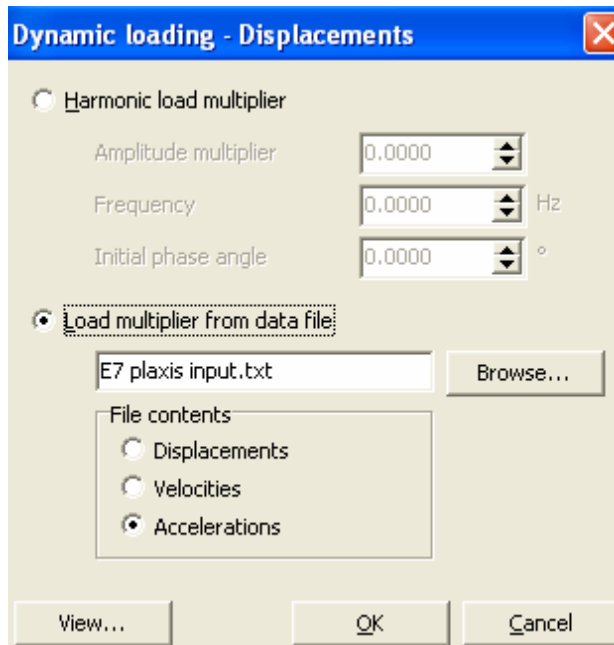


Şekil 3.7 Plaxis hesap aşaması- dalgakıran kademeli yükleme

Şekil 3.7 de Sonlu elemanlar programının hesaplama modülüne ait ara yüz gösterilmiştir. Zemin üzerinde herhangi bir yükleme olmayan başlangıç aşamasından, belirlenen yükseklikler için kademeli olarak yapılan yükleme ve her yüklemeyi takip eden, değişik sürelerle sahip konsolidasyon beklemleri ve inşa aşaması bitiminden hemen sonra farklı deprem kayıtları kullanılarak yapılan dinamik analizler, bu modül ile gerçekleştirilir. İstenilen aşama için output alınabileceği gibi, hatalı analizlerde, güvenilir analiz aşamaları da geri dönüş ve analizi tekrar etme şansı verir.

Yükleme ve inşa aşamasından sonra dinamik analiz safhasına geçilir. Geometri aşamasında öncelikli olarak taban sınırlarına ön tanımlı bir deplasman empoze ederek deprem modellenir. Absorbe edici bir sınır dinamik yüklemeye sebebiyle sınırlardaki gerilme artışları için sınır koşulları belirlenmiştir. Plaxis menüsünde loads menüsünden Standart Absorbent boundaries seçilerek absorbe edici sınırlar oluşturulur. Bütün bu işlemleri statik yüklemeye öncesi henüz geometri aşamasında yapmak gerekir. Düzlem şekil değiştirme modelleri için standart absorbe edici sınırlar sol, sağ ve taban sınırlarında oluşturulmuştur. Ardından yine loads menüsünden standart earthquake boundaries seçilerek otomatik olarak sağ ve sol düşey sınırlara sınır koşulları yerleştirildi. ($u_x=0.01$ ve $u_y=0.00$).

Plaxis deprem yüklemesi için girdi verisi olarak SMC formatındaki deprem kayıtlarının kullanımına izin verir. Ancak bir text editörü yardımı ile de başka bir formatta kendi kayıtlarınızı da oluşturabilirsiniz.



Şekil 3.8 Deprem kaydının girilmesi

Programın input modu tamamlandıktan sonra calculation moduna geçilir. Şekil 3.7 de gösterilen dyanmic loading sekmesinden load multipler from data file seçilir. Bu kısma

bir sonraki bölümde ele alacağımız deprem kayıtları text formatından hazırlanarak girilmiştir.

3.3 KULLANILAN DEPREM KAYITLARI VE GENEL ÖZELLİKLERİ

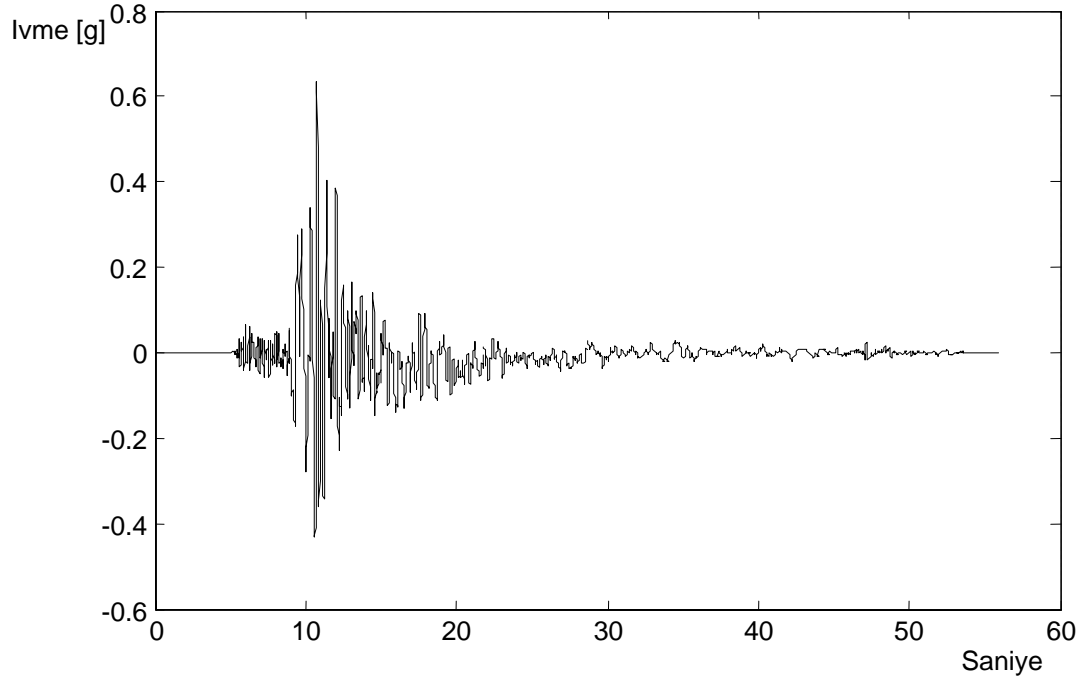
Bu tez çalışmasında 10 adet yakın tarihli önemli deprem kayıtları kullanılmıştır. Deprem kayıtlarına ait datalar <http://peer.berkeley.edu/smcat> adresinde mevcut bulunan Berkley Üniversitesine ait “ Peer Strong Motion Databank” (Berkeley, 2009) isimli data bankasından alınmıştır. Bu depremlere ait bilgiler (kırılan faya en yakın uzaklıkları, pik yer ivmeleri (PGA), pik yer hızları (PGV), isimleri ve tarihler) Tablo 3.4’de verilmiştir.

Şeçilen depremlerin Doğu-Batı (D-B) ve Kuzey-Güney (K-G) bileşenlerinin ivme zaman grafikleri Şekil 3.9-3.28’te verilmiştir. Deprem kayıtları kırılan faya hem yakın hem uzak mesafeleri gözönünde bulundurularak şeçilmiştir. Ayrıca bu şeçimde belirlenen depremlerin merkezüssüne yakın çok sayıda ivme ölçer olması, kayıt sayısının fazla olması da sağlıklı verileri analizlerde kullanmak açısından önemlidir.

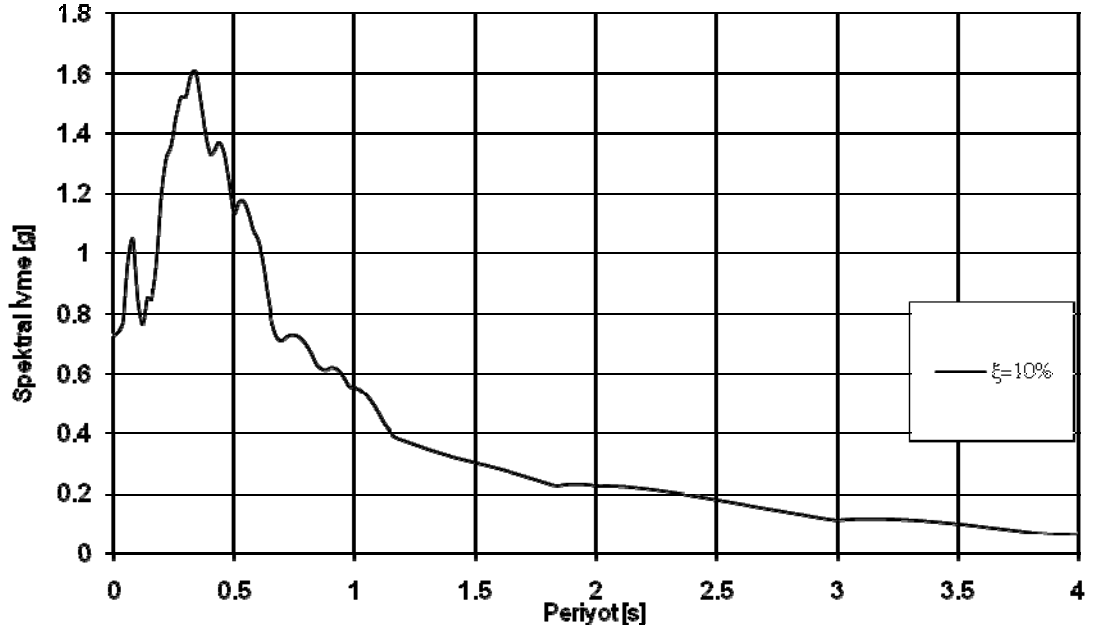
Deprem esnasında alınan kayıtların sayısının gün geçtikçe artması ve bunlara erişimin gelişen veri transfer teknolojisi ile birlikte kolaylaşması zaman tanım alanında yapılacak hesaplarda, gerçek kayıtları tercih edilen şeçenek haline getirmektedir. Bizde bu tez çalışmasında deprem esnasında alınan gerçek kayıtları kullandık (Fahjan, 2008)

Tablo 3.4 Deprem Kayıtları Bilgileri

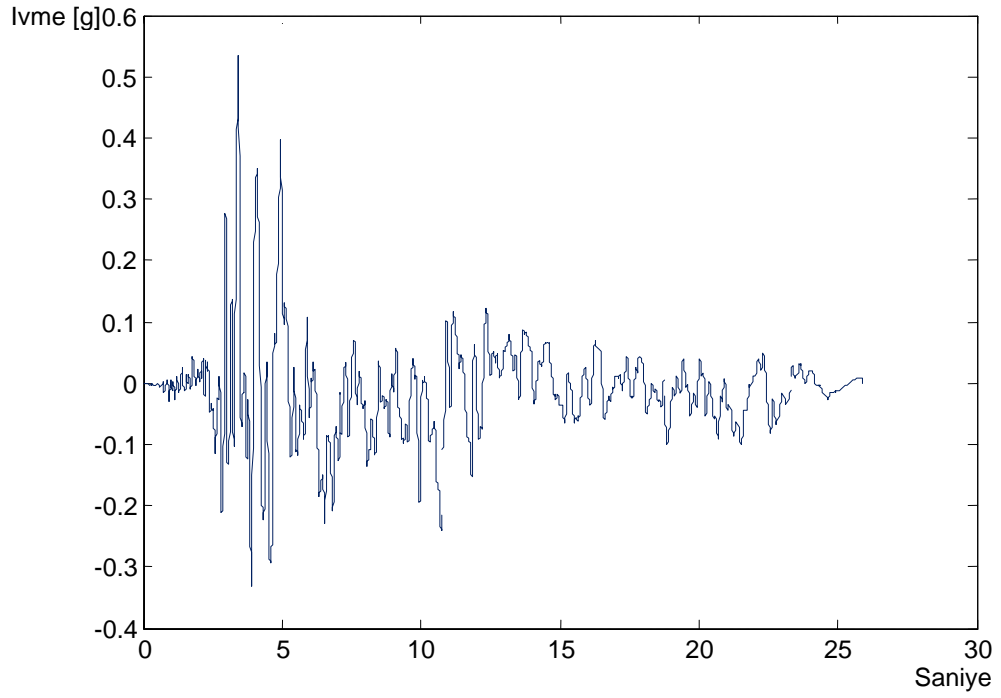
Deprem Adı	Kayıt Tarihi	İstasyon Adı	Süre (sn)	Kayıt Adı	PGA (g)	PGV (cm/s)	PGD (cm)	Kayıt Adı	PGA (g)	PGV (cm/s)	PGD (cm)
Chi-Chi, Tayvan	20/09/1999	CHY080	90.0	CHICHI/CHY080-W	0.968	107.50	18.60	CHICHI/CHY080-N	0.902	102.40	33.97
Chi-Chi, Tayvan	20/09/1999	CHY101	90.0	CHICHI/CHY101-W	0.353	70.60	45.28	CHICHI/CHY101-N	0.440	115.00	68.75
Düzce, Türkiye	12/11/1999	Düzce	25.9	DUZCE/DZC180	0.348	60.00	42.09	DUZCE/DZC270	0.535	83.50	51.59
Friuli, İtalya	06/05/1976	Tolmezzo	36.3	FRIULI/A-TMZ000	0.351	22.00	4.10	FRIULI/A-TMZ270	0.315	30.80	5.10
Imperial Valley, ABD	19/05/1940	El Centro	40.0	IMPVALL/I-ELC180	0.313	29.80	13.32	IMPVALL/I-ELC270	0.215	30.20	23.91
Imperial Valley, ABD	15/10/1979	Meloland	40.0	IMPVALL/H-EMO000	0.314	71.70	25.53	IMPVALL/H-EMO270	0.296	90.50	31.71
Tabas, İran	16/09/1978	Tabas	32.8	TABAS/TAB-LN	0.836	97.80	36.92	TABAS/TAB-TR	0.852	121.40	94.58
Kobe, Japonya	16/01/1995	KJMA	48.0	KOBE/KJM000	0.821	81.30	17.68	KOBE/KJM090	0.599	74.30	19.95
Kocaeli, Türkiye	17/08/1999	Düzce	27.2	KOCAELI/DZC180	0.312	58.80	44.11	KOCAELI/DZC270	0.358	46.40	17.61
Loma Prieta, ABD	18/10/1989	LGPC	25.0	LOMAP/LGP000	0.563	94.80	41.18	LOMAP/LGP090	0.605	51.00	11.50
Northridge, ABD	17/01/1994	Sylmar	40.0	NORTHR/SYL090	0.604	78.20	16.05	NORTHR/SYL360	0.843	129.60	32.68
Northridge, ABD	17/01/1994	Rinaldi	15.0	NORTHR/RRS228	0.838	166.10	28.78	NORTHR/RRS318	0.472	73.00	19.76
Taft, ABD	21/07/1952	Taft	54.2	KERN/TAFO21	0.156	15.30	9.25	KERN/TAFF111	0.178	17.50	8.99



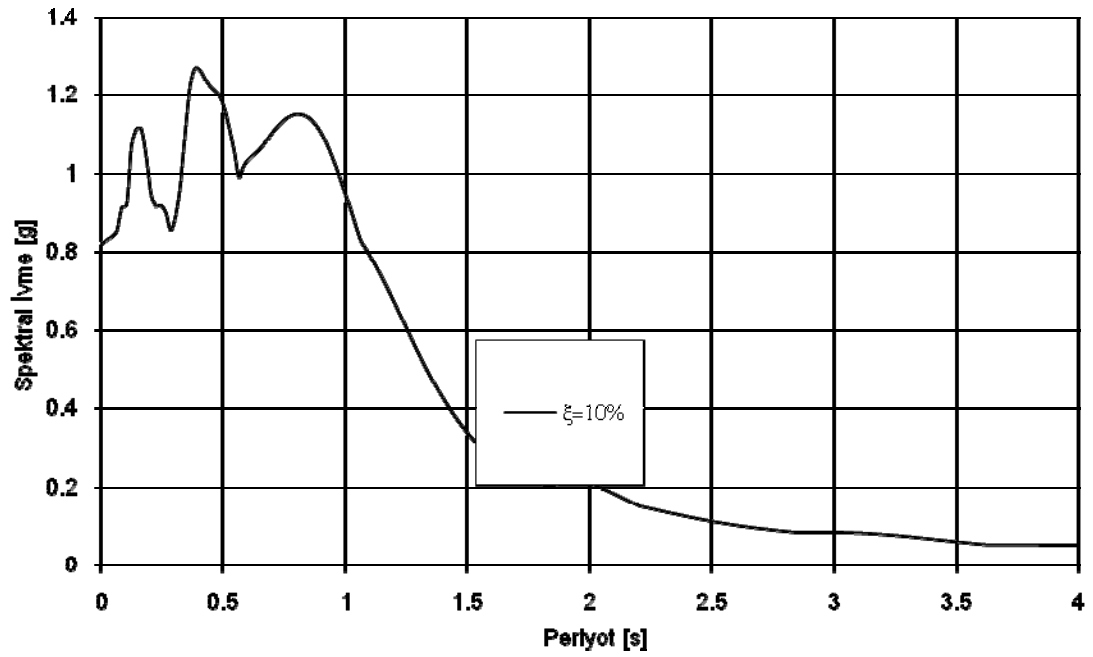
Şekil 3.9: Düzce Depremi Bolu İstasyonu Doğu Batı doğrultusu İvme –zaman grafiği



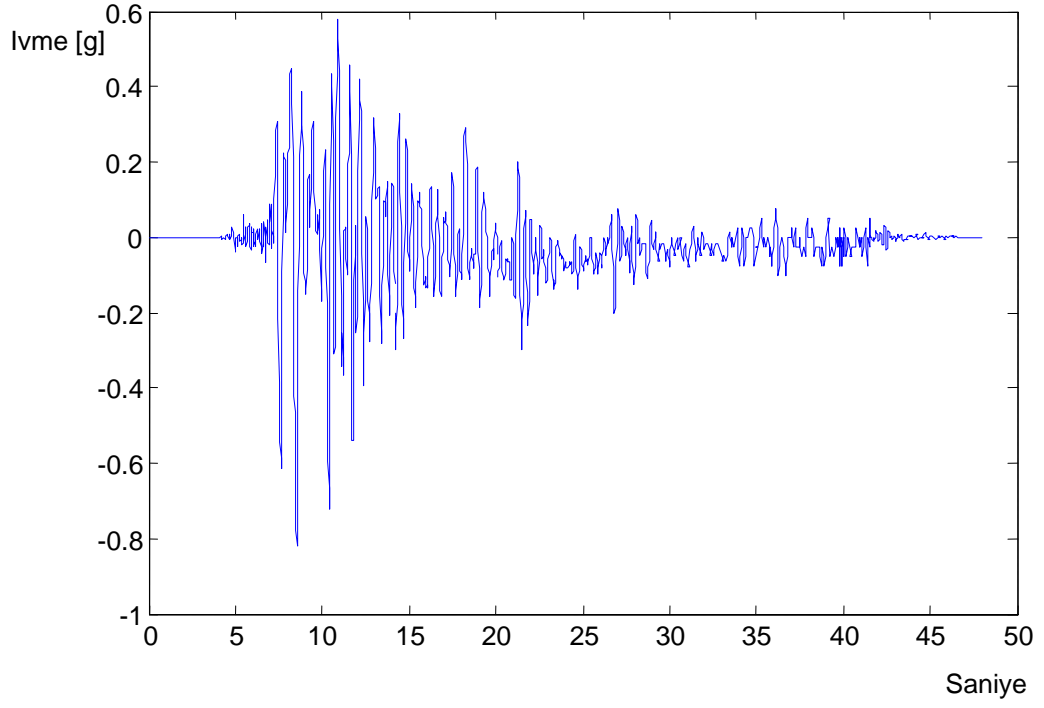
Şekil 3.10: Düzce Depremi Bolu istasyonuna ait Doğu-Batı Doğrultusu ivme spektrumu



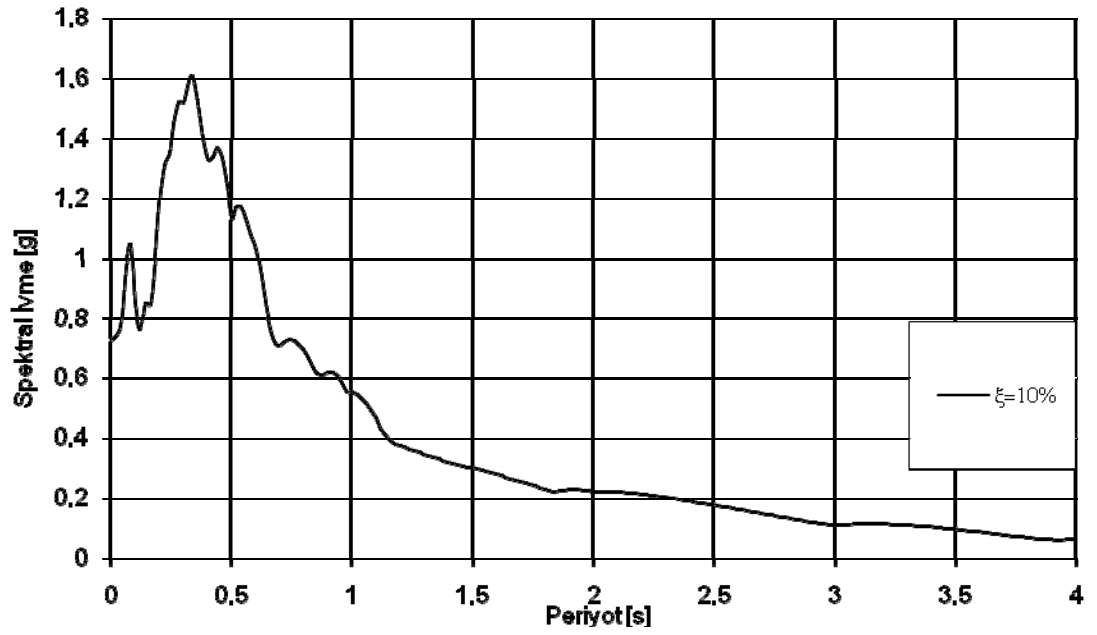
Şekil 3.11: Düzce Depremi Düzce İstasyonu Kuzey Güney doğrultusu İvme –zaman grafiği



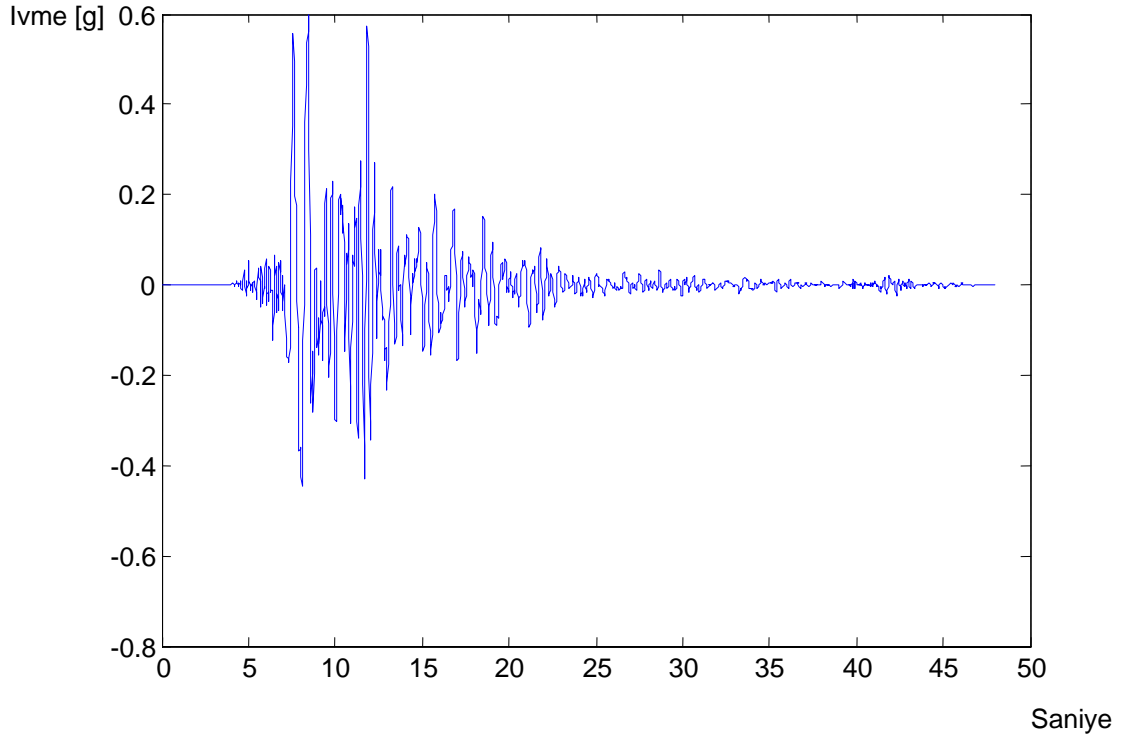
Şekil 3.12: Düzce Depremi Bolu İstasyonuna ait Kuzey-Güney Doğrultusu İvme spektrumu



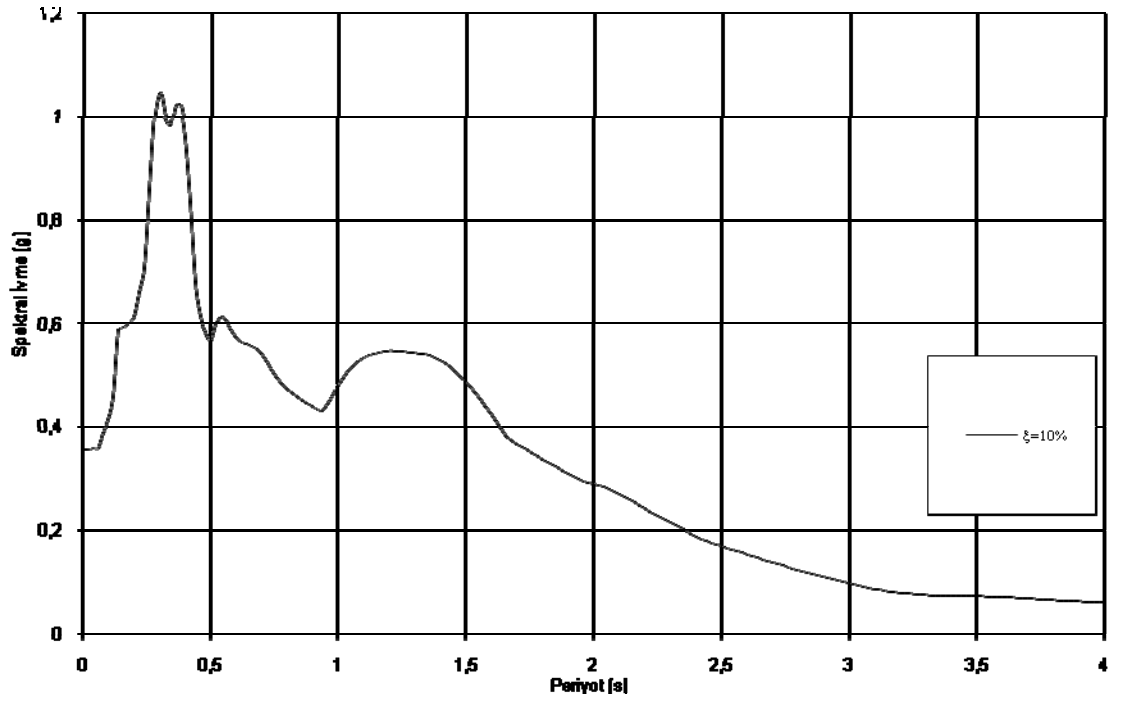
Şekil 3.13: Kocaeli Depremi Düzce İstasyonu Doğu Batı Doğrultusu İvme –zaman grafiği



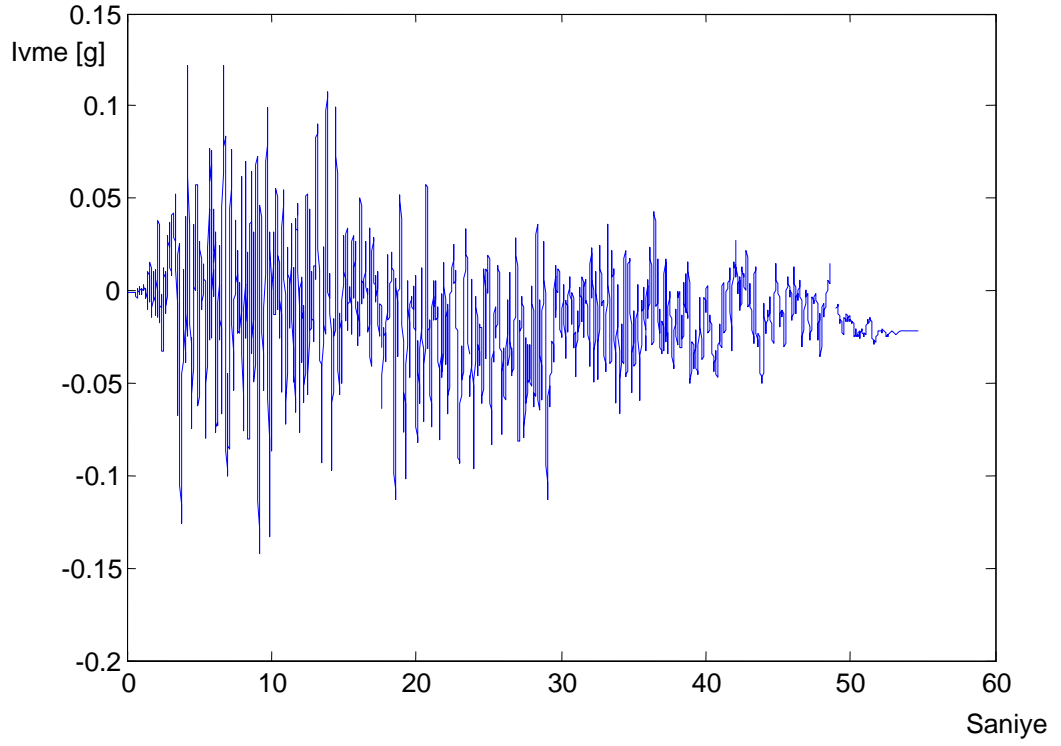
Şekil 3.14: Kocaeli Depremi Düzce istasyonuna ait Doğu-Batı Doğrultusu ivme spektrumu



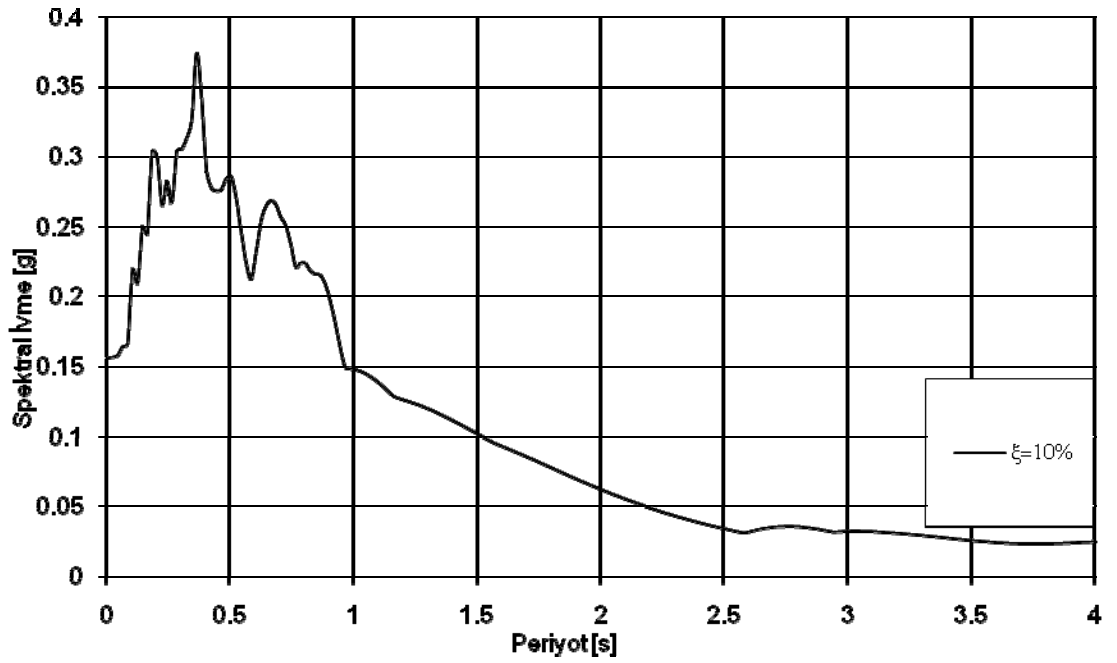
Şekil 3.15: Kocaeli Depremi Düzce İstasyonu Kuzey Güney Doğrultusu İvme –zaman grafiği.



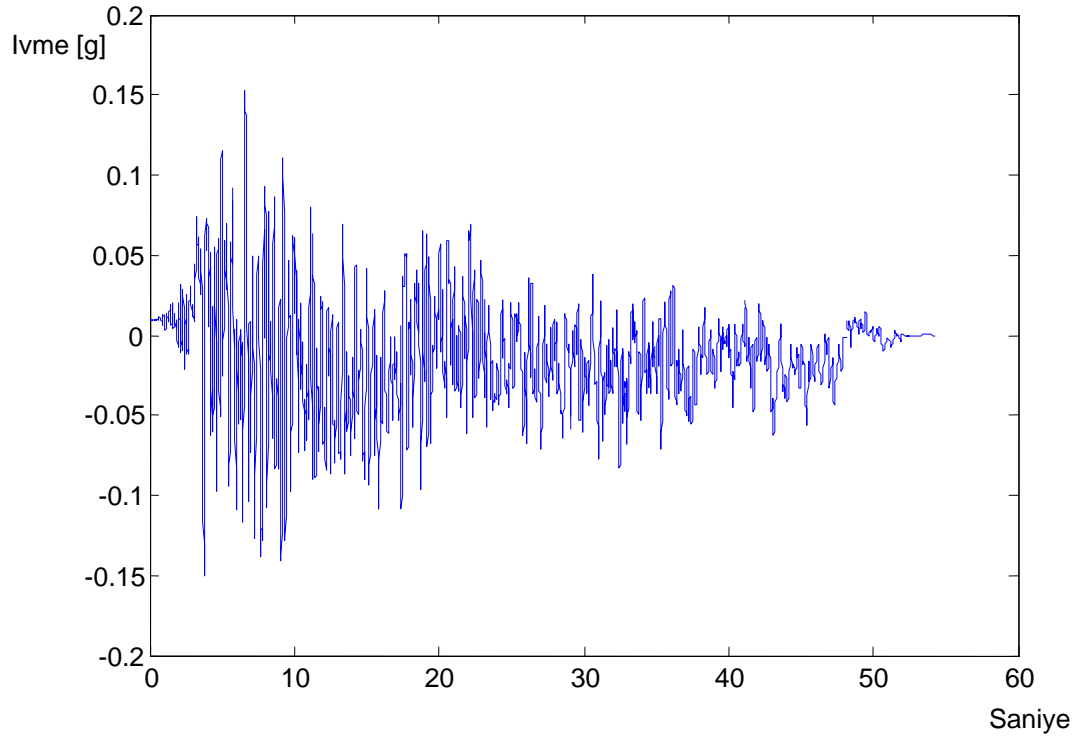
Şekil 3.16: Kocaeli Depremi Düzce istasyonuna ait Kuzey-Güney Doğrultusu ivme spektrumu



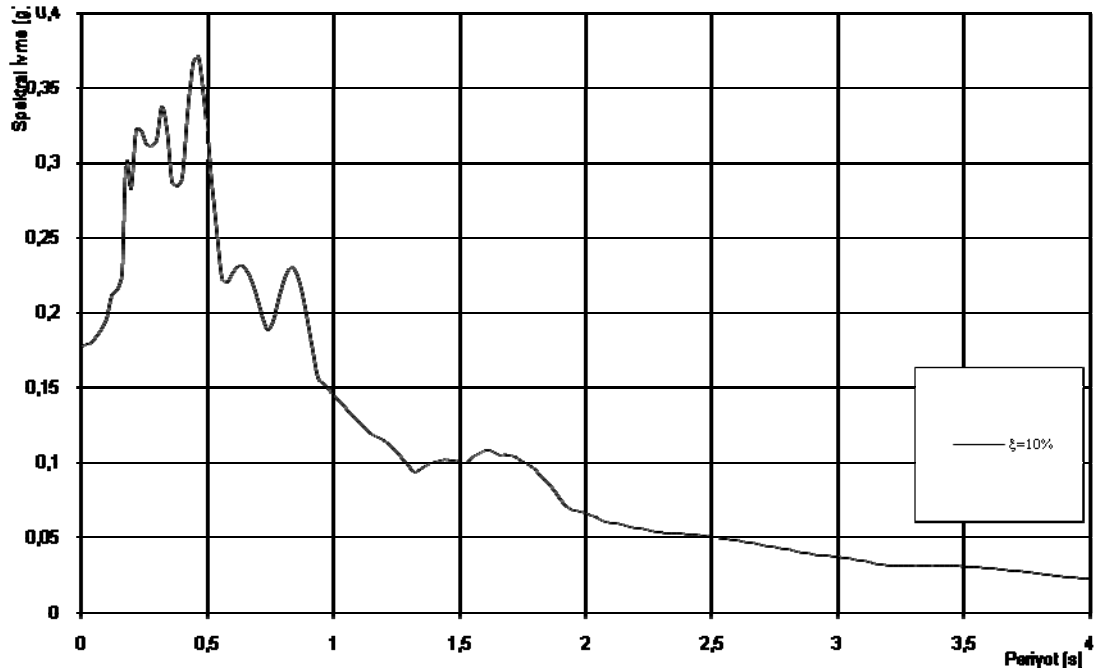
Şekil 3.17: Tabas Depremi Doğu Batı Doğrultusu İvme –zaman grafiği



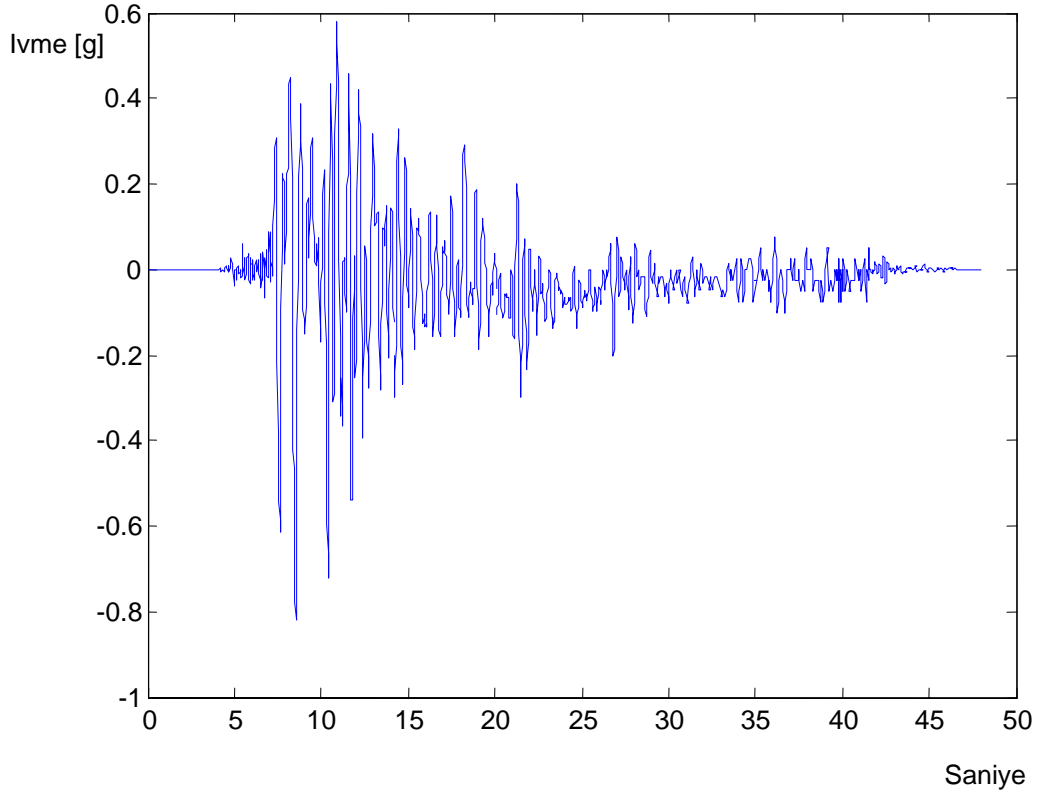
Şekil 3.18: Tabas Depremi ait Doğu-Batı Doğrultusu ivme spektrumu



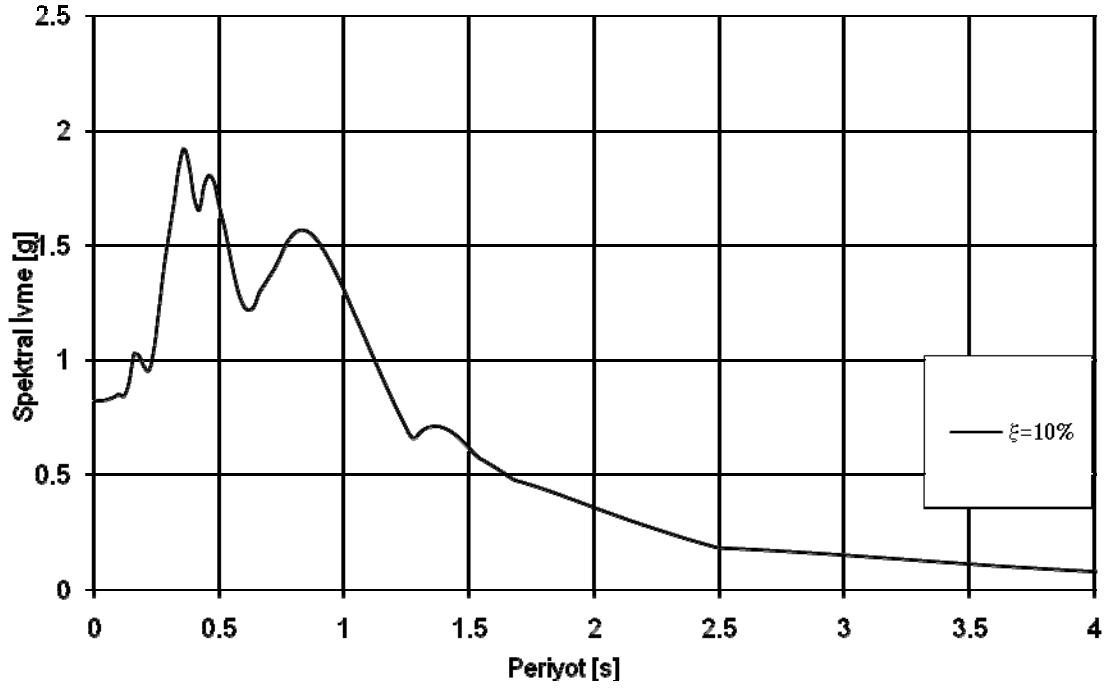
Şekil 3.19: Tabas Depremi Kuzey Güney Doğrultusu İvme –zaman grafiği



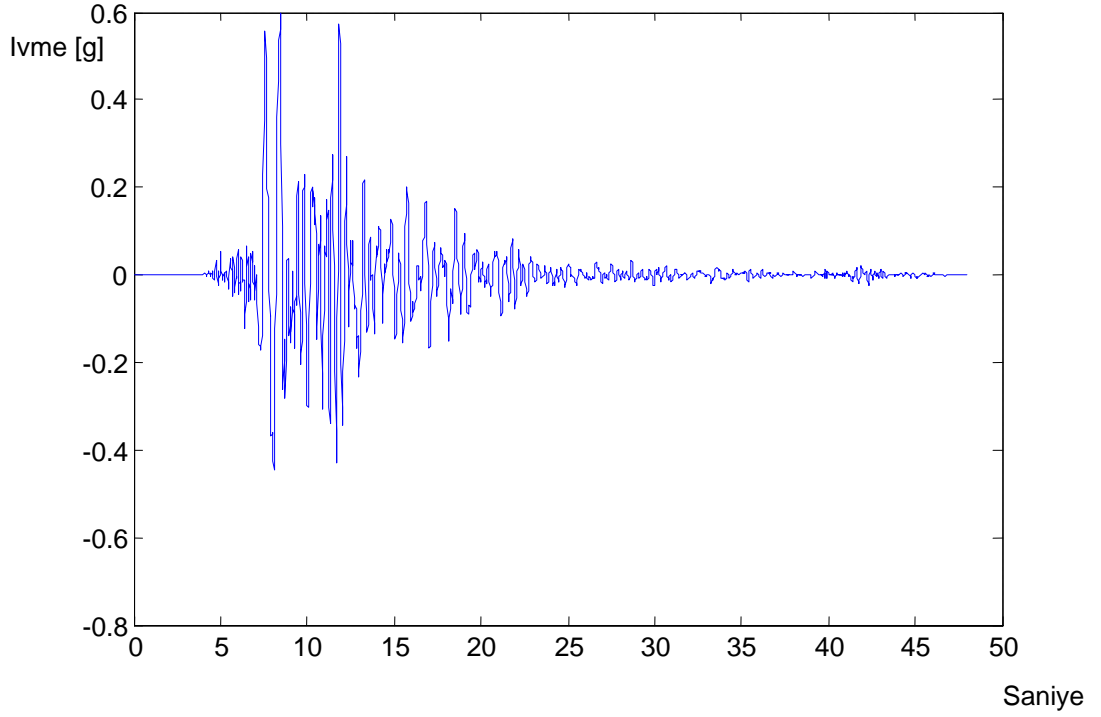
Şekil 3.20: Tabas Depremi ait Kuzey-Güney Doğrultusu ivme spektrumu



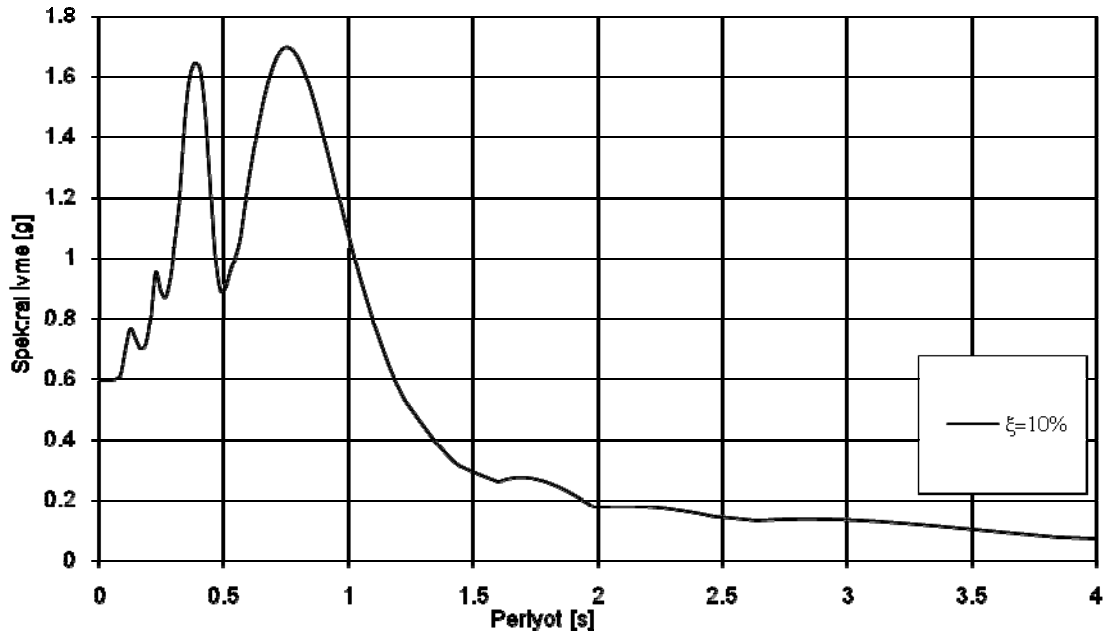
Şekil 3.21: Kobe Depremi Doğu Batı Doğrultusu İvme –zaman grafiği.



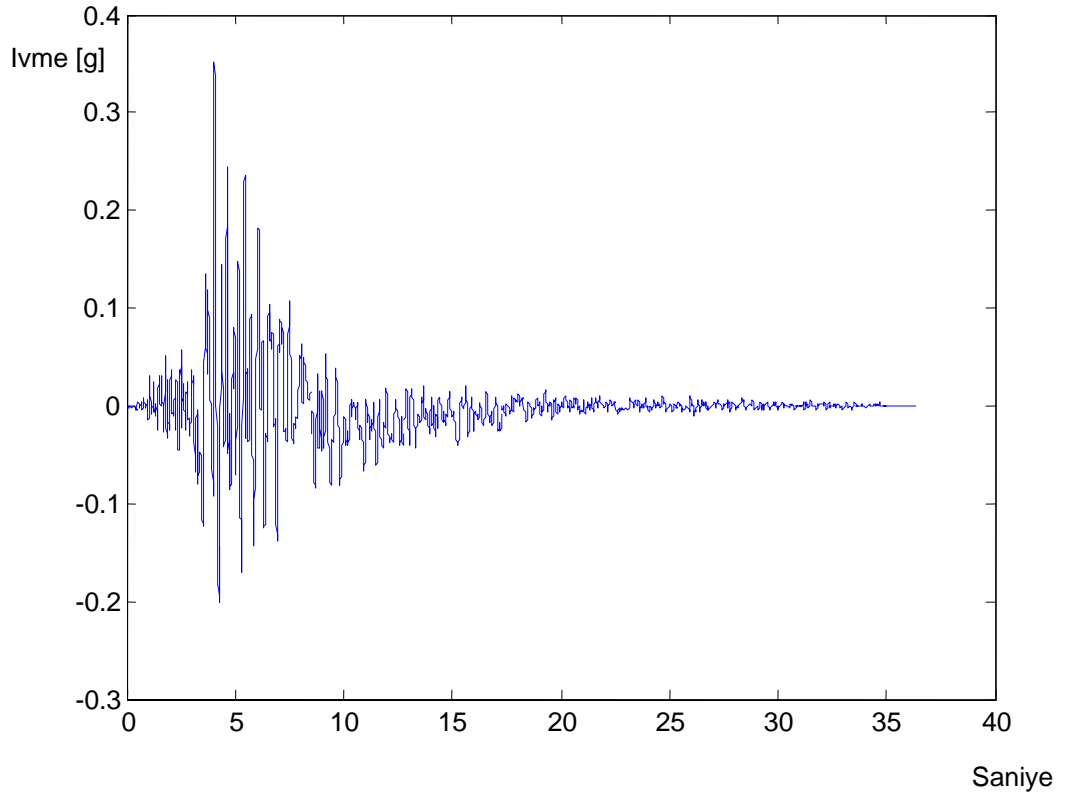
Şekil 3.22: Kobe Depremi ait Doğu-Batı Doğrultusu ivme spektrumu



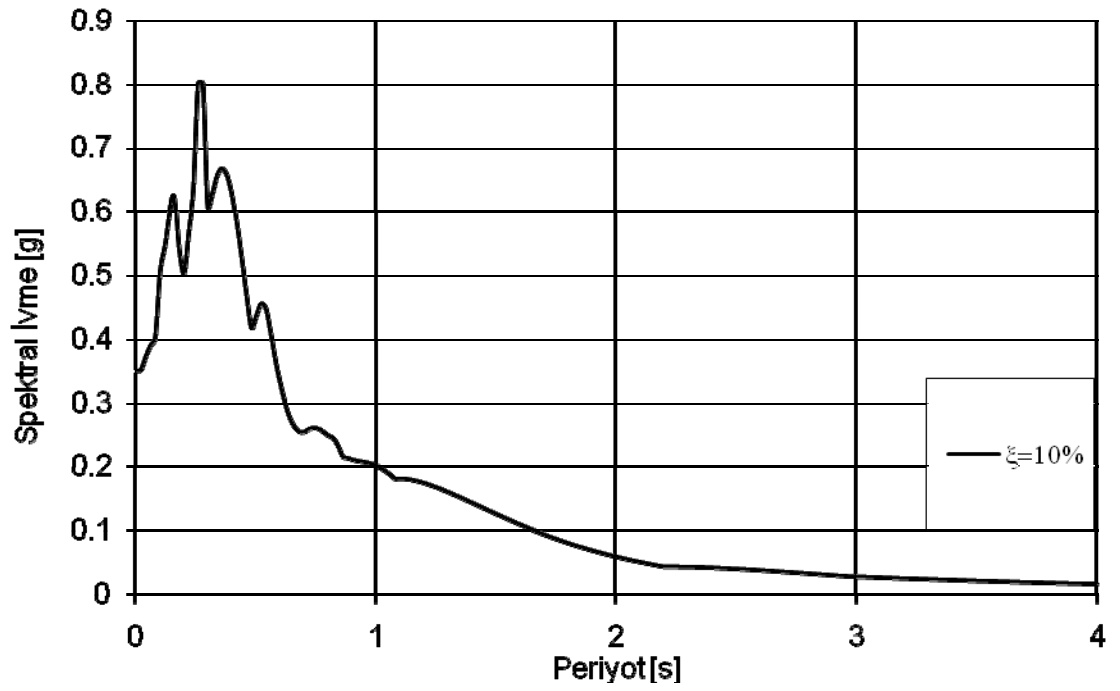
Şekil 3.23. Kobe Depremi Kuzey Güney Doğrultusu İvme –zaman grafiği



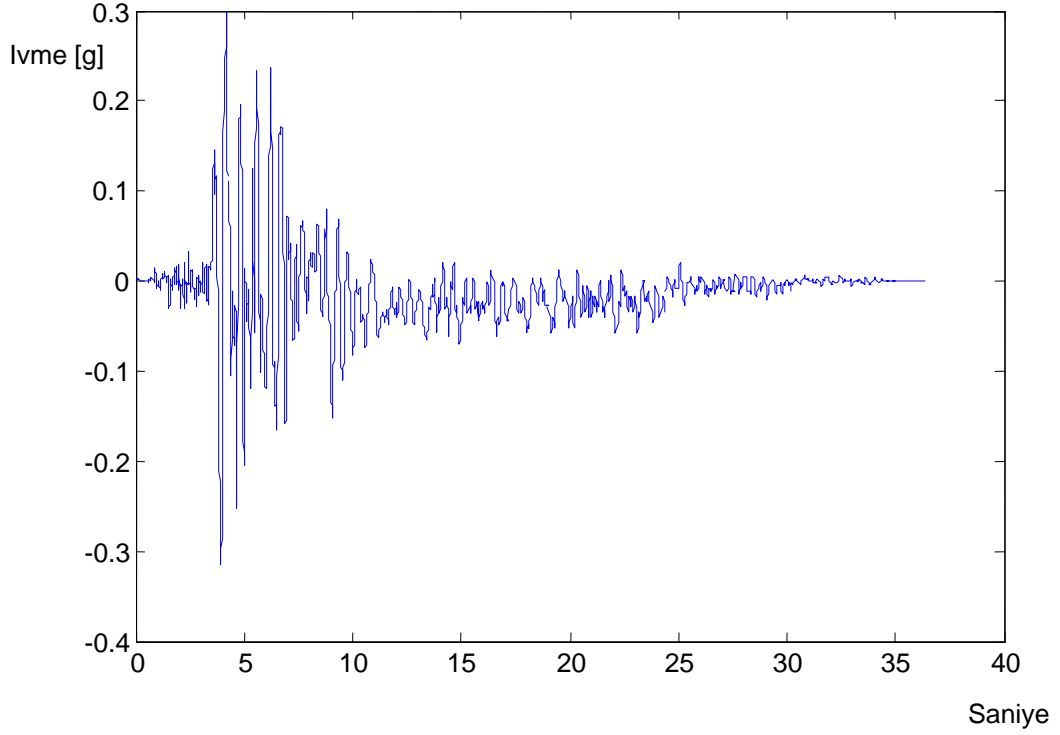
Şekil 3.24: Kobe Depremi ait Kuzey-Güney Doğrultusu ivme spektrumu



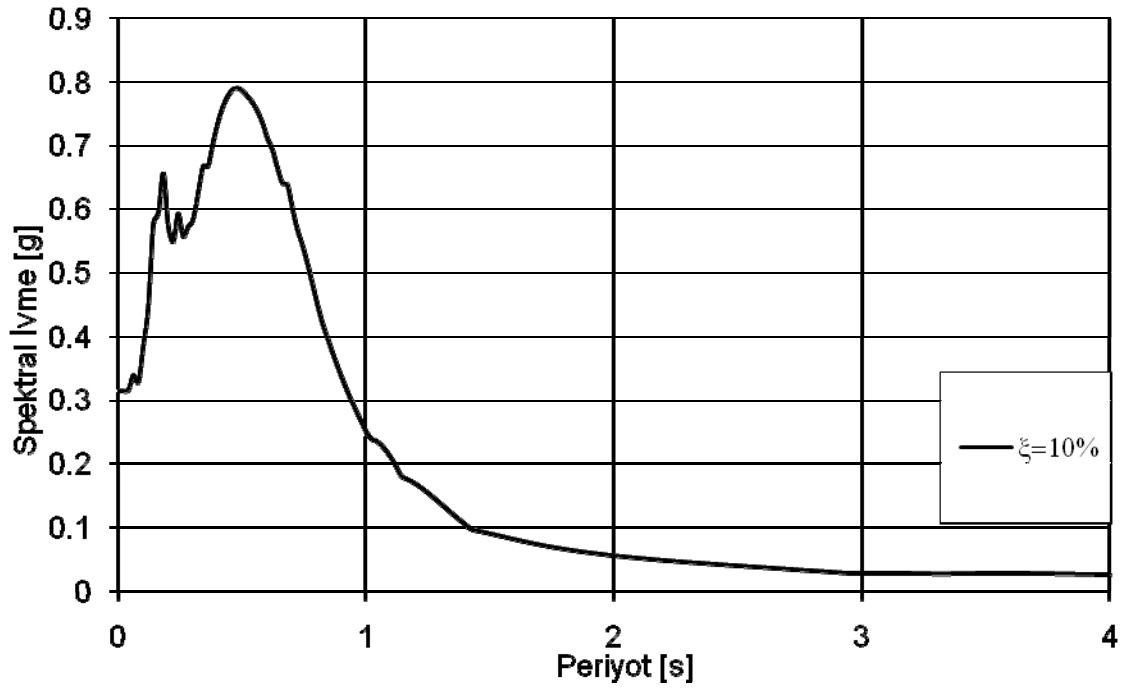
Şekil 3.25: Fruli Depremi Doğu Batı Doğrultusu İvme –zaman grafiği



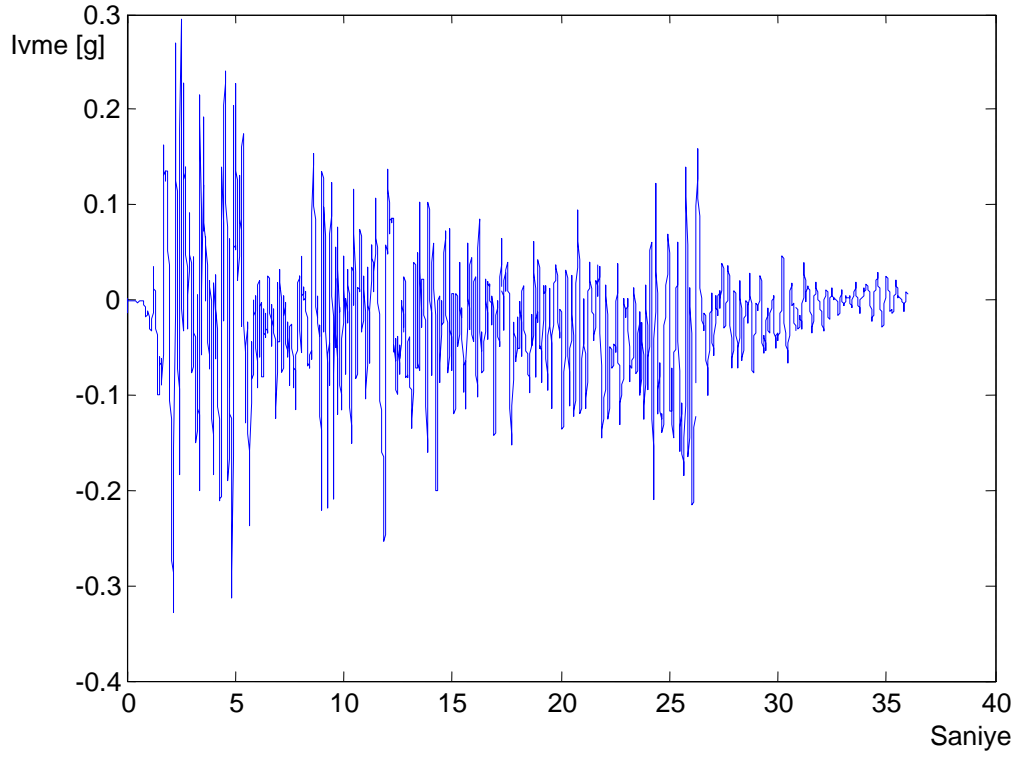
Şekil 3.26: Fruli Depremi ait Doğu-Batı Doğrultusu ivme spektrumu



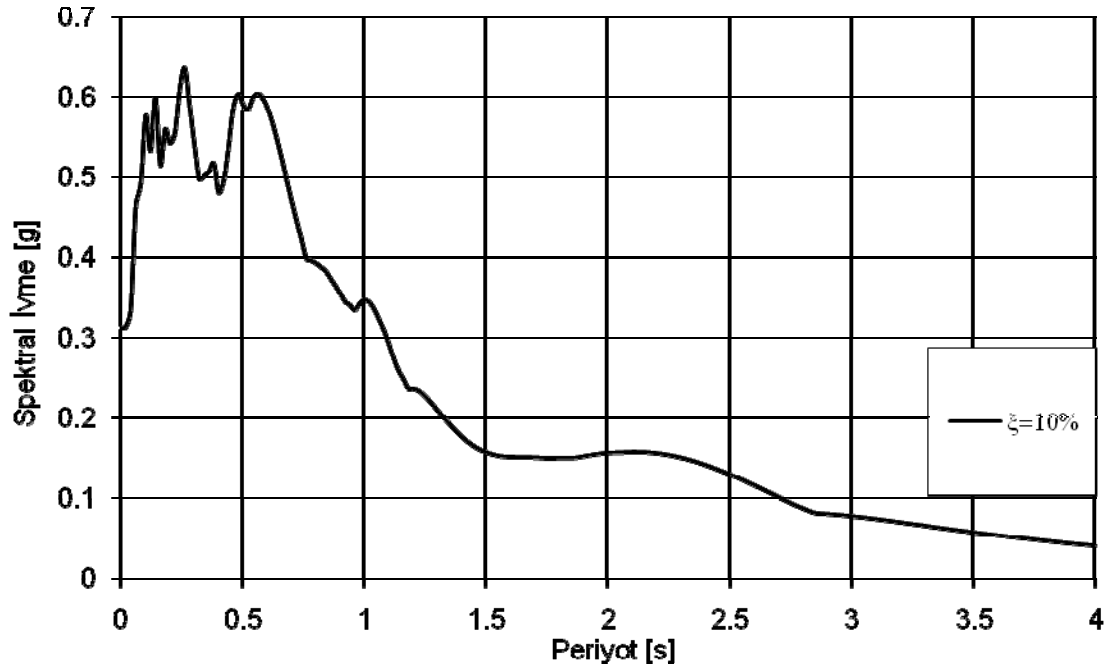
Şekil 3.27: Fruli Depremi Kuzey Güney Doğrultusu İvme –zaman grafiği



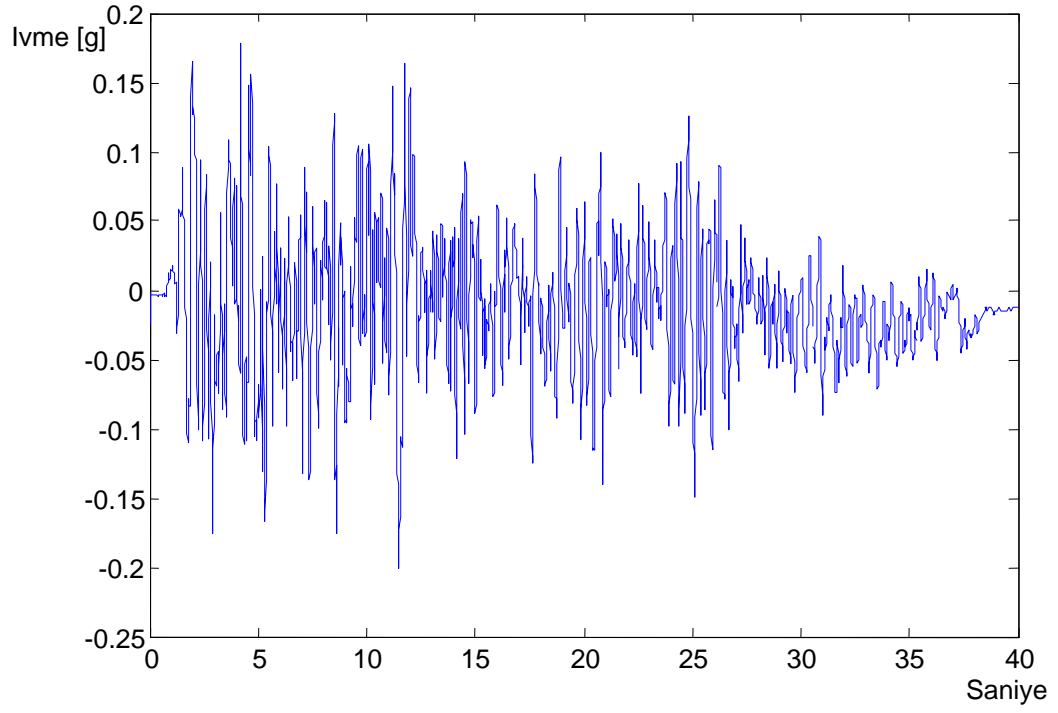
Şekil 3.28: Fruli Depremi ait Kuzey-Güney Doğrultusu ivme spektrumu



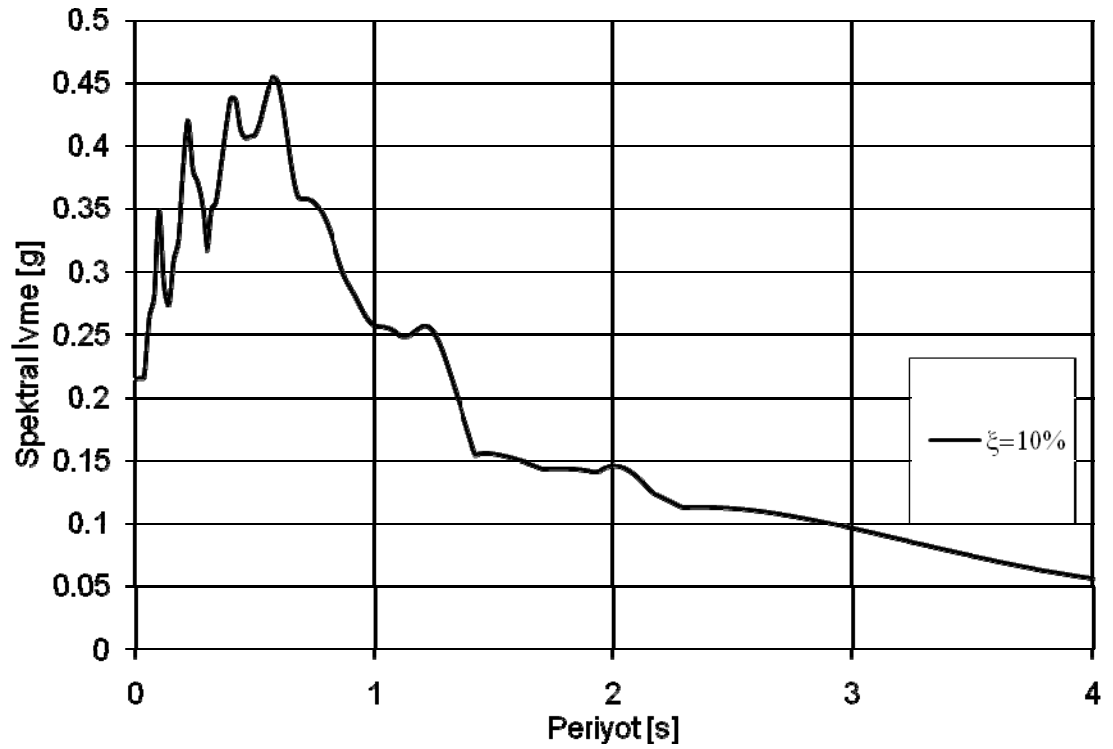
Şekil 3.29: El Centro Depremi Doğu Batı Doğrultusu İvme –zaman grafiği



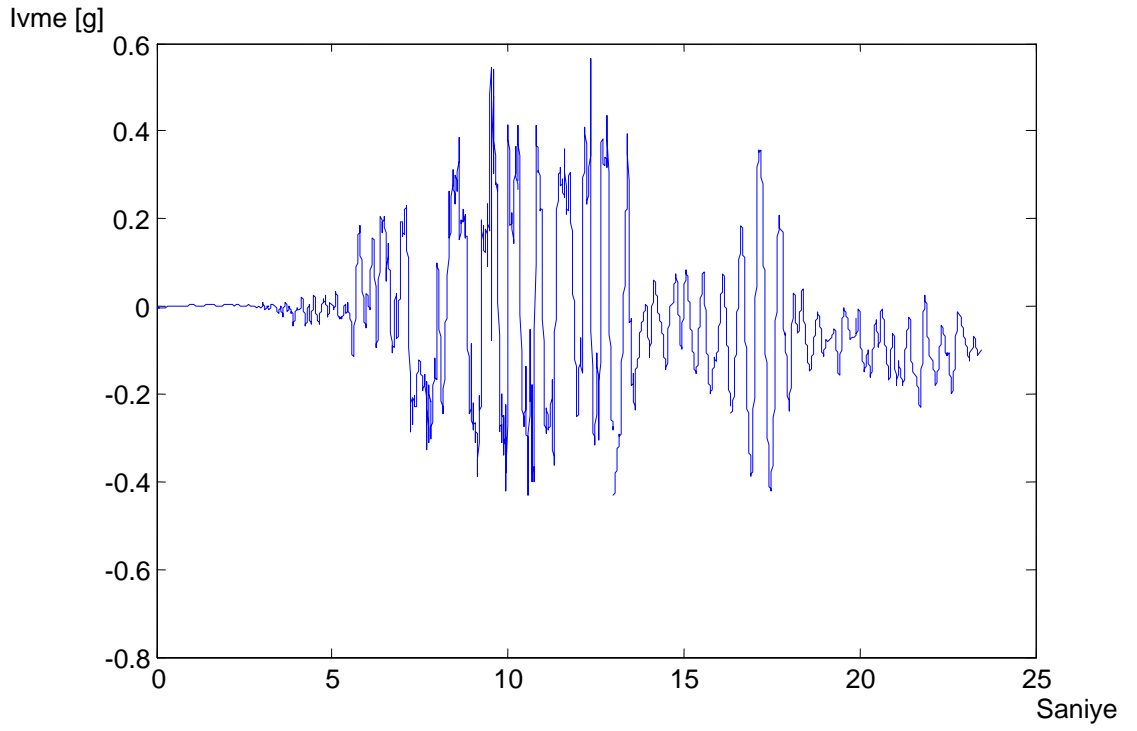
Şekil 3.30: Fruli Depremi ait Doğu-Batı Doğrultusu ivme spektrumu



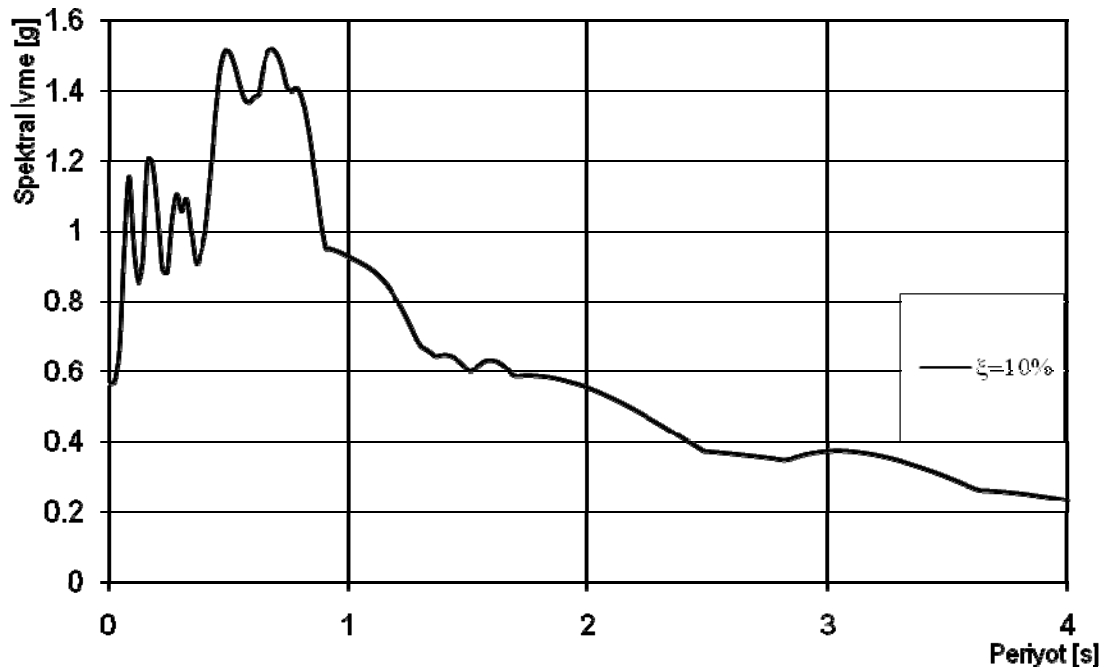
Şekil 3.31: El Centro Depremi Kuzey Güney Doğrultusu İvme –zaman grafi



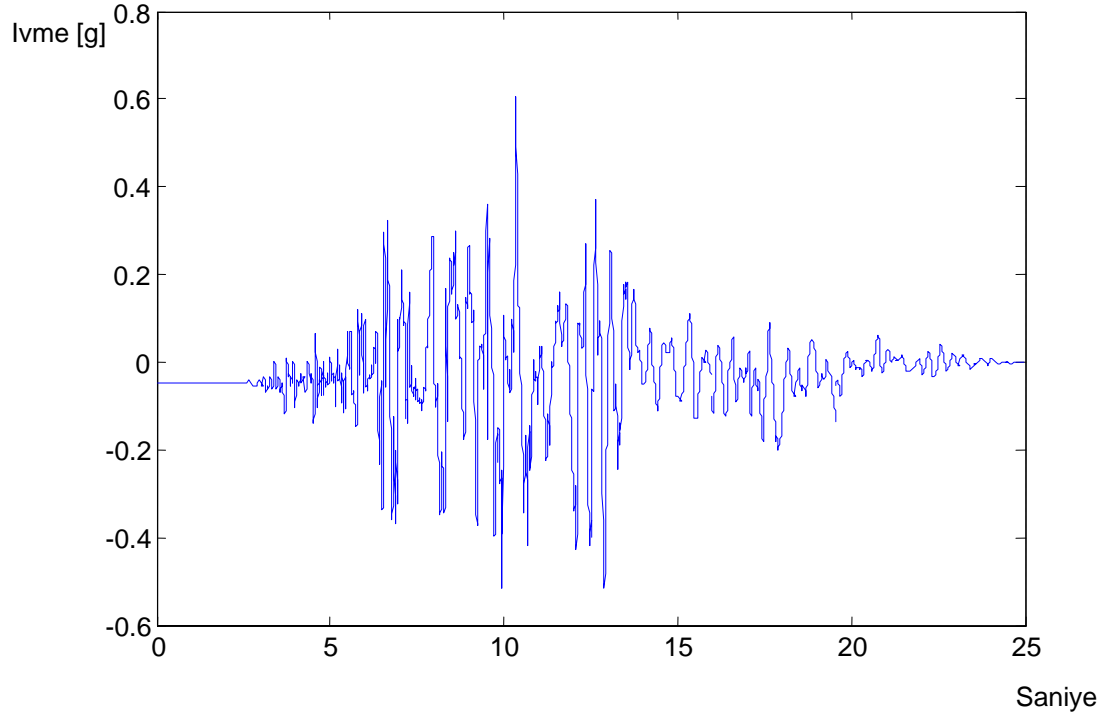
Şekil 3.32: El Centro Depremi Kuzey Güney Doğrultusu İvme –zaman grafi



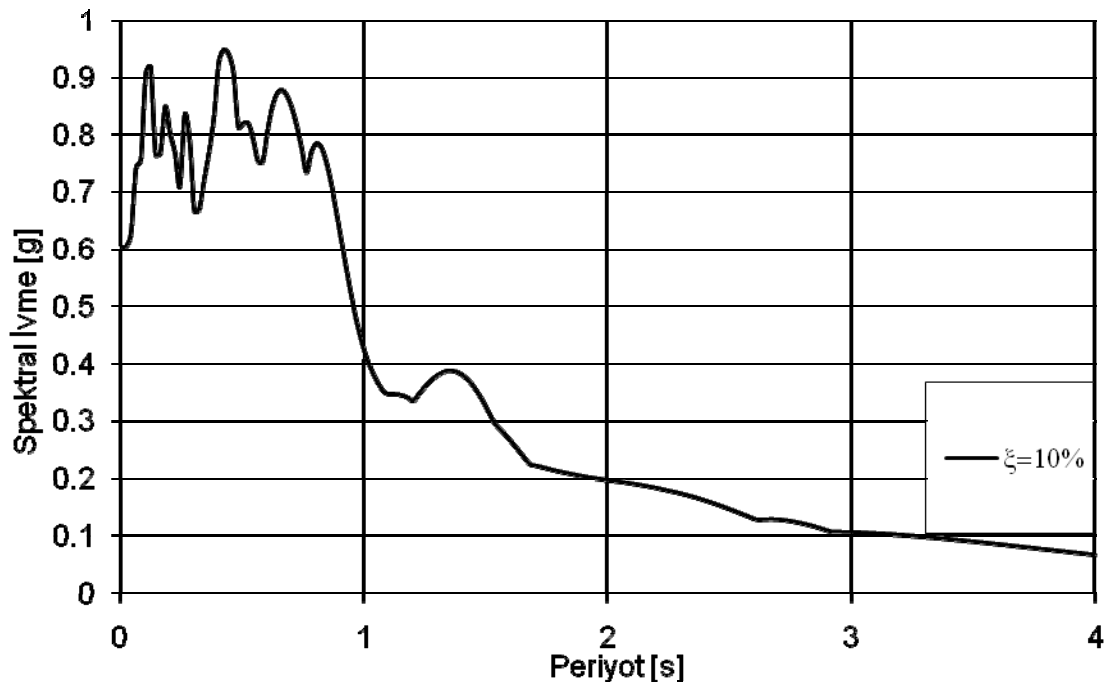
Şekil 3.33: Loma Prieta Depremi Doğu Batı Doğrultusu İvme –zaman grafiği



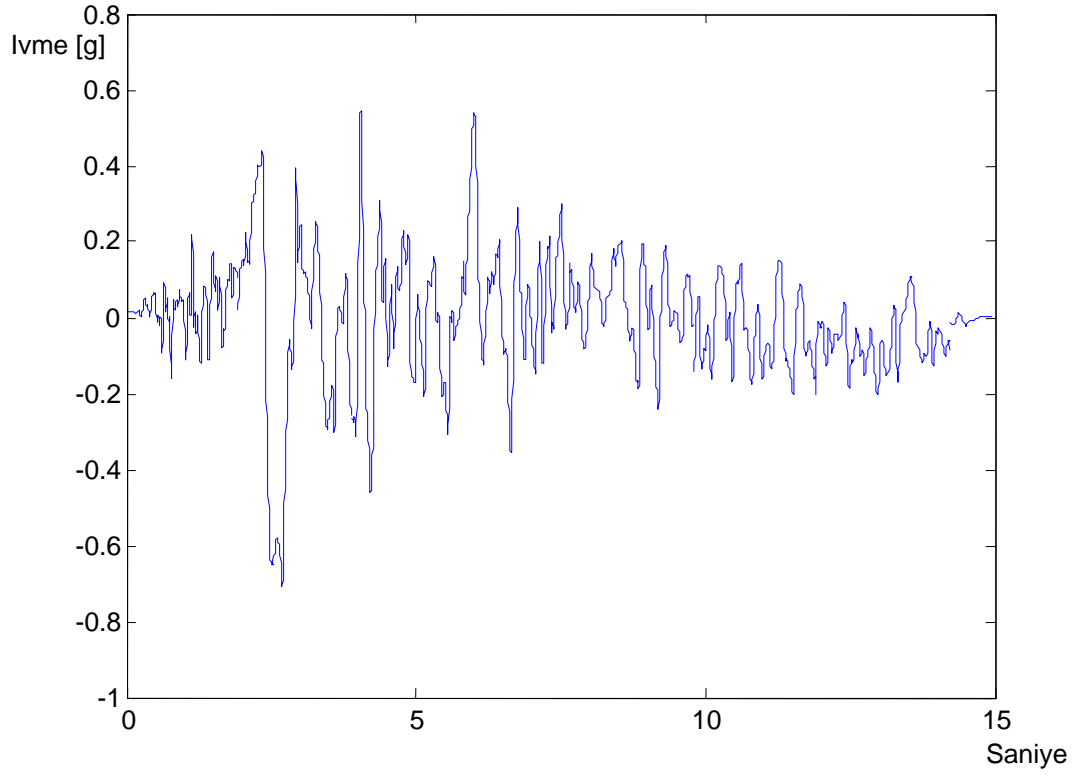
Şekil 3.34: Loma Prieta Depremi ait Doğu-Batı Doğrultusu ivme spektrumu



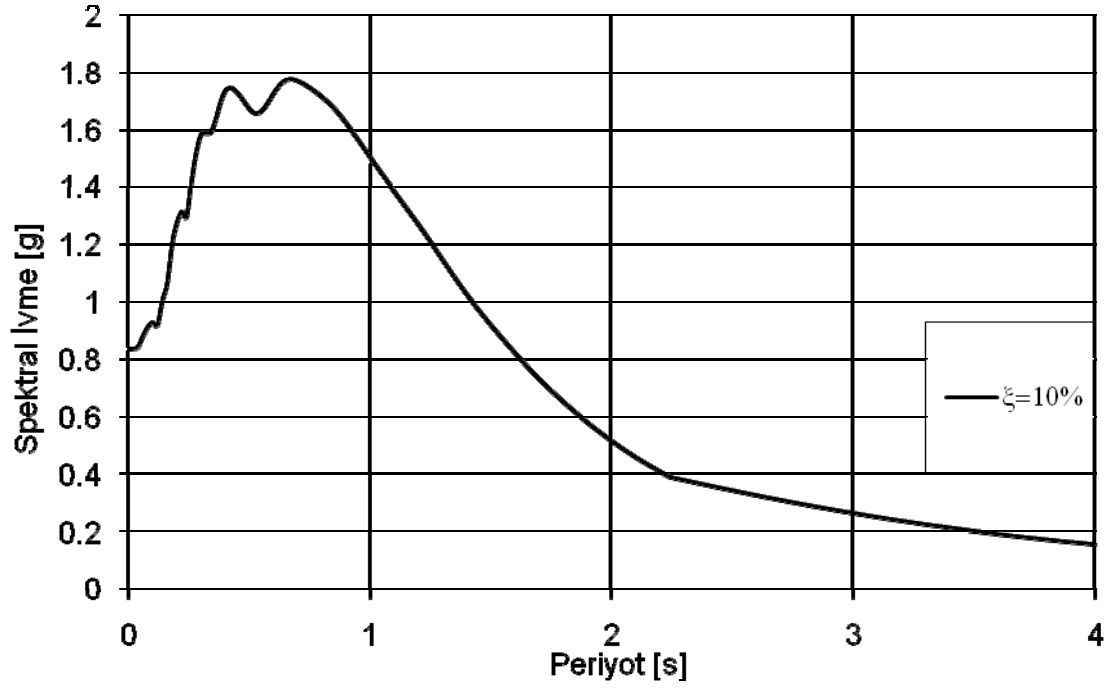
Şekil 3.35: Loma Prieta Depremi Kuzey Güney Doğrultusu İvme –zaman grafiği



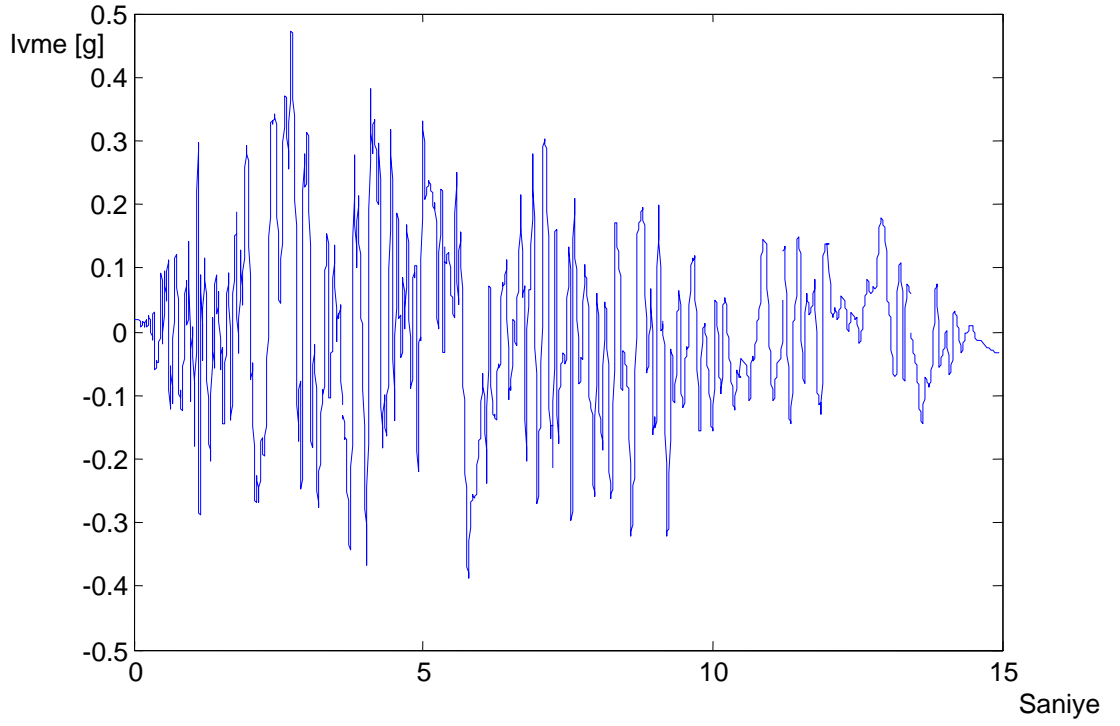
Şekil 3.36: Loma Prieta Depremi ait Kuzey-Güney Doğrultusu ivme spektrumu



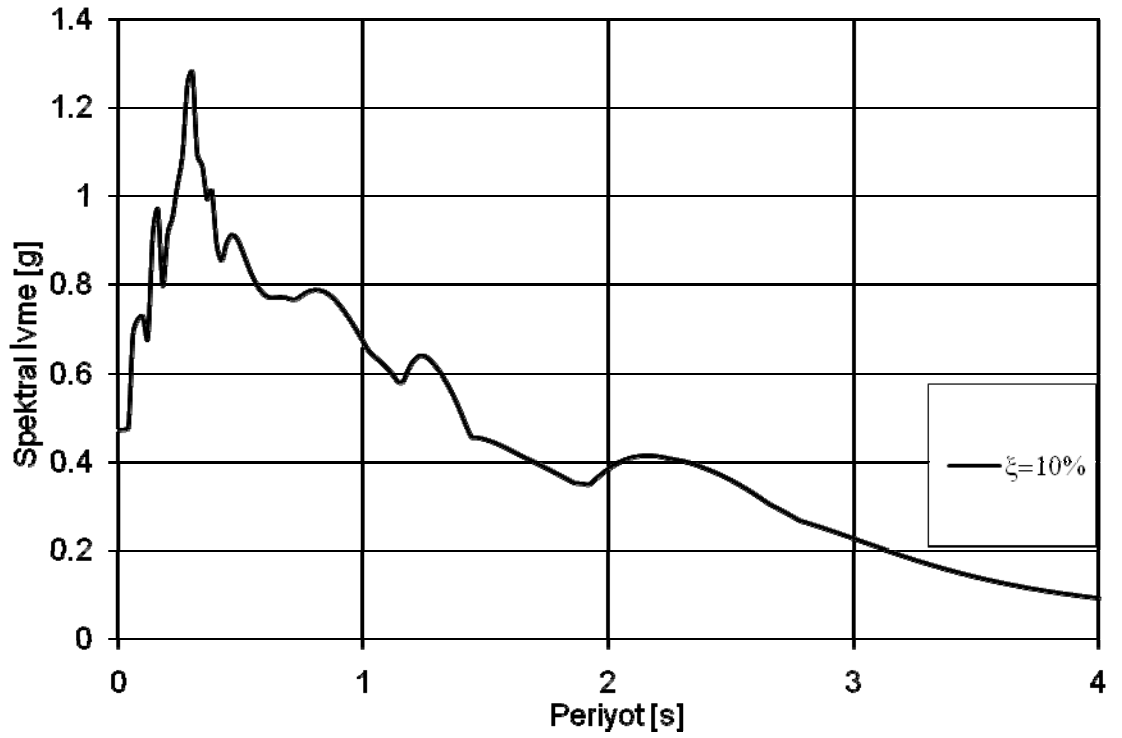
Şekil 3.37: Rimini Depremi Doğu Batı Doğrultusu İvme –zaman grafiği



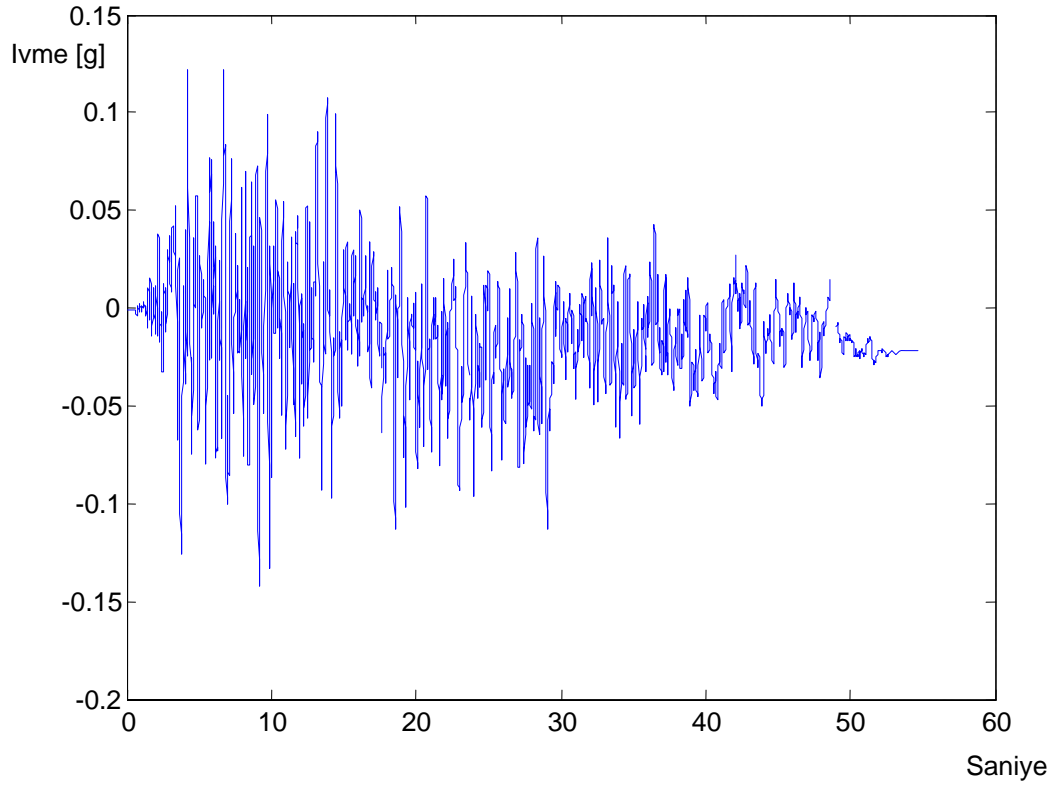
Şekil 3.38: Rimini Depremi ait Doğu-Batı Doğrultusu ivme spektrumu



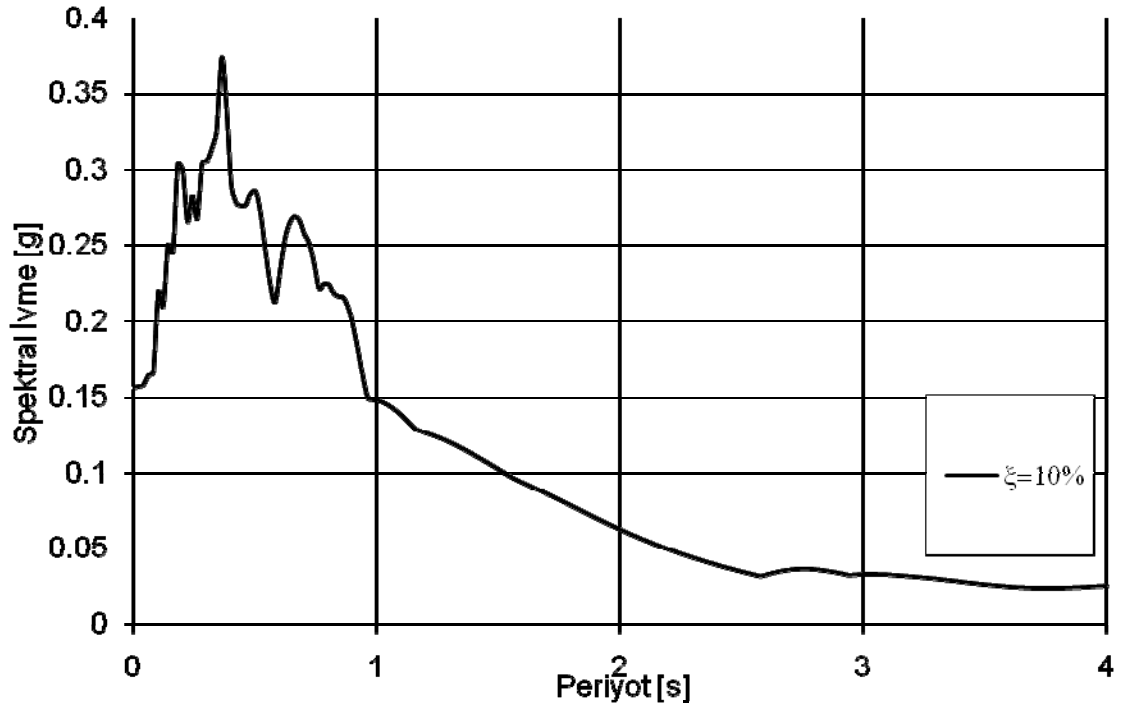
Şekil 3.39: Rimini Depremi Kuzey Güney Doğrultusu İvme –zaman grafiği



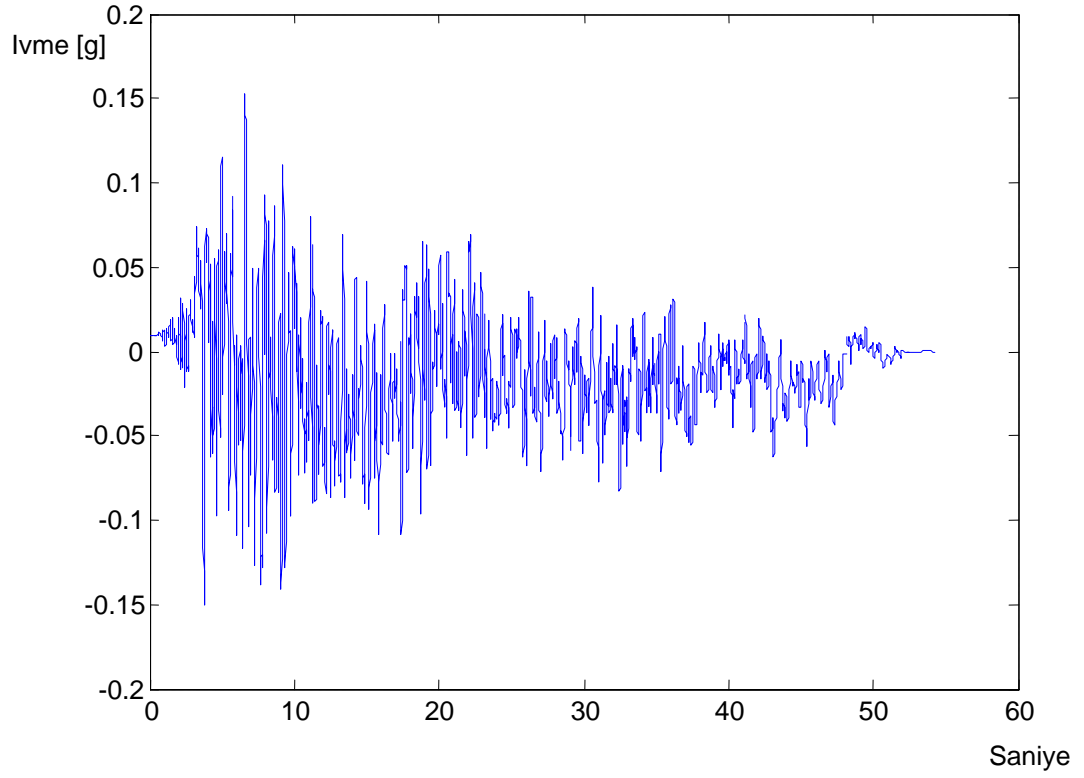
Şekil 3.40: Rimini Depremi ait Kuzey-Güney Doğrultusu ivme spektrumu



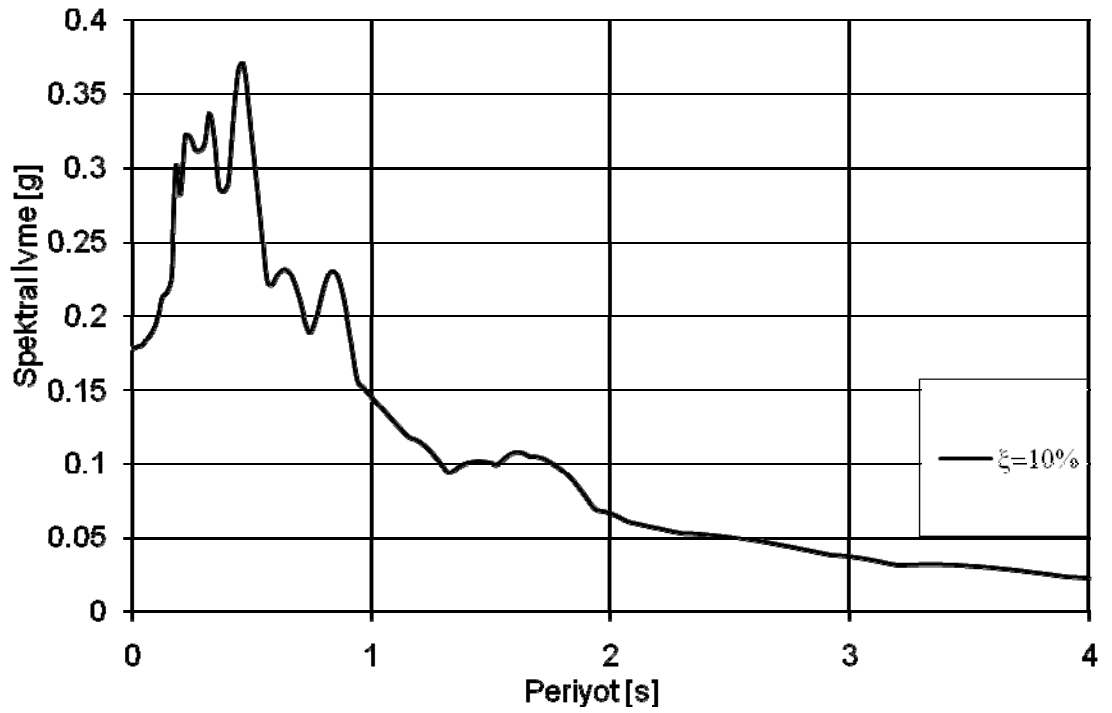
Şekil 3.41: Taft Depremi Doğu Batı Doğrultusu İvme –zaman grafiği



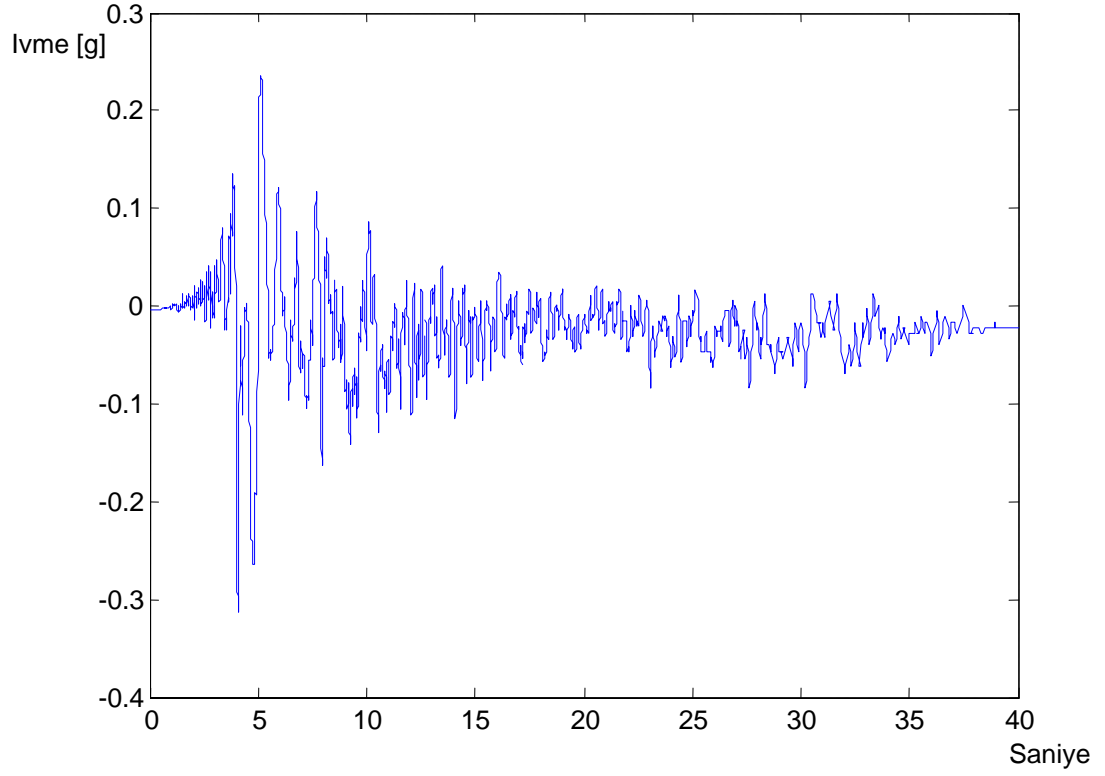
Şekil 3.42: Taft Depremi ait Doğu-Batı Doğrultusu ivme spektrum



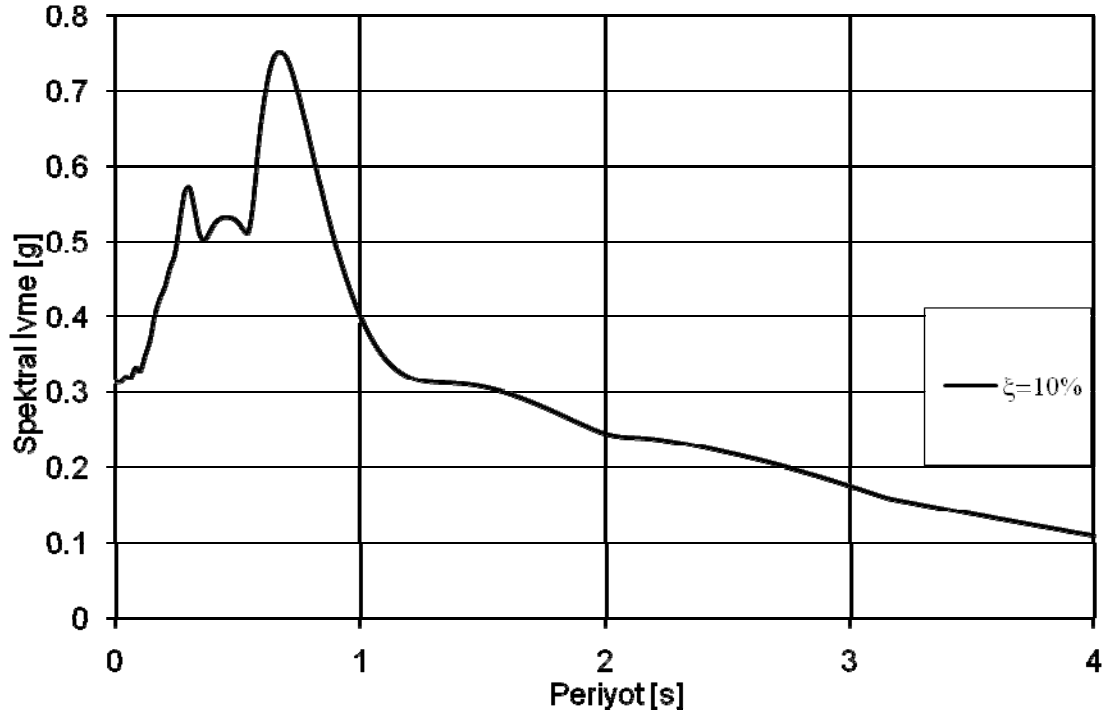
Şekil 3.43: Taft Depremi Kuzey Güney Doğrultusu İvme –zaman grafiği



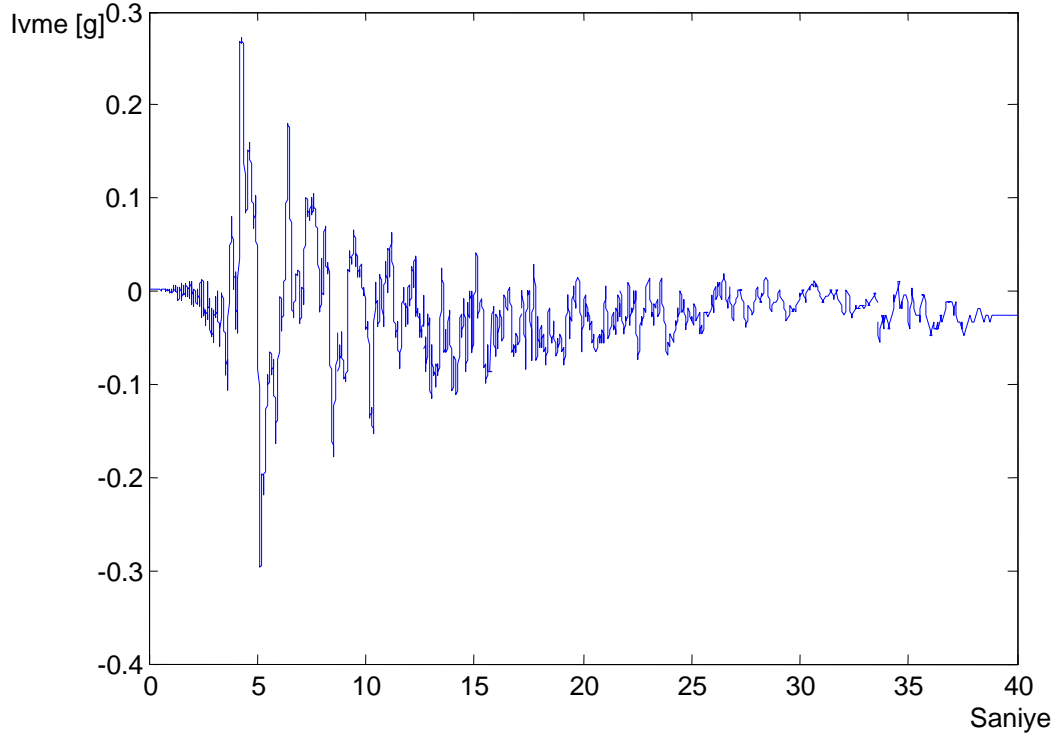
Şekil 3.44: Taft Depremi ait Kuzey-Güney Doğrultusu ivme spektrumu



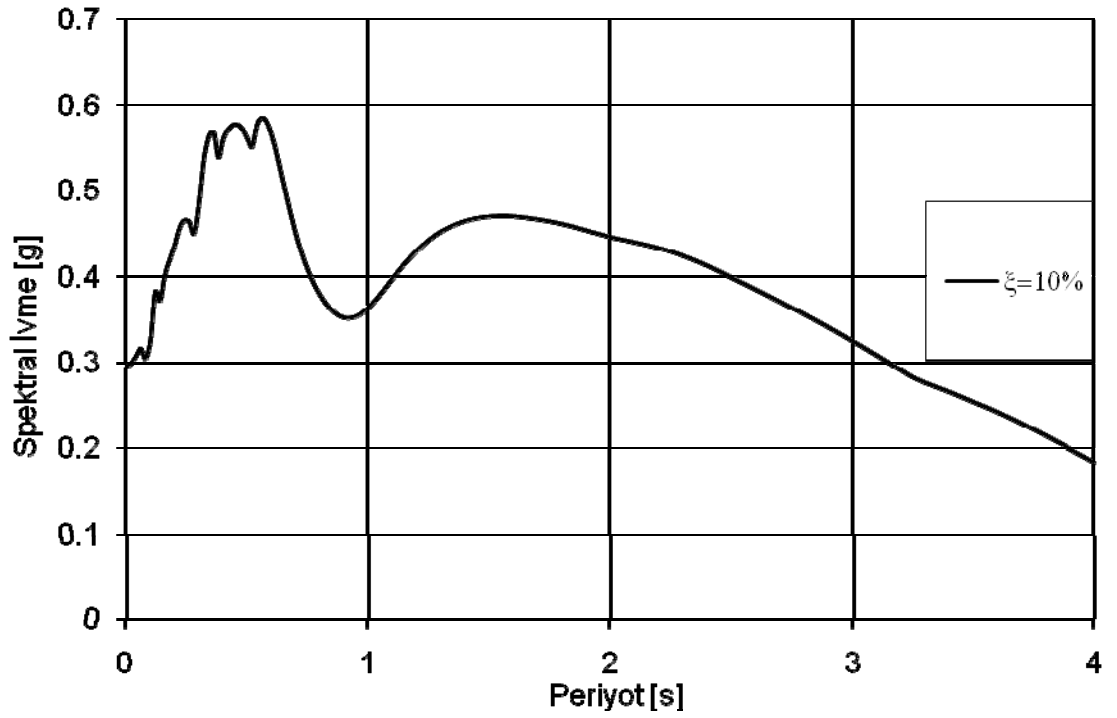
Şekil 3.45: Melo Depremi Doğu Batı Doğrultusu İvme –zaman grafiği



Şekil 3.46: Melo Depremi ait Doğu-Batı Doğrultusu ivme spektrum



Şekil 3.47: Melo Depremi Kuzey Güney Doğrultusu İvme –zaman grafiği

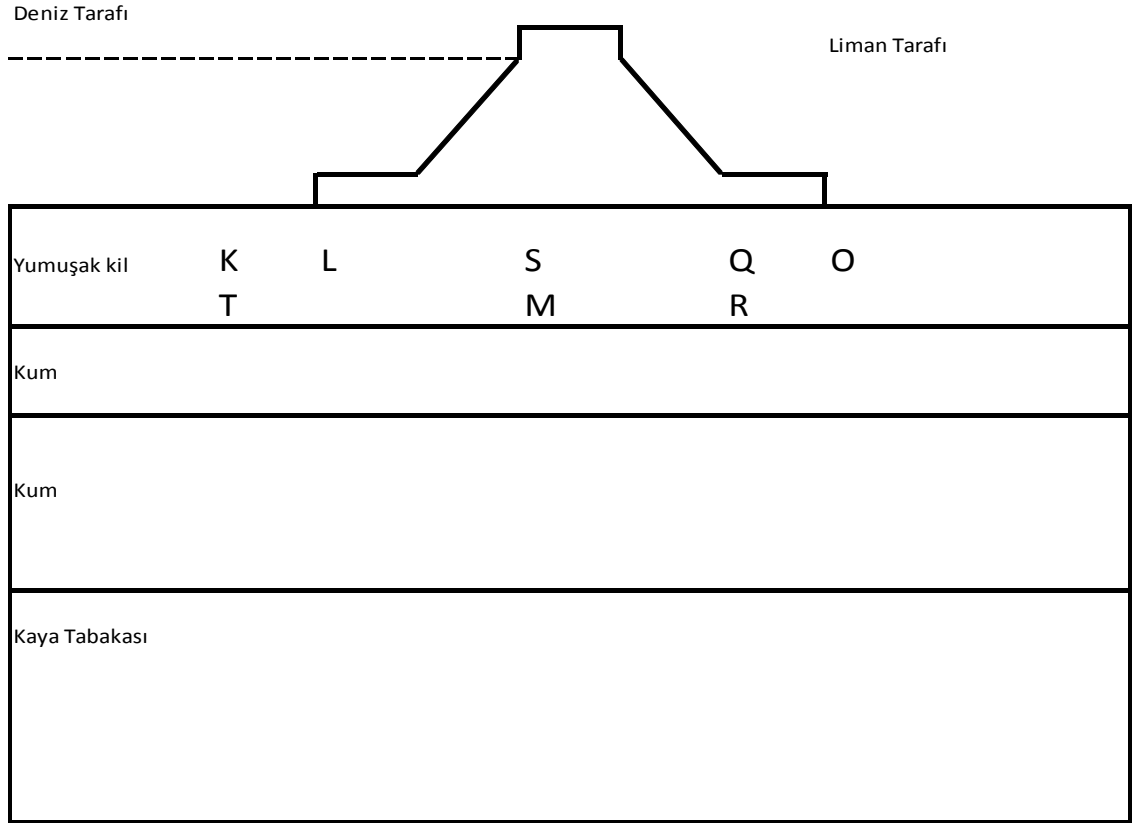


Şekil 3.48: Melo Depremi ait Kuzey-Güney Doğrultusu ivme spektrum

3.4 LOKAL GÖÇME OLASILIĞI ANALİZLERİ

Bu tez çalışmasında, literatürdeki hasar olasılık ve kırılmalık analizlerinden farklı bir metot kullanılmıştır. Bu tezde uygulanan yaklaşımda Kritik Durum Zemin Mekaniği Teorisinin gerilme izleri ve bunların göçmeye göre durumlarını tanımlayan ortamından yararlanılmıştır. Bunun için plaxis analizlerinden yapının altında temel zemininden seçilen noktalarda ki gerilme izleri çizilerek inşaat ve sonrasındaki davranış takip edilmiştir. Aynı şekilde deprem sırasındaki gerilme izleri de çizilmiştir. Deprem anında seçilen her noktada ki q-p' grafikleri çıkartılır. Bulunan gerilme izlerinin kritik durum çizgisine ulaşması veya geçmesi durumunda göçme meydana gelir.

Deprem esnasında zemine gelen kuvvetler düzensiz ve değişkendir. Bu durumda gerilme izleri de aynı değişkenliği gösterir. Kullanılan deprem kayıtlarına göre elde edilen gerilme izleri ve göçme durumları da farklıdır. Dinamik kuvvetlerin bu düzensizliğinden ötürü her ivme değeri için q-p' grafiğindeki çeşitli bölgelerde noktalar elde edilir. Bu noktaların- eğer zeminde deprem anında plastik noktalar oluşmaya başlıyor ve ilave boşluk suyu basınçları yükseliyor ise- bir kısmı kritik durum çizgisini geçer veya üzerinde kalır. Bu çalışmada göçme durumunun karşılaşıldığı gerilme durumlarının bütün gerilme durumları içindeki yüzde değeri elde edilerek olasılık değerleri hesaplanmıştır. Tek bir deprem kaydı için ve normal yer ivme değerlerine karşılık gelen gerilme izi değerlerinden gerçekçi olasılık değerleri elde edilemez. Bunun için göçme olasılığı veya aşılma olasılığı değeri için birden fazla deprem ve deprem kaydı kullanmak gerekir. Böylelikle göçme olasılığı değerini pik ivme değerine bağlı bir fonksiyon olarak elde edebiliriz. Bu tez çalışması çerçevesinde de 10 adet tarihi deprem ve her depreme ait üçer kayıt kullanılarak gerilme izleri elde edilmiş ve pik ivme değerlerine bağlı olarak, yumuşak kil zemin içerisinde seçilen her nokta için ayrı bir hasar olasılık eğrisi çizilmiştir. Temel zemini içinde farklı davranış bölgelerinden seçilen noktalar şekil 3.29'da görülmektedir.



Şekil 3.49 Zemin içerisinden seçilen noktalar

Şekil 3.29 de görüldüğü gibi dalgakıranın topuk bölgesi dışında temel zeminindeki davranışı takip etmek üzere iki farklı derinlikte K ve T noktaları, topuk altı davranışı takip etmek üzere O ve L noktaları seçilmiştir. Bilindiği gibi deprem etkisi asimetriktir ve bu bakımdan tek tarafta seçilen noktalar davranışı yansıtmak bakımından yeterli değildir. Dalgakıranın altında kayma bölgelerindeki davranış için Q, R noktaları ve merkez bölgedeki davranış içinde S ve M noktaları seçilmiştir. Seçilen tüm noktalarda inşaat ve sonrasındaki davranış, gerilme izleri ile takip edilmiştir.

4. BULGULAR

Tez çalışmasının bu bölümünde yumuşak zemin üzerine inşa edilen dalgakıran için temel zemininde göçmeye sebep olmayacak bir tasarım ve inşaat programının yapılması ve bu programla inşa edilen dalgakıranın deprem etkisi altında kalması durumunda temel zeminindeki göçme olasılık durumu araştırılmıştır. Bu bağlamda Plaxis V.8 sonlu elemanlar programı kullanılmıştır. 10 tarihi deprem verisinin ayrı ayrı sonlu elemanlar programında analiz edilmeleri sonucu dalgakıranın altındaki yumuşak zemin için elde edilen göçme olasılık eğrileri ve gerilme izleri gösterilmiştir.

4.1 DALGAKIRAN TASARIMI SONUCUNDA ELDE EDİLEN YÜKLEME PROGRAMI

Yumuşak zeminler çok sıkışabilir ve düşük kayma mukavemetine sahip zeminlerdir. Analizini yaptığımız dalgakıranın altında bulunan yumuşak kil tabakası da bu özelliklere sahip bir zemindir. Yumuşak zeminin dolgu yükü ile yüklenmesi sonucunda ilk aşamada zeminin kayma mukavemetine bağlı olarak bir miktar akma meydana gelecektir. Bu durumda dolgu altındaki zeminde bir yanal hareket oluşarak, zeminin dolgu altından kaçmaya çalışacağı bilinmektedir. Bu durumu göz önüne alarak, ilk 1.2 m yüksekliğe kadar zemin hareketine ve plastikleşmeye müsaade edilmiş ve çok kısa konsolidasyon beklentileri yapılmıştır. Bu aşamadan sonra ise, her yükleme aşamasından sonra zeminin durumu gözlenmiş ve uzun konsolidasyon süreleri verilerek zemin iyileştirmesine gidilmiştir. Taşıma gücü düşük yumuşak zeminler üzerine istenilen yükseklikte dolgu inşa edebilmek için tercih edilen aşamalı yüklemede amaç taşıma gücü ve stabilite bakımından güvenilir yüklemenin gerçekleştirilmesi için her bekleme döneminde zeminin konsolidasyonunun sağlanması olmaktadır. Bu amaçla, zemin taşıma gücünün kaybolmaya başladığı, zemin içindeki plastik noktaların çoğaldığı safhalarda uzun bekleme süreleri belirlenmiştir. Bu çalışmalar sonucunda ulaşılan ve

güvenli inşaatı sağlayabilecek inşaat programı Tablo 4.1’ de özetlenmektedir. Tablo 4.1 ‘in her aşaması için yapılan analizler sonucunda elde edilen ilave boşluk suyu basıncı, düşey deplasman ve yata deplasman değerleri Tablo 4.2’de sunulmaktadır.

Tablo 4.1 Yükleme programı

Aşama No	Süre	Yükleme Türü	Hesap Türü
Başlangıç	0	-	Kademeli Yükleme
1. Aşama	0,1 gün	Plastik	Kademeli Yükleme
2. Aşama	1 gün	Konsolidasyon	Kademeli Yükleme
3. Aşama	0,5 gün	Plastik	Kademeli Yükleme
4. Aşama	1 gün	Konsolidasyon	Kademeli Yükleme
5. Aşama	0,1 gün	Plastik	Kademeli Yükleme
6. Aşama	30 gün	Konsolidasyon	Kademeli Yükleme
7. Aşama	0,1 gün	Plastik	Kademeli Yükleme
8. Aşama	30 gün	Konsolidasyon	Kademeli Yükleme
9. Aşama	0,5 gün	Plastik	Kademeli Yükleme
10. Aşama	1 gün	Konsolidasyon	Kademeli Yükleme
11. Aşama	0,5 gün	Plastik	Kademeli Yükleme
12. Aşama	100 gün	Konsolidasyon	Kademeli Yükleme
13. Aşama	1 gün	Plastik	Kademeli Yükleme
14. Aşama	1 gün	Konsolidasyon	Kademeli Yükleme
15. Aşama	1 gün	Plastik	Kademeli Yükleme
16. Aşama	100 gün	Konsolidasyon	Kademeli Yükleme
17. Aşama	1 gün	Plastik	Kademeli Yükleme
18. Aşama	1 gün	Konsolidasyon	Kademeli Yükleme
19. Aşama	1 gün	Plastik	Kademeli Yükleme
20. Aşama	100 gün	Konsolidasyon	Kademeli Yükleme
21. Aşama	1 gün	Plastik	Kademeli Yükleme
22. Aşama	120 gün	Konsolidasyon	Kademeli Yükleme
23. Aşama	1 gün	Plastik	Kademeli Yükleme

24. Aşama	100 gün	Konsolidasyon	Kademeli Yükleme
25. Aşama	1 gün	Plastik	Kademeli Yükleme
26. Aşama	150 gün	Konsolidasyon	Kademeli Yükleme
27. Aşama	1 gün	Plastik	Kademeli Yükleme
28. Aşama	200 gün	Konsolidasyon	Kademeli Yükleme
29. Aşama	1 gün	Plastik	Kademeli Yükleme

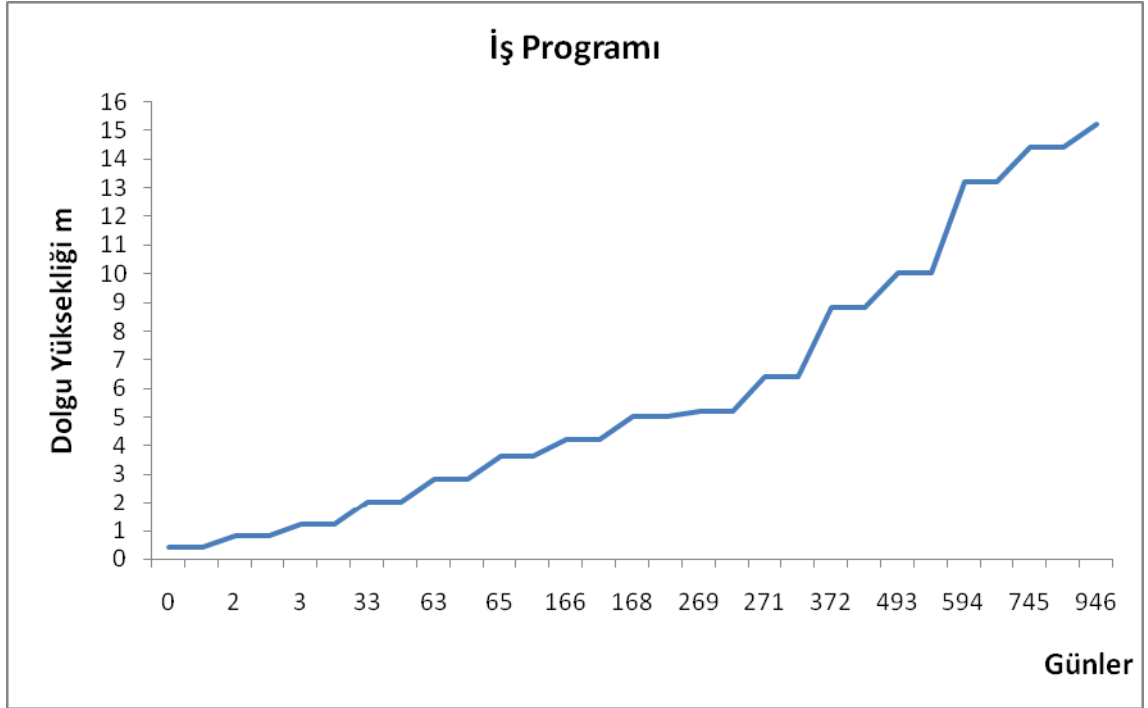
Tablo 4.2 Çok aşamalı yükleme safhaları deplasman ve boşluk suyu basıncı değerleri

Aşama	İlv. Boş. Basn.	Düşey Deplasmanlar	Yatay Deplasmanlar
40 cm temel (0.1 gün)	4.2 KN/m ²	7 mm	12 mm
Konsolidasyon 1 gün	3.97 KN/m ²	2.43 cm	1.22 cm
80 cm temel (0.5 gün)	7.59 KN/m ²	2.68 cm	2.4 cm
Konsolidasyon 1 gün	7.48 KN/m ²	5.63 cm	2.88 cm
1.2 m temel (0.1 gün)	11.88 KN/m ²	6.23 cm	3.83 cm
Konsolidasyon 30 gün	5.73 KN/m ²	33 cm	6.40 cm
2 m temel (0.1 gün)	13.51 KN/m ²	34.42cm	7.67 cm
Konsolidasyon 30 gün	7.57 KN/m ²	64.7 cm	12.6 cm
2.8 m çekirdek-0.5 gün	13.67 KN/m ²	65.38 cm	13.35 cm
Konsolidasyon 1 gün	12.87 KN/m ²	67.40 cm	13.9 cm

3.6 m çekirdek (0.5 gün)	40.39 KN/m ²	68.78 cm	14.8 cm
Konsolidasyon 100 gün	1.9 KN/m ²	1.23 cm	28.4 cm
4.2 m çekirdek (1 gün)	42.89 KN/m ²	1.23 cm	28.5 cm
Konsolidasyon 1 gün	6.59 KN/m ²	1.24 cm	28.5 cm
5 m 1 gün	33.57 KN/m ²	1.24 cm	28.5 cm
Konsolidasyon 100 gün	1.15 KN/m ²	1.53 cm	33.76 cm
5.2 m 1 gün	53.34 KN/m ²	1.54 cm	33.76 cm
Konsolidasyon 1 gün	6.93 KN/m ²	1.55 cm	34.5 cm
6.4 m 1 gün	41.94 KN/m ²	1.55 cm	35.3 cm
Konsolidasyon 100 gün	0.88 KN/m ²	1.83 cm	43.3 cm
8.8 m 1 gün	41.62 KN/m ²	1.83 cm	43.3 cm
Konsolidasyon 120 gün	0.53 KN/m ²	1.95 cm	47.5 cm
10 m 1 gün	65.26 KN/m ²	1.96 cm	48 cm
Konsolidasyon 100 gün	0.55 KN/m ²	2.10 cm	52.5 cm
13.2 m 1 gün	94.04 KN/m ²	2.10 cm	53.5 cm
Konsolidasyon 150 gün	0.39 KN/m ²	2.32 cm	62.8 cm

14.4 m 1 gün	41.62 KN/m ²	2.33 cm	63.1 cm
Konsolidasyon 200 gün	0.26 KN/m ²	2.42 cm	67 cm
15.2 m 1 gün	19.22 KN/m ²	2.43 cm	67.3 cm

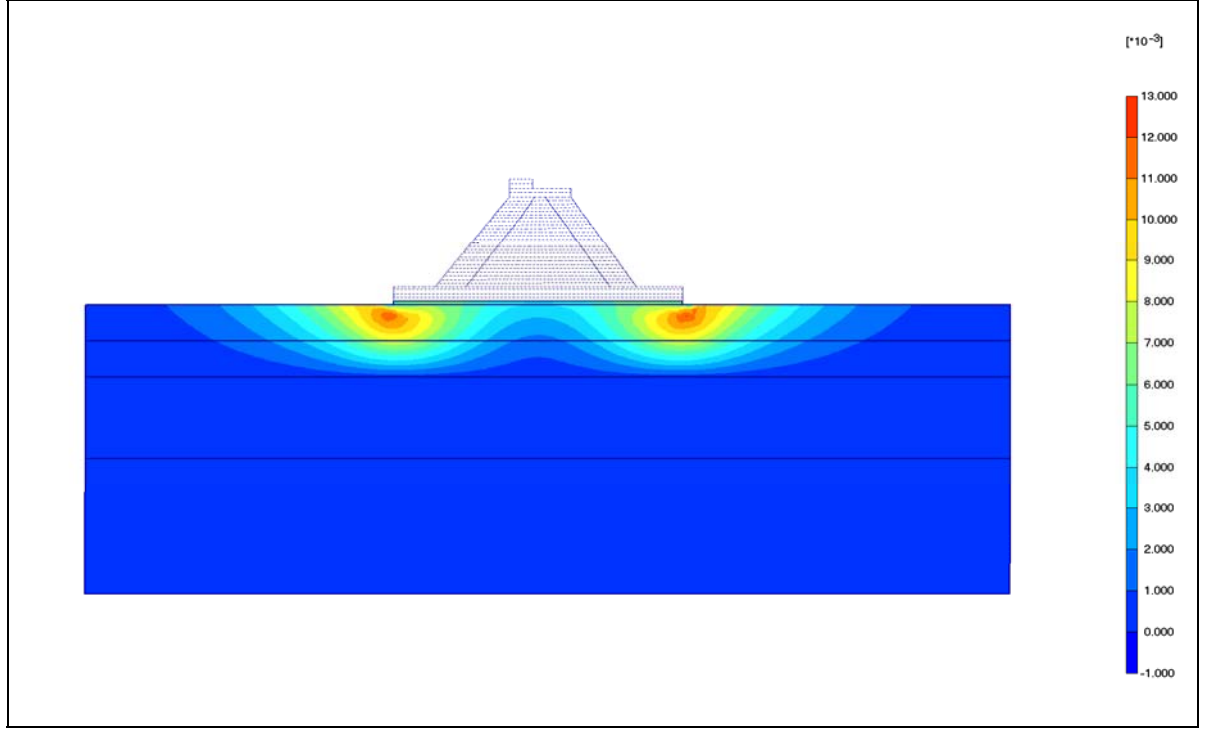
Tablo 4.2 de görüldüğü üzere dalgakıran inşaatı bittiği zaman, toplam 2.43m oturmanın büyük kısmı yumuşak zemin içinde olmuştur. Topuk bölgelerinden ise önemli boyutta yanal hareket yaptığı gözlemlenmiştir. Kret yüksekliği, su üzerinde kalan kısmın 2.5 metre olması öngörülmüş olup, oturma ile kaybedilen yükseklik ilave dolgu ile telafi edilmiştir. Yine tablodan anlaşılacağı üzere yükleme safhalarından sonra ilave boşluk suyu basınçları artmış, konsolidasyon beklendiklerinden sonra ise azalmıştır. Konsolidasyonun süresine göre de minimum değere yaklaşmıştır. Zeminin ani göçme yapabileceği yüklemelerden önce, plastik noktalar azalana kadar zeminin konsolide olması beklenmiştir. İnşaat süresi toplam 945 gündür. Dalgakıran için önerilen iş programı şekil 4.1’de grafiksel olarak gösterilmiştir. Ortaya çıkan iş programı ve inşaat süresi dalgakıran inşaatı için uygulamadaki inşaat süreleri ile benzerlik gösterir. Klasik inşaat metodlarında dalgakıranlar 1-4 yıl arası gibi bir zaman diliminde inşa edilmektedir. Son yıllarda ileri teknoloji ve beraberinde getirdiği yüksek maliyet ile bu süre, ileri kazı teknolojileri ve deniz tabanı zemin iyileştirme yöntemleri kullanılarak kısaltılmıştır.



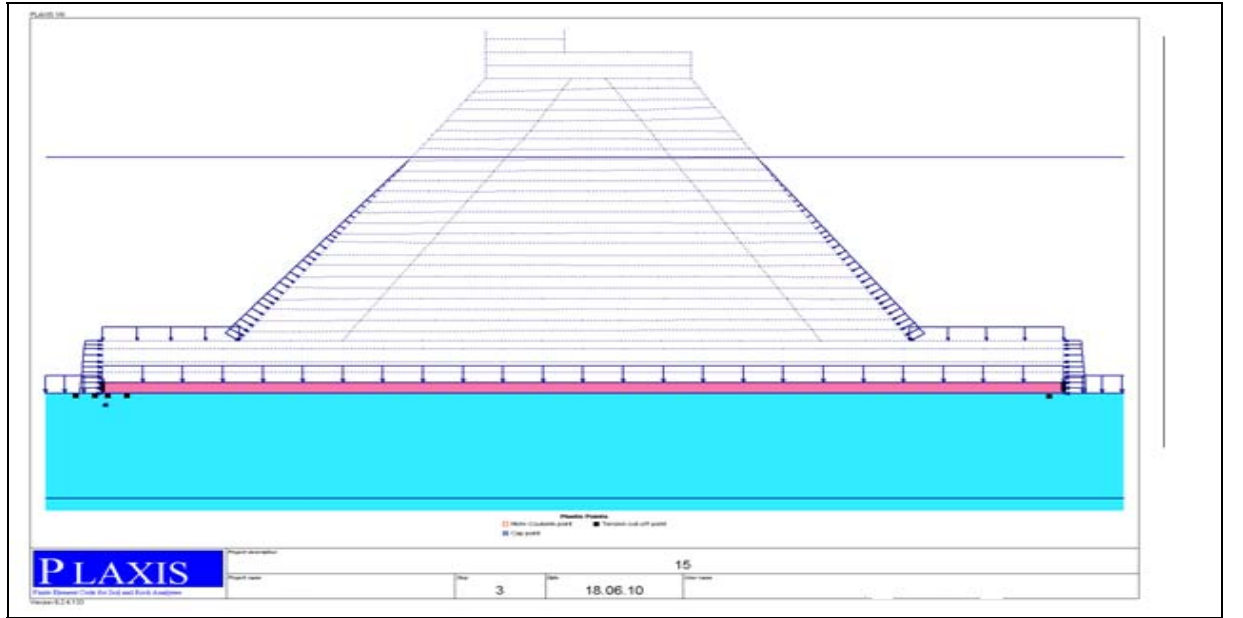
Şekil 4.1 Dalgakıran inşası için iş programı

4.2 YÜKLEME AŞAMASINDA ELDE EDİLEN DEPLASMANLAR VE PLASTİK NOKTALARIN DAĞILIMI

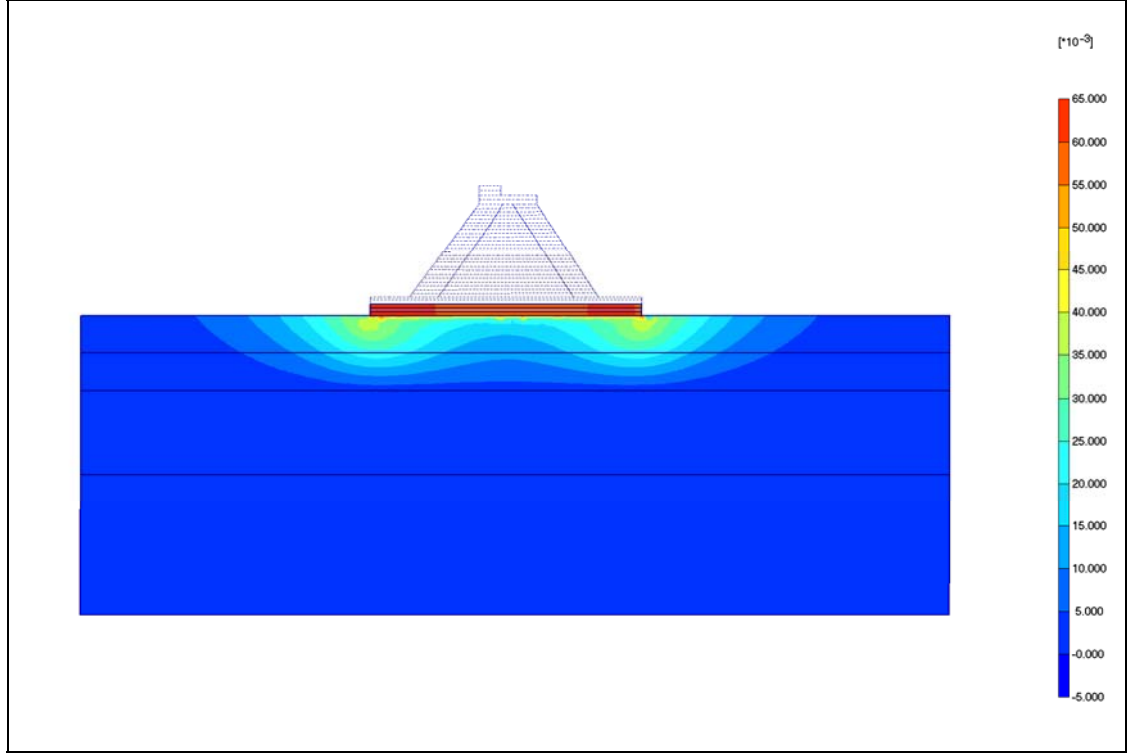
Kademeli yükleme sırasında tablo 4.2 de görüldüğü gibi yatay ve düşey deplasmanlar her yükleme ve bekleme aşamasında gözlemlenmiştir. İlave boşluk suyu basınçlarında oluşan değişimler takip edilmiştir. Aşağıda başlangıç aşamasından son yükleme kademesine kadar, zemin içinde meydana gelen maksimum deplasmanlar ve plastik noktaların değişimleri Şekil 4.2-4.12’de aktarılmış ve dalgakıran inşası sırasında zeminde meydana gelen değişimler adım adım gözlenmiş ve bu gözlemler neticesinde iş programı yönlendirilmiştir. Dinamik analiz aşamasına kadar olan değişimler deplasmanlar ve plastik nokta dağılımları aracılığı ile gösterilmiştir.



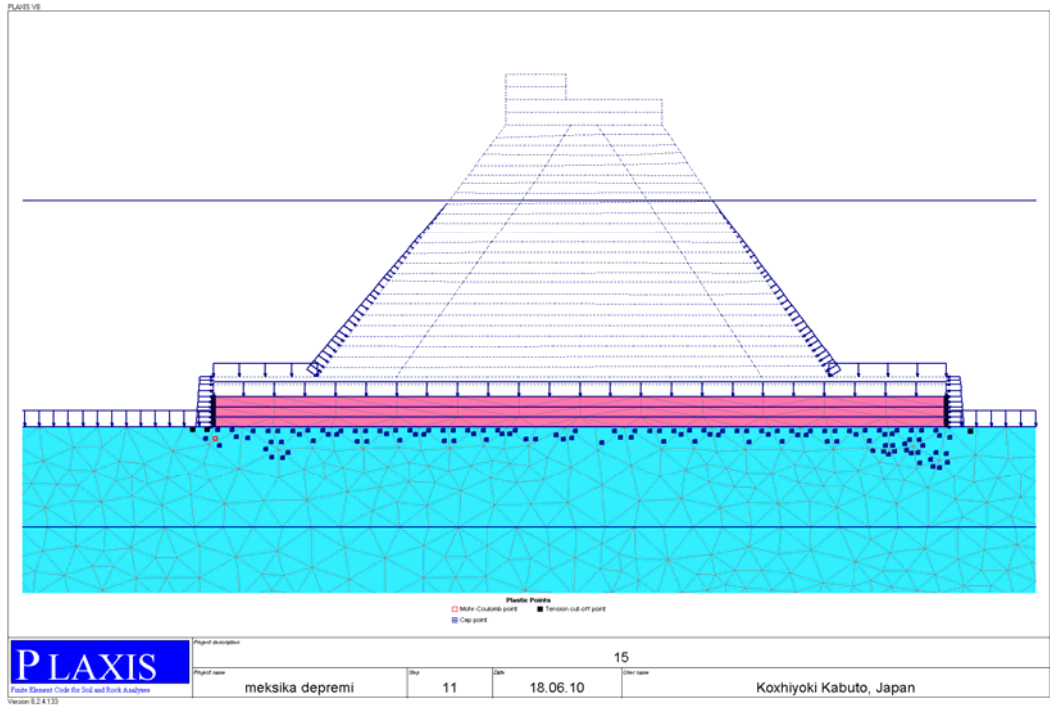
Şekil 4.2 40 cm yüksekliğinde ilk yükleme sonucu oluşan toplam deplasmanlar



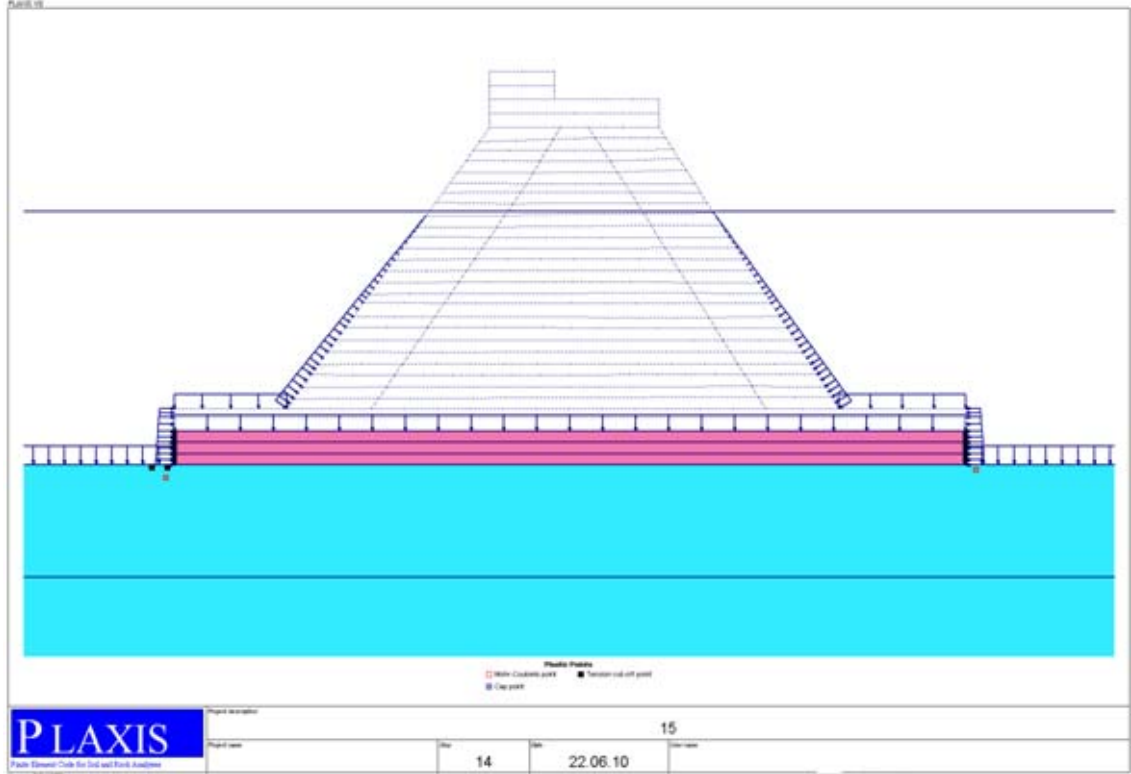
Şekil 4.3 40 cm yüksekliğinde ilk yükleme sonucu oluşan plastik noktalar (cap point)



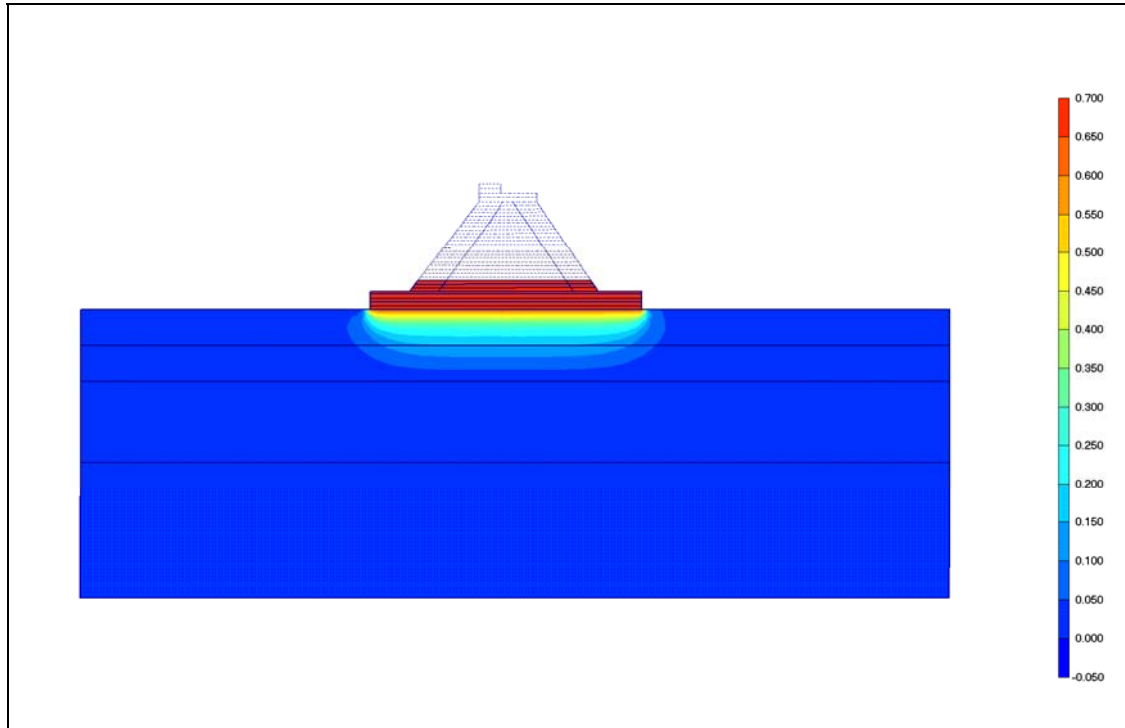
Şekil 4.4. 1.2 m yüksekliğinde oluşan toplam deplasmanlar.



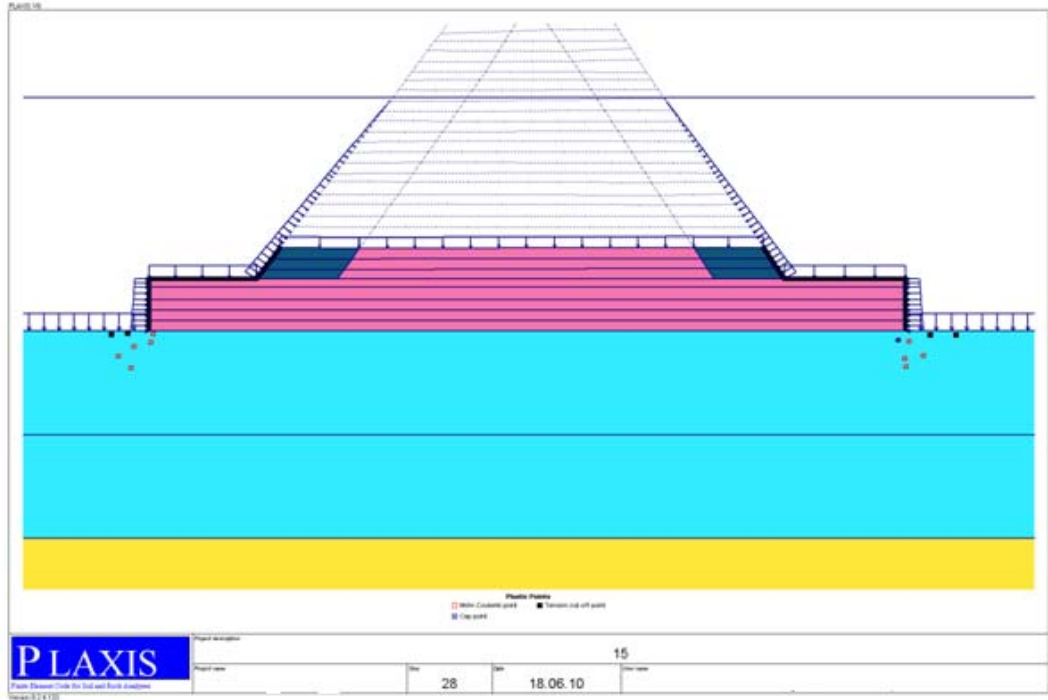
Şekil 4.5 1.2 m yüksekliğinde oluşan plastik noktalar (cap points)



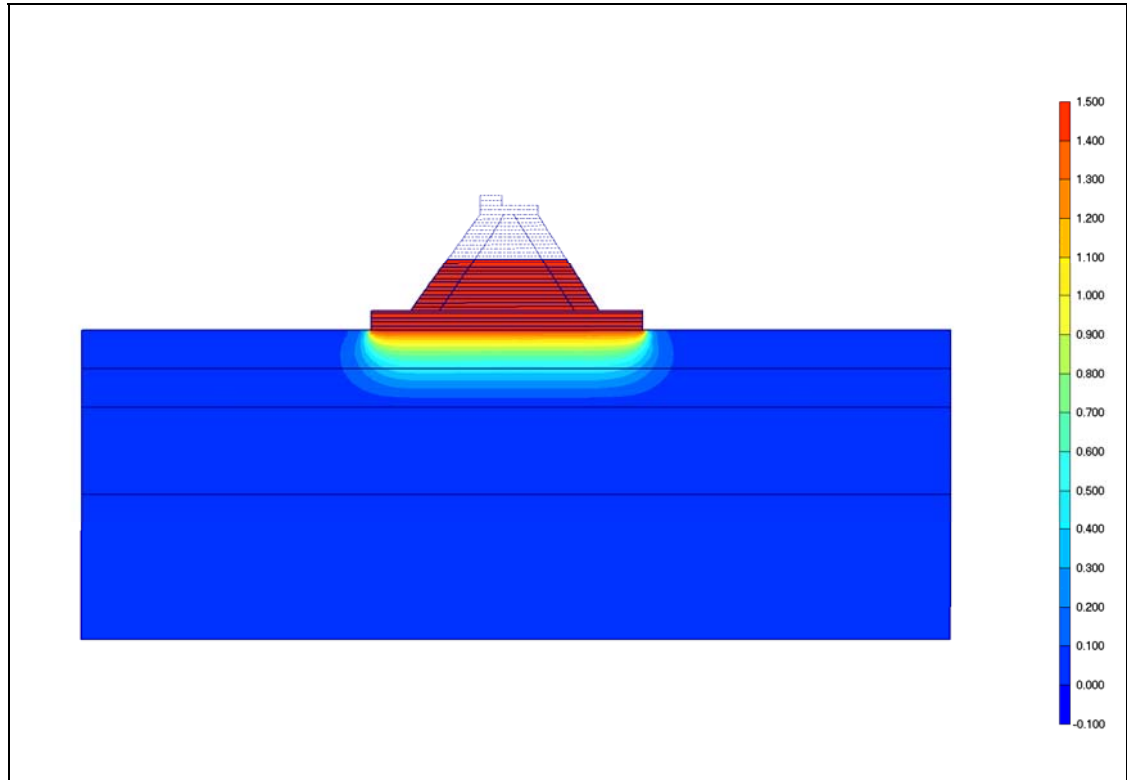
Şekil 4.6 1.2 m yüksekliğinde sonra gelen konsolidasyon beklemesi sonrası plastik noktaların azalışı



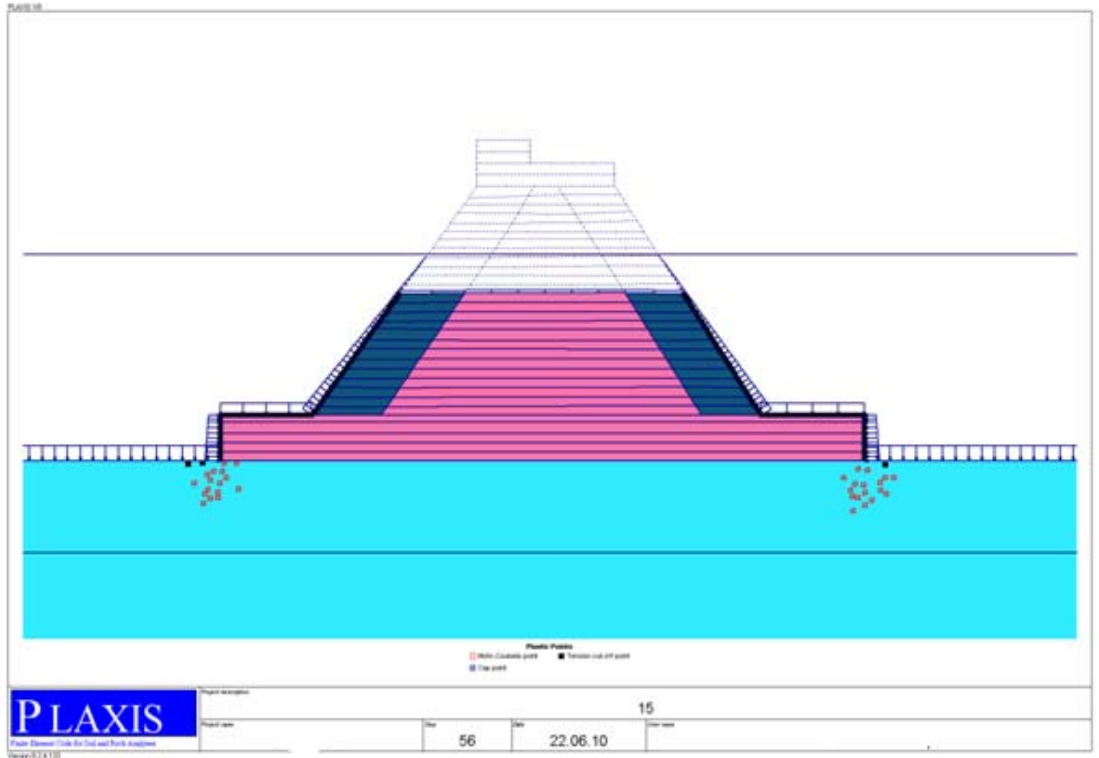
Şekil 4.7 3.6 m yüksekliğinde oluşan toplam deplasmanlar



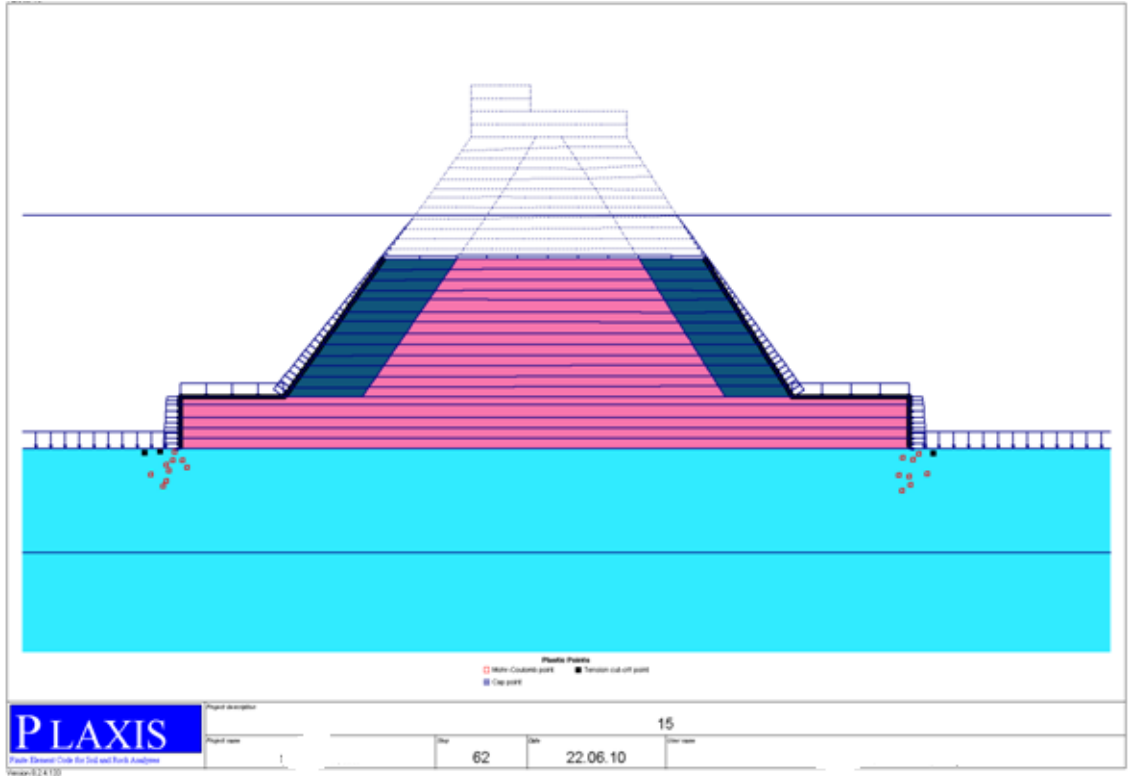
Şekil 4.8 3.6 m yüksekliğinde oluşan plastik noktalar



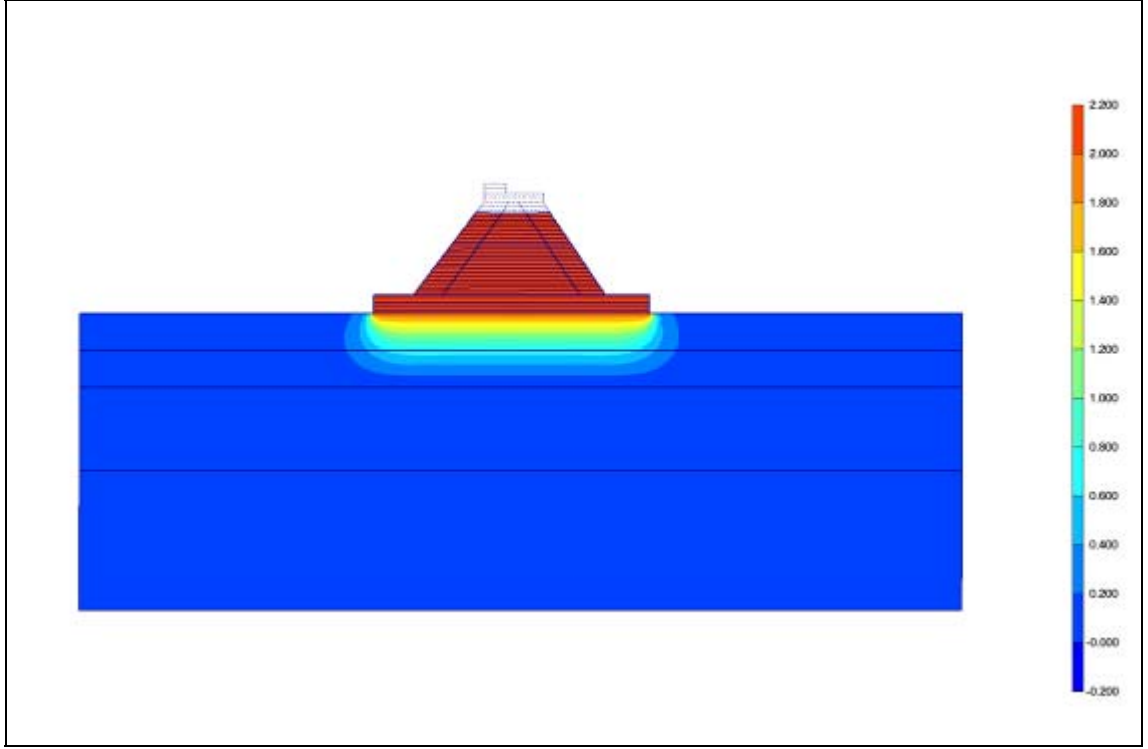
Şekil 4.9 6.4 m yüksekliğinde oluşan deplasmanlar



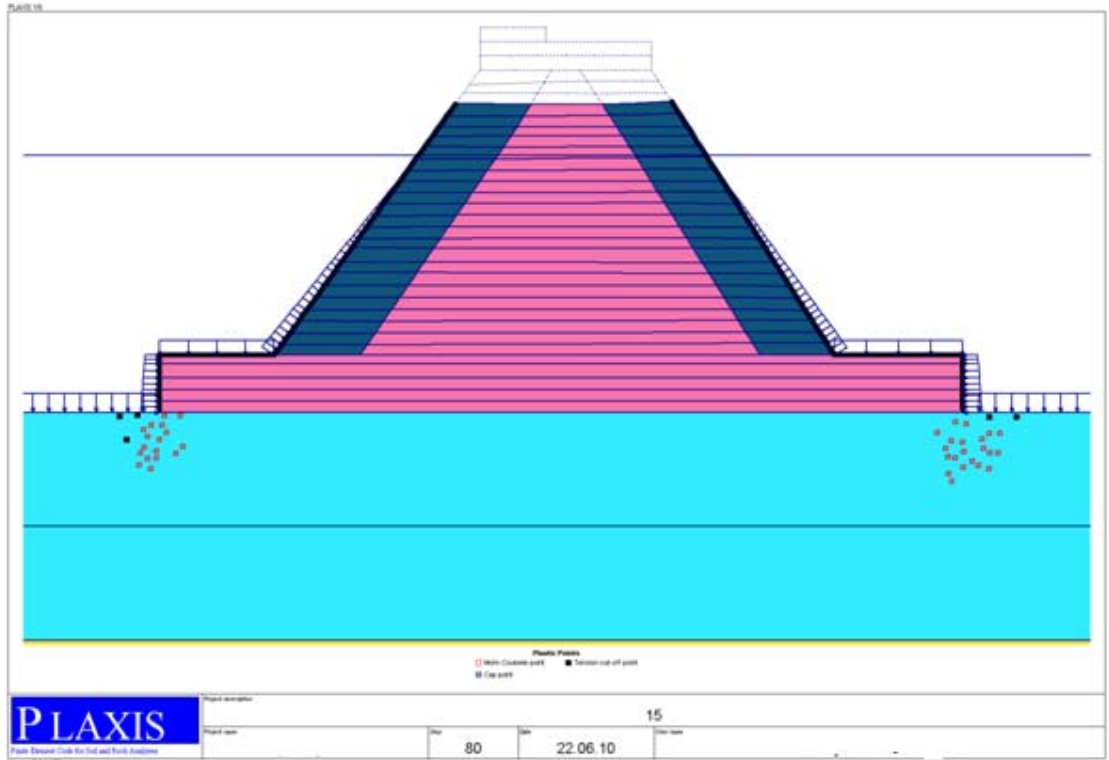
Şekil 4.10 6.4 m yüksekliğinde oluşan plastik noktalar



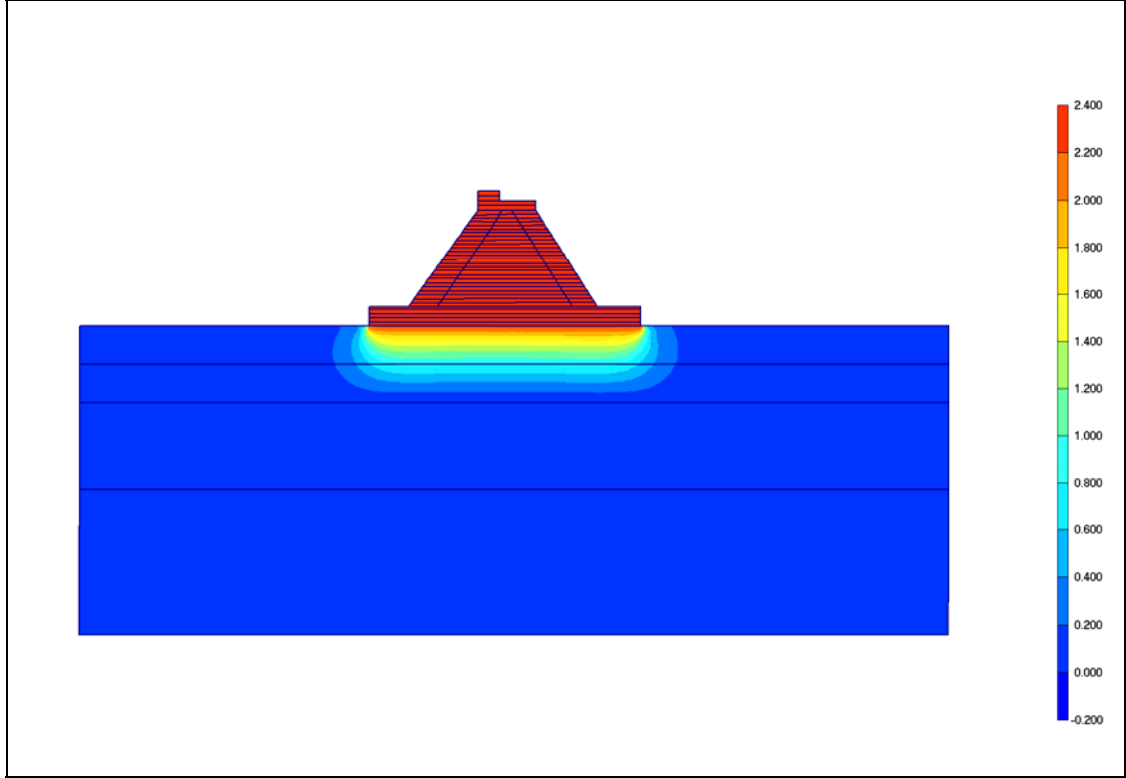
Şekil 4.11 6.4 m yüksekliğinden sonra gelen konsolidasyon beklemesi sonucu plastik noktaların azalışı



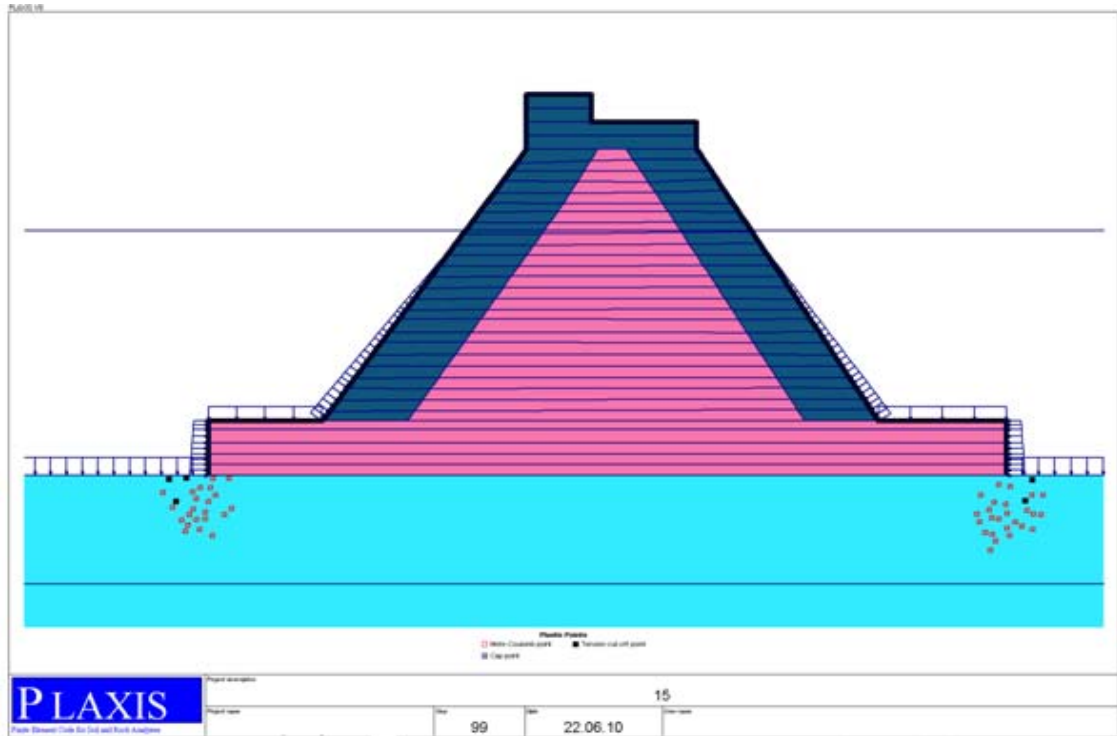
Şekil 4.12 13.2 m yüksekliğinde oluşan deplasmanlar



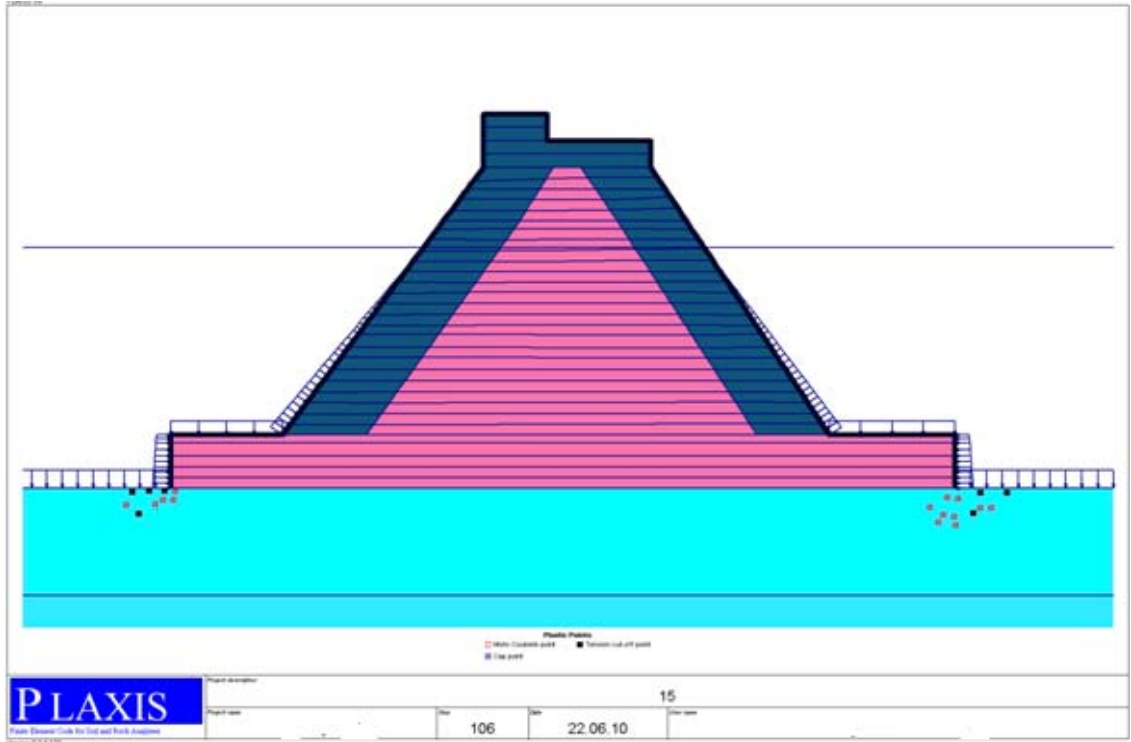
Şekil 4.13 13.2 m yüksekliğinde oluşan plastik noktalar



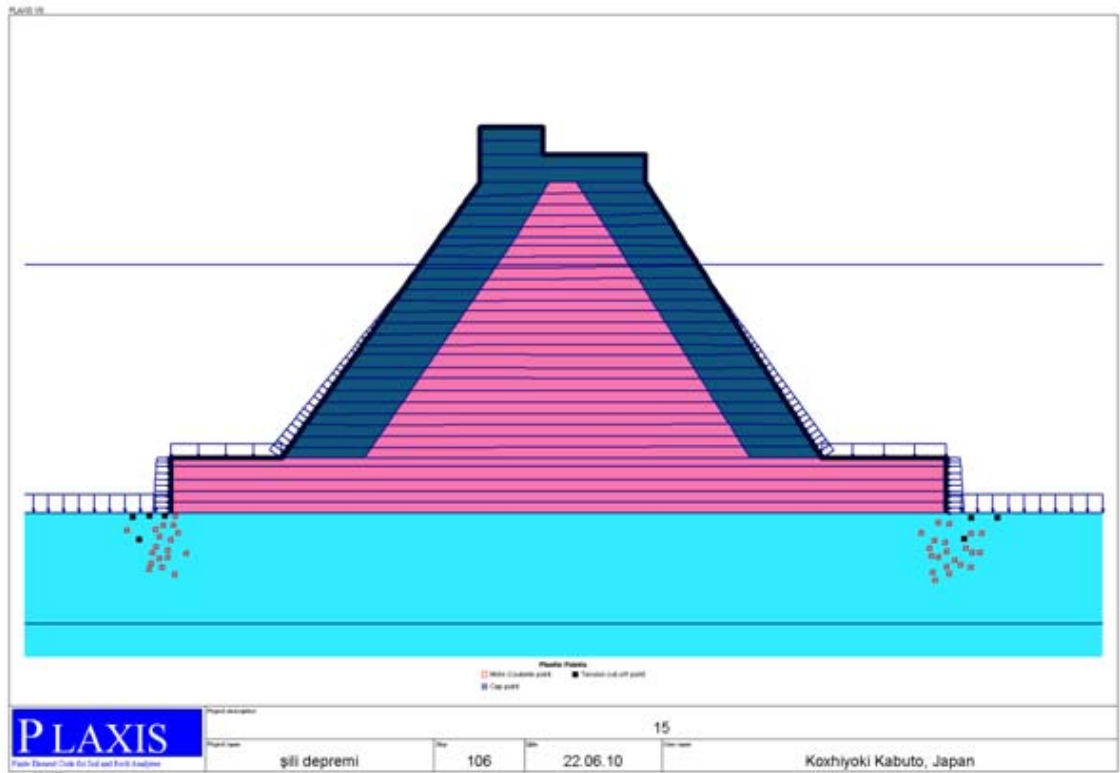
Şekil 4.14 15.2 m yüksekliğinde oluşan deplasmanlar



Şekil 4.15 15.2 m yüksekliğinde oluşan plastik noktalar



Şekil 4.16 İnşaat aşamasının tamamlanmasından 365 gün sonra



Şekil 4.17 İnşaat aşamasının tamamlanmasından 90 gün sonra

4.3 GERİLME İZLERİ VE GÖÇME OLASILIĞI EĞRİLERİ

Dalgakıran inşası sırasında ve sonrasında Kritik Durum Zemin Mekaniği ortamında gerilme izleri elde edilmiştir. Daha öncede ifade edildiği gibi inşaat bittiği zaman yumuşak zemin henüz pekleşmemiş durumdadır ve ilave boşluk suyu basınçları sönümlenmemiştir. Depremın etki ettiği zeminin içinde bulunduğu gerilme durumu önemlidir. Bu anlayışla bu çalışmada dalgakıranın altındaki yumuşak zeminin üzerine deprem etkisi, bu zemin iki farklı gerilme durumda iken uygulanmıştır. 1. Durum dalgakıran inşaatı bittikten bir yıl sonra depremin olmasıdır. Bu durumda zeminde, yükleme devrelerinin oluşturduğu ilave boşluk suyu basınçlarını büyük ölçüde sönümlenmiş ve zemin pekleşmiştir. Elbette zemindeki deformasyon hareketlerinin tamamen bittiği söylenemez, en azından kriş hareketleri daha uzun süre devam edecektir. 1 yıl sonraki durum inşaat bitiminden uzun süre sonraki deprem etkisi olarak adlandırılmıştır.

İkinci durum ise inşaat biter bitmez depremin olması durumudur. Bu durumda zeminde ilave boşluk suyu basınçları vardır ve efektif gerilmeler daha düşük olarak değerlendirilir. Bu durum $q-p'$ düzleminde gözlenecek olursa, normal ortalama gerilme p' değerleri uzun süre sonrası duruma benzer değerlendirilir, yani konsolidasyon öncesi durumda, zeminin gerilme durumu daha solda ve kritik durum çizgisine daha yakındır, konsolidasyon ile bu durum sola doğru hareket eder ve kritik durum çizgisinden uzaklaşır.

Tahmin edileceği gibi inşaat biter bitmez olacak depremin göçme oluşturma veya hasar yapma olasılığı da daha büyük olacaktır. Söz konusu iki duruma ait dinamik analizler 10 tarihi depreme ait 30 kayıt kullanılarak yapılmıştır. Her kayıt için dinamik analiz tekrarlanmış ve yumuşak kil zemin üzerinden seçilen 8 noktadaki q ve p' değerleri alınmıştır. Pik ivmeleri $0.1g$ ile $1g$ arası değişen deprem kayıtlarına ait her analiz sonucunda bulunan değerler, kritik durum çizgisine göre tasnif edilmiş, göçme haline geçen durumlar, her ivme değeri için toplam durum sayısına oranlanmış ve hasar olasılıkları çıkarılmıştır. Olasılığın gerçeğe en yakın değeri vermesi için analizlerde

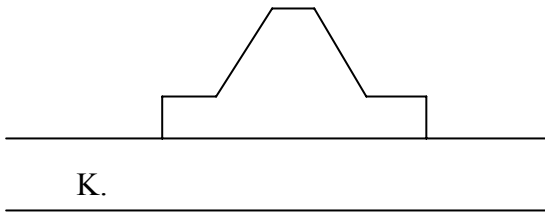
mümkün olduğunca çok kayıt kullanılarak, dinamik analiz sayısını arttırmak gerekir. Aşağıda verilen grafiklerden hasar olasılık eğrileri her kayıt kullanılarak, ayrı ayrı her nokta için çıkarılmış ve sonunda tümü tek grafikte gösterilmiştir. Bu tezde sunulan gerilme izleri ise sadece Düzce Depremi Düzce istasyonu kayıtlarının kullanıldığı dinamik analizler sonucu elde edilmiştir. Bunun sebebi ise her kayıt ve her nokta için yüzlerce gerilme izi grafiğinin olmasıdır. Her nokta için depremsiz ve depremlili durumlara ait gerilme izleri tam hikayeyi nakledecek şekilde bir arada sunulmuştur.

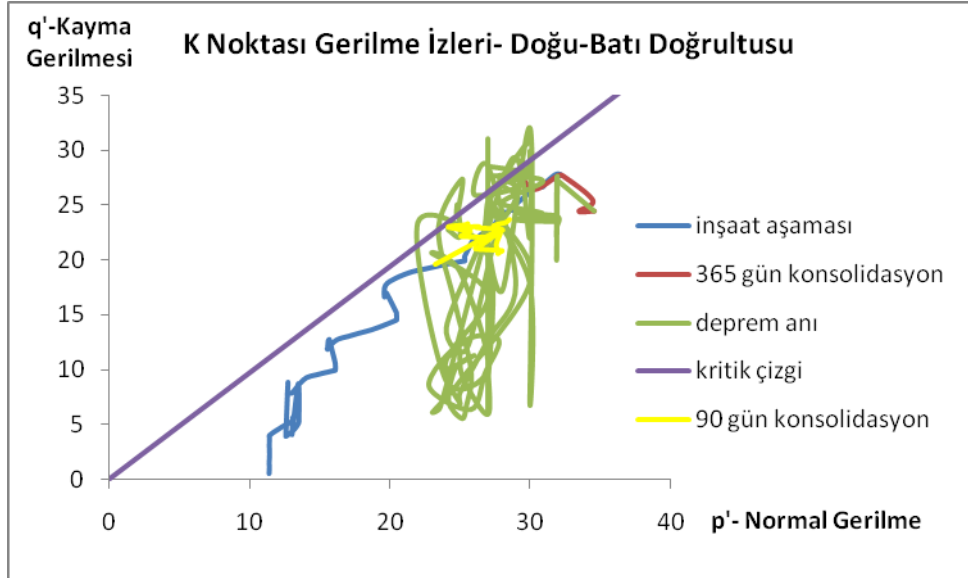
4.3.1 İnşaat Bitiminden Uzun Süre Sonra Karşılaşılan Deprem Etkisi

İnşaat aşamasının bitiminden sonra zeminin pekleşmesi ve boşluk suyu basınçlarının büyük oranda sönmülmesi için uzun bir dönemi temsilen 365 günlük bir bekleme süresi seçilmiştir.

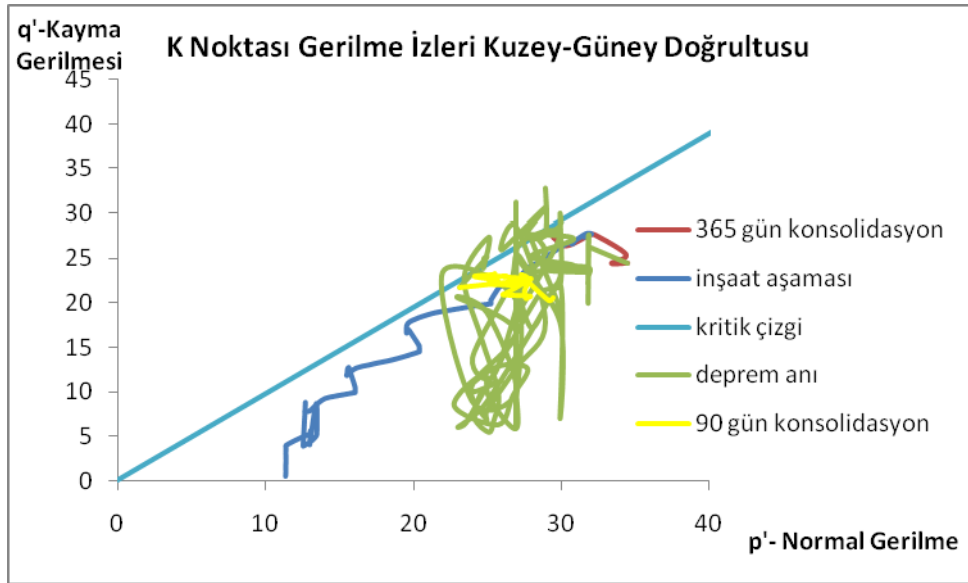
4.3.1.1 K Noktası Gerilme izleri ve Hasar Olasılık Eğrileri

Şekil 4.18, 4.19 ve 4.20’de topuk dışında seçilen K noktasında, inşaat süresi ve devamında uzun konsolidasyon dönemindeki gerilme izleri karşılaşılan deprem sırasındaki değişim ve ardından gelen yeni konsolidasyon dönemindeki toparlanmayı da yansıtabilecek şekilde sunulmaktadır. Dinamik analizler için Düzce depreminin üç farklı doğrultusundaki(kuzey-güney, doğu-batı ve düşey) deprem kayıtları uygulanmış ve bunun sonucunda elde edilen gerilme izleri, şekil 4.18, 4.19 ve 4.20’de ayrı ayrı gösterilmiştir.

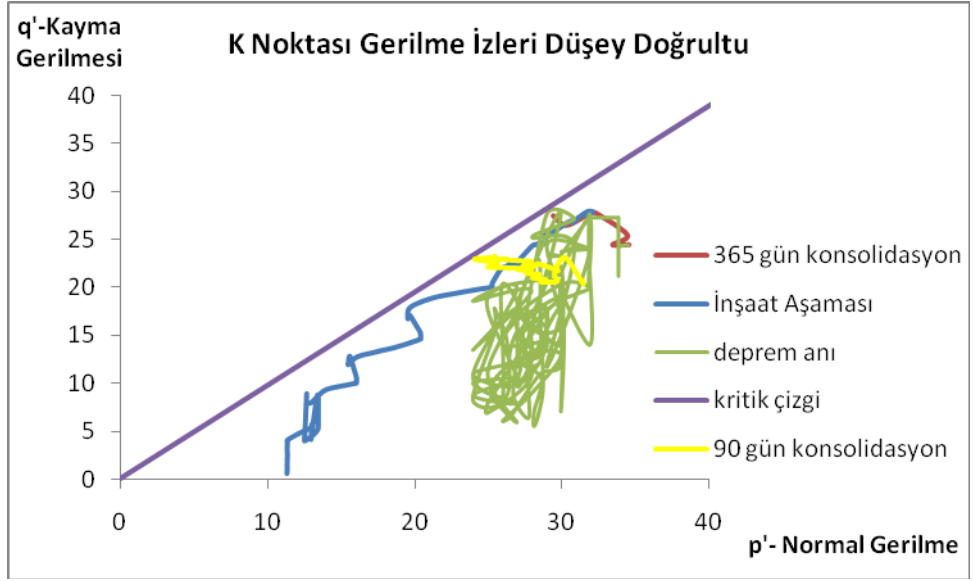




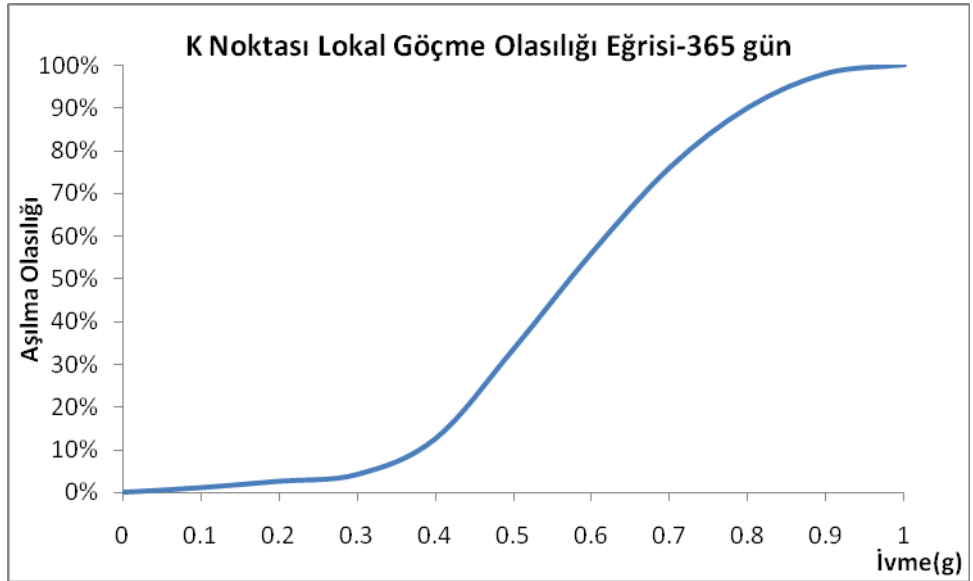
Şekil 4.18 K noktası gerilme izleri - Düzce depremi doğu batı doğrultusu



Şekil 4.19 K noktası gerilme izleri -Düzce depremi kuzey güney doğrultusu



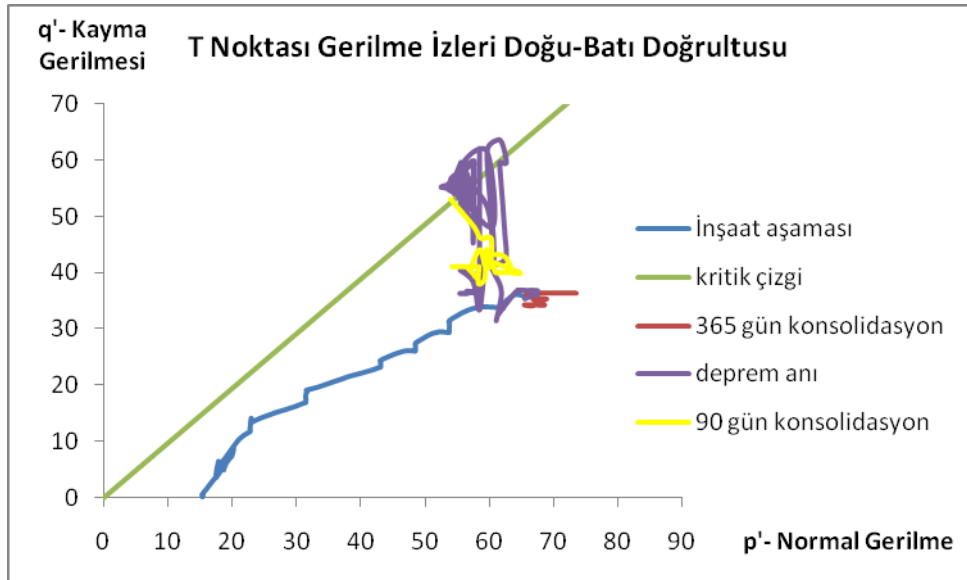
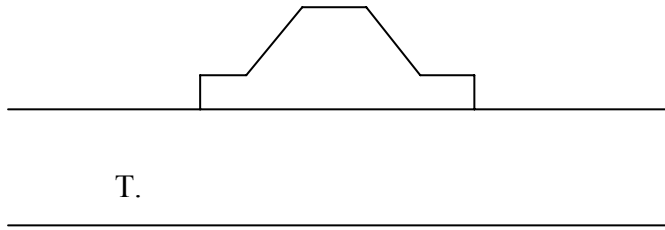
Şekil 4.20 K noktası gerilme izleri - Düzce depremi düşey doğrultu



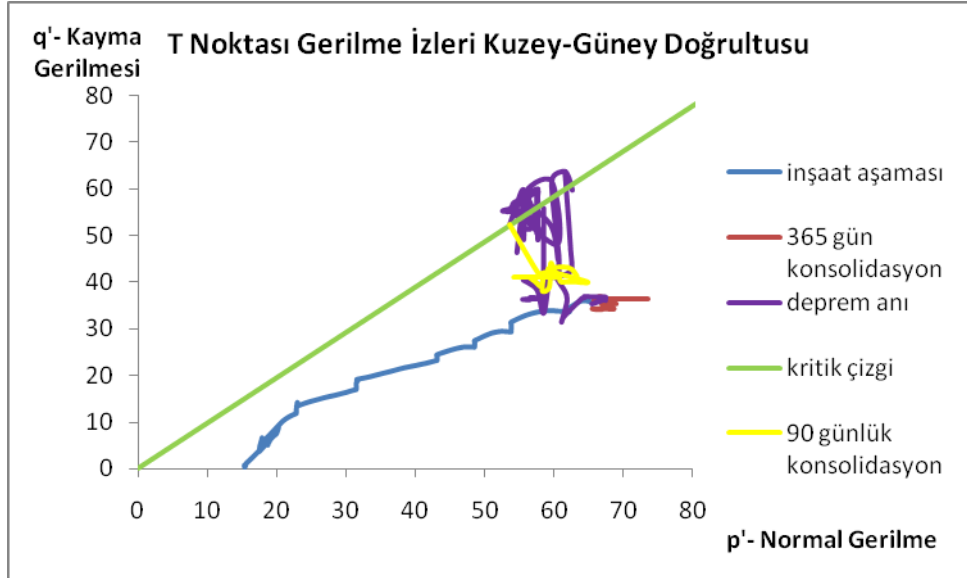
Şekil 4.21 K noktası göçme olasılığı eğrisi

4.3.1.2 T Noktası Gerilme İzleri ve Hasar Olasılık Eğrileri

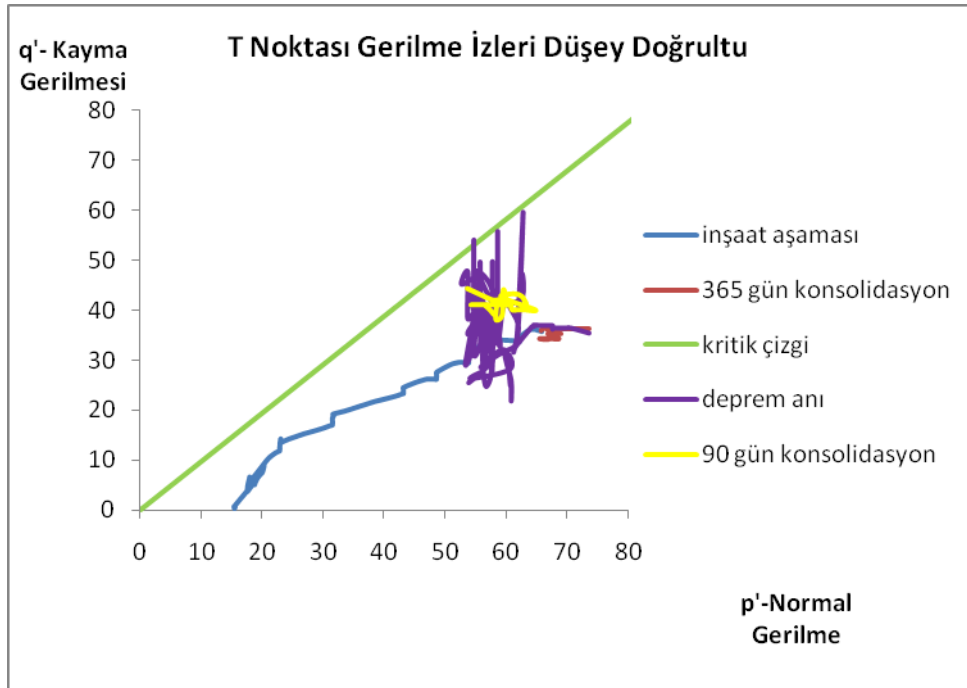
Şekil 4.22, 4.23 ve 4.24'te görüldüğü gibi inşaat süresinde yükleme aşamalarında gerilme izleri Kritik Durum Çizgisine yaklaşmaya çalışmaktadır. Fakat Kritik Duruma karşı sürekli olarak yeterli güvenlik durumuna sahip olacak gerilme durumunda kalmıştır. Uygulanan yeterli konsolidasyon süreleri ile de yeni yüklemenin uygulanabilmesi için gerekli pekleşme elde edilmiştir. İnşaat bitimden sonraki uzun sürede (365 gün) bu pekleşme artmıştır. Ancak şekillerde görüldüğü gibi, deprem etkisi gerilme durumunu daha riskli noktalara taşımaktadır. Depremden sonraki konsolidasyonla yine bir pekleşme elde edilmekte ancak verilen 90 gün içinde eski konsolidasyon durumuna ulaşamamaktadır.



Şekil 4.22 T noktası gerilme izleri Düzce depremi doğu-batı doğrultusu



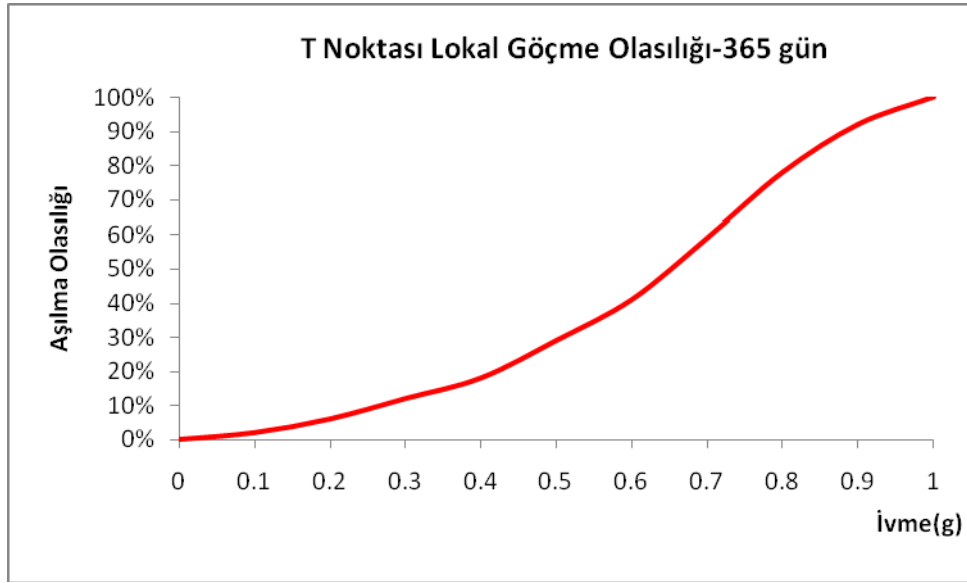
Şekil 4.23 T noktası gerilme izleri Düzce depremi kuzey-güney doğrultusu



Şekil 4.24 T noktası düzce depremi düşey doğrultu gerilme izleri

Gerilme izlerinin analizi şekil 4.22, 4.23 ve 4.24'te gösterilen gerilme izi grafikleri Düzce Depremi Düzce İstasyonu kaydının üç farklı doğrultusu için yapılan analizler

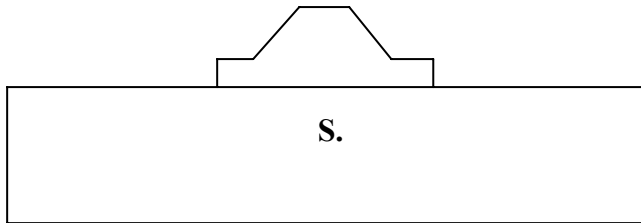
sonucu elde edilmiştir.Şekil 4.25 ‘te gösterilen göçme olasılığı grafiği için ise, farklı pik ivme değerlerine sahip 10 adet deprem kaydı kullanılmıştır. Gerilme izleri için yapılan analizlerin 10 kere daha, farklı pik ivmelere ve özelliklere sahip deprem kayıtları ile yapılması sonucunda elde edilen gerilme izlerinin kritik durum çizgisine olan durumlarına göre sınıflandırıp, göçme olasılıkları çıkarılarak, şekil 4.25’te ki göçme olasılık eğrisi elde edilmiştir.

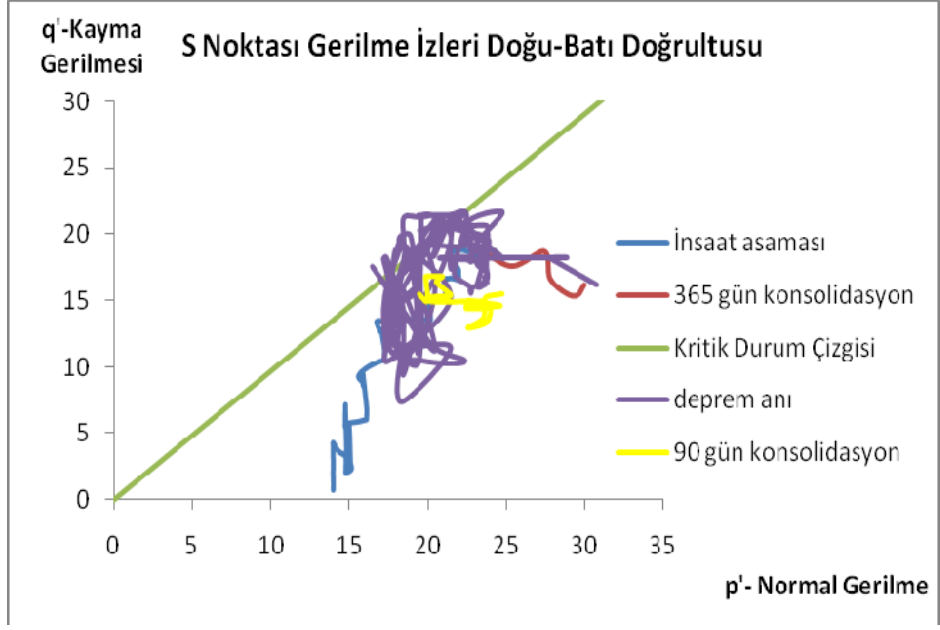


Şekil 4.25 T noktası göçme olasılığı eğrisi

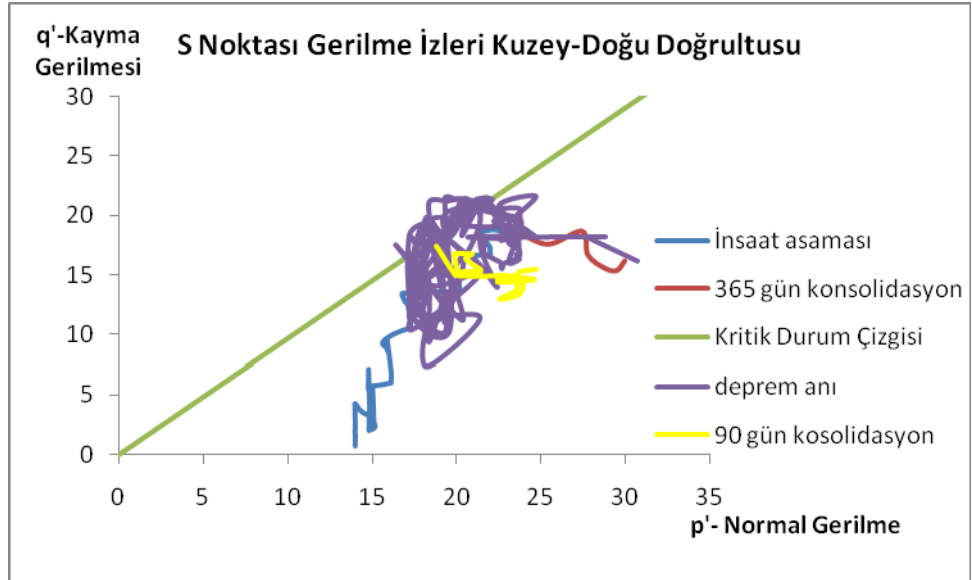
4.3.1.3 S Noktası Gerilme İzleri ve Hasar Olasılık Eğrileri

Şekil 4.26, 4.27 ve 4.28 ‘de görüldüğü üzere inşaat aşaması kritik durum çizgisine paralel ilerlerken, deprem durumunda gerilmelerin kritik durum çizgisinin üzerinde veya geçmiş olduğu görülecektir.

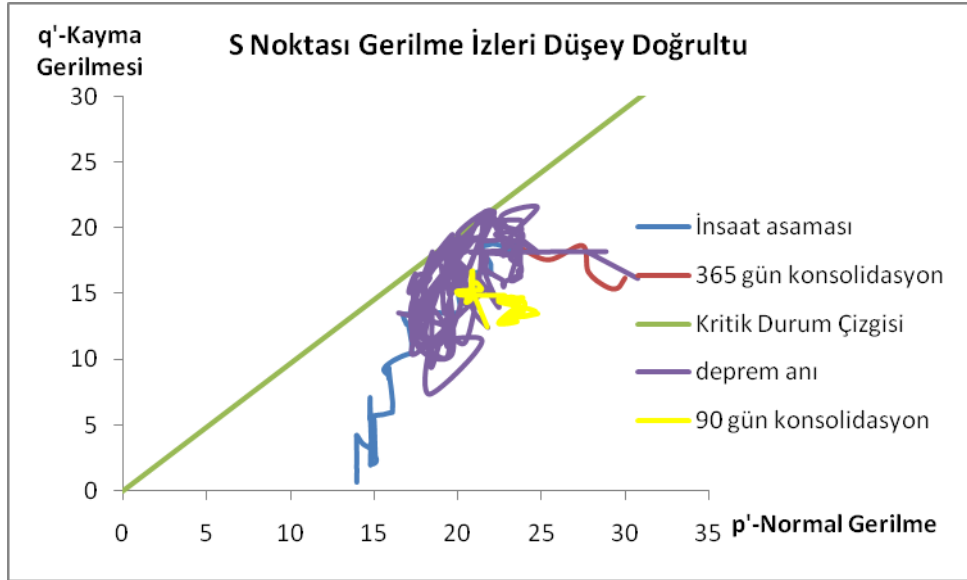




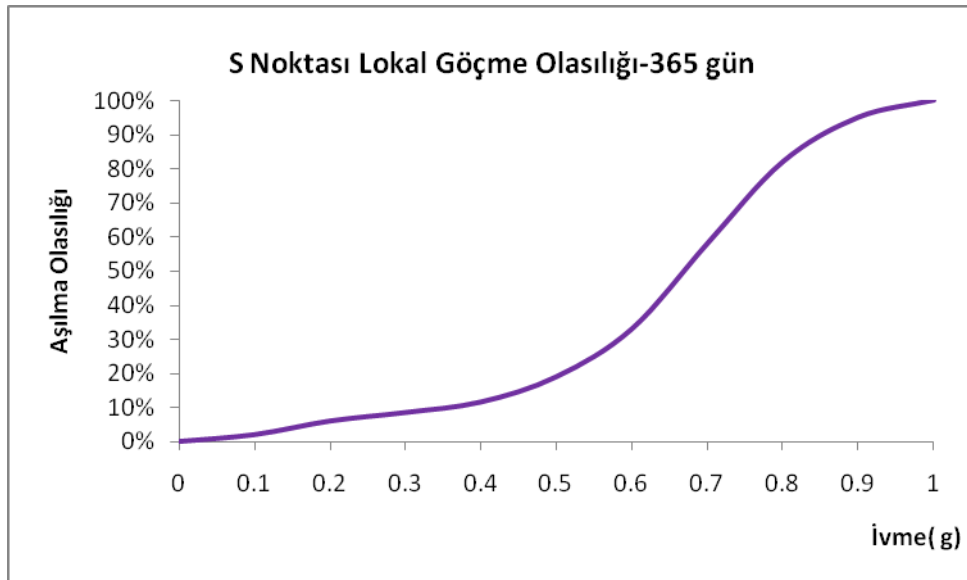
Şekil 4.26 S noktası düzce depremi doğu-batı doğrultusu gerilme izleri



Şekil 4.27 S noktası düzce depremi kuzey-güney doğrultusu gerilme izleri



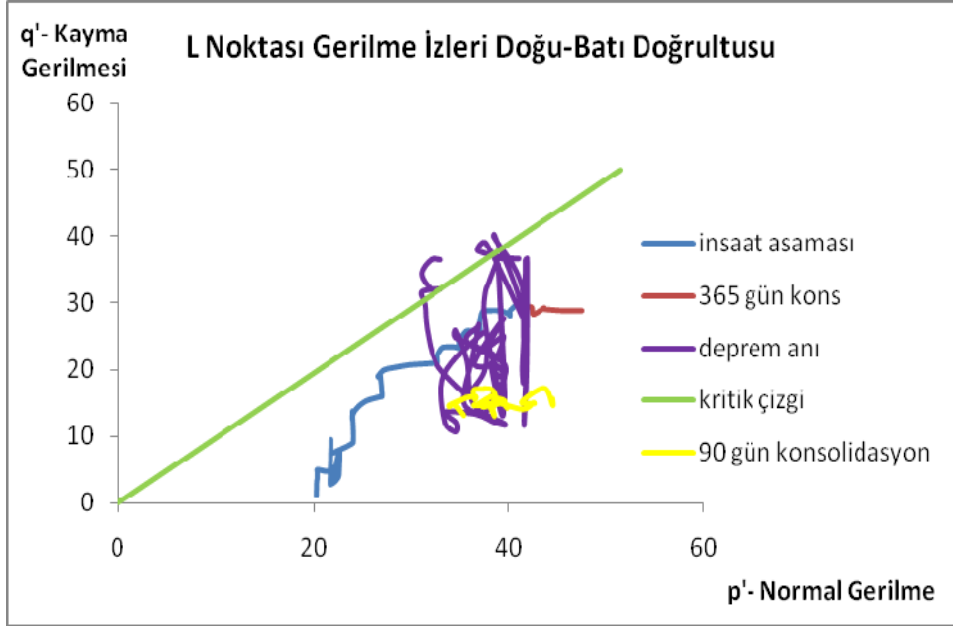
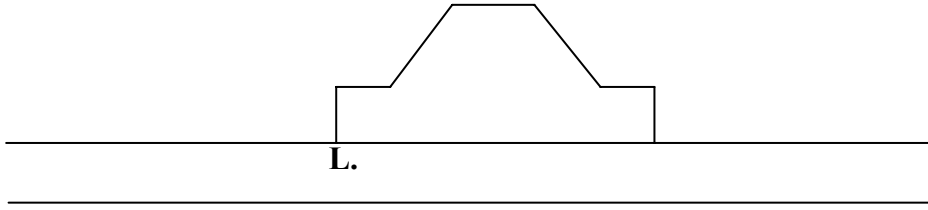
Şekil 4.28 S noktası düzce depremi düşey doğrultu gerilme izleri



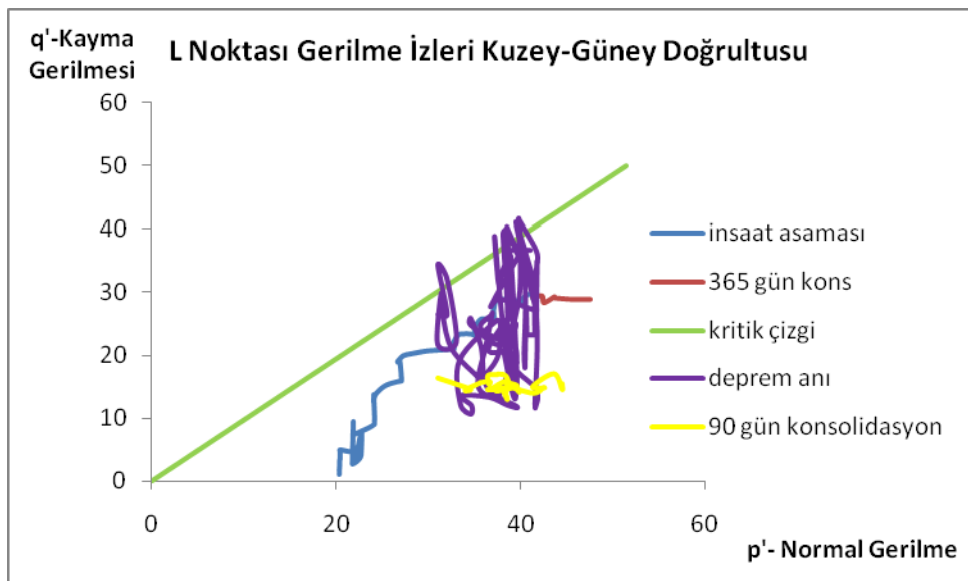
Şekil 4.29 S Noktası lokal göçme olasılığı eğrileri

4.3.1.4 L Noktası Gerilme İzleri ve Hasar Olasılık Eğrileri

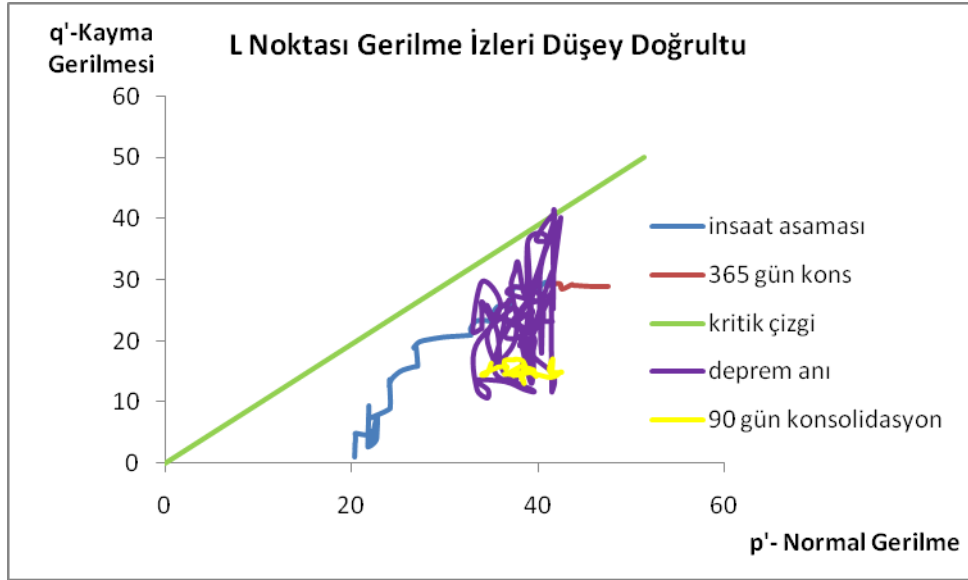
Şekil 4.30, 4.31 ve 4.32 'de görüldüğü üzere inşaat aşaması kritik durum çizgisine paralel ilerlerken, deprem durumunda gerilmelerin kritik durum çizgisinin üzerinde veya geçmiş olduğu görülecektir. Deprem sonrası konsolidasyonda zemin pekleşmiş fakat yine eski durumuna ulaşamamıştır.



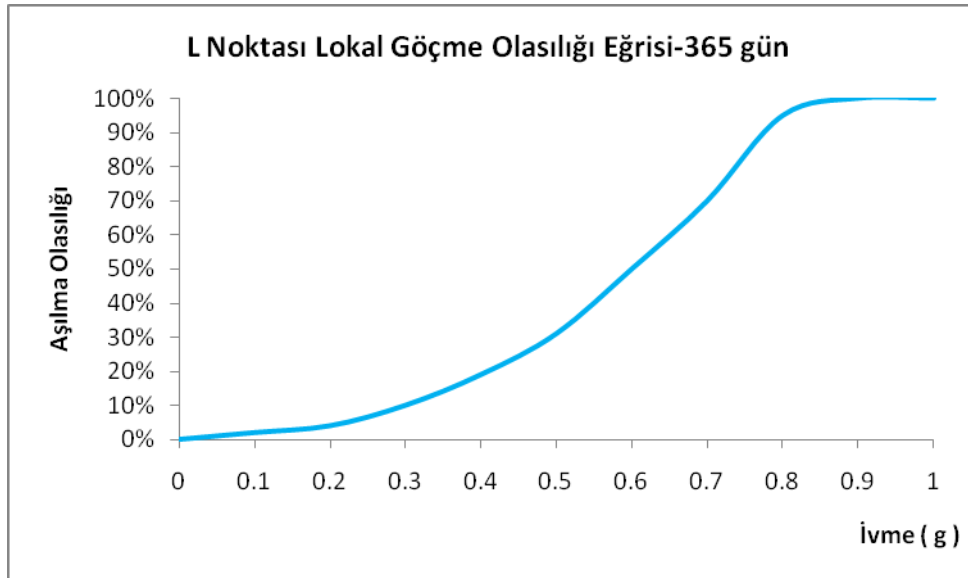
Şekil 4.30 L noktası gerilme izleri (düzce depremi doğu-batı doğrultusu)



Şekil 4.31 L noktası gerilme izleri (düzce depremi kuzey-güney doğrultusu)



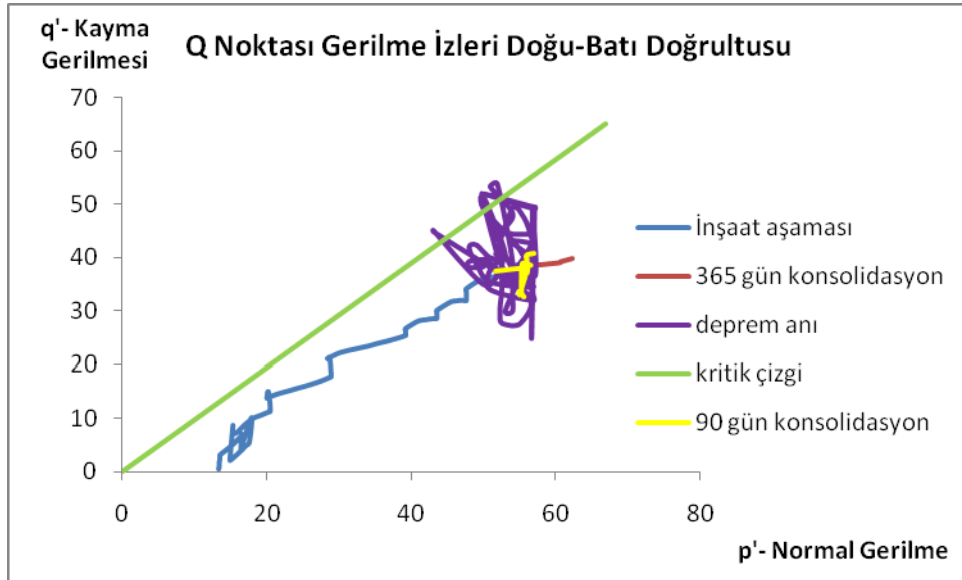
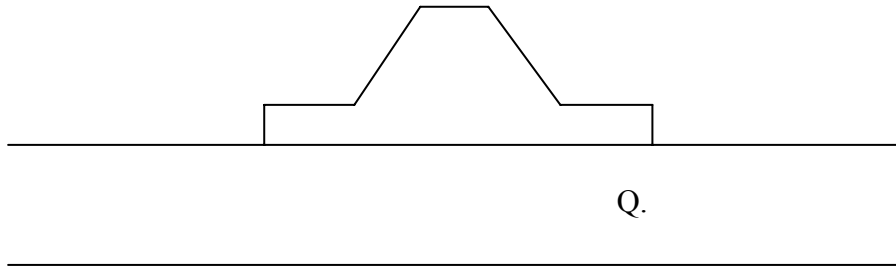
Şekil 4.32 L noktası gerilme izleri düşey doğrultu



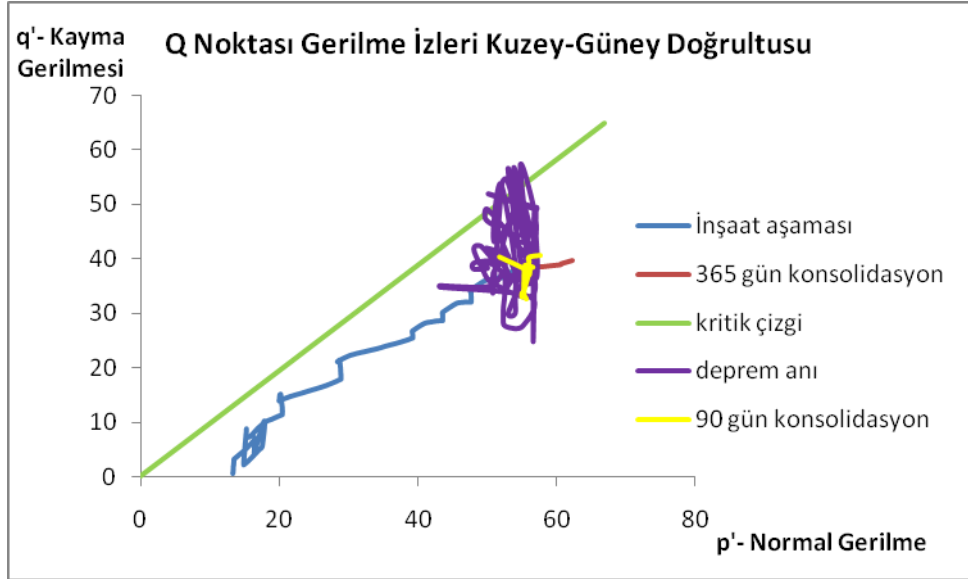
Şekil 4.33 L Noktası göçme olasılığı eğrisi

4.3.1.5 Q Noktası Gerilme İzleri ve Hasar Olasılık Eğrileri

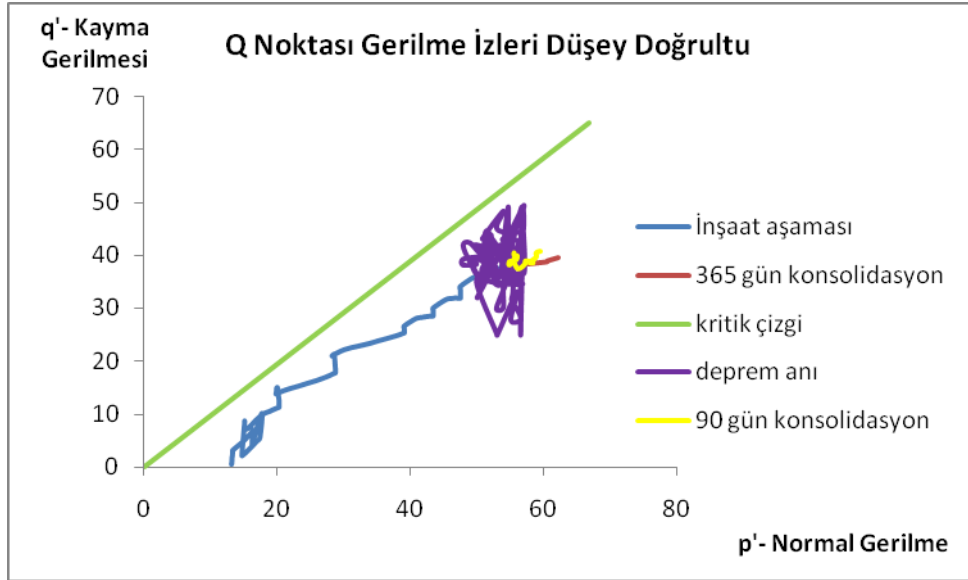
Şekil 4.34, 4.35 ve 4.36 'de görüldüğü üzere inşaat süresinde yükleme aşamalarında gerilme izleri Kritik Durum Çizgisine yaklaşmaya çalışmaktadır. Her yükleme sonucu uygulanan konsolidasyon beklentileri sonucunda ise gerilme izleri kritik durumdan uzaklaşmış ve daha pekleşmiş bir hal almıştır. Deprem anında boşluk suyu basınçlarının artmasına paralel p' değerleri azalmış ve yer yer göçme meydana gelmiştir. Depremden ardından gelen 90 günlük konsolidasyon süresi boyunca da zemin kendini toparlayarak pekleşmiş ancak eski durumuna da ulaşması için bu süre yeterli olmamıştır.



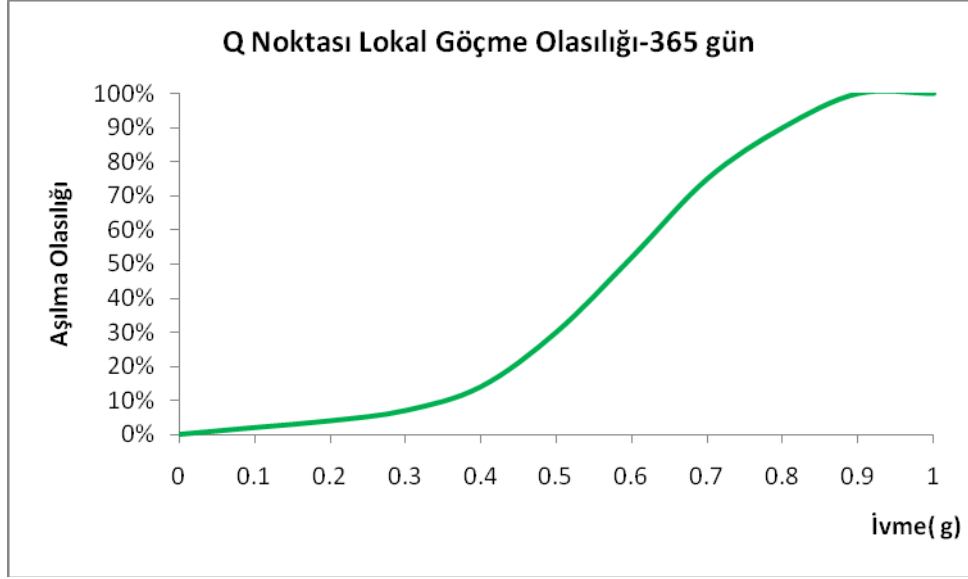
Şekil 4.34 Q noktası gerilme izleri- düzce depremi doğu-batı doğrultusu



Şekil 4.35 Q noktası gerilme izleri-düzce depremi kuzey-güney doğrultusu



Şekil 4.36 Q noktası gerilme izleri-düzce depremi düşey doğrultu

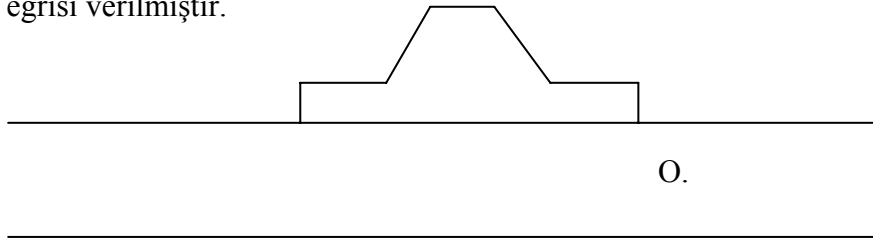


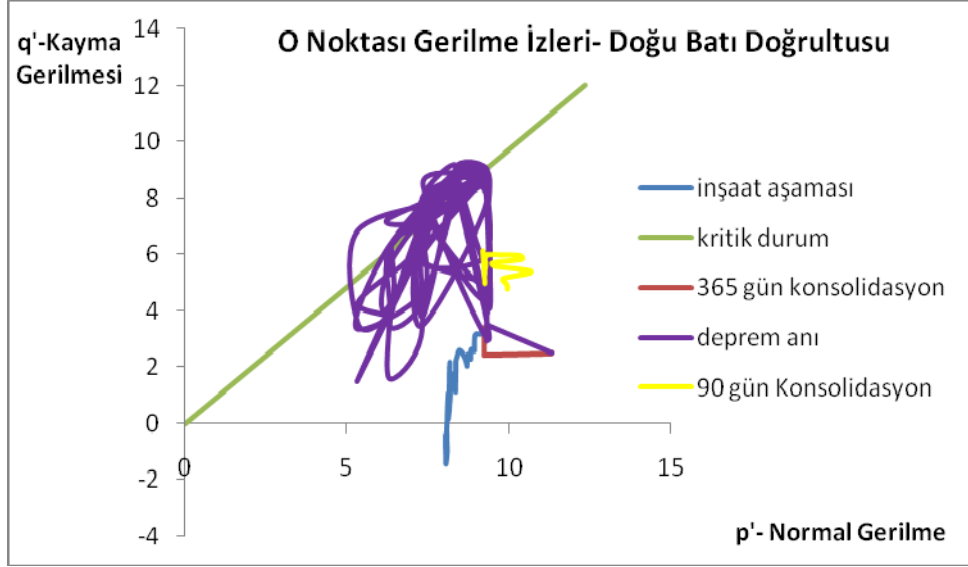
Şekil 4.37 Q noktası göçme olasılığı eğrisi

Gerilme izlerinin analizi şekil 4.34, 4.35 ve 4.36'da gösterilen gerilme izi grafiklerinden görüldüğü üzere düşey ivme zemini kritik duruma yaklaştırmasına rağmen ekseriyetle göçme durumuna geçmesine neden olmamıştır. Bu yüzden depremin asıl hasar verici etkisi için diğer iki doğrultu dikkate alınır (kuzey-güney, doğu-batı). Şekil 4.37 de verilen göçme olasılığı eğrisi zeminin içinde ki Q noktasında göçme olasılığının 0.5 den sonra ani bir artış yaptığı görülmektedir.

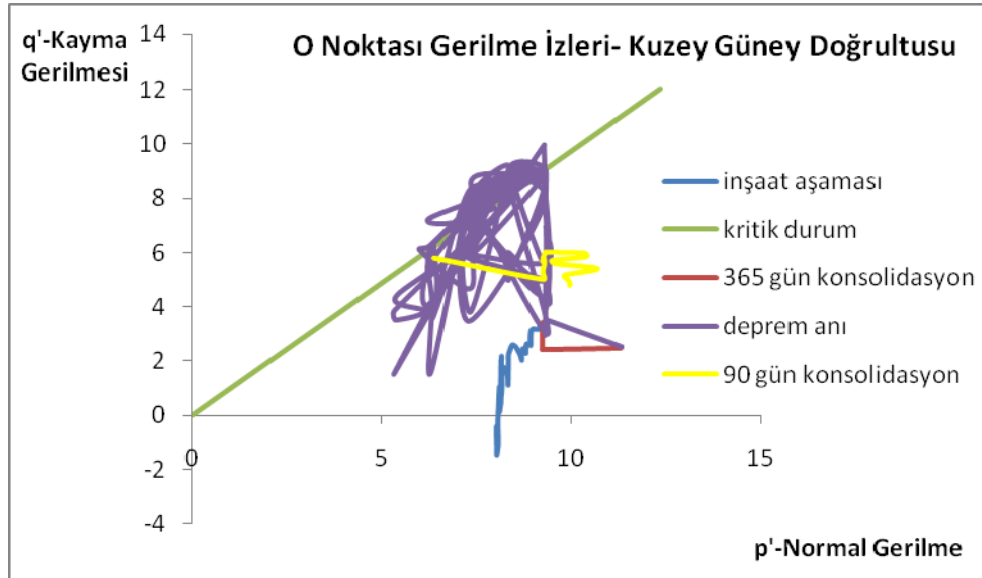
4.3.1.6 O Noktası Gerilme İzleri ve Hasar Olasılık Eğrileri

Şekil 4.38, 4.39 ve 4.40 da O noktası gerilme izleri ve Şekil 4.41 da da göçme olasılığı eğrisi verilmiştir.

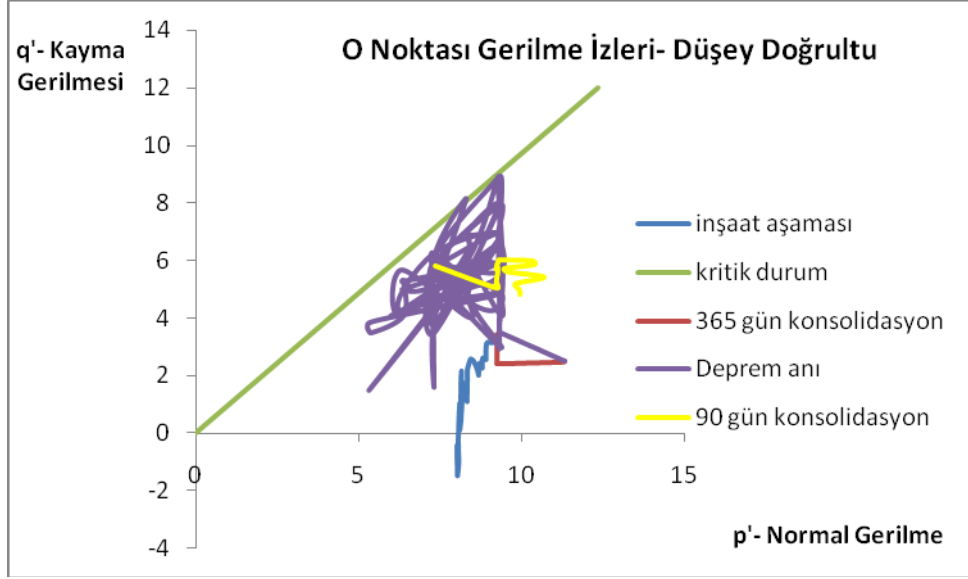




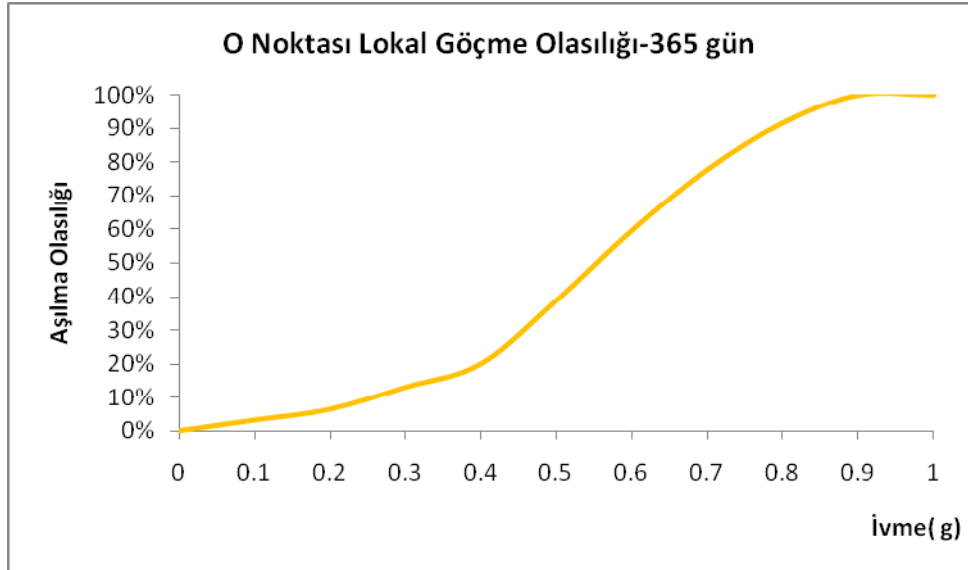
Şekil 4.38 O noktası düzce depremi doğu-batı doğrultusu gerilme izleri



Şekil 4.39 O noktası gerilme izleri-düzce depremi kuzey-güney doğrultusu



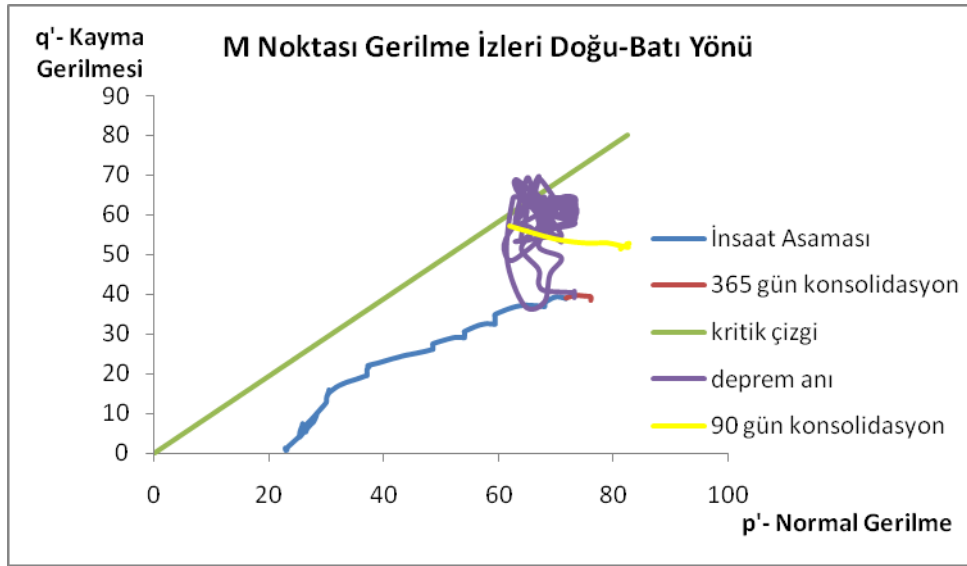
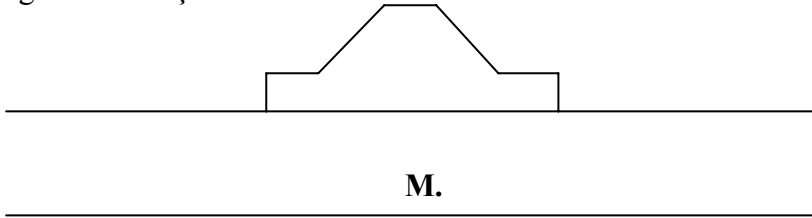
Şekil 4.40 O noktası gerilme izleri düzce depremi düşey doğrultu



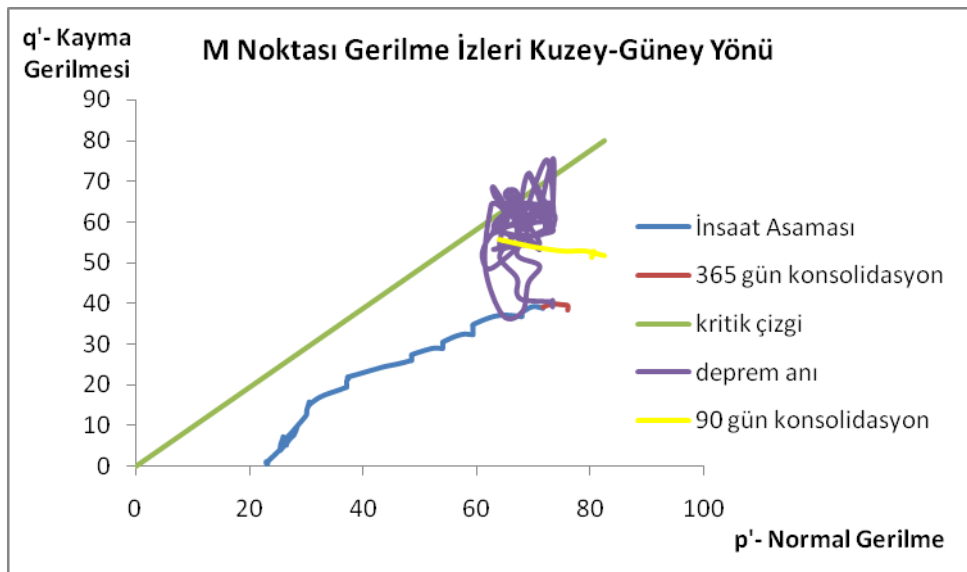
Şekil 4.41 O noktası göçme olasılığı eğrisi

4.3.1.7 M Noktası Gerilme İzleri ve Hasar Olasılık Eğrileri

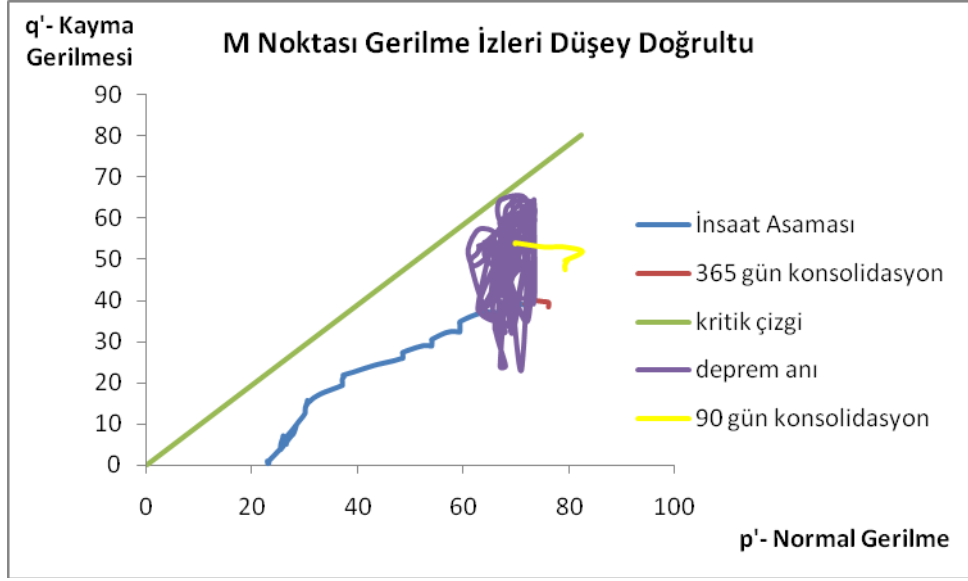
Şekil 4.42, 4.43 ve 4.44'te O noktası gerilme izleri ve Şekil 4.45' de de göçme olasılığı eğrisi verilmiştir.



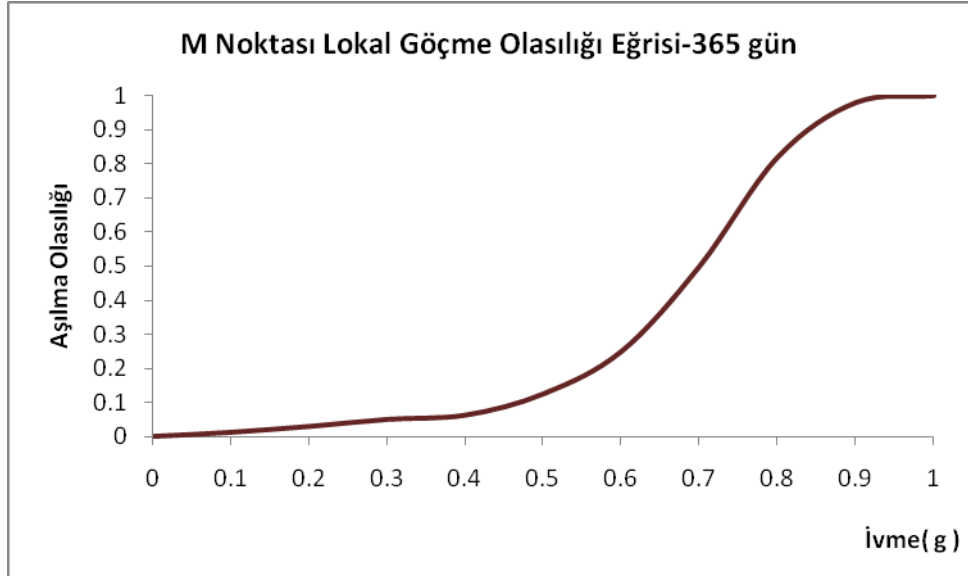
Şekil 4.42 M noktası düzce depremi doğu-batı doğrultusu gerilme izleri



Şekil 4.43 M noktası düzce depremi kuzey-güney doğrultusu gerilme izleri



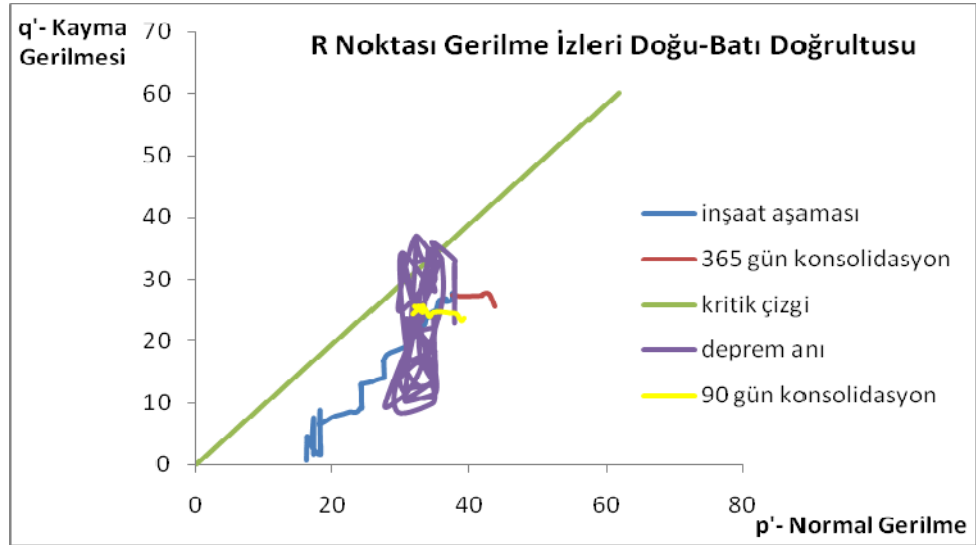
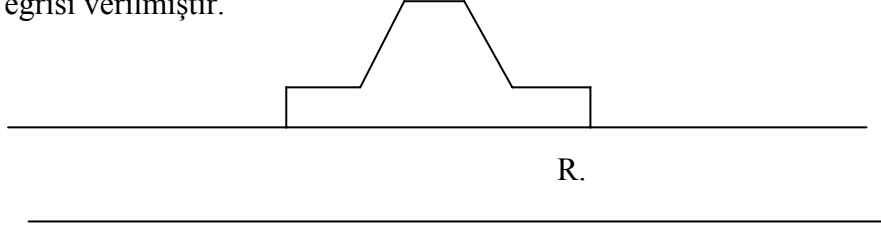
Şekil 4.44 M noktası gerilme izleri- düzce depremi düşey doğrultu



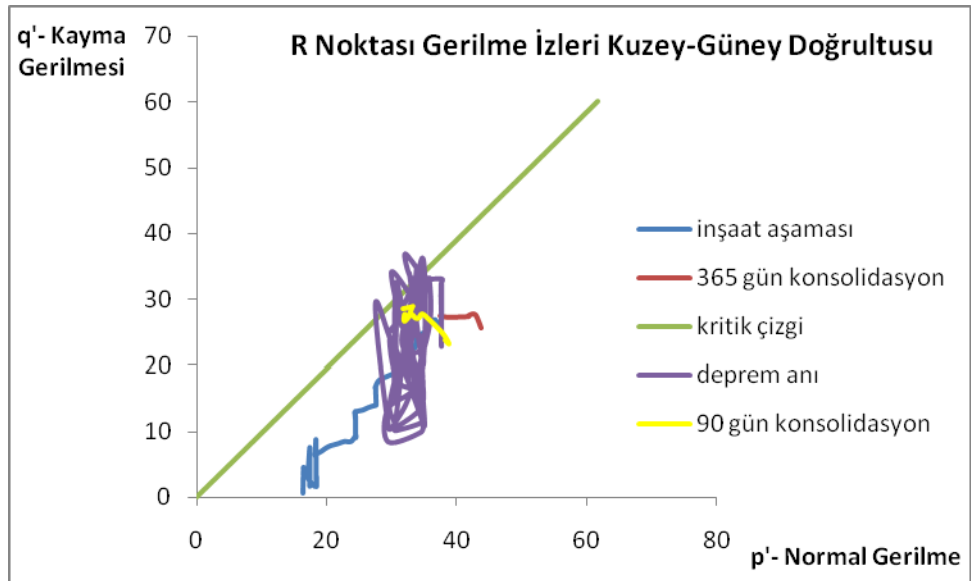
Şekil 4.45 M Lokal Göçme Olasılığı Eğrisi

4.3.1.8 R Noktası Gerilme İzleri ve Hasar Olasılık Eğrileri

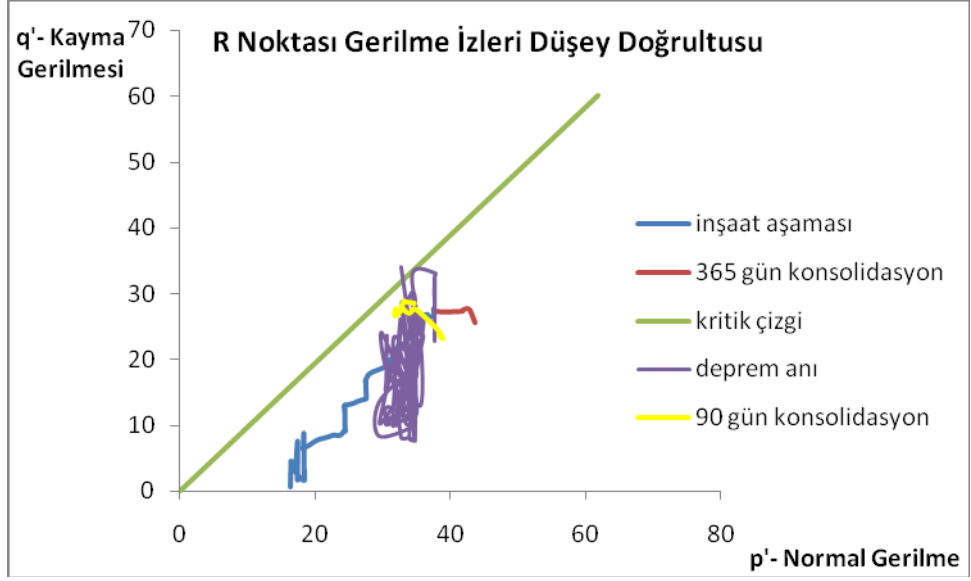
Şekil 4.46, 4.47 ve 4.48’de O noktası gerilme izleri ve Şekil 4.49 da da göçme olasılığı eğrisi verilmiştir.



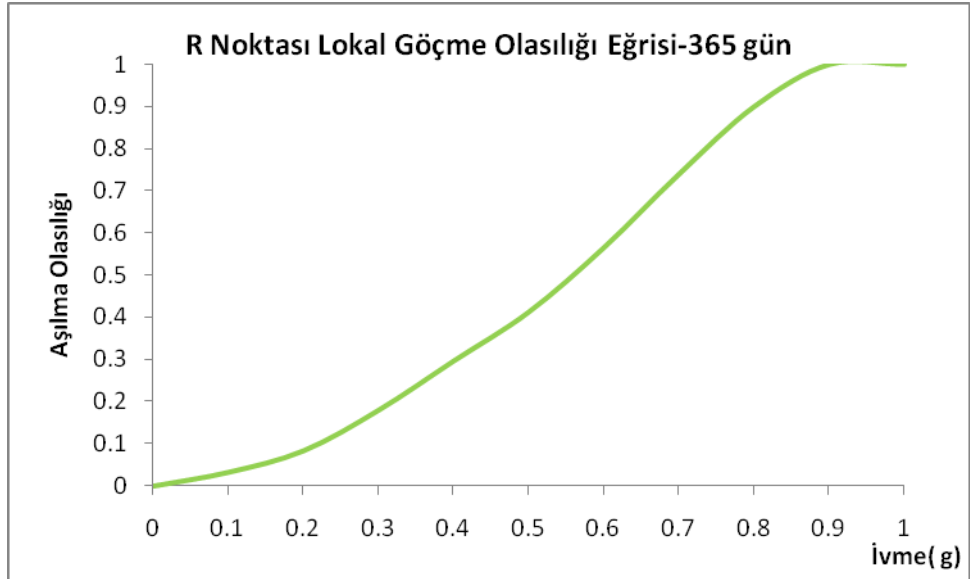
Şekil 4.46 R noktası gerilme izleri- düzce depremi doğu-batı doğrultusu



Şekil 4.47 R noktası gerilme izleri kuzey-güney doğrultusu

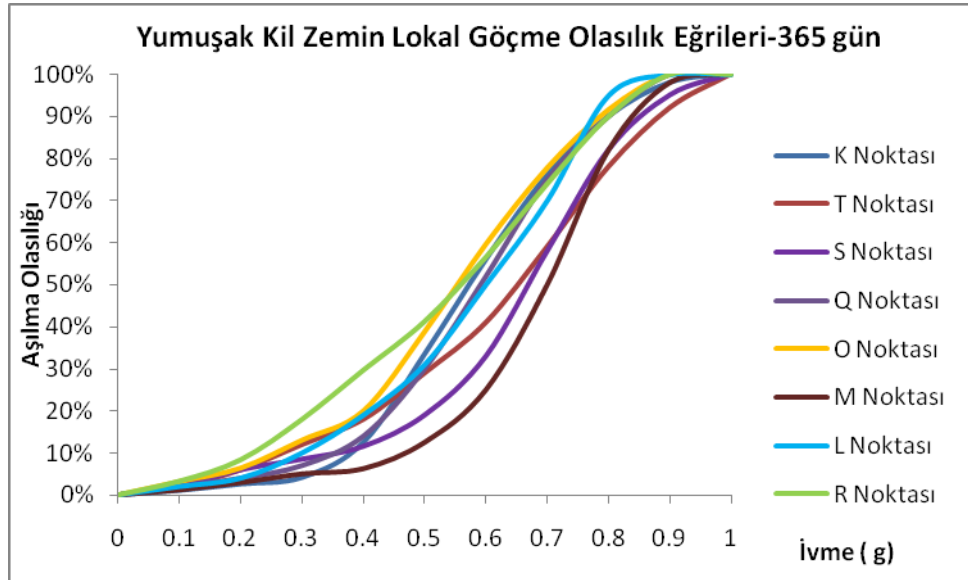


Şekil 4.48 R noktası düzce depremi düşey doğrultu gerilme izleri



Şekil 4.49 R Noktası lokal göçme eğrisi

4.3.1.9 Tüm Noktalara Ait Hasar Olasılık Eğrileri



Şekil 4.50 Tüm hasar olasılık eğrileri

Yukarıda verilen grafiklere göre, T, K ve R noktalarının göçme olasılıkları daha fazladır. Bu da çevre çevre gerilmeleri ve düşey yükün az olduğu bölgelerde göçme olasılığının daha yüksek olduğunu ve göçmenin bölgelerde öncelikle başlayacağını göstermektedir R noktası kayma gerilmelerinin daha fazla olduğu kayma bölgelerine rastlamaktadır. K noktası ise düşey gerilmelerin en düşük olduğu ve yatay gerilmelerin en fazla hissedildiği bölgedir, dolayısı ile büyük kayma gerilmelerine karşı koyacak çevresel basınca sahip değildir. Güvenliği arttırmak bakımından bu bölgelerde güçlendirme yapılabilir. Buna karşılık en az riskli nokta ise M noktasıdır. M noktası çevresel gerilme basıncının en fazla olduğu, zeminin her yönden gerilmelerle desteklendiği bölgedir ve görüldüğü gibi göçmenin en son gelişeceği bölge budur. Göçme olasılık eğrileri kritik durum zemin mekaniği teorisi yardımı ile zeminin dinamik davranışını bir risk analizi çerçevesinde, tasarım için pratik olan olasılıklı ifadelerle dökme imkanı vermiştir.

4.3.1.10 Kil Zemin Aşılma Olasılığı Eğrisi

Şekil 4.51 de yumuşak kil zemin içerisinde seçilen 8 ayrı noktanın göçme olasılıkları hesaplandıktan sonra, zemin için bir toplam olasılık değeri ve göçme olasılığı eğrisi çıkarılmıştır.



Şekil 4.51 Yumuşak Kil Zemin Göçme Olasılık eğrisi

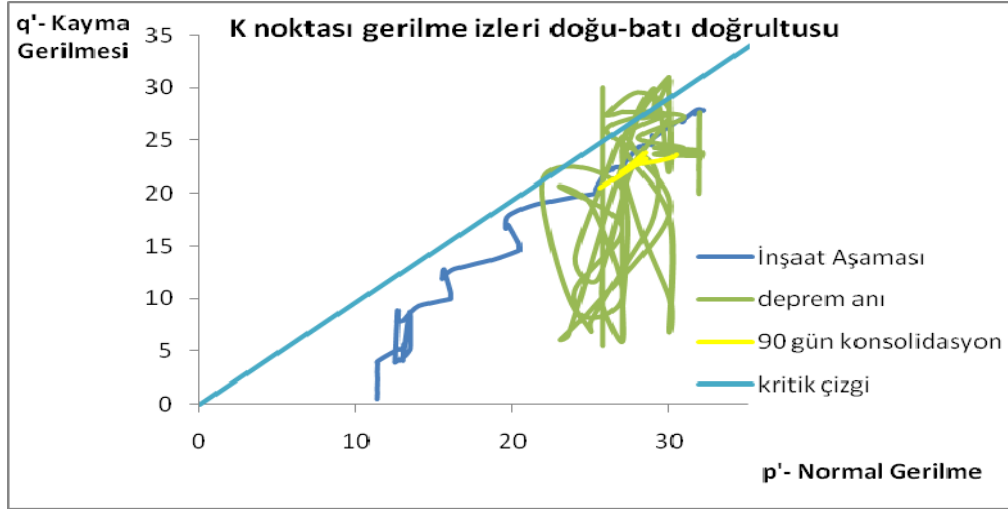
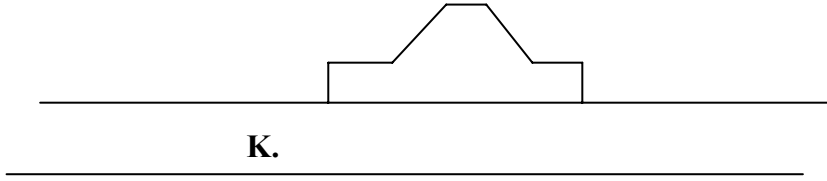
4.3.2 Dalgakıran İnşaatı Sonrası Ani Deprem Durumu

Dalgakıran inşaatının tamamlanmasından hemen sonra, henüz zemin konsolide olup pekleşmeden ve boşluk suyu basınçları sönmülmenden karşılaşılan deprem durumu için sonlu eleman programında, aynı deprem kayıtları ve yumuşak zemin içinde aynı noktalar seçilerek dinamik analizler tekrarlanmıştır.

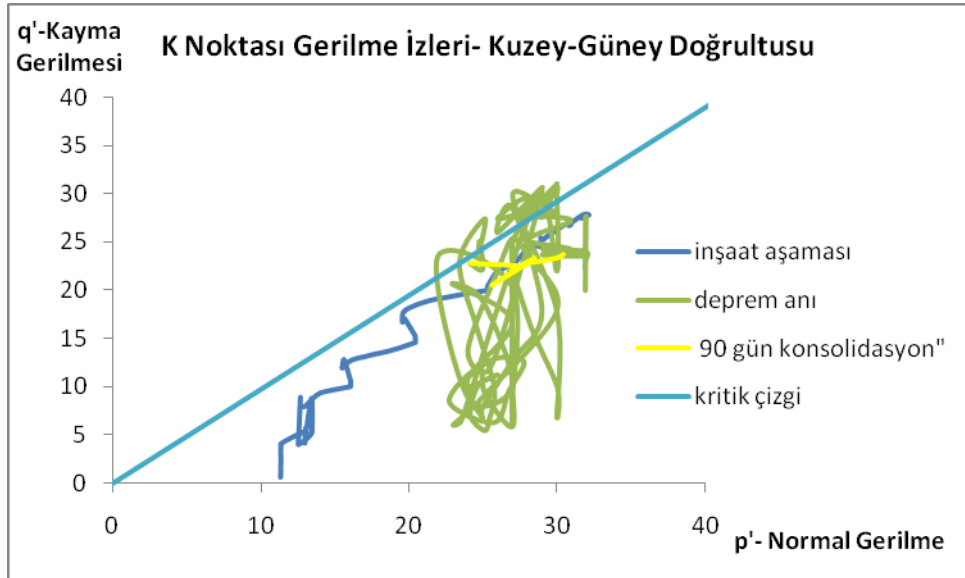
4.3.2.1 K Noktası Gerilme izleri ve Hasar Olasılık Eğrileri

Şekil 4.52, 4.53 ve 4.54'te görüldüğü gibi inşaat süresinde yükleme aşamalarında gerilme izleri Kritik Durum Çizgisine yaklaşmaya çalışmaktadır. Fakat Kritik Duruma karşı sürekli olarak yeterli güvenlik durumuna sahip olacak gerilme durumunda kalmıştır. Uygulanan yeterli konsolidasyon süreleri ile de yeni yüklemenin uygulanabilmesi için gerekli pekleşme elde edilmiştir. İnşaat bitimden hemen sonra, zemin konsolidasyon vasıtası ile pekleşmeden ve boşluk suyu basınçları yeteri kadar

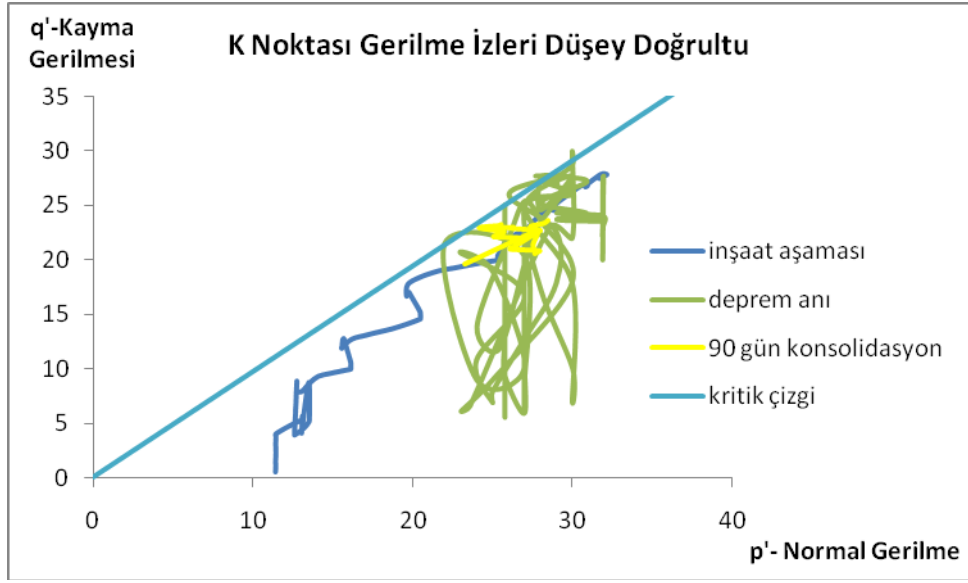
sönümlenmeden deprem olması durumu Şekil 4.52, 4.53 ve 4.54 'te gösterilmiş ve göçme olasılığı Şekil 4.54 'de verilmiştir.



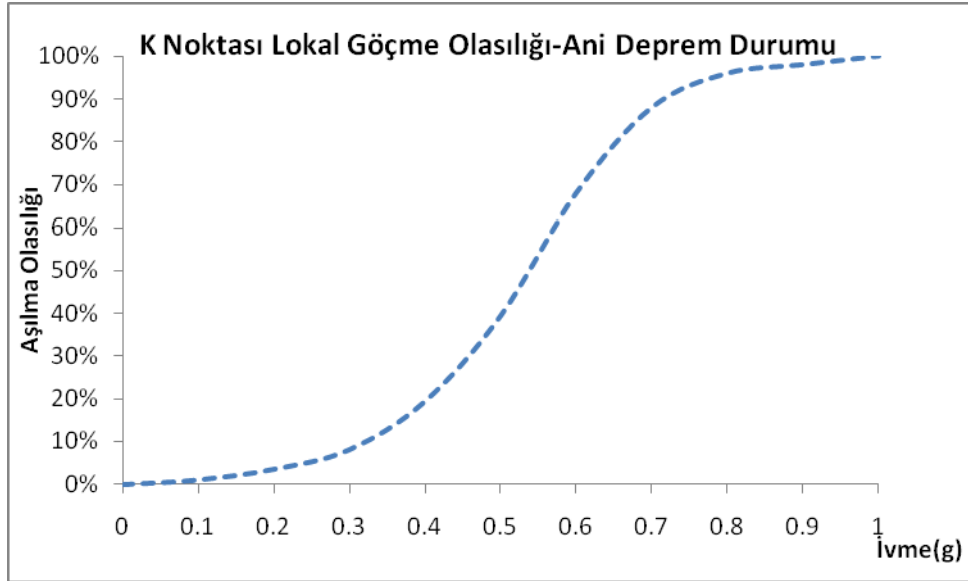
Şekil 4.52 K Noktası Gerilme İzleri- Düzce Depremi doğu-batı doğrultusu



Şekil 4.53 K Noktası Düzce Depremi Gerilme İzleri-kuzey batı doğrultusu gerilme izleri

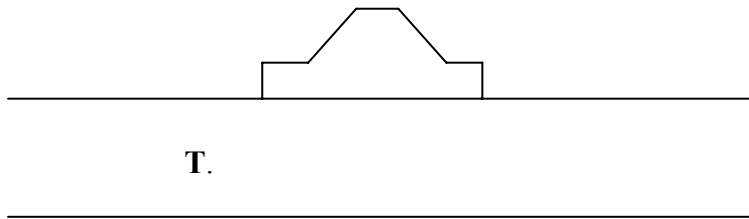


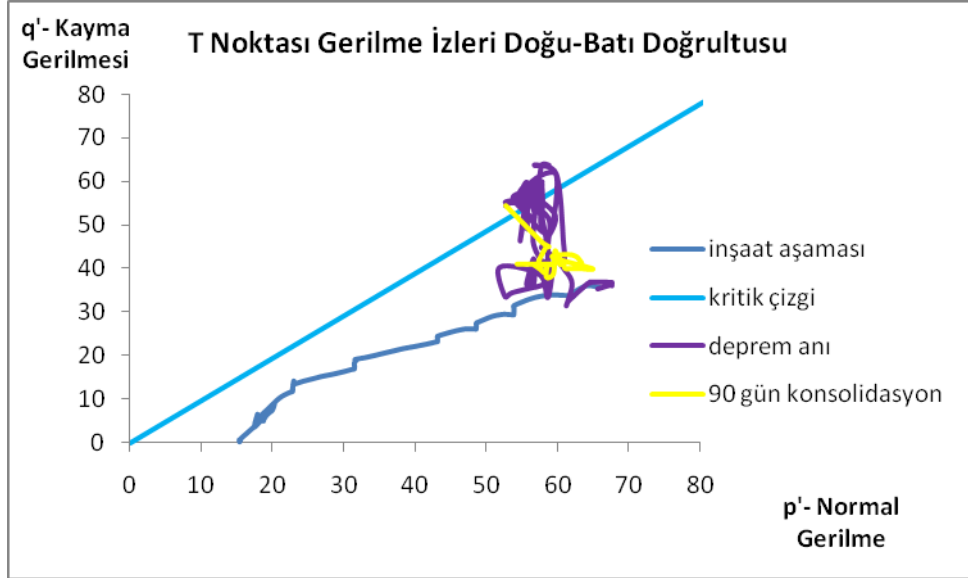
Şekil 4.54 K Noktası gerilme izleri Düzce Depremi düşey doğrultu



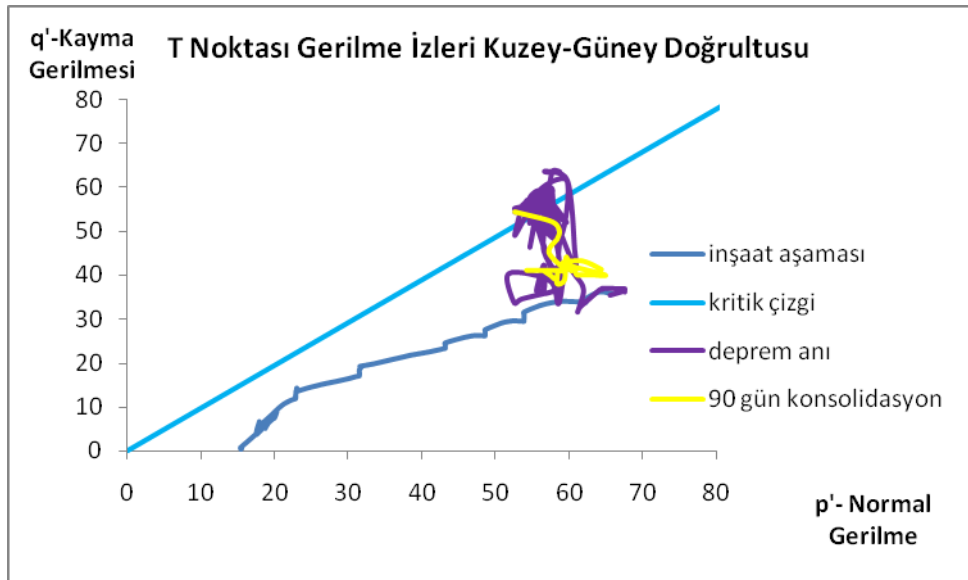
Şekil 4.55 K Noktası göçme olasılığı eğrisi

4.3.2.2 T Noktası Gerilme izleri ve Hasar Olasılık Eğrileri

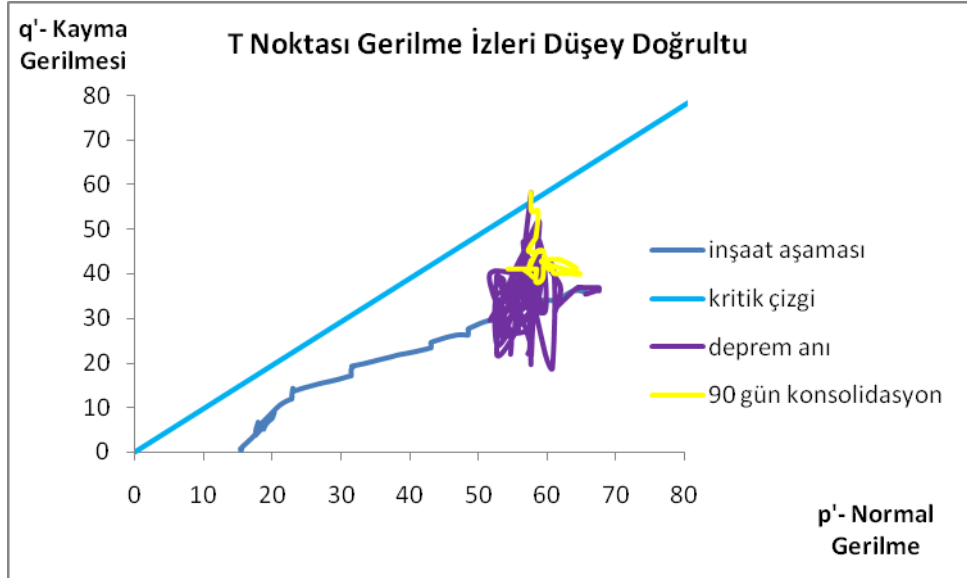




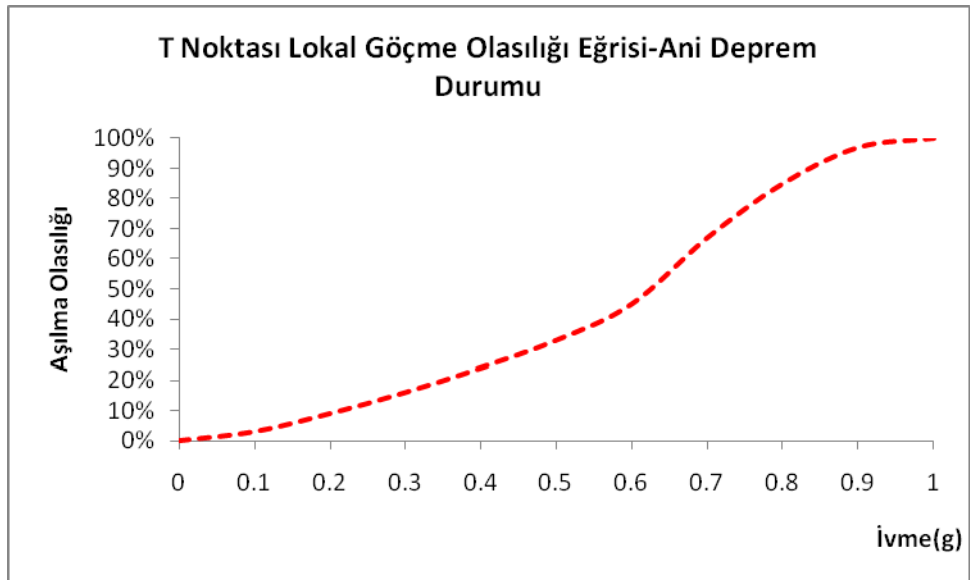
Şekil 4.56 T Noktası Gerilme İzleri- Düzce depremi doğu batı doğrultusu gerilme izleri



Şekil 4.57 T Noktası Gerilme İzleri-düzce depremi kuzey güney doğrultusu

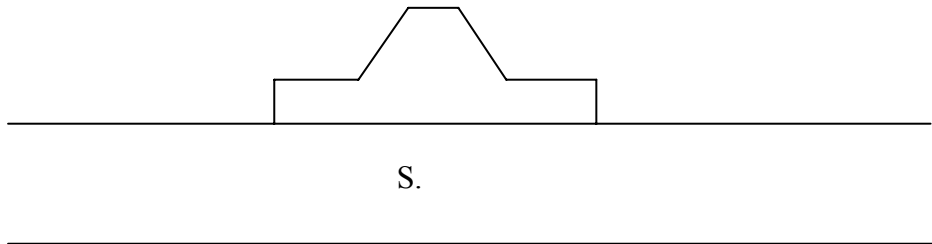


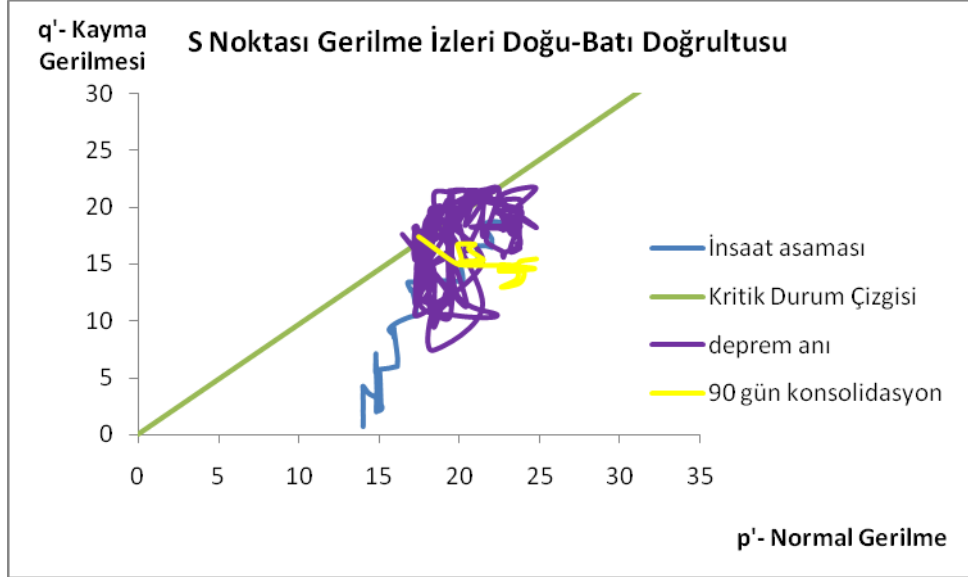
Şekil 4.58 T Noktası Gerilme İzleri- düzce depremi düşey doğrultu



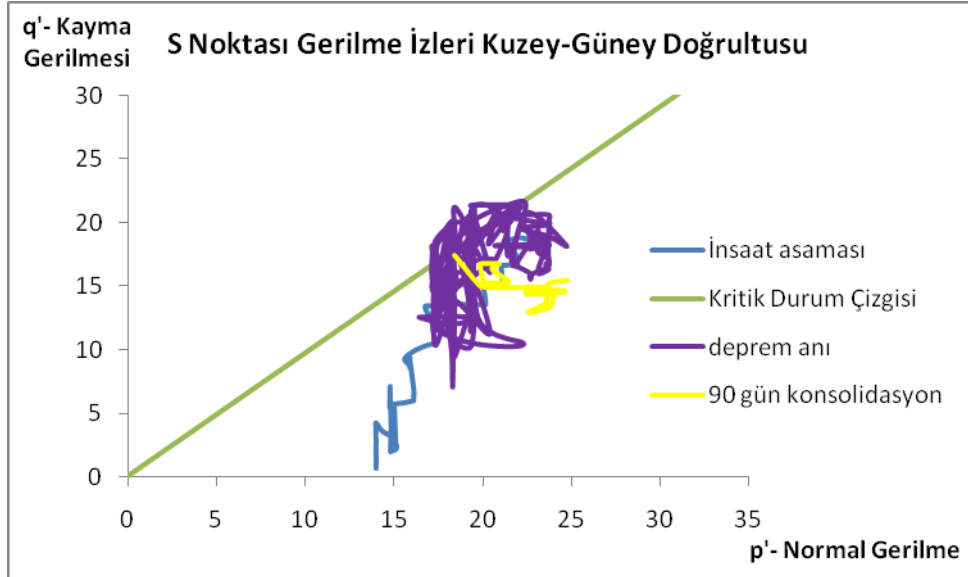
Şekil 4.59 T Noktası Lokal göçme olasılığı eğrisi

4.3.2.3 S Noktası Gerilme izleri ve Hasar Olasılık Eğrileri

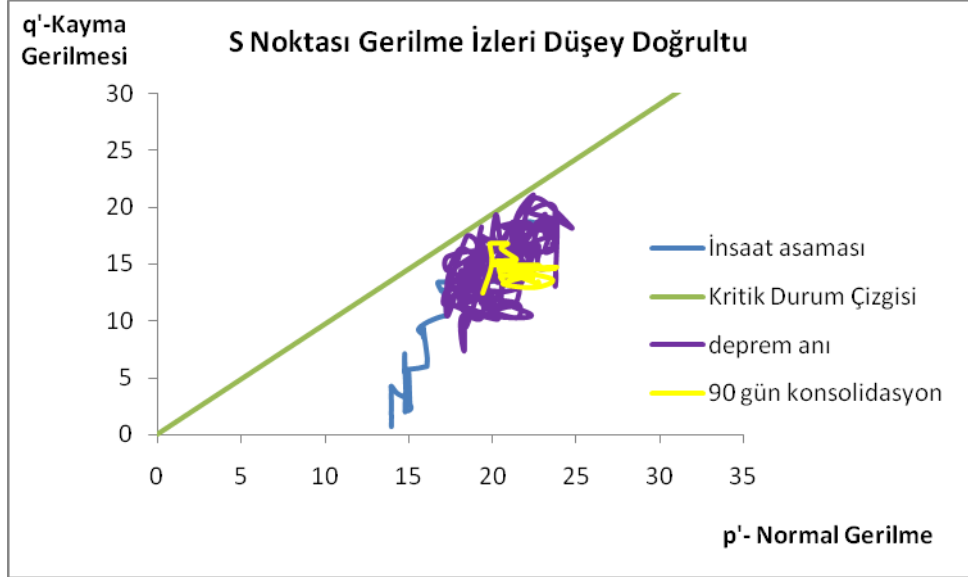




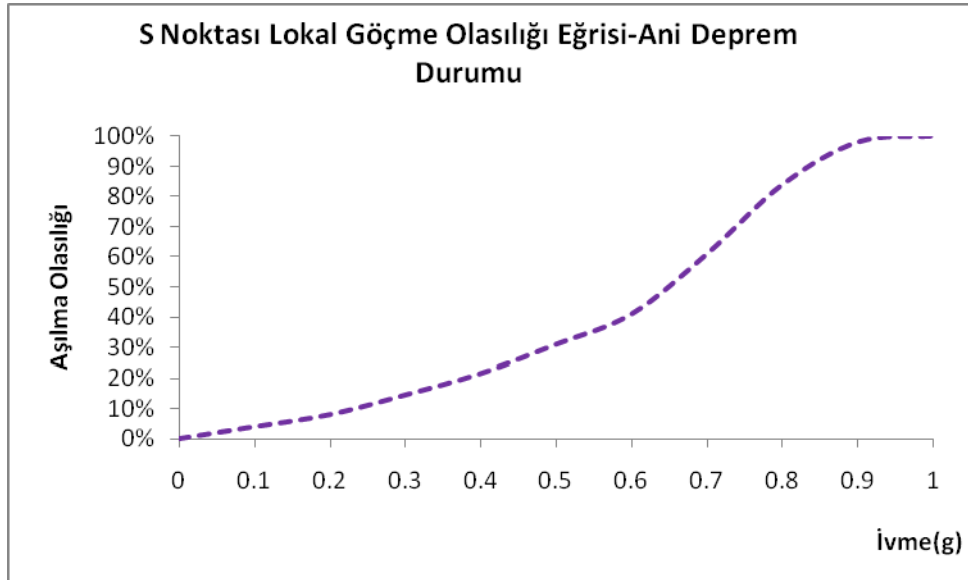
Şekil 4.60 S Noktası Gerilme İzleri- düzce depremi doğu batı doğrultusu gerilme izleri



Şekil 4.61 S Noktası Gerilme İzleri-düzce depremi kuzey güney doğrultusu

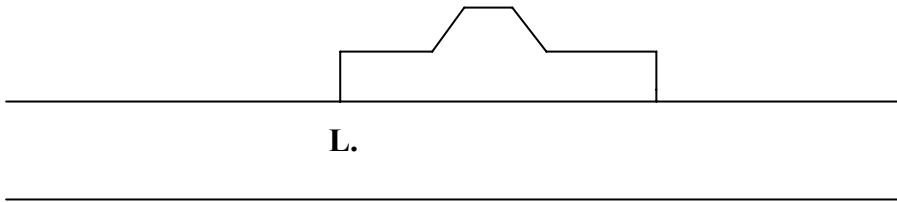


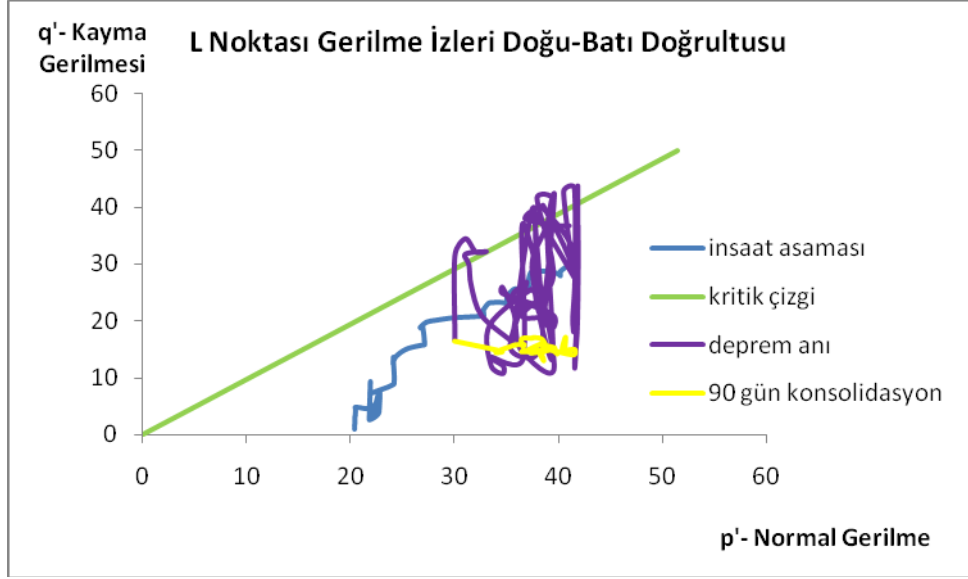
Şekil 4.62 S Noktası Gerilme İzleri-düşey doğrultu



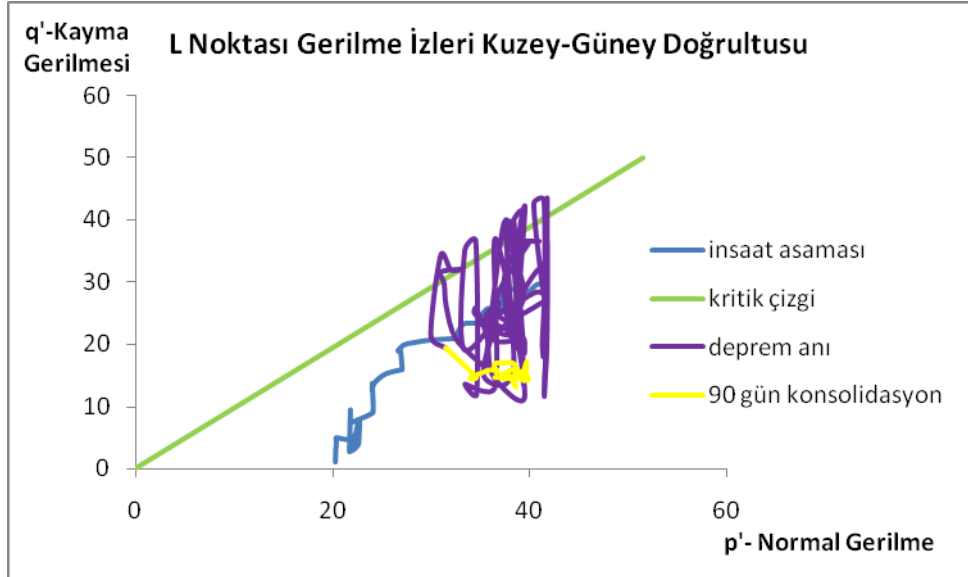
Şekil 4.63 S Noktası Göçme eğrisi

4.3.2.4 L Noktası Gerilme izleri ve Hasar Olasılık Eğrileri

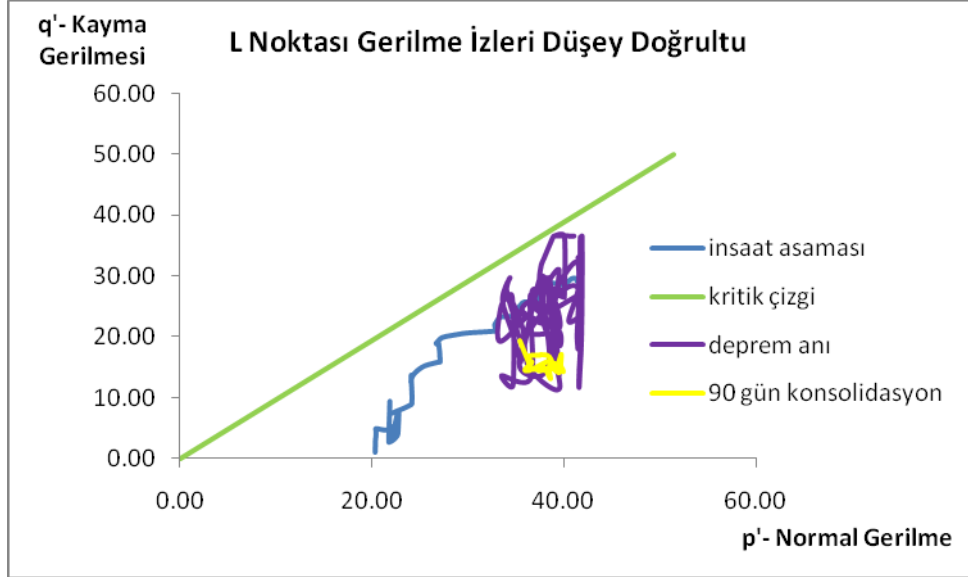




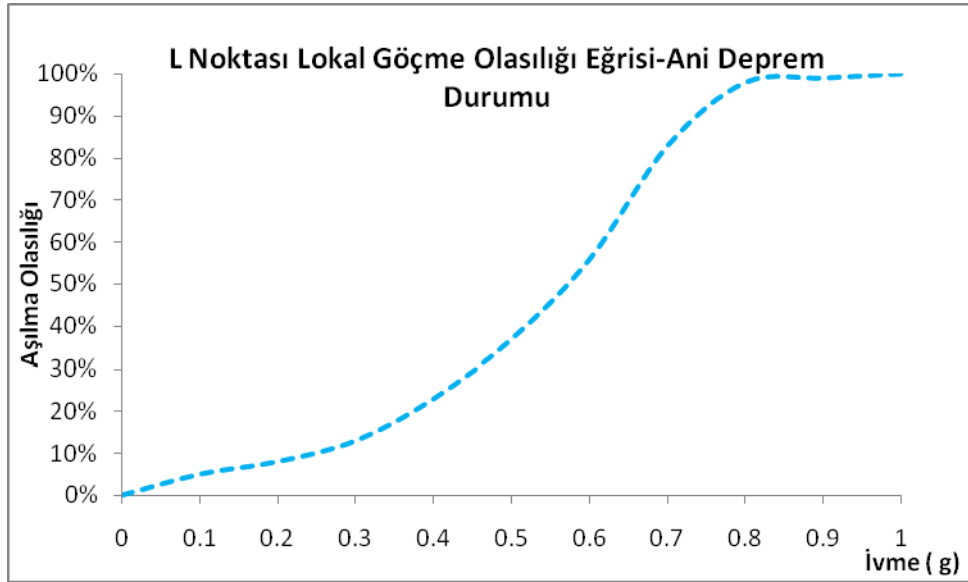
Şekil 4.64 L Noktası gerilme izleri- düzce depremi doğu batı doğrultusu



Şekil 4.65 L Noktası Gerilme İzleri-kuzey güney doğrultusu

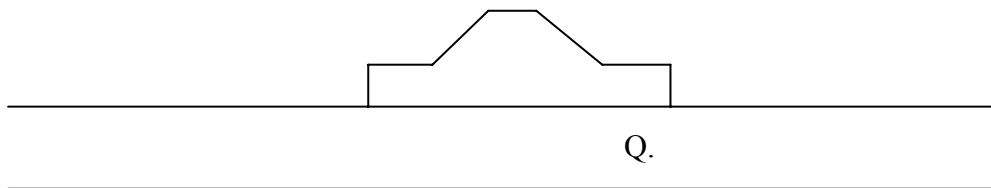


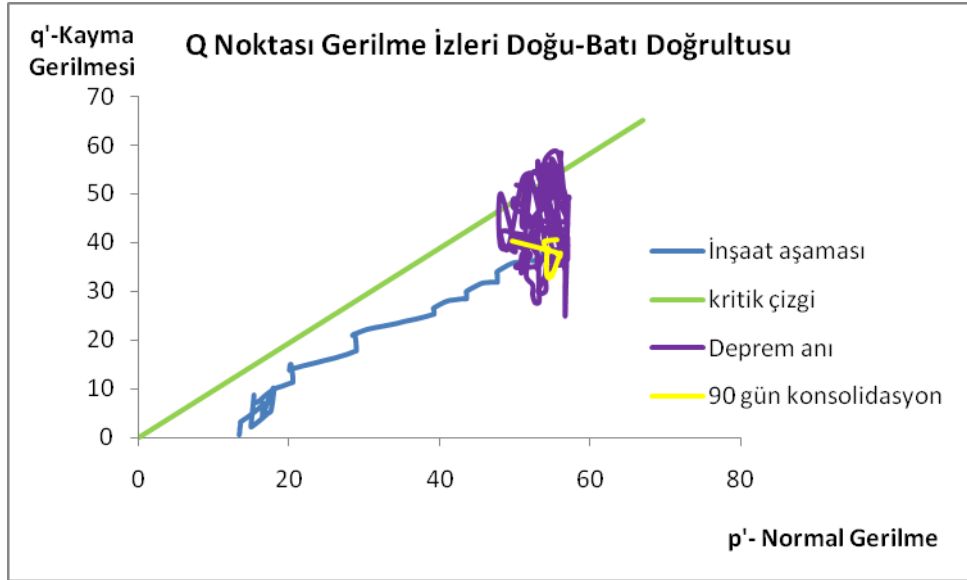
Şekil 4.66 L Noktası Gerilme İzleri- Düzce depremi düşey doğrultu



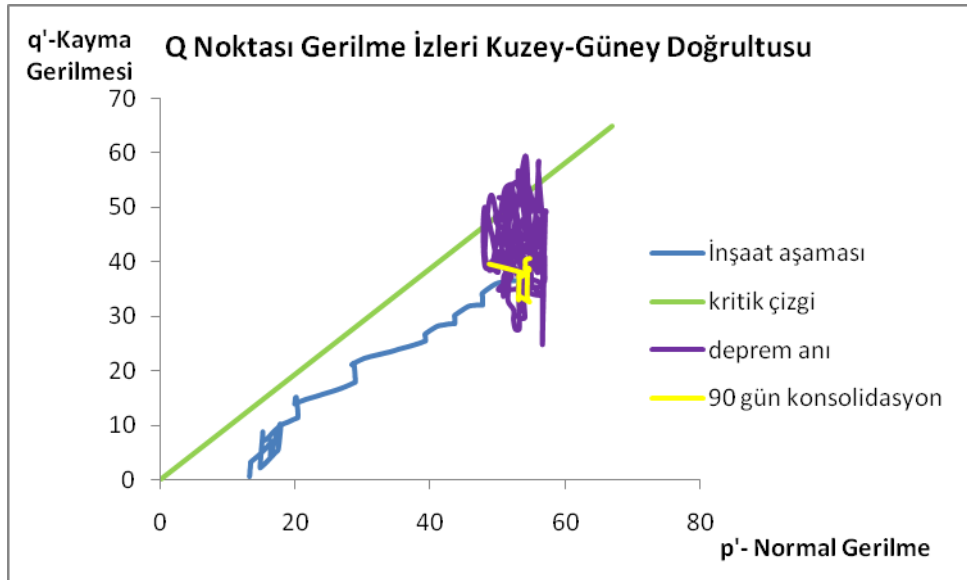
Şekil 4.67 L Noktası Lokal Göçme olasılığı eğrisi

4.3.2.5 Q Noktası Gerilme izleri ve Hasar Olasılık Eğrileri

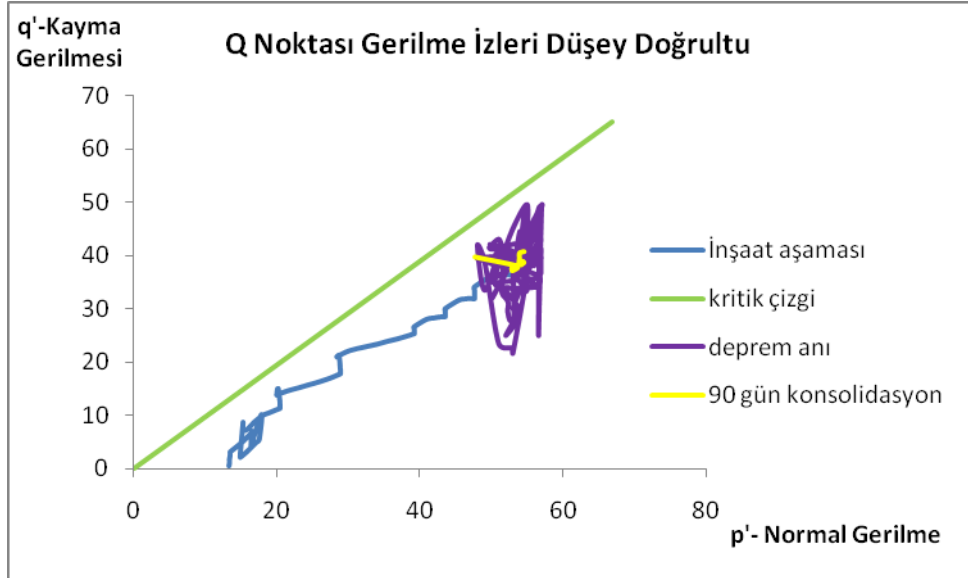




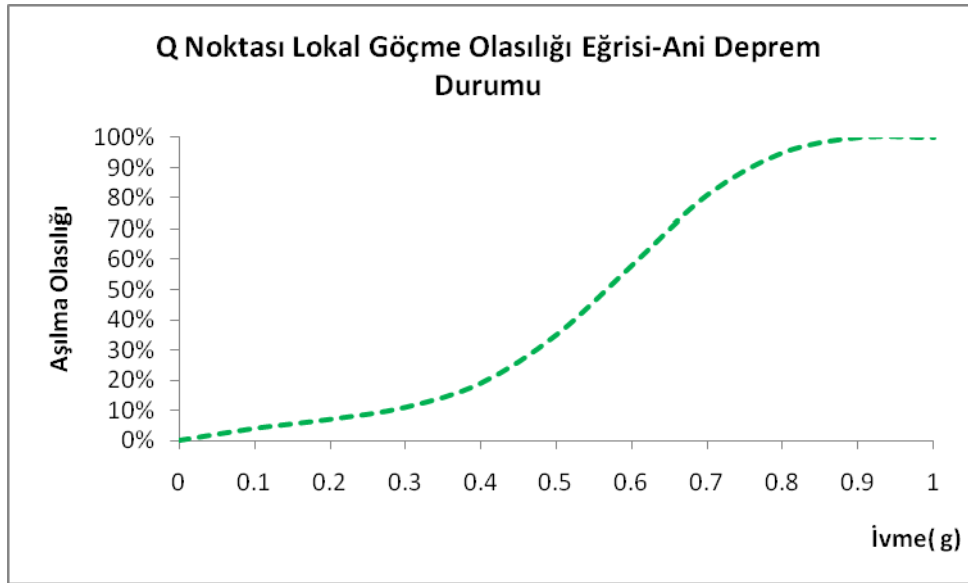
Şekil 4.68 Q Noktası Gerilme İzleri- Düzce Depremi Doğu Batı Doğrultusu



Şekil 4.69 Q Noktası Gerilme İzleri- Düzce Depremi Kuzey Güney Doğrultusu

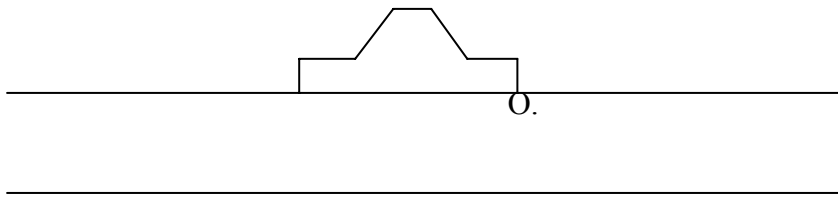


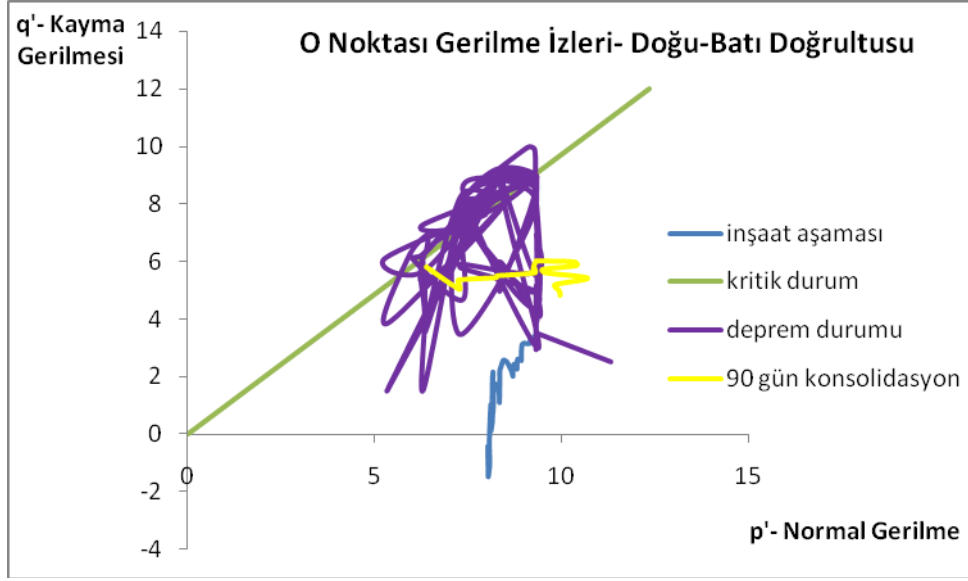
Şekil 4.70 Q Noktası Gerilme İzleri-Düşey Doğrultu



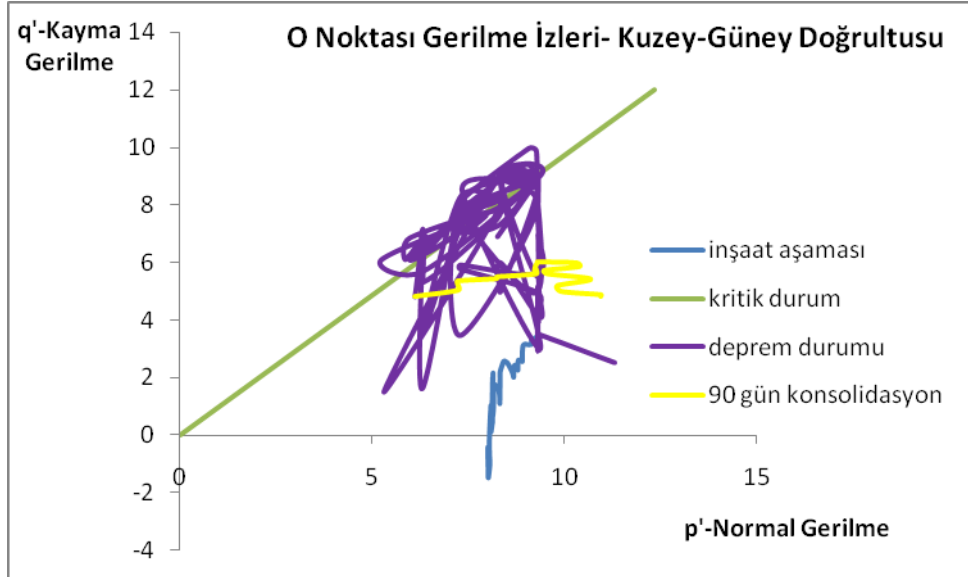
Şekil 4.71 Q Noktası Göçme olasılığı eğrisi

4.3.2.6 O Noktası Gerilme izleri ve Hasar Olasılık Eğrileri

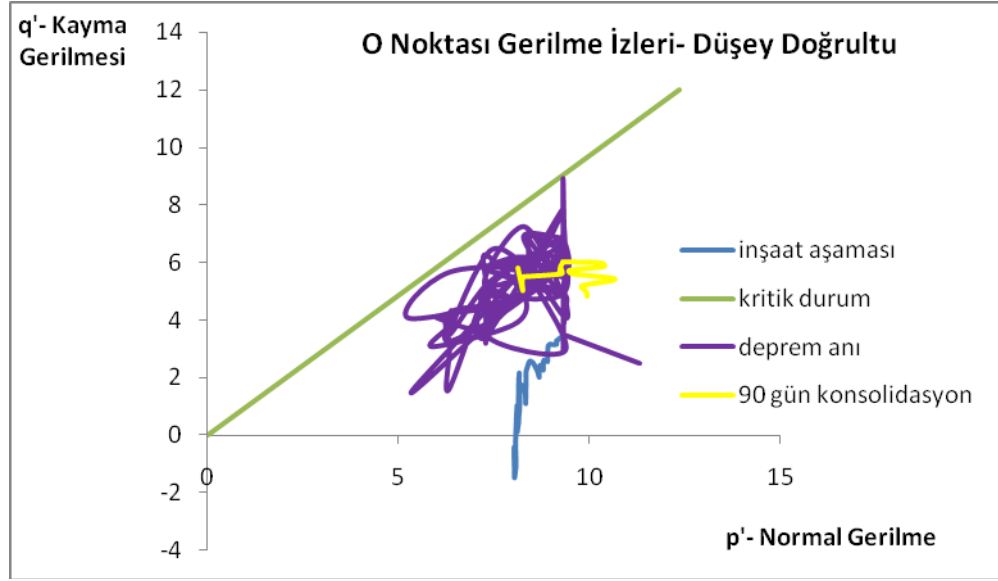




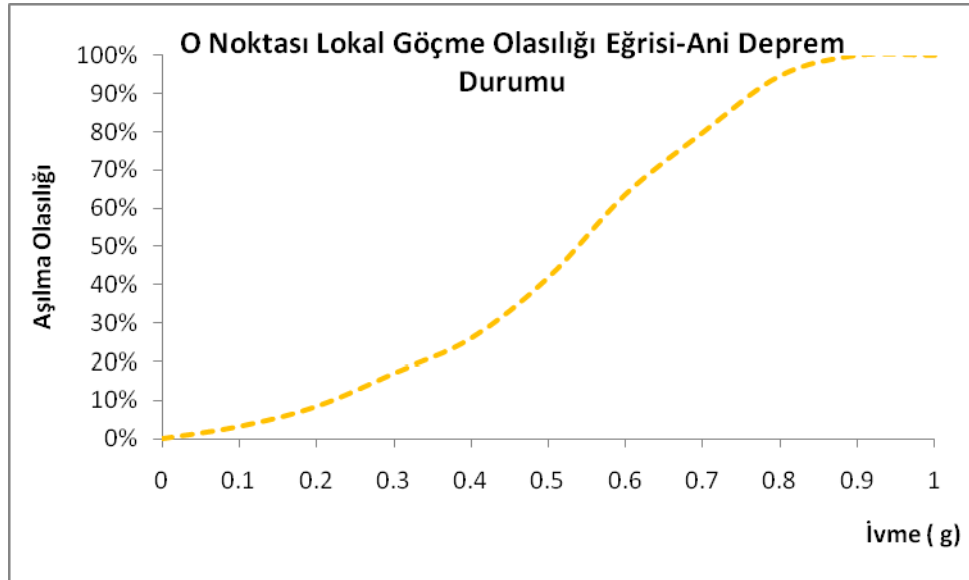
Şekil 4.72 O Noktası Gerilme İzleri-Doğu Batı Doğrultusu



Şekil 4.73 O Noktası Gerilme İzleri-Kuzey Güney Doğrultusu

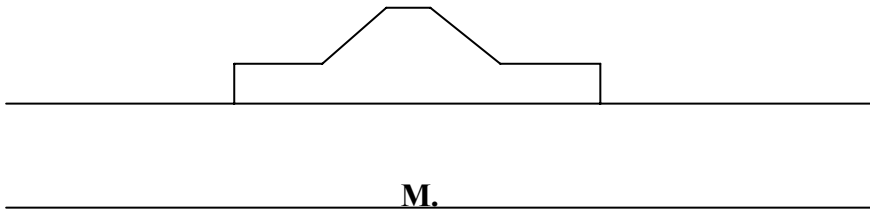


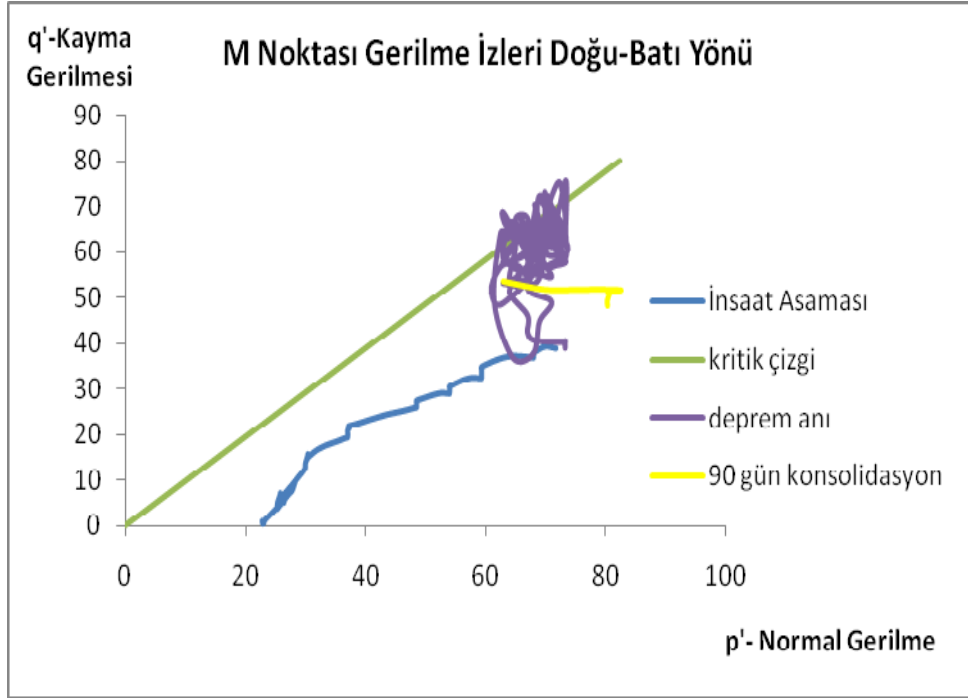
Şekil 4.74 O Noktası Gerilme İzleri-Düşey Doğrultu



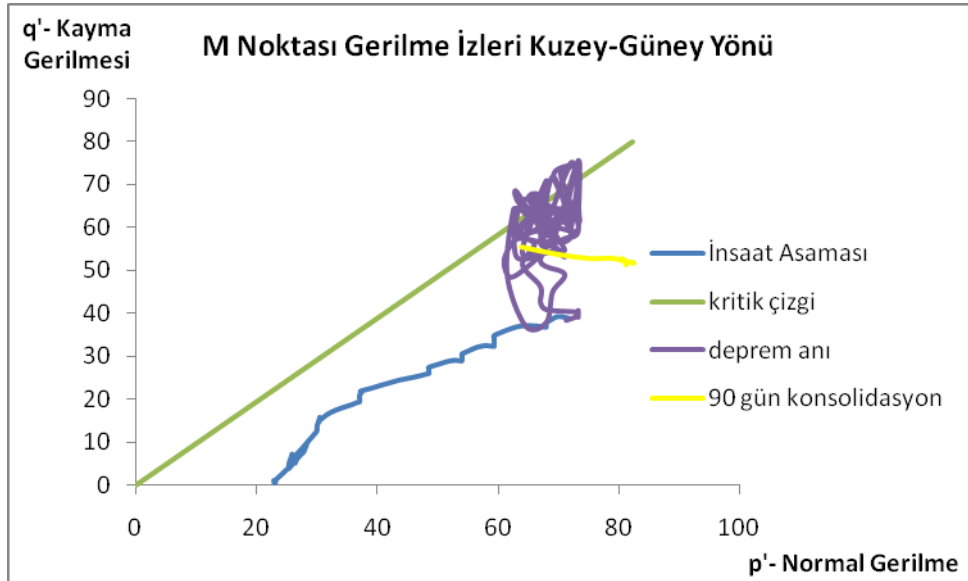
Şekil 4.75 O Noktası Göçme olasılığı eğrisi

4.3.1.7 M Noktası Gerilme İzleri ve Hasar Olasılık Eğrileri

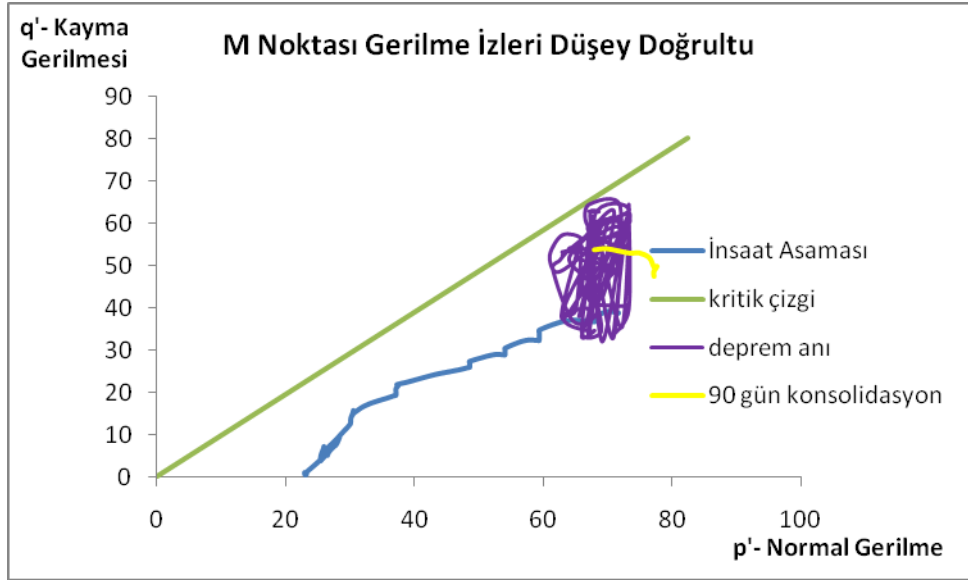




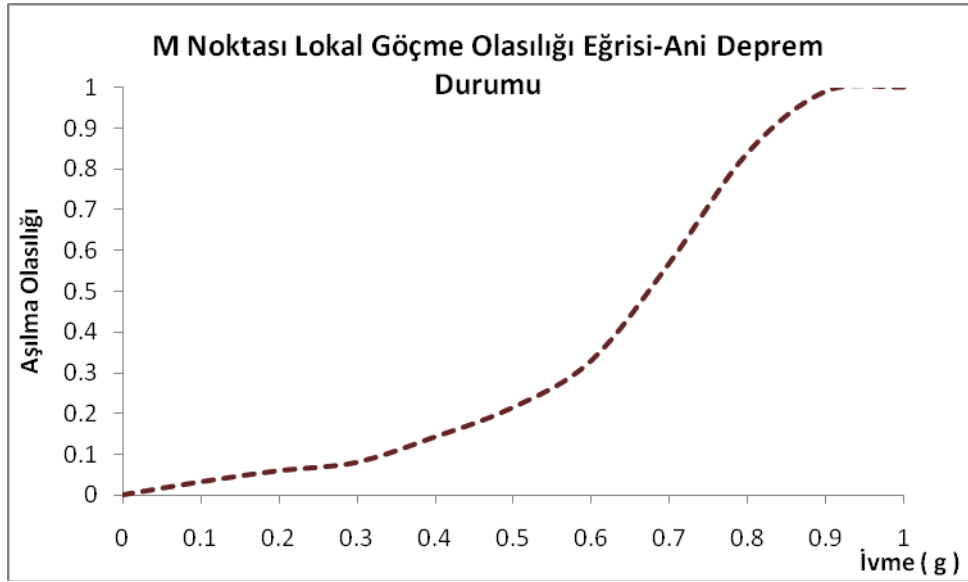
Şekil 4.76 M Noktası Gerilme İzleri-Doğu Batı Doğrultusu



Şekil 4.77 M Noktası Gerilme İzleri-Kuzey Güney Doğrultusu

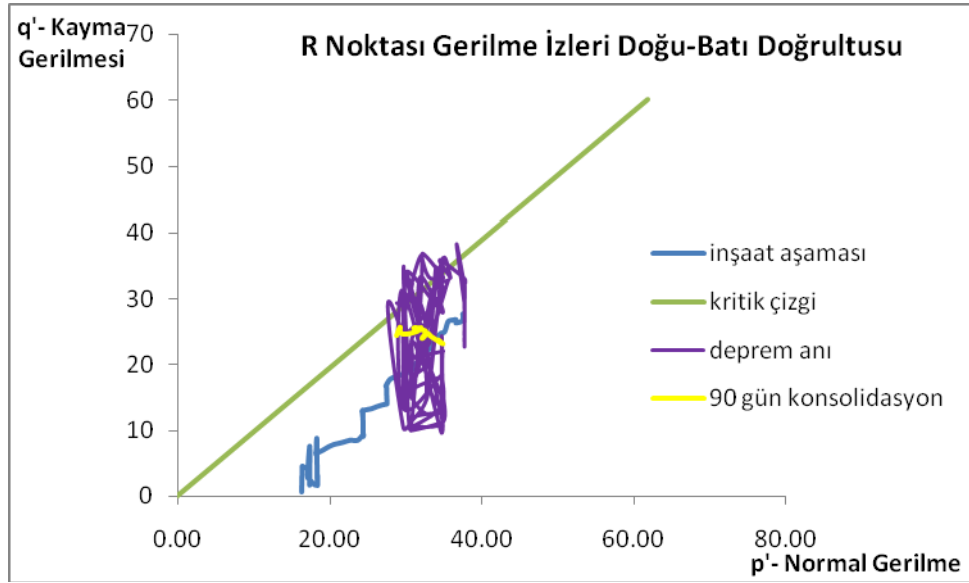
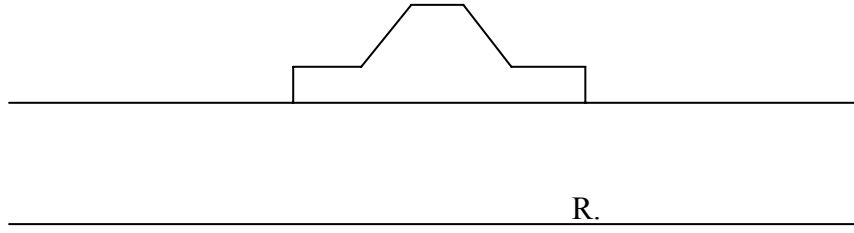


Şekil 4.78 M Noktası Gerilme İzleri-Düşey Doğrultu

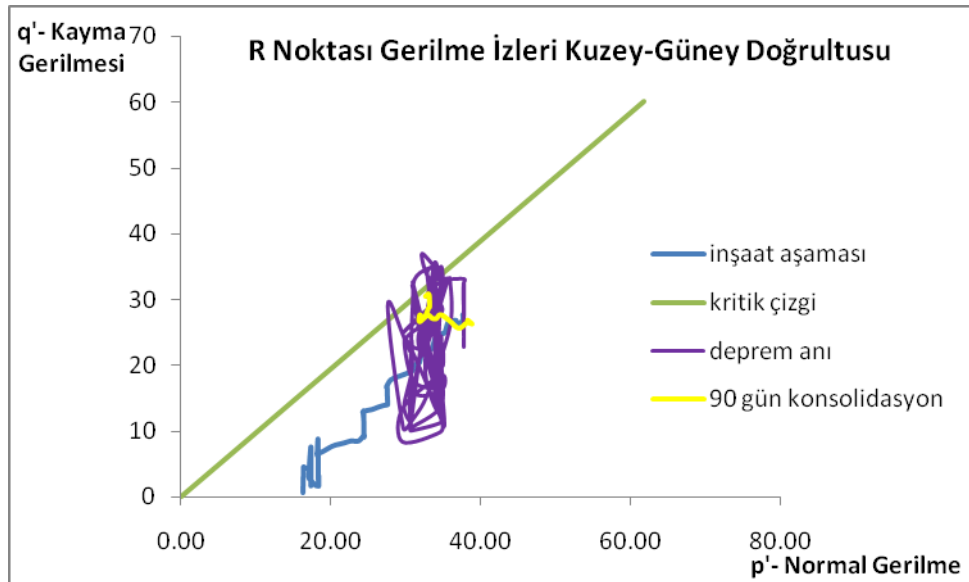


Şekil 4.79 M Noktası Göçme Olasılığı Eğrisi

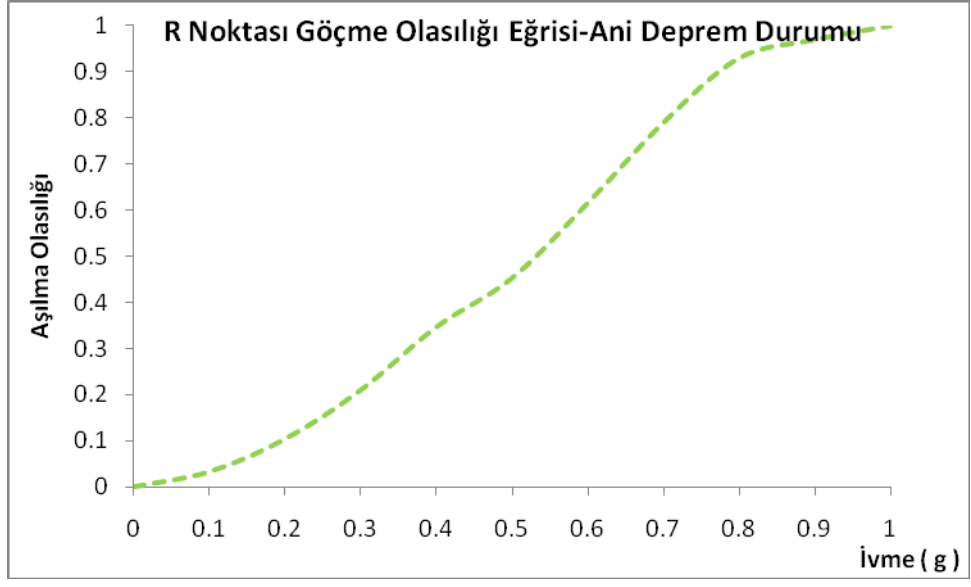
4.3.1.8 R Noktası Gerilme İzleri ve Hasar Olasılık Eğrileri



Şekil 4.80 R Noktası Gerilme İzleri-Doğu Batı Doğrultusu



Şekil 4.81 R Noktası Gerilme İzleri-Kuzey Güney Doğrultusu



Şekil 4.82 R Noktası Göçme Olasılığı Eğrisi

5.TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında yumuşak zeminler üzerine inşa edilen dalgakıranlar için temel zemininde göçmeye sebep olmayacak bir tasarım ve inşaat programının yapılması ve bu programla inşa edilen dalgakıranın deprem etkisi altında kalması durumunda temel zeminindeki göçme olasılık durumu araştırılmıştır.

Araştırma bir dalgakıran tipi ve zemin tabakalanması seçilerek sayısal modelleme yöntemi ile yapılmıştır. Sayısal modelleme çalışması için kullanılan araç Plaxis V.8 sonlu elemanlar programıdır. Çalışmanın birinci aşaması uygun ve güvenli inşaatın yapılabileceği yükleme programının elde edilmesidir. Bu bağlamda yumuşak zeminlerin düşük kayma kapasiteleri ve yüksek deformasyon yetenekli özelliklerini dikkate alarak yapılan modelleme çalışması ile uygun yükleme programı elde edilmiştir.

İkinci aşama dalgakıranın altındaki zeminin inşaatının tamamlanmasından sonra depremle karşılaşması durumunda davranışının nasıl olacağını sorgulanmasıdır. Bunun için iki durum seçilmiştir:

- İnşaat biter bitmez deprem olması durumu
- İnşaat bitiminde 365 gün sonraki deprem durumu

Her iki durum için 10 farklı depremin 3 doğrultusuna ait deprem kayıtları kullanılarak analizler yapılmıştır. Gerek depremsiz duruma gerek deprem durumuna ait analizler sonucu elde edilen gerilme değerleri kullanılarak Kritik Durum Zemin Mekaniği ortamı içinde q-p' düzleminde gerilme izleri çizilmiştir. Gerilme izlerini oluşturan gerilme durumlarının Kritik Durum Çizgisine göre pozisyonunu inceleyen lokasyonda o an için ulaşılan güvenlik durumunun göstergesidir.

Dalgakıran inşaatı süresince temel zemini içinde seçilen noktaların hiçbirinde kritik duruma ulaşılmamış ve belli bir güvenlik seviyesinin altına düşülmemiştir. Ancak deprem yüklenmesi sırasında bazı anlarda kritik durum çizgisine ulaşılmış veya kayma gerilmesi değerleri kritik durumun üzerine çıkmıştır. Ancak kritik duruma ulaşma veya göçmenin ivme değerine doğrudan bağlı olmadığı görülmektedir, bu durum zemindeki gerilme ortamının değişmesi ile daha çok ilintilidir ve bu sebeplede önceki ivmelerdeki

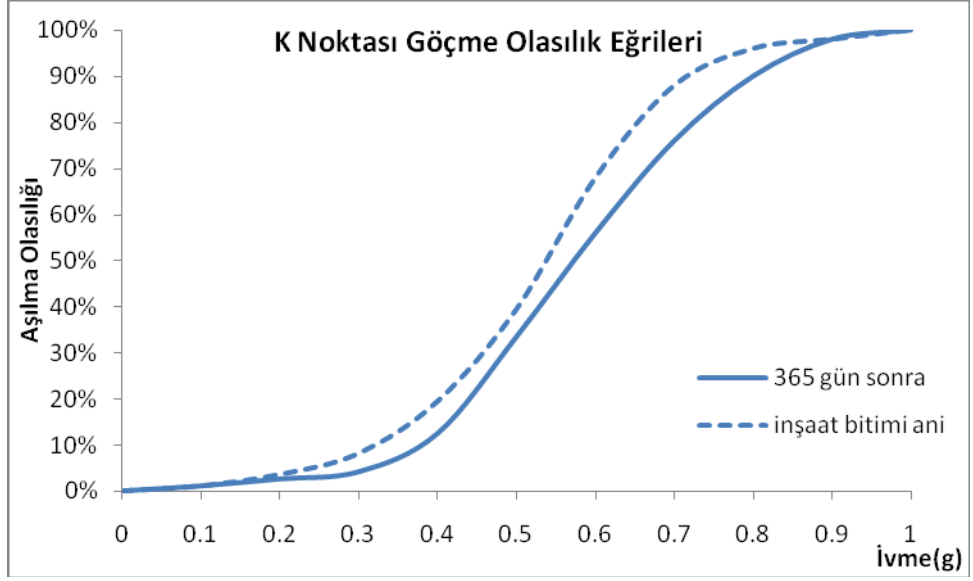
gerilme değişimi ve yumuşamanın etkisi daha sonraki bir andaki çok ta küçük olabilen bir ivme değerinde ortaya çıkabilmektedir.

Dalgakıran altı temel zemininde seçilen farklı sekiz lokasyonu temsil eden sekiz adet nokta için gerilme izleri inşaat süreci, deprem etkisi ve konsolidasyon dönemleri için bir arada elde edilmiştir.

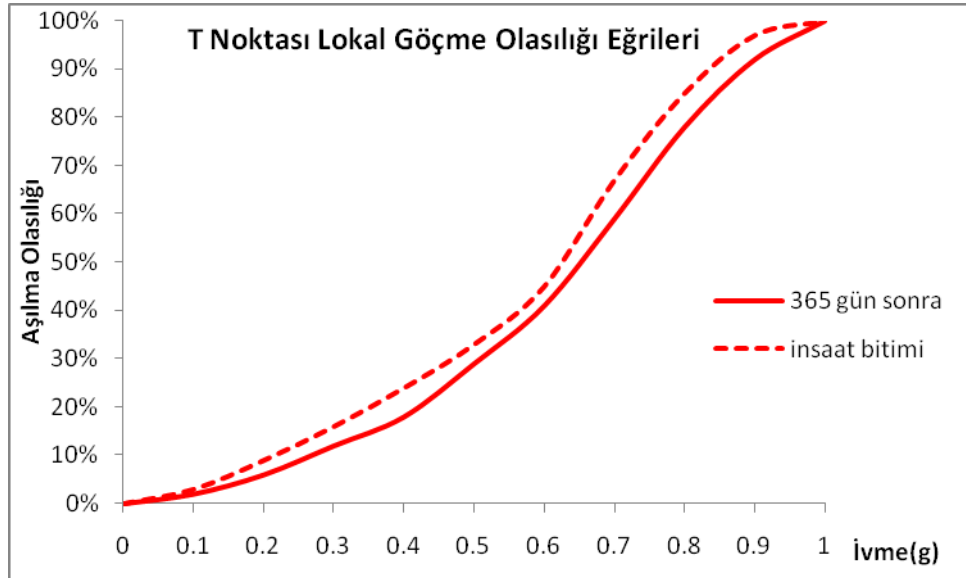
Her nokta için inşaat sonrası kısa süre ve uzun süre durumları için 10 değişik deprem kaydına ait 3 farklı doğrultu kaydı kullanılarak toplam 480 adet analiz yapılmıştır ancak 480 gerilme izi bu tezin kapsamı içinde çok yer kaplayacağından sadece kullanılan deprem kayıtlarından birinin 3 doğrultusu için gerilme izleri verilmiştir. Ancak göçme olasılık eğrileri tüm analizlerin değerlendirilmesi ile elde edilmiştir.

Herhangi bir nokta için göçme olasılık eğrisi 0.1g ile 1.g büyüklükleri arasında değişen kayıtların analizi ile, her pik ivme değerine karşılık gelen kritik duruma ulaşan gerilme durumu sayısının toplam deprem gerilme durumu sayısına oranı olarak elde edilmiştir. Farklı noktalar için elde edilen göçme olasılık eğrilerinin karşılaştırılması ile temel zemininde hangi bölgelerde göçme riskinin daha yüksek olduğu açıklıkla görülmektedir. Bu değerlendirme incelenen bölgenin çevre zemin gerilmeleri ile desteklendiği bölgelerde riskin daha düşük olduğunu, çevrelenmenin düşük olduğu bölgelerde ise daha yüksek olduğunu göstermektedir. Bölge olarak ifade edilirse topuk civarı ve yüzeye yakın bölgelerde risk en büyüktür ve riski azaltmak için bu bölgelerde çeşitli güçlendirme uygulamaları yapılabilir.

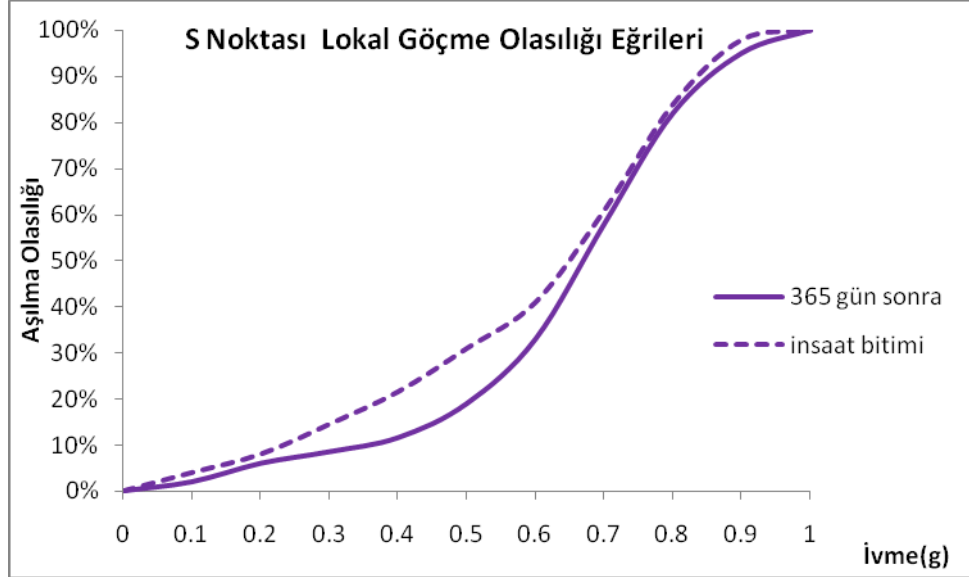
İnşaat sonrası kısa süre sonra ve uzun süre sonra deprem etkisi ile karşılaşma durumları karşılaştırılması ise beklendiği gibi uzun süre sonra depremin olmasının hasar yapıcı etkisinin daha düşük olduğunu göstermektedir. Şekil 4.82-4.93 de bu etkinin göçme olasılık eğrilerinin karşılaştırılması ile daha net görülebilir.



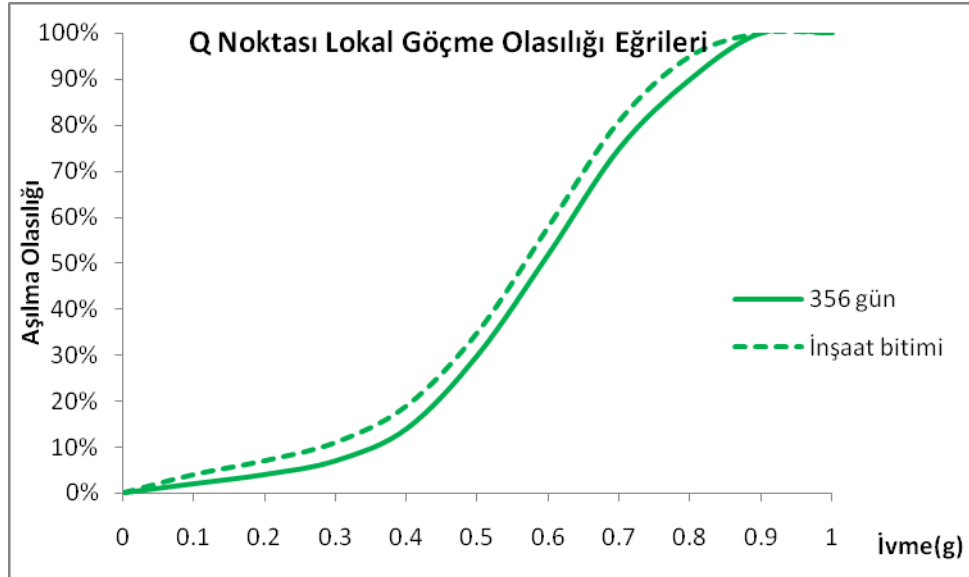
Şekil 4.83 K Noktası Göçme Olasılığı Eğrileri



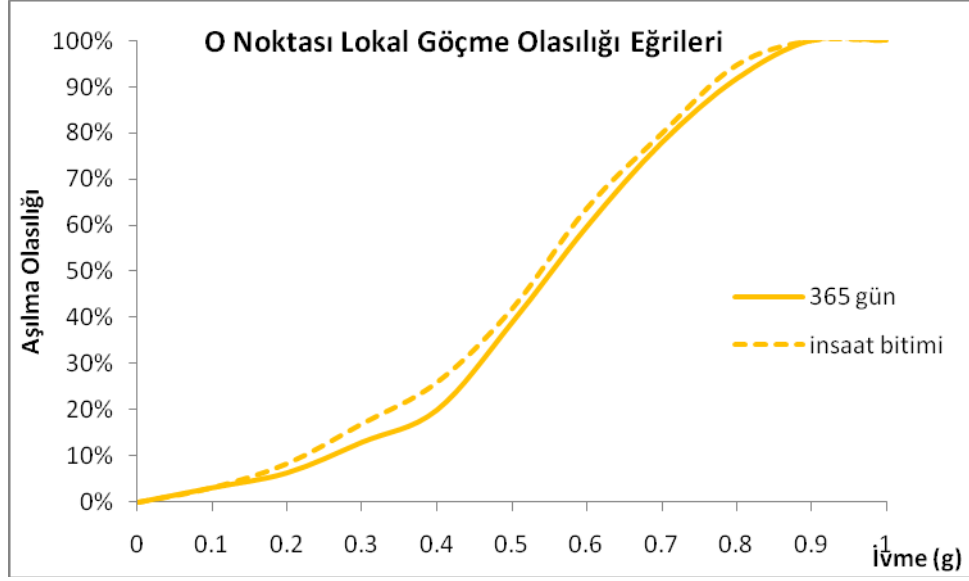
Şekil 4.84 T Noktası Göçme Olasılığı Eğrileri



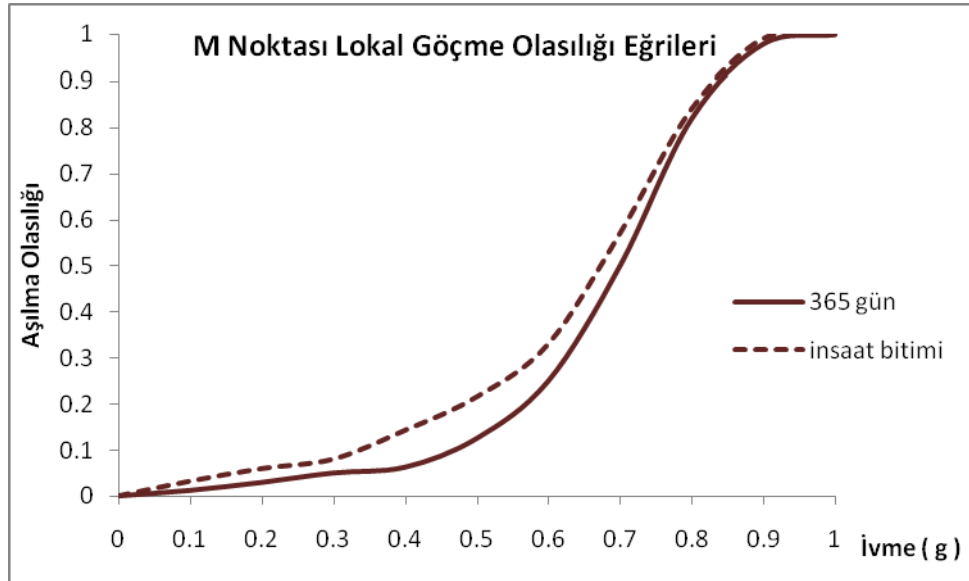
Şekil 4.85 S Noktası Göçme Olasılığı Eğrileri



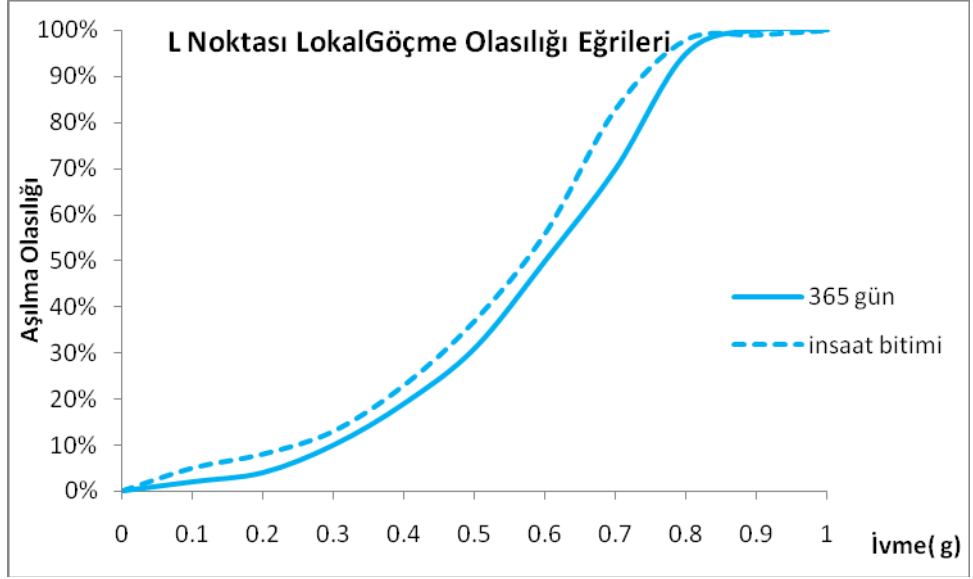
Şekil 4.86 Q Noktası Göçme Olasılığı Eğrileri



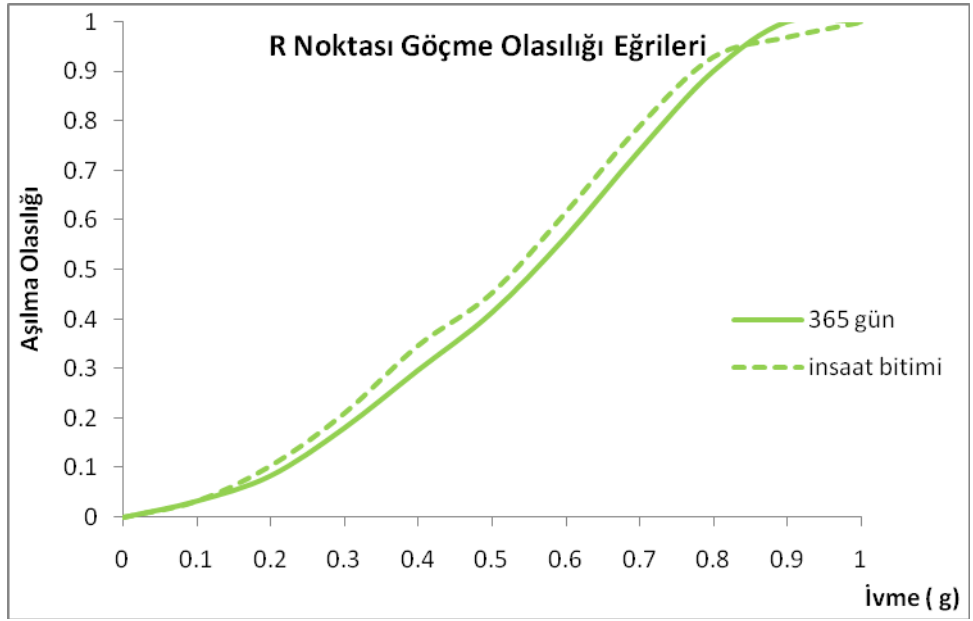
Şekil 4.87 O Noktası Lokal Göçme Olasılığı Eğrisi



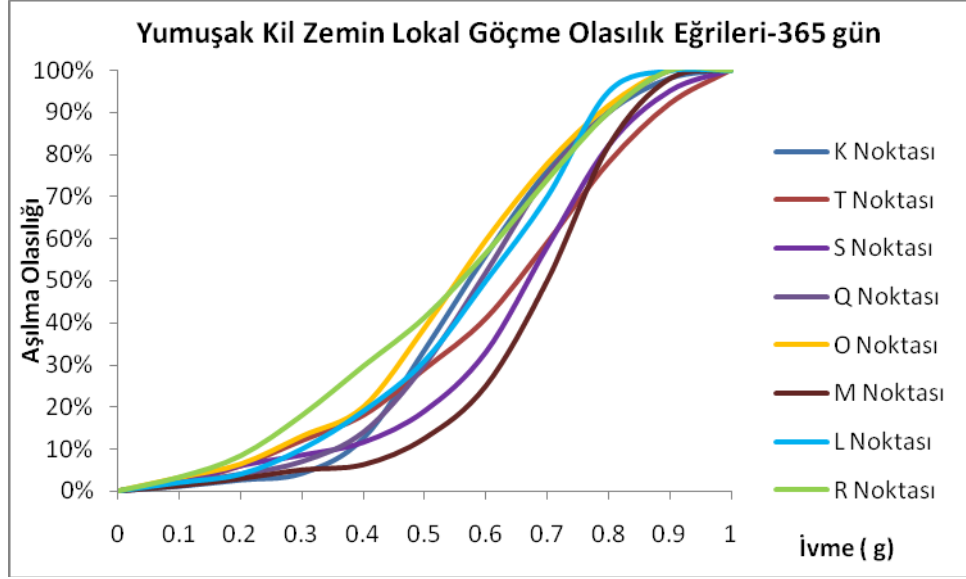
Şekil 4.88 M Noktası Lokal Göçme Olasılığı Eğrisi



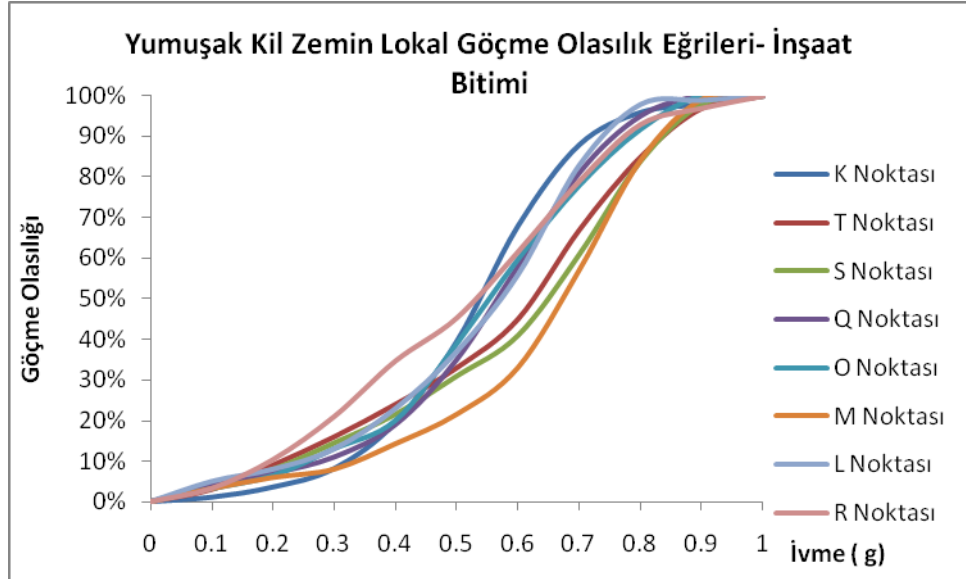
Şekil 4.89 L Noktası Göçme Olasılığı Eğrisi



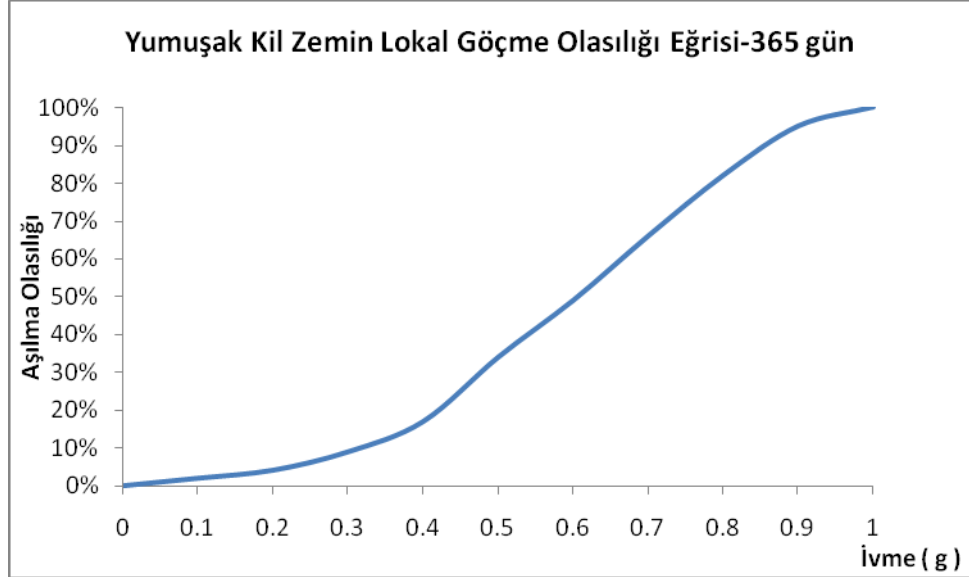
Şekil 4.90 R Noktası Göçme Olasılığı Eğrileri



Şekil 4.91 Yumuşak kil zemin göçme olasılık eğrileri- 365 gün için



Şekil 4.92 Yumuşak kil zemin göçme olasılık eğrileri- İnşaat Bitimi



Şekil 4.93 Yumuşak Kil Zemin Göçme Olasılık Eğrisi-365 gün



Şekil 4.94 M Noktası Lokal Göçme Olasılığı Eğrisi

Son yıllarda ard arda karşılaşılan büyük depremlerin sebep olduğu hasarlar ve konuda artan bilgi birikimi depremin hasar yapıcı etkisinin araştırılmasına yönelik çalışmaların çok büyük ölçüde artmasına sebep olmuştur. Bu çerçevede son yılların en popüler araştırma konularından biri yapılar için hasar olasılık eğrilerinin veya kırılma eğrilerinin elde edilmesidir. Ancak bu bağlamda yapılan çalışmalar zemindeki gerilme durumu değişimini kapsamamaktadır veya zemin davranışını yeterince irdelememektedir. Ancak bilindiği üzere deprem sebebiyle yapıya aktarılan yükler zemin vasıtasıyla iletilmekte ve yapıdaki deformasyonlarada zeminde oluşan deformasyonların büyük payı bulunmaktadır.

Burada sunulan çalışma dalgakıran örneği üzerinden dalgakıran altındaki yumuşak zemindeki değişimi irdeleyerek bu konuya zemin penceresinden anlamlı bir giriş yapma amacı taşımaktadır.

KAYNAKLAR

ANSAL, A.M. vd 2001: *İstanbul'da Bir Sismik Bölgeleme Uygulaması''*, İkinci İstanbul ve Deprem Sempozyumu, 27 Mayıs 2000, Maya Basım Yayın, TMMOB

ANSAL, A.M A ERKEN 1989 - *Undrained behavior of clay under cyclic shear stresses*, Journal of Geotechnical Engineering.

AMBRASEYS, N.N. ve FINKEL,C.F 1995, *The Seismicity of Turkey Adjacent Areas, a Historical Review''*, İstanbul

ATKINSON, J.H ve BRANSBY, P.L 1978, *The mechanics of soils, an introduction to critical state soil mechanics*, McGraw Hill Book Company (UK)

BRAY, J.D., RATHJE, E.M., Earthquake-induced displacement of solid-waste landfills, *Journal of Geotechnical and Geoenvironment Engineering*. ASCE, Vol.124, 242-253.

BORCHERDET, R.D., GIBSON, J.F., *Effect of Local Geological Conditions in the San Fransisco Bay Reigion on Ground Motions and the intensitesof the1996 earthquake''*, Bull. Seism. Soc. Am., (66): 467-500

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

ÇİNİCİOĞLU,S.F., 1986, *Problems of Embankment Construction on Soft Clays*, Ph.D.Thesis, Boğaziçi Universty

ÇİNİCİOĞLU,S.F.,1993, *Dolgu altındaki yumuşak zeminde düşey drenlerin etkisinin analizi*, Dolgu Barajlar Yönünden Zemin Mekaniği Problemleri Sempozyumu, İzmir, s.67-79

ÇİNİCİOĞLU,S.F.,1993, *Gerilme ve zaman kontrollü yükleme ile aşamalı toprak dolgu inşaatı*, İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler 1. Teknik Kongre, Gazi Magosa K.K.T.C., cilt 1, 312-321

ÇİNİCİOĞLU,S.F.,1993, *Dolgu altındaki yumuşak zeminde düşey drenlerin etkisinin analizi*, Dolgu Barajlar Yönünden Zemin Mekaniği Problemleri Sempozyumu, İzmir, s.67-79

ÇİNİCİOĞLU,S.F ve ÖZTOPRAK S. 2006, ‘‘*Dolgu İnşaatı Sürecindeki Temel Zemini Davranışının Farklı Yöntemlerle Yorumlanması*’’ Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 11. Ulusal Kongresi, 7-8 Eylül, Karadeniz Teknik Üniversitesi

ÇİNİCİOĞLU, S. F. ÖZTOPRAK, S. 2007, *Looking into an appropriate methodology for the embankment design and construction on soft soils*, Lowland Technology International (LTI) Journal, Special Issue: Vol. 9, No.2, December.

GUTENBERG,B and.RICHTER C.F., 1956, ‘‘ *Earthquake Magnitude, Intensity, Energy and Accerelation*’’, Second Paper, Bull of Seis. Society of America Vol.46, No.2

DOWDİNG, H.C. 1996, *Construction Vibrations*, Prentice Hall, Englewood

HOWELL, B.F, 1991, *Patterns of seismic activity after three great earthquakes in the light of Reid's elastic rebound theory*, Bulletin of the Seismological Society of America

WB JOYNER, DM BOORE, 1976 - *Peak horizontal acceleration and velocity from strong-motion records including records from the 1979 Imperial Valley, California, earthquake*, Bulletin of the Seismological Society of America

KELEŞOĞLU, M.K., ÇİNİCİOĞLU, S.F., 2005 *Dolgu Yüklerinden Kaynaklanan Deplasmanlar: Arazi Ölçümleri ve Sonlu Elemanlar Analizleri*, Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar II. Kongresi, İstanbul Üniversitesi.

KRAMER,S.L.,1996, , Geoteknik Deprem Mühendisliği, Gazi Kitapevi

KORKMAZ,K.A.,2005, *Yapı Sistemlerinin Güvenlilik Esaslı Performansa Bağlı Analizi*, Dokuz Eylül Üniversitesi, Doktora Tezi.

ÖZAYDIN, K. 1996, ‘‘ *Yer Hareketleri Üzerinde Yerel Zemin Koşullarının Etkisi ve Zemin Büyütmesi*’’, Türkiye Deprem Vakfı, İstanbul

PLAXIS 2D Foundation User Manual V2, Delft University of Technology & PLAXIS bv, The Netherlands, AA Balkema Publishers

PIANC, 2001, The World Association for Waterborne Transport Infrastructure

RIGAS, F. And SEBAS, I, 1999, ‘‘*Amplification Effects of Soil Stratification on Ground Stress Waves*’’. ASCE J. Of Geotechnical Eng., July 1999, 611-614

ROSİDİ,D,2007 - *Seismic Risk Assessment of Levees*, Civil Engineering Dimension

SEED, H.B. and IDRİSS, I.M, 1969, ‘‘ *Influence of Soils Conditions on Ground Motions During Earthquakes*’’. J.of Soil Mech. And Fund. Eng. Div., ASCE 95 (SMI) 99-137

SEED ve DİĞERLERİ, 1990, *The Loma Prieta earthquake, ground motion, and damage in Oakland, Treasure Island, and San Francisco*, Bulletin of the Seismological Society of America

ÜNAL, G.Y, 1994 ‘‘ *Yumuşak Kil Temelli Toprak Dolguların Tasarımı*’’, Osmangazi Üniversitesi, Doktora Tezi

<http://peer.berkeley.edu/smcat>, Peer Strong Motion Databank (Berkeley, 2009)

ÖZGEÇMİŞ

İnşaat Mühendisi Ali Furkan Çalışkan 1983 yılında Ankara’da doğmuştur. İlk öğrenimini Güven İlkokulu, orta ve lise öğrenimini Fethiye Kemal Mumcu Anadolu Lisesi’nde tamamlamıştır. 2002 yılında girdiği İstanbul Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden 2006 yılında mezun olmuş, 2008 yılında İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği programında yüksek lisans öğrenimine başlamıştır.