



FARKLI DEPREM VERİLERİ KULLANILARAK MODEL BİR ŞEVİN SİSMİK STABİLİTE ANALİZİ

Fatih KARATAŞ

**2021
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. İnan KESKİN**

**FARKLI DEPREM VERİLERİ KULLANILARAK MODEL BİR ŞEVİN SİSMİK
STABİLİTE ANALİZİ**

Fatih KARATAŞ

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. İnan KESKİN**

KARABÜK

Temmuz 2021

Fatih KARATAŞ tarafından hazırlanan “FARKLI DEPREM VERİLERİ KULLANILARAK MODEL BİR ŞEVİN SİSMİK STABİLİTE ANALİZİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. İnan KESKİN

.....

Tez Danışmanı, Geoteknik Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Geoteknik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 02/07/2021

Unvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Halil İbrahim YUMRUTAŞ (KBÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. İnan KESKİN (KBÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Ermedin TOTİÇ (BÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Fatih KARATAŞ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FARKLI DEPREM VERİLERİ KULLANILARAK MODEL BİR ŞEVİN SİSMİK STABİLİTE ANALİZİ

Fatih KARATAŞ

**Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. İnan KESKİN

Temmuz 2021, 62 sayfa

Bu çalışmada, geoteknik mühendisliğinin başlıca konuları arasında yer alan güvenli şevlerin tasarımı konusu incelenmiştir. Güvenli şevlerin tasarımı için dikkat edilmesi gereken statik yükler kadar önemli bir diğer etken ise, sismik yüklerdir. Sismik yükler altında şev davranışının irdelenmesi niyetiyle tasarlanmış olan model şev farklı özelliklerdeki depremler etki ettirilerek sonlu eleman yazılımı ile bir dizi şev stabilite analizleri yapılmıştır. Bu kapsamda tasarlanan model şev, farklı özelliklerdeki senaryolar ile çeşitli bölgelerde meydana gelmiş, çok sayıda istasyon ölçümleri bulunan 12 adet gerçek deprem kayıt verisi ile analiz edilmiştir. Sonuç olarak, bu depremlerin tasarlanmış olan model şevin stabilitesine olan etkileri ortaya koyulmuş ve elde edilen veriler doğrultusunda şev tasarımında daha güvenli ve daha ekonomik sonuçlar alınması için dikkat edilmesi gereken hususlara değinilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Şev stabilitesi, sismik analiz, deprem verileri ile analiz, dinamik analiz.

Bilim Kodu : 91105



ABSTRACT

M. Sc. Thesis

SEISMIC STABILITY ANALYSIS OF A MODEL SLOPE USING VARIOUS EARTHQUAKE DATA

Fatih KARATAŞ

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Civil Engineering**

**Thesis Advisor:
Assoc. Prof. Dr. İnan KESKİN**

July 2021, 62 pages

In this study, the design of safe slopes, which is one of the main topics of geotechnical engineering was examined. Another factor that should be considered for the design of safe slopes, as well as static loads is seismic loads. Within the scope of the study, a series of slope stability analyzes were carried out with finite element software by influencing earthquakes with different characteristics on the model slope, which was designed with the intention of examining the slope behavior under seismic loads. The model slope designed in this context was analyzed with 12 real earthquake record data, which occurred in various regions with different scenarios and had many station measurements. As a result, the effects of these earthquakes on the stability of the designed model slope were revealed and the points that should be considered in order to obtain safer and more economical results in slope design in the direction of the obtained data were mentioned.

Key Word : Slope stability, seismic analysis, analysis with earthquake data, dynamic analysis, etc.

Science Code : 91105



TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle alıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam Doç. Dr. İnan KESKİN'e sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Sevgili aileme manevi hiçbir yardımını esirgmeden yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
LİTERATÜR	3
2.1. ŞEV STABİLİTESİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER VE ANALİZ YÖNTEMLERİ.....	3
2.1.1.Şev Stabilitesine Etki Eden Faktörler	5
2.1.2. Şev Stabilite Analiz Yöntemleri	6
2.1.2.1. İsveç Dilim Yöntemi.....	9
2.1.2.2. Bishop	9
2.1.2.3. Janbu	11
2.1.2.4. Morgenstern-Price Yöntemi.....	12
2.1.2.5. Sarma Yöntemi	13
2.2. SİSMİK ŞEV STABİLİTE ANALİZLERİ	13
2.2.1. Ataletsel Duraysızlıklar Analizleri	14
2.2.1.1. Psödo-Statik Analiz	14
2.2.1.2. Newmark Kayan Blok Analizi.....	15
2.2.2. Zayıflatan Duraysızlıklar Analizi	17

	<u>Sayfa</u>
2.3. ŞEV STABİLİTESİ İLE İLİŞKİLİ ULUSAL ÖLÇEKTE YAPILAN BAZI ÇALIŞMALAR.....	18
BÖLÜM 3	21
MODEL ŞEV VE ÖZELLİKLERİ.....	21
BÖLÜM 4	23
DEPREMLER VE İVME KAYITLARI.....	23
4.1. DEPREM VE SİSMOLOJİ	23
4.1.1. Yerel (Lokal) Büyüklük (ML)	28
4.1.2. Süreye Bağlı Büyüklük (Md).....	29
4.1.3. Yüzey Dalgası Büyüklüğü (Ms)	29
4.1.4. Cisim Dalgası Büyüklüğü (Mb).....	30
4.1.5. Moment Büyüklüğü (Mw)	30
4.2. DEPREM DALGALARININ YAYILMASI	31
4.2.1. Cisim Dalgaları	31
4.2.1.1. P (Primer, Birincil) Dalgaları.....	31
4.2.1.2. S (Sekonder, İkincil) Dalgalar	32
4.2.2. Yüzey Dalgaları	32
4.2.2.1. R (Rayleigh) Dalgaları	32
4.2.2.2. L (Love) Dalgaları	33
4.3. DEPREMLERİN YERİNİN BELİRLENMESİ.....	34
BÖLÜM 5	35
ANALİZLER VE DEĞERLENDİRME	35
5.1. ANALİZLERDE KULLANILAN PLAXİS PROGRAMININ TANITILMASI	35
5.2. ANALİZLERDE KULLANILAN DEPREMLER VE ÖZELLİKLERİ.....	36
5.2.1. San Simeon Depremi, Kaliforniya, A.B.D.	38
5.2.2. Parkfield Depremi, Kaliforniya, A.B.D.	39
5.2.3. Dillon Depremi, Montana, A.B.D.....	39
5.2.4. New Mexico Depremi, A.B.D.	40
5.2.5. Kepulauan Mentawai Adaları Depremi, Batı Sumatra, Endonezya	40

Sayfa

5.2.6. Wells Depremi, Nevada, A.B.D.	41
5.2.7. Virgin Adaları Depremi, Porto Rico, A.B.D.	41
5.2.8. Guadalupe Victoria Depremi, Baja Kaliforniya, Meksika	42
5.2.9. Sierra El Mayor Depremi, Baja Kaliforniya, Meksika	42
5.2.10. Van Depremi, Van, Türkiye	43
5.2.11. Ferndale Depremi, Kaliforniya, A.B.D.....	43
5.2.12. Encino Depremi, Kaliforniya, A.B.D.	44
BÖLÜM 6	45
SONUÇLAR VE TARTIŞMA	45
6.1. STATİK ANALİZ SONUÇLARI	45
6.2. DİNAMİK ANALİZ SONUÇLARI.....	45
6.2.1. San Simeon Depremi, Kaliforniya, A.B.D.	46
6.2.2. Parkfield Depremi, Kaliforniya, A.B.D.....	47
6.2.3. Dillon Depremi, Montana, A.B.D.	48
6.2.4. New Mexico Depremi, A.B.D.	49
6.2.5. Kepulauan Mentawai Adaları Depremi, Batı Sumatra, Endonezya	50
6.2.6. Wells Depremi, Nevada, A.B.D.	51
6.2.7. Virgin Adaları Depremi, Porto Rico, A.B.D.	52
6.2.8. Guadalupe Victoria Depremi, Baja Kaliforniya, Meksika	53
6.2.9. Sierra El Mayor Depremi, Baja Kaliforniya, Meksika	54
6.2.10. Van Depremi, Van, Türkiye	55
6.2.11. Ferndale Depremi, Kaliforniya, A.B.D.....	56
6.2.12. Encino Depremi, Kaliforniya, A.B.D.	57
6.3. ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	58
BÖLÜM 7	59
SONUÇLAR	59
KAYNAKLAR	60
ÖZGEÇMİŞ	62

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Kütle hareketlerinin genel gösterimi.....	4
Şekil 2.2. İsveç Dilim Yöntemi'nde dilime etkiyen kuvvetler.	9
Şekil 2.3. Bishop Yöntemi'nde dilime etkiyen kuvvetler.	10
Şekil 2.4. Janbu Yöntemi'nde dilime etkiyen kuvvetler.	11
Şekil 2.5. Janbu Yöntemi'nde kayma yüzeyi ve f_0 düzeltme faktörü abağı.....	12
Şekil 2.6. Psödo-Statik Analiz'de varlığı kabul edilen kuvvetler.	14
Şekil 2.7. Newmark Kayan Blok Analizi. a) şev kesiti, b) kayan blok.....	15
Şekil 3.1. Simülasyonlarda kullanılan model şev ve özellikleri.	21
Şekil 3.2. Senaryo 1.	22
Şekil 3.3. Senaryo 2.	22
Şekil 3.4. Senaryo 3.	22
Şekil 4.1. Hiposantr ve episantr.	25
Şekil 4.2. Deprem eşhasar eğrisi.....	26
Şekil 4.3. P (primer, birincil) dalga.....	31
Şekil 4.4. S (sekonder, ikincil) dalga.	32
Şekil 4.5. R (Rayleigh) dalgaları.....	33
Şekil 4.6. L (Love) dalgaları.	33
Şekil 5.1. Veri setinde bulunan her bir depreme ait en büyük pik ivmenin mutlak değerleri.	37
Şekil 5.2. Veri setinde bulunan her bir depreme ait derinlik (sütun grafik) ve magnitüd (çizgisel grafik) değerleri.....	37
Şekil 5.3. Veri setinde bulunan her bir depreme ait en yakın ve en uzak merkez üssü-istasyon arası mesafe değerleri.	38
Şekil 5.4. San Simeon Depremi ivme-zaman grafiği.....	38
Şekil 5.5. Parkfield Depremi ivme-zaman grafiği.	39
Şekil 5.6. Dillon Depremi ivme-zaman grafiği.....	39
Şekil 5.7. New Mexico Depremi ivme-zaman grafiği.	40
Şekil 5.8. Kepulauan Depremi ivme-zaman grafiği.....	40

Sayfa

Şekil 5.9.	Wells Depremi ivme-zaman grafiği.....	41
Şekil 5.10.	Virgin Adaları Depremi ivme-zaman grafiği.....	41
Şekil 5.11.	Guadalupe Depremi ivme-zaman grafiği.....	42
Şekil 5.12.	Sierra El Mayor Depremi ivme-zaman grafiği.	42
Şekil 5.13.	Van Depremi ivme-zaman grafiği.	43
Şekil 5.14.	Ferndale Depremi ivme-zaman grafiği.	43
Şekil 5.15.	Encino Depremi ivme-zaman grafiği.....	44
Şekil 6.1.	Model şev üzerine etkiyen statik yükler altında oluşan yer değiştirmeler.	45
Şekil 6.2.	San Simeon Depremi ile yapılan analiz sonuçları.	46
Şekil 6.3.	Parkfield Depremi ile yapılan analiz sonuçları.....	47
Şekil 6.4.	Dillon Depremi ile yapılan analiz sonuçları.	48
Şekil 6.5.	New Mexico Depremi ile yapılan analiz sonuçları.....	49
Şekil 6.6.	Kepulauan Depremi ile yapılan analiz sonuçları.	50
Şekil 6.7.	Wells Depremi ile yapılan analiz sonuçları.	51
Şekil 6.8.	Virgin Adaları Depremi ile yapılan analiz sonuçları.....	52
Şekil 6.9.	Guadalupe Depremi ile yapılan analiz sonuçları.	53
Şekil 6.10.	Sierra El Mayor Depremi ile yapılan analiz sonuçları.....	54
Şekil 6.11.	Van Depremi ile yapılan analiz sonuçları.....	55
Şekil 6.12.	Ferndale Depremi ile yapılan analiz sonuçları.	56
Şekil 6.13.	Encino Depremi ile yapılan analiz sonuçları.	57

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Hareketin tipine ve malzemenin cinsine göre heyelanların sınıflandırılması.	3
Çizelge 2.2. Limit denge metodunda kullanılan stabilite analizleri.....	7
Çizelge 2.3. Mevcut analiz yöntemlerinin özeti.	8
Çizelge 4.1. Deprem büyüklük ilişkileri.	26
Çizelge 4.2. Mercalli ve MSK deprem şiddet ve büyüklük açıklamaları.	27
Çizelge 4.3. Depremlerin şiddet ve magnitüt ilişkileri.	29

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

a	: ivme
a_c	: Kritik yenilme ivmesi
a_d	: Düşey psödo-statik ivme
a_y	: Yatay psödo-statik ivme
A	: Maksimum yer değiştirme
A_f	: Kaymaya uğrayan düzlemin alanı
A_t	: Tanecik titreşimlerinin genliği
c	: Kohezyon
D	: Fayın yırtılan parçasının ortalama yer değiştirmesi
D°	: Sismografa derece olarak, dış merkezin açısal uzaklığı
E	: Dilimler arası normal kuvvet
f_0	: Düzeltme faktörü
GS	: Güvenlik Katsayısı
k_d	: Düşey psödo-statik kat sayısı
k_y	: Yatay psödo-statik kat sayısı
l_{ab}	: Kayma düzleminin uzunluğu
M_L	: Deprem büyüklüğü
M_0	: Sismik moment
M_s	: Yüzey dalgası büyüklüğü
M_w	: Sismik moment büyüklüğü
N	: Taban normal kuvveti
$Q(D,h)$: Düzeltme Faktörü
S	: Dilim sınırında mevcut kesme kuvveti
T	: Periyod
u	: Boşluk basıncı
W_d	: Dilim ağırlığı

- W_s : Göçen şev kütleinin ağırlığı
 X : Dilimler arası kesme kuvveti
 α : Dilim tabanının eğimi
 β : Dilim taban uzunluğu
 θ : Kayma yüzeyinin yatay ile yaptığı açı
 λ : Ölçek parametresi
 μ : Fay düzlemi boyunca materyalin kayma modülü
 \emptyset : İçsel sürtünme açısı



KISALTMALAR

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
GS	: güvenlik katsayısı
L	: Love
P	: birincil
R	: Rayleigh
S	: ikincil
SRM	: dayanım azaltma yöntemi

BÖLÜM 1

GİRİŞ

4,54 milyar yıl yaşında olduğu belirlenen dünyamız ilk günden bugüne sürekli değişim halindedir. Depremlerin söz konusu bu değişikliğe olan etkisi yadsınamayacak kadar fazladır. Deprem, yer kabuğunu oluşturan plakların hareketleri ile oluşan ve ansızın ortaya çıkan dalgaların yeryüzünde oluşturduğu sarsıntılardır [1]. Bu sarsıntıların karakteristik özellikleri; genlik, ivme, süre ve frekans içeriği gibi depremi tanımlayan çeşitli parametreler olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu parametrelerin büyüklüğüne göre bazı depremlerde yeryüzünün manzarası bile aniden değişebilmektedir. Yeryüzünün şeklinde değişikliğe etken olan doğa olaylarının yanı sıra, bir önemli faktör daha vardır ki, bu da insandır. İnsanlar üzerinde yaşadıkları yeryüzünü, kendilerince daha iyi kullanabilmek için, tarihten bugüne sürekli bir çaba içinde olmuşlardır. Bu çaba kimi zaman, kendini barınma yapısı inşasında gösterirken, kimi zamansa ulaştırma, savunma, su yapıları gibi diğer çeşitli faaliyetlerde göstermektedir. Bu yapıların yapılabilmesi için çözülmesi gereken önemli problemlerden biri de insan eli ile oluşturulmuş eğimli zemin profillerinin yani güvenli şevlerin stabilitesidir.

Geoteknik mühendisliğinin başlıca konuları arasında yer almakta olan şev stabilitesinin önemi tarih boyunca meydana gelmiş olan heyelan ve göçmelere bakıldığında daha iyi görülebilmektedir. Şev hareketleri Japonya ve ABD gibi gelişmiş ülkelerde olduğu gibi ülkemiz ve diğer gelişmekte olan ülkelerde de sık görülmektedir. Ortaya çıkan hasarlar sonucu meydana gelen ekonomik kayıplar ülkelerin ekonomileri için de önemli oranlara ulaşabilmektedir [2]. Ülkemizde meydana gelen afetler sonucunda oluşan can ve mal kayıplarının nedenleri arasında heyelan ve taş düşmesi gibi kütle hareketleri, depremden sonra ikinci sırada yer almaktadır [3]. Bunda ülkemizin fiziki özelliklerinin yanı sıra sosyoekonomik yapısının da büyük payının olduğu düşünülmektedir [4].

Şevlerin stabilite analizi için genellikle izlenen yol; mevcut kuvvetlerin etkisi altında bulunan şevlerin çeşitli yöntemlerle elde edilen göçme daireleri üzerindeki hareketlerine karşı koyan kuvvetlerin toplamının bu kütlenin hareketine neden olabilecek kuvvetlerin toplamına oranı olarak tarif edilebilen güvenlik katsayısı yöntemidir. Buradaki temel amaç bu güvenlik katsayısının 1'den büyük olması sağlanarak yeterli stabilitenin temin edilmesidir. Yine güvenli tarafta kalabilmek için bu sayının 1'den belirli oranlarda büyük olması istenirken aynı zamanda ekonomik olmaktan da uzaklaşmaktadır. Ancak deprem etkisi altındaki şevlerde etkin olan kuvvetler, yalnızca statik kuvvetler değildir. Depremi neden olduğu dinamik kuvvetler ve bunların etkisiyle de oluşacak deplasmanların muhakkak dikkate alınması gerekir. Yine bunların yanı sıra güvenlik katsayısı yöntemi ile şev stabilitesi hesabı yapıldığında dikkate alınmayan ve şevi güvensiz duruma düşürebilecek bir diğer faktör ise depremin neden olduğu atalet kuvvetleridir.

Bu çalışmada, farklı özelliklerdeki model şev ile çeşitli bölgelerde meydana gelmiş ve çok sayıda istasyon ölçümleri bulunan 12 adet depreme ait veriler kullanılmış olup, bu depremlerin model şevin stabilitesine etkileri tartışılmıştır. Elde edilen veriler irdelenerek daha güvenli ve daha ekonomik şevlerin tasarımı için değerlendirmeler yapılmıştır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR

2.1. ŞEV STABİLİTESİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER VE ANALİZ YÖNTEMLERİ

Geoteknik Ana Bilim Dalı'nda yatay düzleme göre herhangi bir açığa sahip olan herhangi bir zemin birimine “şev” denilir. Bu zemin biriminin yüzeyinin yatayla yaptığı açığa “şev açısı”, bu açının tanjantına ise “şev eğimi” denilir. Şevin yerçekimi veya herhangi başka bir etki altındaki yamaç aşağıya doğru hareketine “şev duraysızlığı” veya daha genel bir ifade ile “heyelan” denilmektedir. Şev duraysızlığı ile ilgili birçok sınıflandırma mevcut olup, bunların içinden en çok tercih edileni ise Varnes tarafından 1978 yılında yapılan sınıflandırmadır (Çizelge 2.1, Şekil 2.1).

Çizelge 2.1. Hareketin tipine ve malzemenin cinsine göre heyelanların sınıflandırılması [5].

HAREKETİN TİPİ	MALZEMENİN TÜRÜ			
	KAYAÇLAR	ZEMİNLER		
		İRİ TANELİ	İNCE TANELİ	
DÜŞME	Kaya Düşmesi	Moloz Düşmesi	Zemin Düşmesi	
DEVRİLME	Kaya Devrilmesi	Moloz Devrilmesi	Zemin Devrilmesi	
KAYMA	Dönel	Kaya Kayması	Moloz Kayması	Zemin Kayması
	Yanal			
YAYILMA	Kaya Yayılması	Moloz Yayılması	Zemin Yayılması	
AKMA	Kaya Akması (Derin Krip)	Moloz Akması	Zemin Akması (Toprak Kribi)	
KARIŞIK	İki veya daha fazla hareket türü			

Malzeme Hareketin Türü		KAYA	MOLOZ	ZEMİN
DÜŞMELER		Kaya Düşmesi	Moloz Düşmesi Scree Debris cone	Toprak Düşmesi Scar Fine soil Rock Colluvium Debris cone
	DEVİRLİMLER	Kaya Devrilmesi	Moloz Devrilmesi Debris cone	Taç Çatlakları Toprak Devrilmesi Debris cone
KAYMALAR	DÖNEL	Tek Dairesel Kayma Failure surface	Ayna Taç Heyelan üstü İkincil ayna Failure surface Çoklu Dairesel Kayma	Ardışık Dönel Kayma
	ÖTELENMELİ (Düzlemsel)	Kaya Kayması (*)	Moloz Kayması	Toprak Kayması
YAYILMALAR				Toprak yayılması
AKMALAR	Kaya Akması Buzul moloz akması	Moloz Akması	Toprak Akması Çamur Akması	
KARMAŞIK	Kaya-Toprak akması ile kaya etek döküntüsü		Örnek: Kompozit, dairesel olmayan, kısmen dönel/kısmen düzlemsel ve eteğe doğru toprak akması şeklinde	

Şekil 2.1. Kütle hareketlerinin genel gösterimi [5].

2.1.1. Şev Stabilitesine Etki Eden Faktörler

Şevde denge, şevi dengede tutmaya yarayan kuvvetlerin, şevi harekete geçirici kuvvetlere karşı üstünlüğü ile sağlanır. Bu üstünlüğün kaybedilmesine sebep olan bazı etkenler mevcuttur. Bu etkenlerden en sık rastlanılanı su etkisi olduğu gibi, bir diğeri de şeve etkileyen yapı ve trafik yükleri gibi harici yüklerdir. Yine bunların yanı sıra deprem gibi sismik yüklerin de şevlerin duraysızlaşmasında büyük payının olacağı göz ardı edilemez.

Şev çevresine etkileyen yüzeysel suların şeve ulaşmasının engellenmesi ve şev üzerine gelen yüzeysel suların şev içerisine sızmasına müsaade edilmeden uygun biçimde şevden uzaklaştırılması gerekir. Aksi durumda şeve sızacak su, şevin duraysızlaşması yönünde etki edeceği gibi yüzeyde oluşacak akıntı da şevin aşınmasına sebep olabilir. Şev içeriğinde yer alan yeraltı suyu, şevi oluşturan zemin malzemesinin içerisindeki boşluklara dolan su nedeniyle oluşan boşluk suyu basıncı şeve devirici bir yük olarak etki eder. Aynı zamanda şev dâhilinde yer alan yer altı suyunun sahip olacağı bir akım, şevin fiziksel yapısında da değişikliklere neden olabilir. Suyun şevde oluşabilecek çekme çatlaklarının içine dolması hidrostatik basıncı artırarak şevin göçmesine neden olacaktır.

Şevin duraysızlığına sebep olan bir diğeri önemli faktör ise insandır. İnsan eliyle şev üzerine etkilenen yapı inşası, dolgu yığılması, trafik yükü, patlatmaların neden olduğu dinamik etkiler gibi ilave yüklerin yanı sıra yine şevin duraylılığına olumlu etkisi bulunan faktörlerin topuk kazısı, bitki örtüsünün tahrip edilmesi ve bu gibi yollarla insan eli veya etkisi ile ortadan kaldırılması da şevin stabilitesini olumsuz yönde etkiler [6].

Şev duraysızlığına sebep olan, su ve insan etkisi kadar önemli bir değer faktör ise doğal nedenlerdir. Şevin deprem ve volkanik aktivite gibi dinamik yüklere maruz kalması bu çalışma kapsamında detaylı olarak irdelenecektir. İklim yapısı, donma çözünme döngüsü, akarsu, göl veya deniz gibi doğal etkenlerin şev topuğunu aşındırması ve bunların zamana bağlı etkileri de şevin duraylılığı üzerinde olumsuz etkiler oluşturmaktadır [6].

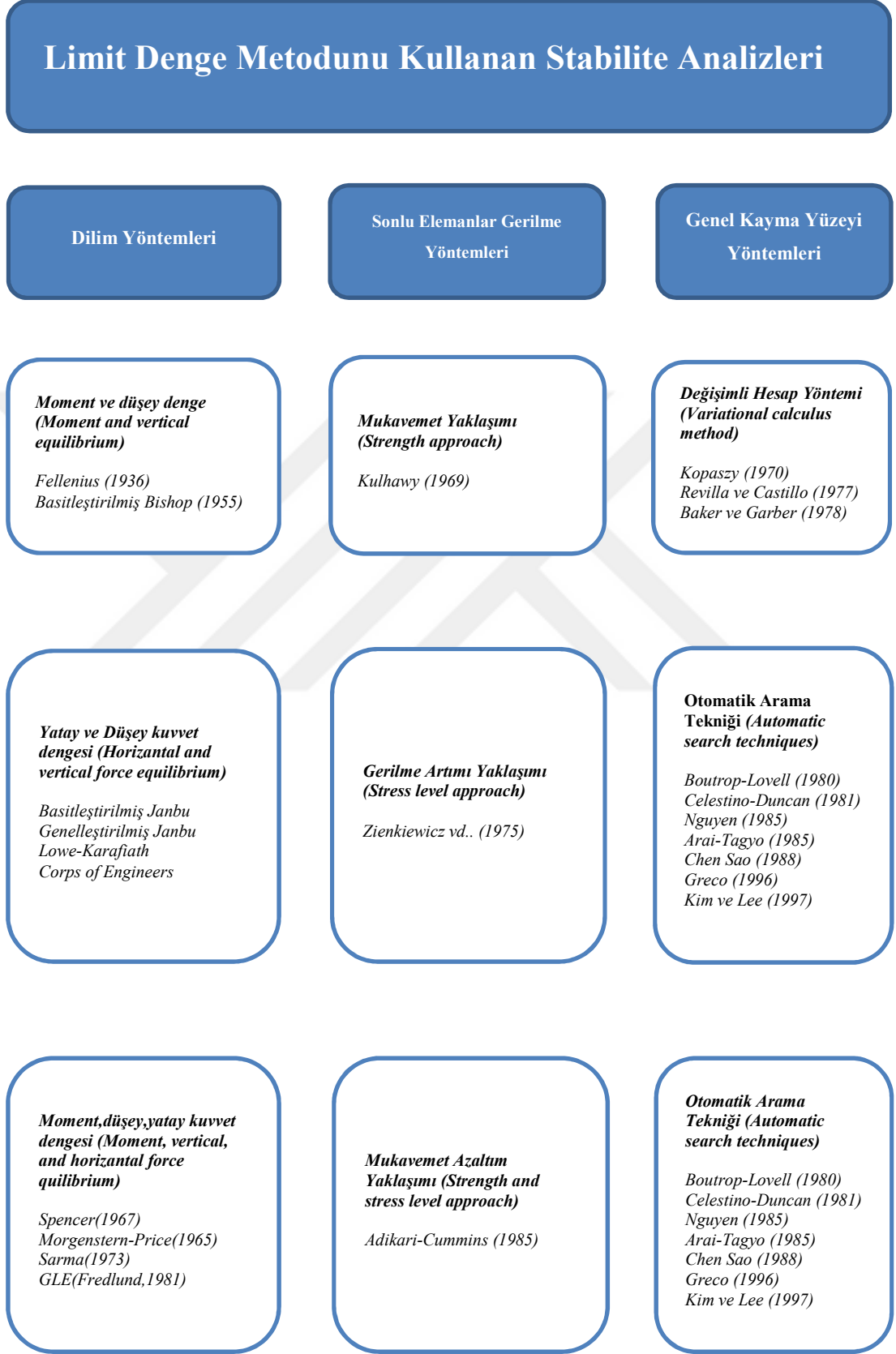
2.1.2. Şev Stabilite Analiz Yöntemleri

Kayma potansiyelinin bulunduğu bir şevde kayma yüzeyi üzerinde bulunan kayma gerilmeleri, kayma direncine ulaştığında ya da aştığında şevler duraylılığını kaybederek göçerler. Şevde kayma, bir yüzey boyunca gerçekleşecektir. Kaymaya karşı koyan kuvvetlerin en az olduğu kayma yüzeyi, göçmenin gerçekleşeceği potansiyel göçme yüzeyi olarak adlandırılmaktadır. Statik yerçekimi yüklemesi altında dengeyi sağlamak için gerekli kayma gerilmelerinin yüksek olduğu şevlerde, duraysızlık oluşması için gerekli ilave dinamik gerilmeler düşük olabilir. Bu durumda, bir şevin sismik stabilitesi üzerinde statik stabilitenin etkisi çok büyüktür. Bu nedenle, yaygın olarak kullanılan sismik stabilite analizlerinin statik stabilite analizlerine dayalı olması gerekmektedir [7]. Statik yer çekimi etkisi altında potansiyel bir kayma yüzeyi üzerinde göçmenin gerçekleşmemesi için, göçmeye karşı koyan kuvvetlerin, göçmeye neden olacak kuvvetlere oranının (güvenlik katsayısının) 1 ya da 1'den büyük olması gerekmektedir (Eşitlik 2.1).

$$G_s = \frac{\text{Göçmeye Karşı Koyan Kuvvetler}}{\text{Göçmeye Neden Olan Kuvvetler}} \quad (\text{Eşitlik 2.1})$$

Çizelge 2.2'de Limit denge metodunu kullanan stabilite analiz yöntemlerinin, şev stabilitesi problemine dair sunmuş oldukları çözüm yöntemi yaklaşımlarına göre gruplandırılmış olarak gösterimi bulunmaktadır. Burada görüleceği üzere bu yöntemlerin içinde en bilinen ve en yoğun olarak kullanılan yöntemler dilim yöntemleridir. Bunun yanı sıra bazı yöntemlerde, dilim yöntemi ve sonlu elemanlar analizi yöntemleri aynı anda kullanılarak çözüme gidilebilmektedir. Çizelge 2.3'de ise şev stabilitesinin mevcut analiz yöntemleri hakkında özet bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 2.2. Limit denge metodunda kullanılan stabilite analizleri [8].

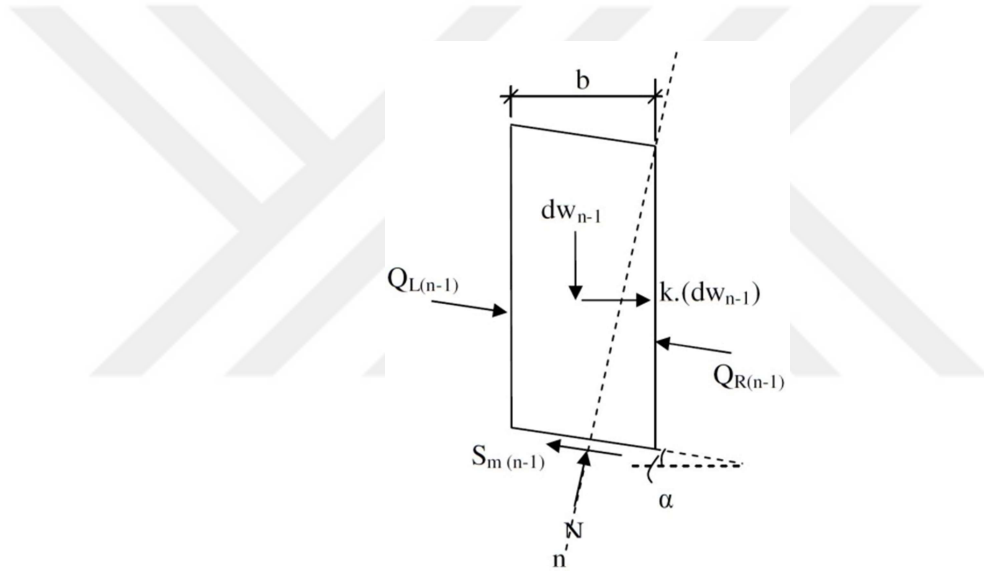


Çizelge 2.3. Mevcut analiz yöntemlerinin özeti.

Yöntem Adı	Geliştiren	Yöntem Hakkında Açıklama
Dilim Yöntemi	Fellenius (1927)	Yüksek boşluk suyu basıncı ve düşük güvenlik kat sayısına sahip olan düz şevler için uygun değildir. Dairesel kayma yüzeylerinde, tabana etki eden kuvvetin $W \cdot \cos \alpha$ olduğu kabul edilir. Her dilimin stabilitesi hesaplanarak, şevin kayma güvenliği kontrol edilir.
Basitleştirilmiş Bishop Yöntemi	Bishop (1955)	Dairesel kayma yüzeyine sahip şevi dilimlere ayırarak inceleyen hassas bir yöntemdir. Düşeyde ve yatayda bulunan kuvvetler dengesini dikkate alır. Dilimler arası kayma kuvvetini ihmal eder.
Kuvvet Dengesi Yöntemleri		Dairesel olan ya da olmayan bir kayma yüzeyine uygulanabilen, değişken yanal kuvvet eğimine sahip olan dilimlerin bulunabileceğini varsayarak kuvvet dengesini sağlayan bir yöntemdir.
Basitleştirilmiş Janbu Yöntemi	Janbu (1968)	Dairesel olan ya da olmayan bir kayma yüzeyine uygulanabilen, yatay yanal kuvvet eğimine sahip olan dilimlerin bulunabileceğini varsayarak kuvvet dengesini sağlayan bir yöntemdir.
Düzeltilmiş İsveç Yöntemi	U.S. Army Corps of Enginners (1970)	Dairesel olan ya da olmayan bir kayma yüzeyine uygulanabilen, şev eğimine eşit olan yanal kuvvet eğimine sahip dilimlerin bulunabileceğini varsayarak kuvvet dengesini sağlayan bir yöntemdir.
Lowe ve Karafiath Yöntemi	Lowe ve Karafiath (1960)	Dairesel olan ya da olmayan bir kayma yüzeyine uygulanabilen, şev eğimi ile kayma yüzeyi eğiminin ortalaması olan bir eğime sahip yanal kuvvet eğimli ve değişken eğimli dilimlerin bulunabileceğini varsayarak kuvvet dengesini sağlayan hassas bir yöntemdir.
Corps of Enginering Yöntemi	Corps of Engineers (1970)	Dilimler arası kuvvetlerin eğiminin, şev eğimine veya kayma yüzeyinin başlangıç ve bitiş eğimlerinin ortalamasına eşit olduğu varsayılır. Bu yöntemde moment dengesi oluşmaz.
Spencer yöntemi	Spencer (1967,1973)	Dilimler arası kuvvetlerin sabit olduğunu varsayarak, moment ve yatay kuvvet denklemlerinin oranının (güvenlik katsayılarının) eşit olduğunu kabul eden yöntemdir.
Janbu Yöntemi	Janbu (1954,1698,1973)	Dairesel olmayan kayma yüzeyleri için uygundur. Dilimler arası kayma kuvvetini ihmal eder. Yatay kuvvetlerin dengesini sağlar. Moment dengesini ise yaklaşık olarak sağlar.
Spencer Yöntemi	Spencer (1967)	Herhangi bir kayma yüzeyine uygulanabilir. Bütün durumlarda dengeyi sağlar. Her bir dilimin yanal kuvvet eğiminin sabit olduğunu kabul eder.
Morgenstern ve Price Yöntemi	Morgenstern-Price (1965)	Herhangi bir kayma yüzeyine uygulanabilir. Bütün durumlarda dengeyi sağlar. Her bir dilimin kayma ve normal kuvvetinin sabit olduğunu kabul eder. Yatay kuvvetlerin dengesini ve moment dengesini sağlar.
Sharma Yöntemi	Sharma (1973)	Bütün durumlarda dengeyi sağlar. Dairesel olan ya da olmayan herhangi bir kayma yüzeyine uygulanabilen bir yöntemdir. Sismik katsayısı ve güvenlik katsayısı arasında ilişki olduğu kabul eder. Bu yöntem şevlerin sismik stabilitesinin analizi için geliştirilmiştir.

2.1.2.1. İsveç Dilim Yöntemi

İsveç Dilim Yöntemi'nde kayma yüzeyinin, merkez noktasının izdüşümü şev üzerinde olan bir daire parçası şeklinde olduğu ve dilimler arası kuvvetlerin karşılıklı olarak birbirlerinin sıfırlayacakları kabul edilerek çizilen kayma düzlemi, düşey yönde dilimlere bölünür. Meydana gelen dilimlerin ağırlığı, kayma düzlemi yönünde ve kayma düzlemine dik olacak şekilde birleşenlerine ayrılır. Daire parçasının merkezine göre her bir dilime etkiyen kuvvetlerin tespiti ile her bir dilimin moment dengesi hesaplanır (Şekil 2.2). Tüm kayma yüzeyinde oluşan gerilmelerin momentleri toplandığında, kayma yüzeyinin güvenlik katsayısı hesaplanmış olur.



Şekil 2.2. İsveç Dilim Yöntemi'nde dilime etkiyen kuvvetler [9].

İsveç Dilim Yöntemi, elle çözülebilecek kadar basit bir yöntemdir. Ancak kabul edilen varsayımlar nedeni ile daha detaylı hesaplamalara göre genel olarak %10-15 civarında hesaplama hatası olduğu, bu oranın kimi nitelikli durumlarda %60'lar civarına ulaşabildiği gözlemlenmiştir [9]. Ancak meydana gelen hata güvenli tarafta kalmakta bulunduğundan yöntem kullanılmaya devam etmektedir.

2.1.2.2. Bishop

Alan Wilfred Bishop tarafından 1955 yılında geliştirilen bu yöntemde dairesel kayma yüzeyinde hem kuvvet, hem de moment denge şartları sağlanır (Şekil 2.3).

Bu yöntem;

1. Dilimler arasında bulunan normal kuvveti (E) hesaba dâhil eder.
2. Dilimler arasında bulunan kayma kuvvetini (X) hesaplarda ihmal eder.
3. Moment dengesini hesaplara dâhil eder.

Bishop tarafından ortaya konulan bu eşitliğin her iki tarafında da “GS” bulunması sebebiyle bu denklemin doğru çözümüne iterasyon yapılarak ulaşılmaktadır (Eşitlik 2.2).

$$GS = \frac{\sum \left[(c \cdot \beta + W_d \cdot \tan \phi) \cdot \left\{ \cos \alpha + \frac{\sin \alpha \cdot \tan \phi}{GS} \right\} \right]}{\sum W_d \cdot \sin \alpha} \quad (\text{Eşitlik 2.2})$$

c : Kohezyon

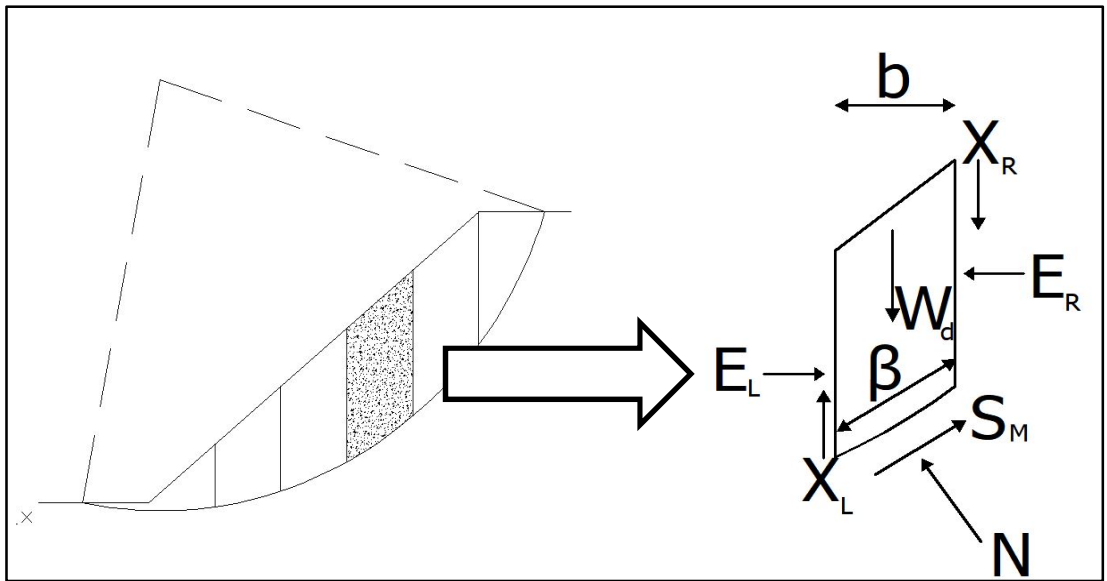
β : Dilim taban uzunluğu

N : Taban normal kuvveti = $W_d \cdot \cos \alpha$

ϕ : İçsel sürtünme açısı

W_d : Dilim ağırlığı

α : Dilim tabanının eğimi

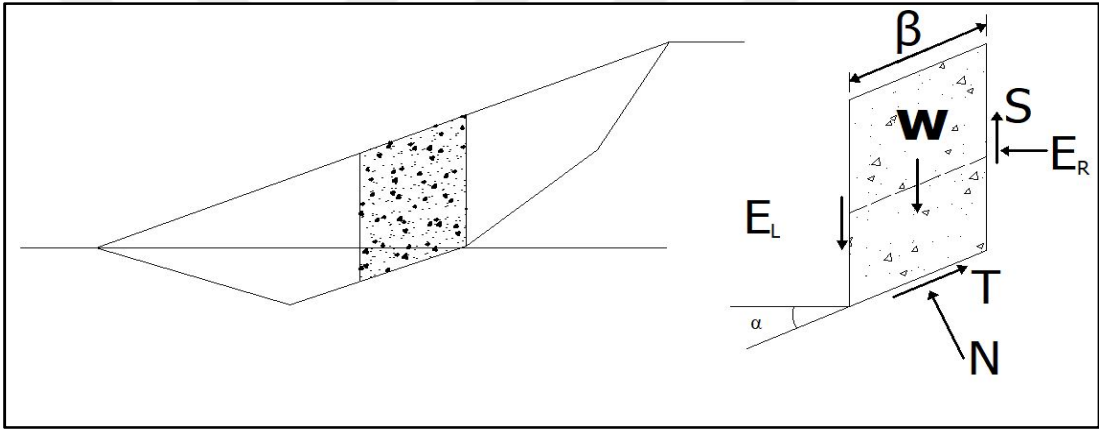


Şekil 2.3. Bishop Yöntemi'nde dilime etkiyen kuvvetler.

2.1.2.3. Janbu

Sadeleştirilmiş Bishop Yöntemine dayandırılarak Nilmar Janbu tarafından önerilen bu yöntem (Şekil 2.4), Bishop yönteminden farklı olarak,

1. Sadece dairesel bir kayma yüzeyine değil, herhangi bir kayma yüzeyine uygulanabilir ve bu yüzeylerde iyi sonuçlar verir.
2. Güvenlik katsayısı (Eşitlik 2.3, 2.4) için, düzeltme sayısı “ f_0 ” içerir.
3. Yatay kuvvetler dengesi kabul edilmiştir.



Şekil 2.4. Janbu Yöntemi'nde dilime etkiyen kuvvetler.

$$GS = f_0 \cdot \frac{\sum [(c \cdot \beta + W - u \cdot \beta) \cdot \tan \phi]}{\sum W \cdot \tan \alpha} \cdot \frac{1}{\cos \alpha \cdot m_a} \quad (\text{Eşitlik 2.3})$$

$$m_a = \int \left[\frac{\tan \phi}{GS}, \alpha \right] \quad (\text{Eşitlik 2.4})$$

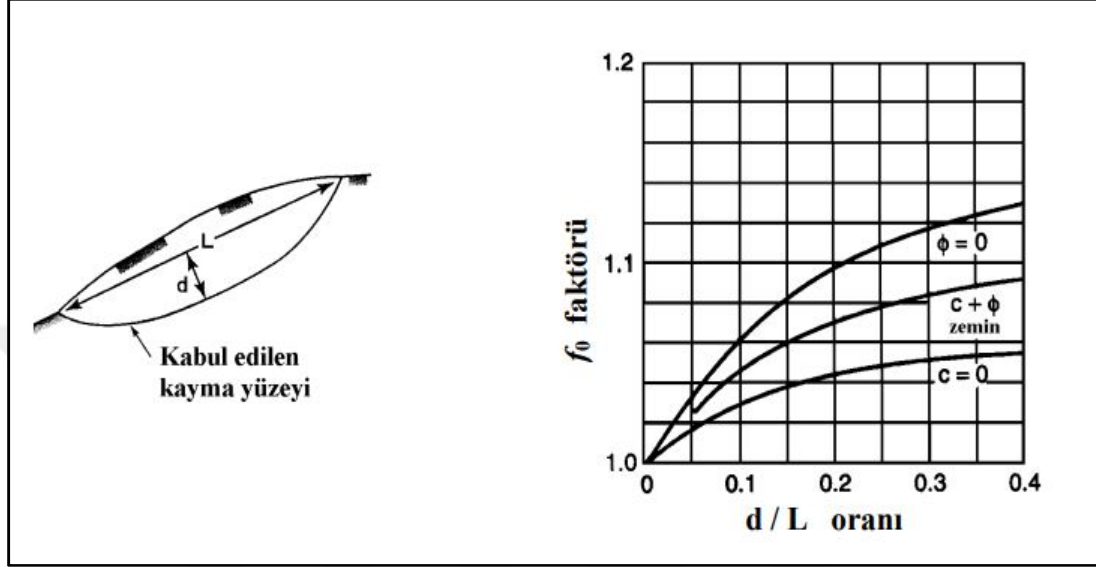
u : Boşluk basıncı

f_0 : Düzeltme faktörü. Bu faktör dikkate alınan kayma düzleminin geometrisine göre ve çalışılan zemin türüne göre Janbu tarafından geliştirilmiştir.

f_0 : $f(d/L, \text{zemin türü})$ tablosundan seçilir (Şekil 2.5)

$\phi : 0 \Rightarrow$ Kohezyonlu (ince taneli) zemin türü

$c : 0 \Rightarrow$ Granüler (iri taneli) zemin türü



Şekil 2.5. Janbu Yöntemi'nde kayma yüzeyi ve f_0 düzeltme faktörü abağı.

2.1.2.4. Morgenstern-Price Yöntemi

Morgenstern ve Price tarafından 1965 yılında önerilen bu yöntem, kırılma yüzeyi her türlü şekle sahip olabilen şevlerde uygulanır. Bu yöntemde dilimler arası statik denge koşulları tam olarak sağlanmaktadır. Bu yöntemde gerilmeler, her dilime etkidiği kabul edilen ve dilim üzerinde doğrusal değiştiği varsayılan $f(x)$ fonksiyonu ile ilişkilendirilir. Şevde var olduğu düşünülen dilimlerin, dilimler arası kuvvet denklemi Eşitlik 2.5'de gösterilmiştir.

$$X = \lambda \cdot f(x) \cdot E \quad (\text{Eşitlik 2.5})$$

X : Dilimler arası kesme kuvveti

E : Dilimler arası normal kuvvet

λ : Ölçek parametresi

$f(x)$: X/E oranının değişimini temsil eden fonksiyon

2.1.2.5. Sharma Yöntemi

Sharma yöntemi, dairesel, doğrusal veya kompleks geometriye sahip tüm kayma yüzeylerinde uygulanabilen ve diğer yöntemlerden farklı olarak toprak barajların stabilitesinin analizi için geliştirilmiş bir yöntemdir. Bu yöntemde varlığı kabul edilen bir emniyet katsayısı yardımıyla şevin stabilitesini yitireceği kritik eşik yenilme katsayısı aranmaktadır (Eşitlik 2.6).

$$X = \lambda \cdot f(x) \cdot S \quad (\text{Eşitlik 2.6})$$

X : Dilimler arası kesme kuvveti

S : Dilim sınırında mevcut kesme kuvveti

λ : Ölçek parametresi

f(x) : Dilim sınırında varsayılan fonksiyon

2.2. SİSMİK ŞEV STABİLİTE ANALİZLERİ

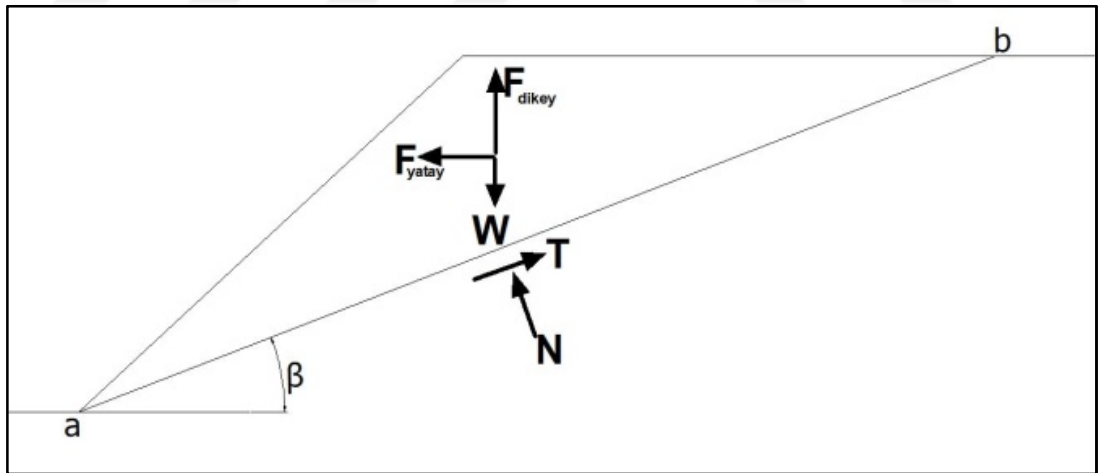
Mevcut şev stabilitesi analizi yöntemleri, birçok gerçek şev göçmesi ile test edilme fırsatı bulmuştur. Bu yöntemlerin eksik yönleri böylece tamamlanarak günümüzdeki son hallerine evrilmişlerdir. Sismik şev stabilitesi analizi yöntemleri ise bu bakımdan henüz yeterli genişlikteki bilgi birikimine ulaşamamıştır. Şevlerin sismik stabilite analizinde şeve etkileyen dinamik kuvvetlerin etkileri ve bu etkilerin şevi oluşturan malzemenin dayanımı ve deformasyonuna etkilerinin dikkate alınması gerekmektedir. Herhangi bir şev üzerinde bu iki etkiden hangisinin daha etkin olduğuna bağlı olarak, şev stabilite analizleri; ataletsel duraysızlıklar ve zayıflatan duraysızlıklar olarak iki başlık altında incelenebilir. Ataletsel duraysızlıklar, sismik dalgaların dinamik etkileri sebebiyle göçme sınırının geçici olarak aşılmasıyla oluşur. Zayıflatan duraysızlıklar ise şevi oluşturan malzemenin, dinamik etkiler sebebiyle dayanım kaybetmesi sonucu oluşur [7].

2.2.1. Ataletsel Duraysızlıklar Analizleri

Deprem sonucunda oluşan sismik dalgalar şevve etkiyerek, şev içinde var olan mevcut statik kayma gerilmelerine ilave olarak dinamik gerilmeler oluştururlar. Kimi zaman bu gerilmelerin birleşimi, mevcut kayma dayanımını aşarak şevde ataletsel duraysızlıklara neden olabilir. Bu ataletsel duraysızlıkların analizi için literatürde çok sayıda yöntem önerilmiş olup, bu yöntemler arasındaki en önemli fark depremin hareketini ve şevin dinamik tepkisini temsil etmedeki doğruluk derecesi olarak tespit edilmiştir [7].

2.2.1.1. Psödo-Statik Analiz

Bu tür analizlerde sismik dalgaların etkileri, göçen şev kütlesinin ağırlık merkezine etkidiği kabul edilen F_y ve F_d atalet kuvvetleri ile temsil edilmektedir (Eşitlik 2.7, Eşitlik 2.8). Şev kütlesine etkiyen kuvvetler Şekil 2.6'da, güvenlik katsayısı Eşitlik 2.9'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Psödo-Statik Analiz'de varlığı kabul edilen kuvvetler.

$$F_y = \frac{a_y \cdot W}{g} = k_y \cdot W \quad (\text{Eşitlik 2.7})$$

$$F_d = \frac{a_d \cdot W}{g} = k_{yd} \cdot W \quad (\text{Eşitlik 2.8})$$

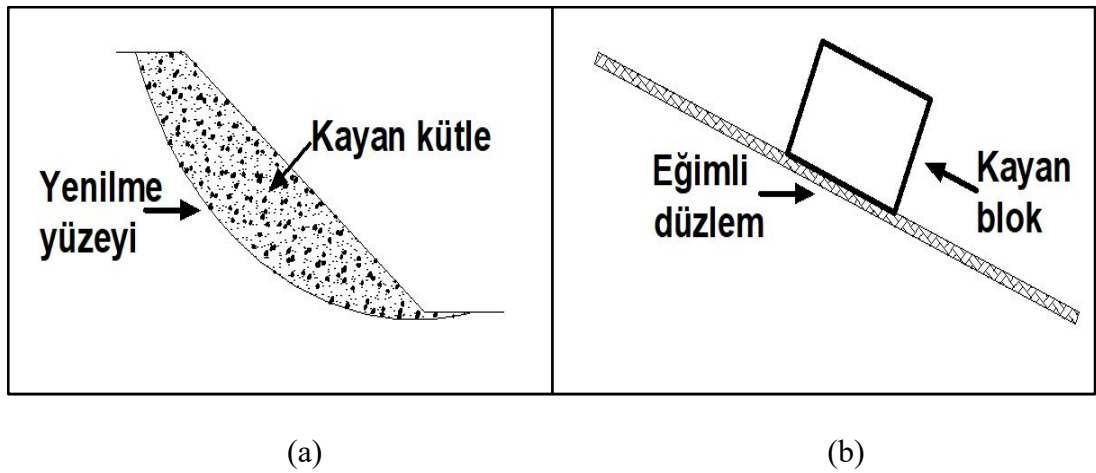
a_y , a_d : Yatay ve düşey psödo-statik ivmeler
 k_y , k_d : Yatay ve düşey psödo-statik katsayılar
 W : Göçen şev kütlelerinin ağırlığı

$$GS = \frac{\text{Tutucu Kuvvetler}}{\text{Kaydırıcı Kuvvetler}} = \frac{c \cdot l_a + [(W - F_d) \cdot \cos \beta - F_y \cdot \sin \beta] \cdot \tan \phi}{(W - F_d) \cdot \sin \beta + F_y \cdot \cos \beta} \quad (\text{Eşitlik 2.9})$$

c : Kohezyon
 ϕ : İçsel sürtünme açısı (kayma direnci)
 l_{ab} : Kayma düzleminin uzunluğu
 GS : Güvenlik katsayısı

2.2.1.2. Newmark Kayan Blok Analizi

Depremi oluşturduğu dinamik yüklerin, şev üzerinde mevcut bulunan kaydırıcı kuvvetlere ilave olması sonucunda, toplam tutucu kuvvetlerin toplam kaydırıcı kuvvetlere oranının (güvenlik katsayısının) 1'den küçük hale gelmesine neden olacak kritik yükte, mevcut şev kütlelerinin duraylılığını yitireceği açıktır (Eşitlik 2.10). Newmark tarafından 1965 yılında önerilen yöntem, bu durumu eğimli bir yüzey üzerinde duran blok şeklindeki kütlelerin kayması ile Şekil 2.7'deki gibi modellenmektedir [7].



Şekil 2.7. Newmark Kayan Blok Analizi [7]. a) şev kesiti, b) kayan blok.

$$GS = \frac{\text{Mevcut Tutucu Kuvvetler}}{\text{Statik Kaydırıcı Kuvvetler}} = \frac{R_s}{N_s} = \frac{W \cdot \cos \beta}{W \cdot \sin \beta} = \frac{\tan \emptyset}{\tan \beta} \quad (\text{Eşitlik 2.10})$$

\emptyset : Blok ve düzlem arasındaki içsel sürtünme açısı

Şekil 2.7. (b) incelendiğinde, eğimli düzlem üzerinde bulunan bloğun yatayda $a_y(t) = k_y(t) \cdot g$ ivmesi ile titreştiği t anında yatay atalet kuvveti $k_y(W)$ 'yi oluşturacaktır. Bloğa etkiyen kuvvetlerin yatay ve dik bileşenlerine ayrılması sonucunda;

$$GS_d(t) = \frac{\text{Mevcut Tutucu Kuvvetler}}{\text{Psödo-Statik Kaydırıcı Kuvvetler}} = \frac{R_d(t)}{N_d(t)} = \frac{[\cos \beta - k_y(t) \cdot \sin \beta] \cdot \tan \emptyset}{\sin \beta \cdot k_y \cdot \cos \beta} \quad (\text{Eşitlik 2.11})$$

olur. Eşitlik 2.11'de de görüldüğü gibi k_y 'nin büyümesi GS (Güvenlik Katsayısı)'nın küçülmesine neden olmaktadır. Kritik yenilme eşiğinde $GS=1$ iken k_d 'nin sahip olacağı değere k_c kritik yenilme katsayısı adını verdiğimizde yenilme ivmesi Eşitlik 2.12'deki gibi hesaplanmaktadır. Bu yenilme ivmesi şevin göçmesine neden olabilecek minimum psödo-statik ivmedir.

$$a_c = k_c \cdot g \quad (\text{Eşitlik 2.12})$$

a_c : Kritik ivme (yenilme ivmesi)

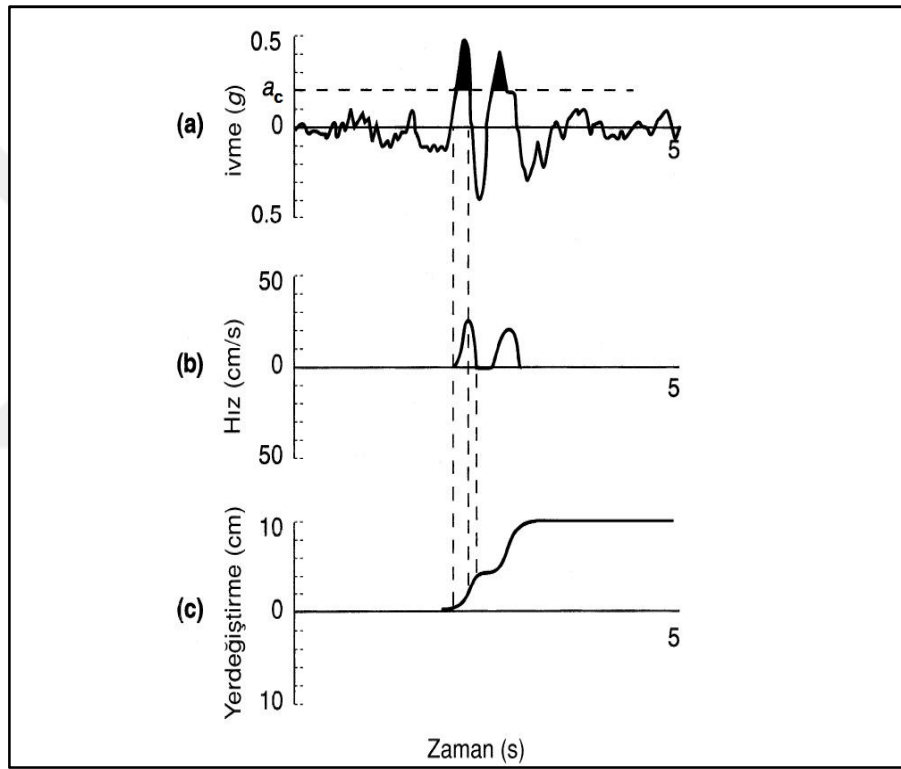
Aşağı yönde kayma için; $k_c = \tan(\emptyset - \beta)$ olmaktadır. Şevde yer değiştirmenin oluşabilmesi için, hesaplarda kullanılan pik ivme değerinin, a_c kritik ivme değerinden büyük olması gerekir (Eşitlik 2.13).

$$a_c = (GS-1) \cdot g \cdot \sin \theta \quad (\text{Eşitlik 2.13})$$

θ : Kayma yüzeyinin yatay ile yaptığı açı

GS : Güvenlik Katsayısı

Newmark yönteminin ana fikrini özetleyen grafikler Şekil 2.8’de sunulmuştur. Şekil 2.8 (a)’da a_c ile gösterilen kritik yenilme ivmesi değeri kesikli çizgi ile gösterilmiştir. Bu yenilme ivmesi değerinde $a_c/a = 1$ (GS) olmaktadır. Bu çizginin üzerine çıkan iki adet ivme pulsuna ait bölgeler siyaha boyanarak gösterilmiştir. Şekil 2.8 (b) ve Şekil 2.8 (c)’de iki ivme pulsunun siyaha boyanmış kısımlarına karşılık gelen şev yer değiştirmeleri görülmektedir. Şev yer değiştirmesinin bir önceki yer değiştirmenin sonlandığı yerden başlayarak ve üzerine koyarak devam ettiğine dikkat edilmelidir [10].



Şekil 2.8. Newmark yöntemini gösteren diyagram [11]. a) İvme - zaman ilişkisi, b) ivme pulslarının siyah renkle taranmış kısımlarının hız - zaman ilişkisi, c) hız pulslarına karşılık gelen yamaç aşağı yer değiştirme - zaman ilişkisi.

2.2.2. Zayıflatan Duraysızlıklar Analizi

Dinamik yükler altında kayma direnci çok azalan malzemeler için kullanılmaktadır. Kayma direncinin ($GS < 1$) olması durumunda kayma düzleminde akma gerçekleşir. Akmanın genel olarak üç şekli vardır;

1. Kütle Sıvılaşması:

Şev kitlesinin neredeyse tamamının sıvılaşmaya duyarlı olduğu durumlarda gerçekleşir. Bu durum genellikle şevin tamamının veya önemli bir kısmının su seviyesi altında olduğunda meydana gelmektedir.

2. Yerel Sıvılaşma:

Şev içerisinde belirli bir sıvılaşma zonu bulunması durumunda görülür.

3. Zemin Tabakalarının Veya İnce Katmanların Neden Olduğu Heyelan Hareketi:

Şev içinde var olan yatay zemin tabakalarının veya ince katmanların sıvılaşması sonucunda meydana gelir.

2.3. ŞEV STABİLİTESİ İLE İLİŞKİLİ ULUSAL ÖLÇEKTE YAPILAN BAZI ÇALIŞMALAR

Canik tarafından 2006 yılında yapılan yüksek lisans tezi çalışmasında, şev stabilitesinde kullanılan kazıkların, deprem etkisi altındaki davranışı ve şev stabilitesine etkisi araştırılmıştır. Şevlerin stabilitesinde kullanılan kazıkların tasarımı için hesap ve analiz yöntemleri incelenmiştir. Şevde mevcut statik yükler ile depremin neden olduğu dinamik yükler, farklı boyutlardaki kazık projeleriyle sonlu elemanlar yöntemi ve bilgisayar programları yardımıyla incelenerek değerlendirmelerde bulunulmuş, kazıkların deprem etkileri altındaki davranışları yorumlanmıştır.

Gündoğdu tarafından 2008 yılında yapılan yüksek lisans tezi çalışmasında, mevcut tez çalışmasına benzer şekilde, ancak sadece ülkemizde meydana gelmiş olan 37 adet depreme ait toplam 50 adet veri kaydın kullanılarak, özellikleri çalışmasında belirtilmeyen şevler üzerinde çeşitli analizler yapılmıştır. Bu analiz sonuçlarının işlenmesi ile bir takım formüller elde edilmiş olup, bu formüllerin literatürde bulunan mevcut formüller ile karşılaştırması yapılmıştır. Sonuç olarak literatürde bulunan a_c/a_{maks} oranını içeren formüllerin deprem sonucunda şevde oluşacak şekil değiştirmelerini hesaplamada en başarılı formüller olduğu savunulmuştur.

Türkmen tarafından 2009 yılında yapılan yüksek lisans tezi çalışmasında, 12 Kasım Düzce Depreminde göçen karayolu dolgu şevi ve 1999 yılı Chi Chi Tayvan Depremi'nde göçen Changhukun şevlerini incelenmiş olup bu şevlerin, Slope/W programı ile statik stabilite, Quake/W programı ile sonlu elemanlar yöntemi ile dinamik davranış analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, literatürde yer alan aynı bölgeler için daha önce yapılmış olan çalışmalarla karşılaştırılmış ve uyumlu oldukları sonucuna ulaşılmıştır.

Tekin tarafından 2011 yılından yapılan yüksek lisans tezi çalışmasında, sonlu elemanlar yöntemi ile dayanım azaltma yöntemini (SRM) bir arada kullanılarak kayma yüzeyinin güvenlik katsayısı ile birlikte değişiminin izlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaca yönelik Slope/W ve Plaxis programları kullanılarak yer altı su seviyesinin bulunmadığı tek katmanlı bir şevin zemin parametreleri kademeli olarak azaltılarak kazıklı ve kazıksız durumlardaki analizleri yapılmıştır.

Güler tarafından 2017 yılından yapılan yüksek lisans tezi çalışmasında, mevcut tez çalışmasına benzer şekilde dünyamız üzerinde meydana gelmiş olan depremlere ait 20 adet deprem kaydı kullanılmış olup, 3 katmanlı örnek bir şev üzerinde Plaxis programı yardımıyla sonlu elemanlar yöntemiyle analizler yapılmıştır. Yapılan dinamik analizlerde, örnek şev üzerinde meydana gelen deplasmanlar gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlar literatürde bulunan diğer analiz yöntemlerinin sonuçları ile karşılaştırılmış ve sonuç olarak şev stabilitesi analizleri için mutlaka farklı deprem ivmesi kayıtlarının kullanılması gerektiği, böylece elde edilecek deplasman değerlerinin literatürde yer alan formüllerden elde edilen değerler ile karşılaştırılması gerektiği çıkarımları yapılmış ve a_c/a_{maks} oranının şevde meydana gelecek deplasman değerleri ile ters orantılı olduğu gözlemlenmiştir.

Natur tarafından 2018 yılından yapılan yüksek lisans tezi çalışmasında, bir vaka analizi olarak, Kahramanmaraş Çağlayan Trafo Merkezi kazı şevlerinde meydana gelen şev hareketleri, sonlu elemanlar ve limit denge yöntemleri kullanarak Plaxis, Slide ve istCAD programları ile statik yükler, yeraltı su seviyesi ve deprem etkileri altında ayrı ayrı incelenmiştir. Sonuç olarak aynı programlarla hazırlanan iyileştirme

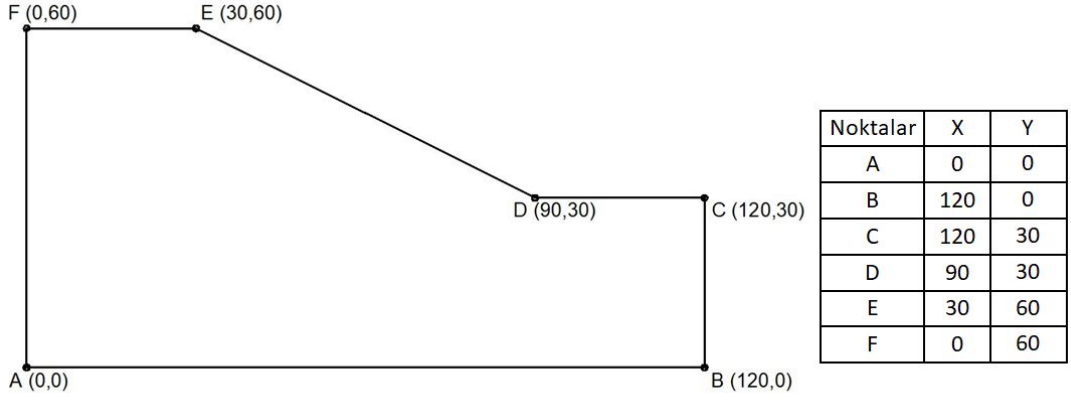
projelerinin güvenlik ve maliyet karşılaştırmaları yaparak uygun olan iyileştirme yöntemleri önerilmiştir.



BÖLÜM 3

MODEL ŞEV VE ÖZELLİKLERİ

Çalışma kapsamındaki analizlerin yapılabilmesi için tipik bir model şev kesiti tasarlanmış olup, şevi oluşturan malzemenin, çok katmanlı zeminlerdeki katman etkisinin sabit tutulması için tek katmandan oluşması düşünülmüştür. Şeve ait kesit geometrisi ve malzeme özellikleri Şekil 3.1’de verilmiştir.



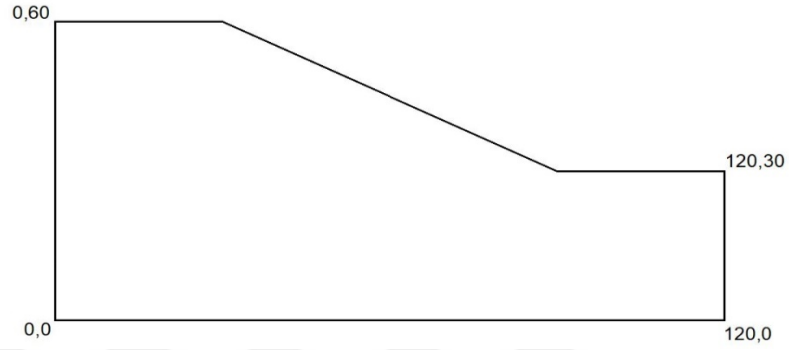
Zemin Özellikleri						
γ_d (kN/m ³)	γ_b (kN/m ³)	Φ (°)	c (kN/m ²)	E (kN/m ²)	ν	V_s (m/sn)
18	19	22	15	250000	0,30	250

Şekil 3.1. Simülasyonlarda kullanılan model şev ve özellikleri.

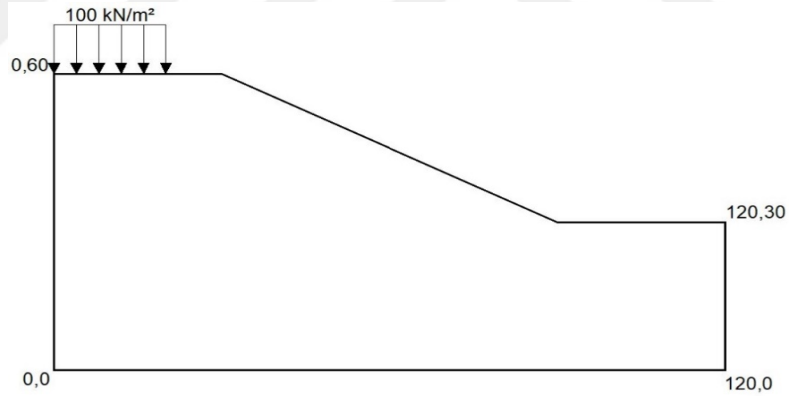
Tez kapsamında yapılacak analizlerin detaylandırılması ve farklı senaryolardaki zemin davranışlarının detaylı irdelenebilmesi adına çalışma kapsamında 3 ayrı senaryo geliştirilmiştir. Bu senaryolardan birincisi; şev üzerinde yük ve su seviyesi olmadan tasarlanmıştır. İkinci senaryoda şev üzerinde, şevin tepe noktasının 10 m gerisinden başlayarak 20 m boyunca devam eden 100 kN/m²'lik düzgün yayılı yük bulunduğu kabul edilmiştir. Üçüncü senaryoda ise aynı şev yapısının toprak dolgu baraj gövdesi olduğu ve yine ikinci senaryoda olduğu gibi şevin üzerinde, şevin tepe

noktasının 10 m gerisinden başlayarak 20 m boyunca devam eden 100 kN/m²'lik düzgün yayılı yükün bulunduğu kabul edilmiştir.

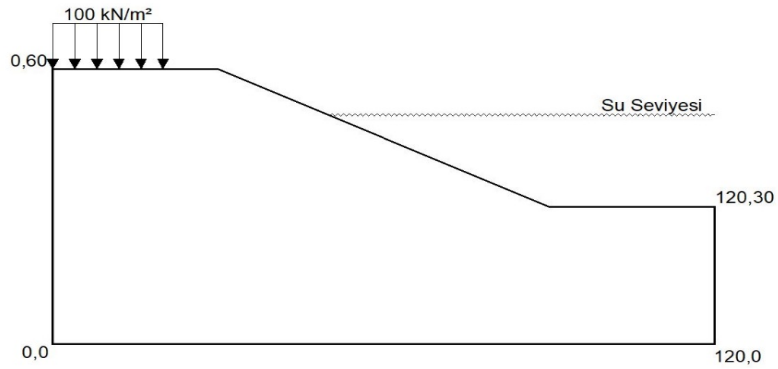
Tez kapsamında yukarıda sayılan ve Şekil 3.2, Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'de verilen senaryoların, statik ve dinamik yükler altında sonlu elemanlar yöntemi ile analizleri yapılmış ve sonuçları değerlendirilmiştir.



Şekil 3.2. Senaryo 1.



Şekil 3.3. Senaryo 2.



Şekil 3.4. Senaryo 3.

BÖLÜM 4

DEPREMLER VE İVME KAYITLARI

4.1. DEPREM VE SİSMOLOJİ

Yer kabuğunda oluşan gerilmelerin meydana getirdiği kırılmalar sonucu aniden ortaya çıkan titreşimlerin, yer kabuğu üzerinde dalgalar halinde yayılması ile oluşan yeryüzü sarsıntılarına deprem denir. Bu sarsıntıların bazıları yeryüzünde herhangi bir alet yardımı olmaksızın hissedilemezken, bazıları ise üzerindeki yapıları yıkarak can kayıplarına neden olabilmekte, kimi zaman yeryüzü şekillerini bile değiştirebilmektedir. Deprem oluşumunu ve yeryüzündeki etkilerini ölçü aletleri ve bilimsel teknikler kullanarak inceleyen, gözlemleyen ve kaydeden bilim dalına “Sismoloji”, deprem dalgalarının ivme büyüklüğünü, şiddetini, süresini ve saatini kaydeden aletlere ise “sismograf” denir.

Yeryüzünde oluşan depremlerin yaklaşık %90’ı tektonik hareketler sonucu oluşan depremlerdir. Deprem denildiğinde ilk akla gelen deprem çeşidi bunlardır. Günümüze kadar yapılmış olan jeolojik ve jeofizik çalışmalar sonucu, ortaya koyulmuş bulunan yeryüzü modeline göre, yerkürenin 70-100 km kalınlığı bulabilen dış kabuğuna “Litosfer” veya “Taşküre” denilmektedir. Litosferin içerisinde kıtalar, okyanuslar ve okyanus tabanları bulunmaktadır. Deprem ve diğer jeolojik olaylar çoğunlukla litosferde gerçekleşmektedir. Litosfer, yeryüzünden derinliklere inildikçe artan sıcaklığın ve basıncın da etkisi ile kısmen eriyik halde bulunan üst manto üzerinde yüzer halde bulunmaktadır. Litosferi oluşturan levhaların, mantodan etkileyen konvansiyonel ve manyetik akımların da etkisi ile hareket etmesi, bu levhaların kimi yerde çarpışmasına, kimi yerde sürtünmesine, kimi yerlerde ise bir biri altına veya üstüne dalma – batma zonları oluşturarak hareket etmesine neden olmaktadır. Bu esnada oluşan gerilmeler ile levhalar üzerinde bulunan zayıf zonların kırılması kaçınılmazdır. İşte bu kırılma hareketinin yeryüzündeki etkisine deprem, kırılmaların olduğu hatlara da fay hattı denilmektedir.

1906 yılında H.F. Reid tarafından önerilen Elastik Kırılma Teorisine göre; deprem, faylar üzerinde biriken gerilme enerjisinin aniden boşalması sonucunda meydana gelen ve yeryüzünde yer değiştirmelere neden olan elastik dalga hareketleridir. Depremün büyüklüğü ile bu yer değiştirmenin büyüklüğü arasında doğru orantılı bir ilişki bulunmaktadır.

Depremler oluşum sebeplerine göre genel olarak dört ana başlık altında incelenmektedir. Bunlar;

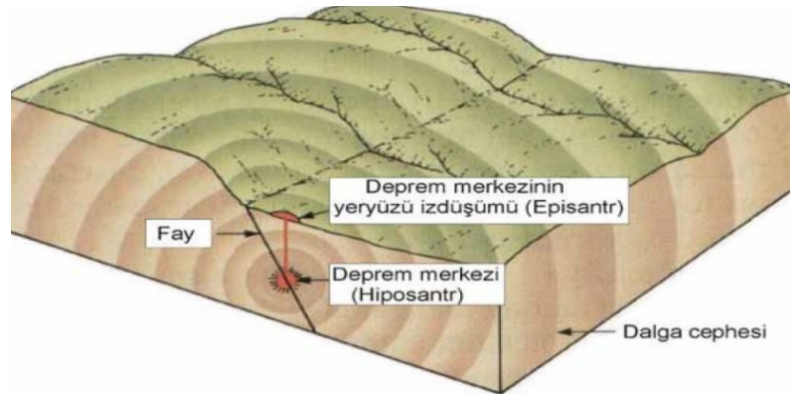
1. Tektonik Depremler: Yerkürede var olan levha hareketlerinden kaynaklanan ve aktif fay hatları üzerinde meydana gelen depremlere denir. Ülkemizdeki depremlerin hemen hemen tamamı bu çeşit depremlerdir.
2. Çöküntü Depremler: Yeryüzü homojen değildir. Yeraltındaki zeminde bazı sebepler nedeniyle oluşan boşlukların tavanlarının çökmesi sonucunda küçük ölçekli sarsıntılar meydana gelebilir. Bu tür sarsıntılara çöküntü depremi denilmektedir.
3. Volkanik Depremler: Mantoda bulunan ergimiş kayalar yeraltındaki yüksek basınç sebebi ile bulmuş oldukları zayıf noktalardan yeryüzüne çıkabilirler. Bu esnada sıkışan gazların yapmış oldukları patlamaların meydana getirdiği depremlere volkanik depremler denilmektedir.
4. İnsan Kaynaklı ve Doğal Olmayan Depremler: Çeşitli patlayıcı maddelerin etkisi ile veya insanların sebep olduğu çöküntüler nedeni ile ortaya çıkan zemin titreşimlerine denilir. Bu gruba dâhil edilecek depremlerde, ana oluşum sebebinin insan olması aranılır.

Depremlerde kırılma enerjisinin başlangıç noktasına odak noktası (hiposantr) denir. Depremün meydana geldiği yer kabuğu içindeki noktanın, yeryüzüne olan en kısa mesafesine odak derinliği denilmekte olup, Depremler odak noktalarının buldukları derinliğe, uzaklığına göre ve büyüklüklerine göre de gruplara ayrılmaktadır. Buna göre; odak noktasının derinliği yeryüzünden 70 km'ye kadarki

derinliklerde oluşan depremlere *siğ depremler*, odak noktasının derinliği yeryüzünden 70 km ~ 300 km'ye kadarki derinliklerde oluşan depremlere *orta derinlikli depremler*, odak noktasının derinliği yeryüzünden 300 km ~ 700 km'ye kadarki derinliklerde oluşan depremlere *derin depremler* denilmektedir.

Deprem meydana geldiği odak noktasına en yakın yeryüzü noktasına deprem dış merkezi veya merkez üssü (episantr) denilmektedir (Şekil 4.1). Deprem merkez üssünün, sismik ölçüm istasyonlarına olan uzaklığına göre depremler dört başlık altında sınıflandırılır. Bunlar;

1. Yerel Depremler: İstasyona olan mesafesi 100 km'den daha az uzaklıkta olan depremlerdir.
2. Yakın Depremler: İstasyona olan mesafesi 100 km ~ 1000 km arasındaki uzaklıkta olan depremlerdir
3. Bölgesel Depremler: İstasyona olan mesafesi 1000 km ~ 5000 km arasındaki uzaklıkta olan depremlerdir.
4. Uzak Depremler: İstasyona olan mesafesi 5000 km'den daha uzak olan depremlerdir.



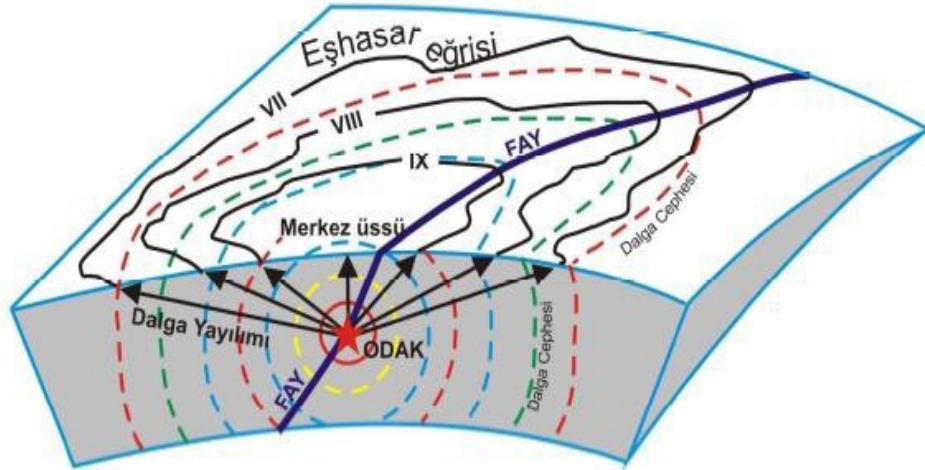
Şekil 4.1. Hiposantr ve episantr.

Deprem sırasından ortaya çıkan enerjinin birim değeri magnütüd (M) ölçü birimi üzerinden ifade edilir ve büyüklüklerine göre depremler Çizelge 4.1'deki gibi sınıflandırılır.

Çizelge 4.1. Deprem büyüklük ilişkileri [12].

Çok Büyük Depremler	:	8.0	< M
Büyük Depremler	:	7.0	< M < 8.0
Orta Büyüklükte Depremler	:	5.0	< M < 7.0
Küçük Depremler	:	3.0	< M < 5.0
Mikro Depremler	:	1.0	< M < 3.0
Ultra Mikro Depremler	:		M < 1.0

Depremin şiddeti, yeryüzünde hissedildiği bir noktadaki etkisinin ölçüsü olarak tanımlanır. Depremin şiddetinin belirlenmesinde, depremin derinliği, şiddetin tarif edildiği yeryüzü noktasının odak noktasına olan uzaklığı, yerel zemin özellikleri, altyapı ve üstyapı özellikleri gibi etkenler önem taşımaktadır (Şekil 4.2). Depremin şiddetini tarif etmek için oluşturulmuş tablolar insan algılarına ve diğer fiziksel özelliklere bağlı olduğundan, deprem şiddeti bu tablolarda izafi olarak nitelendirilmiştir.



Şekil 4.2. Deprem eşhasar eğrisi.

Bu tablolardan başlıcaları Mercalli-Sieberg (MS), Mercalli Cancani (MC), Değiştirilmiş Mercalli (MM), Medvedev-Sponheur-Karnik (MSK), Japon (JM), Rossi-Forel (RF) ve Omori-Cancani (OC) deprem şiddeti tablolarıdır (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2. Mercalli ve MSK deprem şiddet ve büyüklük açıklamaları.

ŞİDDET	BÜYÜKLÜK	AÇIKLAMA
I	1.0 - 3.0	Neredeyse hiç kimse tarafından hissedilmezler. Aletsel ölçümlerle kayıt altına alınır.
II	3.0 - 3.9	Genellikle yüksek binaların üst katlarında dinlenme halindeki insanlar tarafından hissedilirler. Asılı durumda bulunan cisimler hafifçe sallanabilir.
III		Binaların üst katlarında bulunan insanlar tarafından açıkça hissedilirler. Yakın bir yoldan büyük ve yüklü bir kamyon geçiyormuş gibi sarsıntılar yapar.
IV	4.0 - 4.9	Gündüz vakti binalarda bulunan hemen hemen herkes tarafından hissedilirler. Gece bazı kişiler sarsıntıyı hissederek uyanır. Tabak, pencere, kapı gibi nesnelere titreşim ve sesler hissedilir. Binaların duvarlarından sesler gelebilir.
V		Gündüz hemen hemen herkesçe hissedilirler. Gece çoğu kişi uykusundan uyanır. Pencere ve camları kırılabilir. Dengesiz nesnelere devrilebilir.
VI	5.0 - 5.9	Herkes tarafından açıkça hissedilirler. Korku ve endişe olurtururlar. Sıva dökülmelerine yol açabilir.
VII		Ayakta durmak zordur. Normal yapılarda orta derecede, kötü tasarlanmış ve kalitesiz inşa edilmiş yapılarda önemli hasarlar oluşur. Bacalar yıkılabilir. Hareket halindeki araçlarda hissedilir.
VIII	6.0 - 6.9	Özel olarak tasarlanan yapılarda hafif, sıradan ve büyük yapılarda önemli hasarlar görülür. Bacalar yıkılır, ağır mobilyalar, sütun ve abideler yıkılır.
IX		Özel olarak tasarlanan yapılarda orta, sıradan binalarda büyük hasarlar ve çökmeler görülür. Binalar temellerinden oynar.
X	7.0 < M	İyi inşa edilmiş ahşap, taş ve kafes yapıların çoğunluğu yıkılır. Demiryollarında eğrilikler ve bükülmeler oluşur.
XI		Yığma yapıların tamamına yakını, köprülerin önemli bir bölümü yıkılır. Yeraltı boruları hasar görür ve kullanılmaz hale gelebilir. Yeryüzünde büyük çatlaklar ve şekil değişiklikleri meydana gelebilir. Depreme bağlı heyelanlar görülür. Demiryolları kullanılamaz hale gelir.
XII		Bütün binalar yıkılır. Yeryüzü şekil değiştirir. Deprem dalgaları gözle görülebilir. Ufuk çizgisi şekil değiştirir. Deprem şiddeti ile cisimler havaya sıçrayabilir.

Fay hattında biriken enerji depreme neden olur. Bu esnasında açığa çıkan enerji, depremin büyüklüğünü ifade etmektedir. Bu büyüklüğü kaydetmek ve ölçmek için sismometre ya da sismograf adı verilen aletler kullanılır. Bu aletler depremin yeryüzünde oluşturduğu salınım miktarının kaydedilmesi temelinde çalışmaktadır. Buna göre deprem ne kadar büyük olursa, yeryüzünde (ölçüm istasyonunda) oluşan salınım da o kadar büyük olmaktadır. Bu ölçümlerden sağlıklı bir sonuç çıkarılabilmesi için, birden fazla istasyona ait veriler kullanılmaktadır. Deprem büyüklüğünün ölçülmesi için kullanılan yöntemler episantra uzaklığına göre değişim göstermektedir.

4.1.1. Yerel (Lokal) Büyüklük (ML)

Bu enerjinin miktarının ölçülmesi için sismolog bilim adamı Prof. Charles Richter tarafından 1930 yılında ortaya koyulan ve depremlerin aletsel ölçümünün büyüklüğünün bir değeri olan “magnitüd” birimi tanımlanmıştır. Prof. Charles Richter bu çalışmasında, depremin merkez üssünden 100 km uzaklıkta ve dayanımı yüksek bir zemine yerleştirilmiş, karakteristik salınımı 0,80 sn, büyütme oranı 2800 kat, sönümlenme oranı %80 olan Wood-Anderson Torsiyon Sismograf'ı yardımıyla ölçülen zemin hareketinin mikron (1/1000 mm) birimi ile kaydedilen en yüksek genliğinin 10 tabanına göre logaritmasını, depremin magnitüd birim değeri olarak tanımlamıştır. Richter ölçeği adı verilen bu ölçekleme sistemi tüm dünyada yaygın olarak kullanılmaktadır (Eşitlik 4.1).

$$M_L = \log A/A_0 \quad (\text{Eşitlik 4.1})$$

M_L : Deprem büyüklüğü

Magnitüd değerleri, aletsel ve gözlemsel değerler olarak iki ana gruba ayrılmıştır. Aletsel magnitüd değeri yukarıda anlatıldığı şekilde yapılan hesaplamalar sonucunda hacim dalgalarının (m) ve yüzey dalgalarının (M) ölçülmesi ile hesaplanmaktadır. Gözlemsel magnitüd değeri ise depremin gözlemsel merkez üssü şiddetine göre değerlendirilmektedir. Burada göz önünde bulundurulması gereken en önemli etken, gözlemsel şiddetin zeminden zemine ve bölgeden bölgeye farklılıklar

gösterebileceğidir. Depremlerin magnitüd ve şiddet değerleri incelenmiş ve bazı deneysel bağıntılar yardımıyla bu iki değer arasında Çizelge 4.3’da verilen ilişki gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.3. Depremlerin şiddet ve magnitüd ilişkileri [13].

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

4.1.2. Süreye Bağlı Büyüklük (Md)

Büyük depremlerin sismograf üzerinde daha çok salınıma neden olacağı prensibi ile hareket edilen bu yöntem, 300 km yarıçapa sahip bir alanda oluşan, $M < 5,0$ küçük depremler için kullanılmaktadır.

4.1.3. Yüzey Dalgası Büyüklüğü (Ms)

Bu yöntem 1000 km’den uzak mesafelerde ve 70 km’den daha sığ derinlikteki büyük depremlerin, ölçümü için kullanılmaktadır. Bu yöntemin temelinde periyodu 20 sn olan Rayleigh dalgalarının genliği ölçümlenmektedir (Eşitlik 4.2).

$$M_s = \log (A/T) + 1,66 \log_{10}(D^\circ) + 3,30 \quad (\text{Eşitlik 4.2})$$

M_s : Yüzey dalgası büyüklüğü

A : Maksimum yer değiştirme

D° : Sismografa, derece olarak dış merkez uzaklığı (yerin çevresi 360°)

4.1.4. Cisim Dalgası Büyüklüğü (Mb)

Bu yöntem derin ve orta ölçekli depremlerin ölçülmesinde kullanılmaktadır. Bu yöntemde, periyodu 1 sn ve civarında olan depremlerin en yüksek genlikli P dalgaları ölçülmektedir (Eşitlik 4.3).

$$M_b = \log_{10} (A_t/T) + Q (D,h) \quad (\text{Eşitlik 4.3})$$

A_t : Tanecik titreşimlerinin genliği (mikron)

T : Periyod (sn.)

$Q (D,h)$: Düzeltme Faktörü (depremin merkez üssü ve istasyon arasındaki mesafenin ve odak derinliğinin fonksiyonu)

4.1.5. Moment Büyüklüğü (Mw)

Bu yöntemde ilk önce sismik moment (M_0) hesaplanır (Eşitlik 4.4, Eşitlik 4.5).

$$M_0 = \mu \cdot A_f \cdot D \quad (\text{Eşitlik 4.4})$$

M_0 : Sismik moment (N.m)

μ : Fay düzlemi boyunca materyalin kayma modülü (N/m^2), yer kabuğu için: $3.10^{10} N/m^2$, Manto için: $7.10^{12} N/m^2$

A_f : Kaymaya uğrayan düzlemin alanı (m^2), bu parametre yüzey yırtılma uzunluğu ve artçı şokların derinliği ile hesaplanmaktadır.

D : Fayın yırtılan parçasının ortalama yer değiştirmesi (m).

$$M_w = - 6 + 0,67 \cdot \log_{10} (M_0) \quad [14]. \quad (\text{Eşitlik 4.5})$$

M_w : Sismik moment büyüklüğü

M_0 : Sismik moment (N.m)

4.2. DEPREM DALGALARININ YAYILMASI

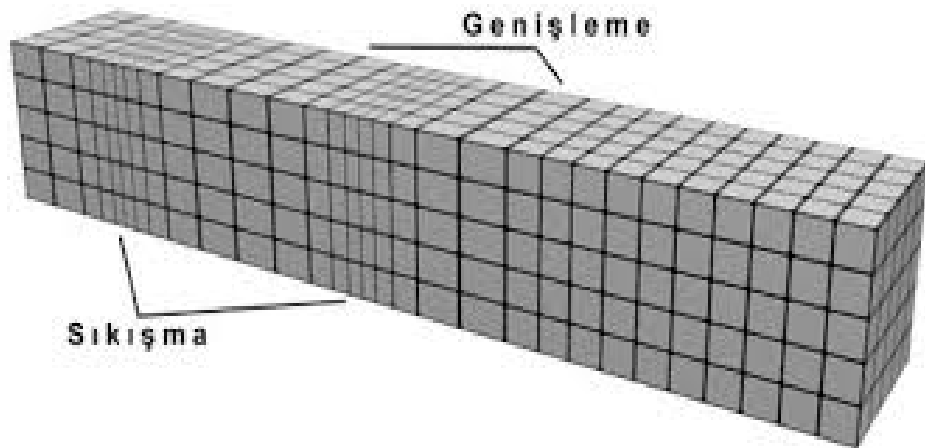
Bir deprem esnasında ortaya çıkan enerji yerin içinde ve yüzeyinde dalgalar halinde yayılmaktadır. Bu dalgalardan, yer içinde hareket edenlere cisim dalgaları, yer yüzeyinde hareket edenlere ise yüzey dalgaları denilmektedir. Yüzey dalgaları boyuna, cisim dalgaları ise hem enine, hem de boyuna hareket edebilmektedir.

4.2.1. Cisim Dalgaları

Yer yüzeyinin iç kısmında hareket eden cisim dalgaları, P (primer) ve S (sekonder) dalgalar olmak üzere iki başlık altında incelenmektedir.

4.2.1.1. P (Primer, Birincil) Dalgaları

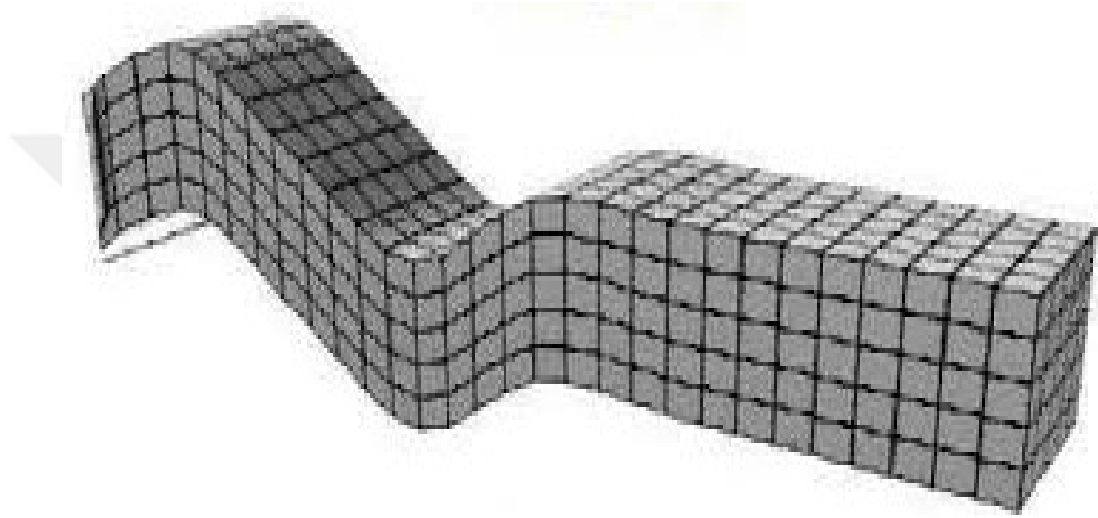
P dalgaları boyuna dalgalar olup, bu dalgalarda hareket, yayılma doğrultusuna paralel gerçekleşir (Şekil 4.3). Deprem anında bu dalgalar zemin üzerinde sıkışma ve genişleme etkileri ile görülebilir. P dalgaları sismograflara ilk ulaşan dalgalar olup, hızları genel olarak 4~8 km/sn civarında, yıkım etkisi düşüktür. Bu tür dalgalar, katı sıvı gaz gibi her ortamda yayılmasını sürdürür.



Şekil 4.3. P (primer, birincil) dalga.

4.2.1.2. S (Sekonder, İkincil) Dalgalar

S dalgaları enine dalgalar olup, bu dalgalarda hareket, yayılma doğrultusuna dik olarak gerçekleşir (Şekil 4.4). Deprem anında bu dalgaların etkisi, zemin üzerinde sallanan ip şeklinde görülebilir. S dalgaları sismograflara ikinci sırada ulaşan dalgalar olup, hızları genelde olarak 2~5 km/sn civarındadır. Bu tür dalgalar sadece katı kütlelerin yüzeyinde yayılmasını sürdürür.



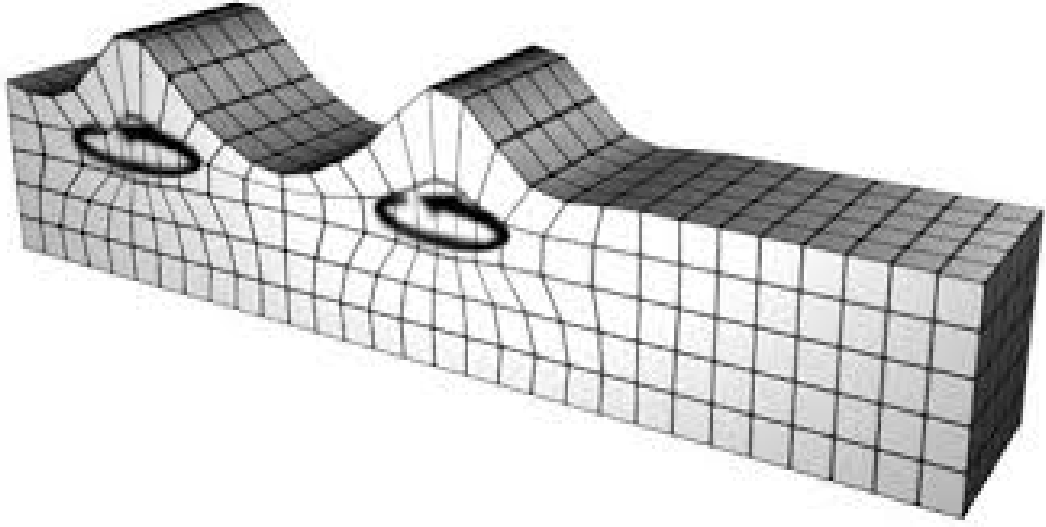
Şekil 4.4. S (sekonder, ikincil) dalga.

4.2.2. Yüzey Dalgaları

Yüzey dalgaları, yer yüzeyindeki katmanlar ile cisim dalgalarının etkileşimi sonucu ortaya çıkmaktadır. R (Rayleigh) ve L (Love) dalgaları olmak üzere iki başlık altında incelenmektedir.

4.2.2.1. R (Rayleigh) Dalgaları

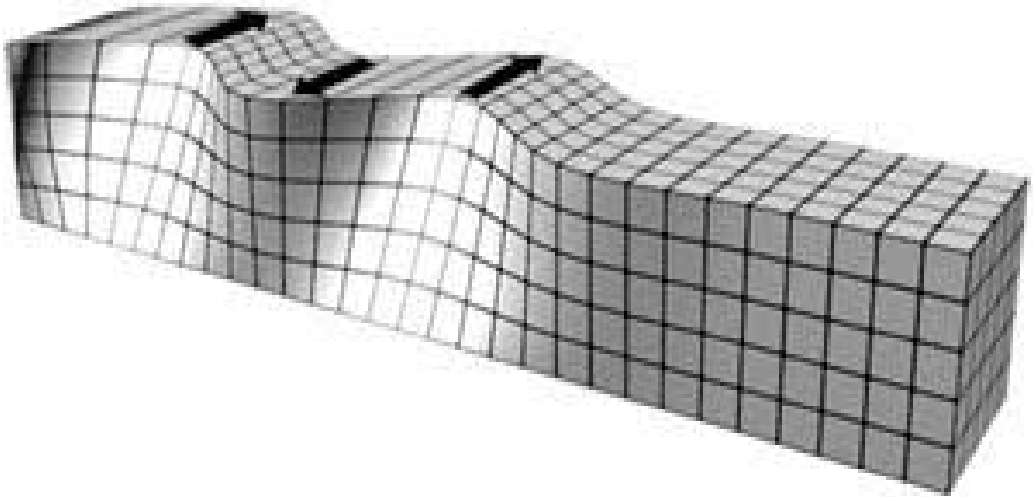
R dalgaları deprem hareket yönünün tersine ve eliptik yönde hareket ederler. Sarsıntıların çoğu yüksek enerjilidir. Düşeyde ve su dalgası şeklinde hareket ederler (Şekil 4.5). Hareketleri diğer dalgalara göre yavaş, yıkım etkisi yüksektir. Deprem odağının derinliğine göre genliği katlanarak azalır.



Şekil 4.5. R (Rayleigh) dalgaları.

4.2.2.2. L (Love) Dalgaları

L dalgaları zemini yatay düzlemde hareket ettirirler. Yüzey dalgalarının en hızlısıdır. 1,5~2 km/sn civarında bir hıza sahiptirler. Yapılar üzerinde burulma etkisi oluşturması sebebi ile yıkım etkisi en yüksek dalga tipidir (Şekil 4.6). Sıvı kütlede yayılamazlar.



Şekil 4.6. L (Love) dalgaları.

4.3. DEPREMLERİN YERİNİN BELİRLENMESİ

Depremlerin yerinin belirlenmesi için depremlerin kayıt edildiği en az üç adet istasyon (sismograf) verisi gerekmektedir. Bu sismografların kayıt ettiği veriler ışığında deprem dalgalarının istasyona ne kadar zamanda ulaştığı ile bağlantılı olarak elde edilen mesafe (yarıçap) ve istasyon konumları (daire merkezleri) ile üç adet daire harita üzerine çizilir. Bu en az üç dairenin kesişim noktalarının merkezi, meydana gelen depremin episantri olarak belirlenir.



BÖLÜM 5

ANALİZLER VE DEĞERLENDİRME

Tez kapsamında, mevcut statik ve dinamik yükler etkisi altında stabilitesi değerlendirilen tipik model şev yapısına ait, 3 farklı senaryoda gerçekleşmesi beklenen şekil değiştirmelerin tespitinde, gerçek malzeme davranışlarına yakın sonuçlar veren sonlu elemanlar analiz yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemin icrasında 1987 yılından günümüze kadar, Geoteknik Mühendisliği hesaplamalarında kullanılmakta olan Plaxis programı tercih edilmiştir.

5.1. ANALİZLERDE KULLANILAN PLAXİS PROGRAMININ TANITILMASI

Plaxis programı İnşaat Mühendisliği Bilimi dâhilinde yer alan Geoteknik Ana Bilim Dalı'nda kullanılmakta olan sonlu elemanlar analizi programlarından biridir. Bu programla, Geoteknik Mühendisliği'nde hesaplanması gereken, yapı-zemin etkileşimi, zemin modellerinin doğrusal olmayan davranışlarının analizi, zemin-su etkileşimi, zemin-kaya etkileşimi, farklı zemin malzemesi ve modellerinin mevcut olması durumu vb. gibi birçok zemin probleminin zamana bağlı olarak, yapım aşamalarının fazlarının modellenmesini de içerebilen, zeminin non-lineer ve elastoplastik davranışlarının, statik ve dinamik yükler altındaki sonuçları hesaplanabilmektedir. Plaxis programı Input, Calculations, Output ve Curves olmak üzere 4 ana başlıktan oluşmaktadır.

Input, analizi yapılacak olan modelin geometrisinin ve zemin verilerinin, bilgi girişinin yapıldığı bölümdür. Input ekranında, ilk olarak geometri bilgi girişi, "Geometri Line" komutu ve koordinatlar yardımı ile yapılır. Birden fazla tabakaya sahip zemin için bilgi girişi yapılacaksa, yine "Geometri Line" komutu yardımıyla ilgili yerlere çizgisel eleman ataması yapılır. Bilgi girişi dâhilinde, bulunması halinde, "Prescribed Displacements", Distributed Loads", "Point Loads" komutları

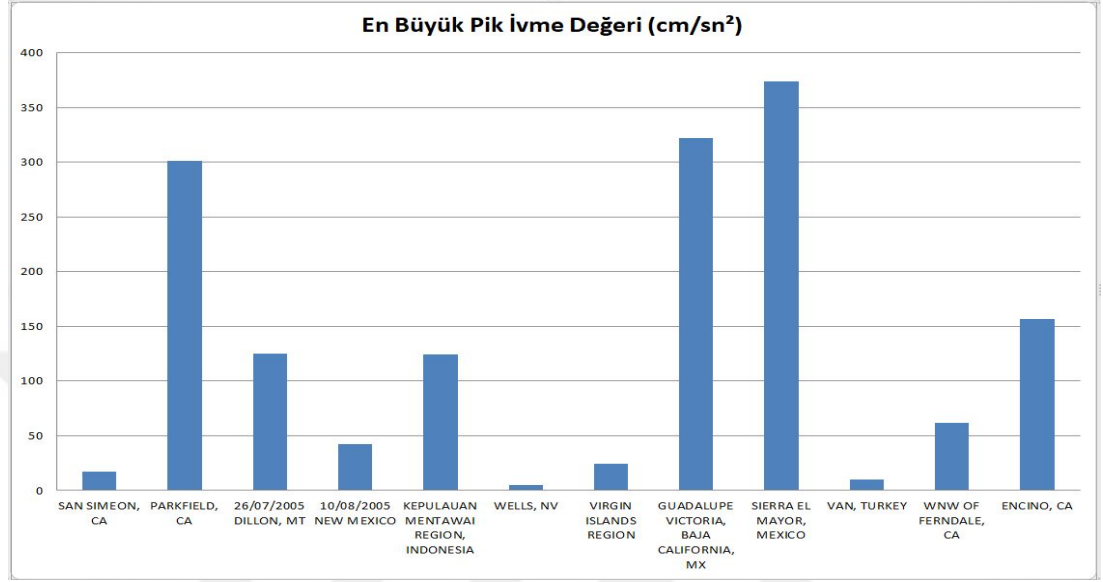
da kullanılabilir. “Standart Fixities” komutu vasıtası ile sınır şartlarının belirlenmesinden sonra “Material Sets” komutu ile malzemenin ve zeminin özelliklerinin bilgi girişleri tamamlanır. Tüm parametre girişleri yapıldıktan sonra, malzeme parametrelerinin ilgili geometrik boşluğa, taşı-bırak yöntemi ile ataması yapılır. Daha sonra sonlu elemanlar sisteminin oluşturulması “Generate Mesh” butonu seçilerek sağlanır. Update tuşu ile oluşturulan sonlu elemanlar ağı, geometri üzerine atanır ve “Initial Conditions” tuşuna basılır. Varsa su seviyesinin tanımlanması yapılır ve boşluk suyu basıncı hesaplatılır. Zemin üzerinde herhangi bir yük ve etmenin bulunmadığı zeminin yalın hali ile zeminde oluşan efektif gerilmeleri hesaplanarak “Update” tuşu ile ataması yapılır. Bu aşamalardan sonra “Calculate” tuşuna basarak Calculations modülüne geçiş otomatik olarak gerçekleşir.

Calculations modülünde, inşaat yapım aşamalarının fazlarının tanımlanması, hesaplama tipinin seçiminin yapılması, Parameters ve Multipliers sekmelerindeki ilgili bilgi girişlerinin yapılması ile tüm işlemler tamamlanmış olur. Calculate komutu ile modelde tanımlanan şartlar dâhilinde meydana gelecek davranışların hesaplaması yapılır. Calculate komutu ile yapılan hesaplamaların ardından otomatik olarak açılan OUTPUT modülünde, analiz sonuçları incelemeye sunulmuş olur. CURVES modülü yapılmış olan bu analizlerin raporlanması için kullanılmaktadır.

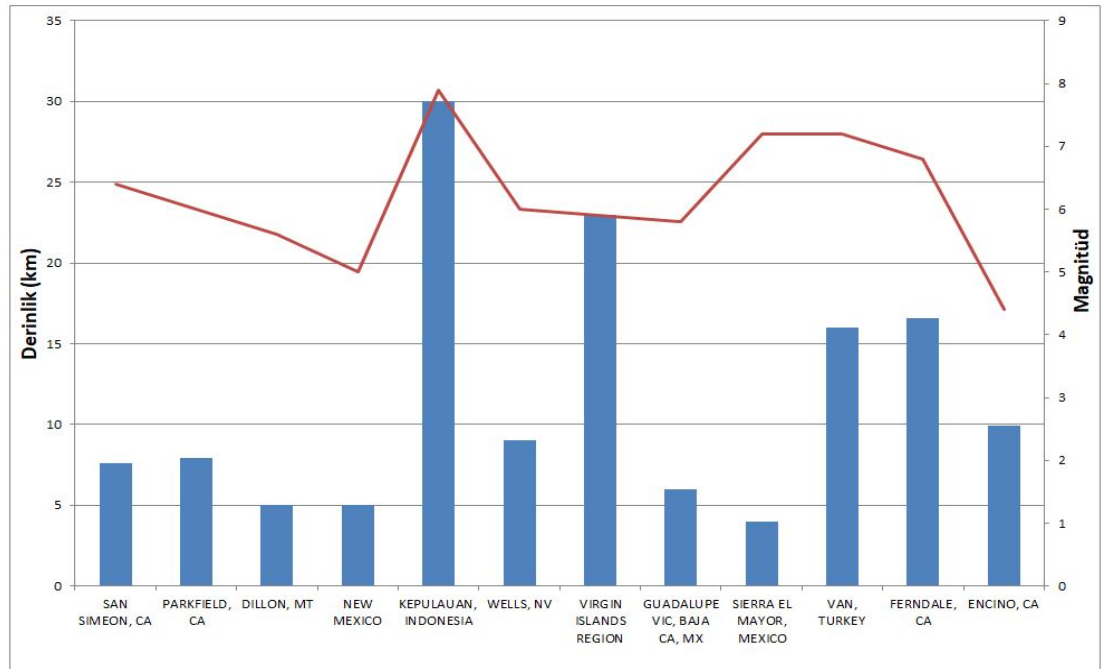
5.2. ANALİZLERDE KULLANILAN DEPREMLER VE ÖZELLİKLERİ

Bu çalışmada daha önce kesit geometrisi ve maruz kaldığı statik yükleri verilen şevin üç adet senaryo dâhilinde, dinamik yüklerin etkisi altındaki stabilitesi sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmiştir. Bu inceleme esnasında yurt içinde ve yurt dışında meydana gelmiş olan depremlere ait birçok ivme kayıtları arasından, parametrelerine göre ve örneklem oluşturabilecek şekilde ayıklanan, 12 adet depreme ait, toplam 100 adet ivme kaydı kullanılmıştır [15]. Bu deprem kayıtlarında, depremin büyüklüğü, derinliği, kaydedilen istasyon bilgisi, merkez üssüne olan uzaklığı, kaydedilen istasyonların bulunduğu sahaların jeolojik bilgileri, pik ivme değerleri ve kayıt süresi verileri incelenmiş ve kıyaslanmıştır (Çizelge 5.1, Çizelge 5.2, Çizelge 5.3). Depremlerin ivme kayıtlarının büyüklükleri, kaydı yapan istasyonun merkez üssüne uzaklığı ve istasyonun bulunduğu zemin özellikleri veya

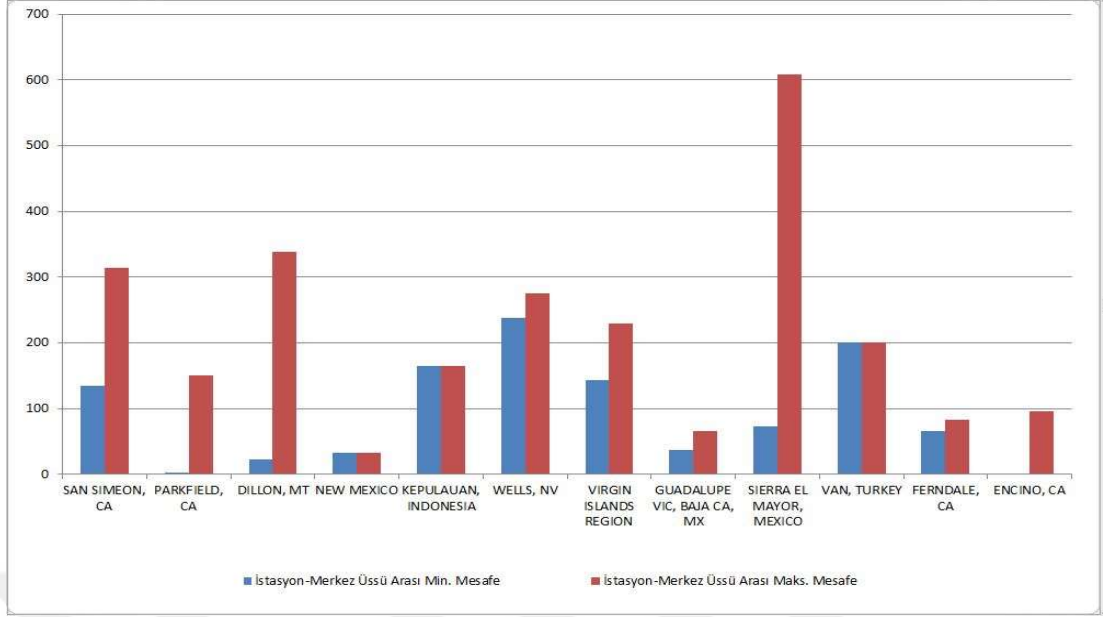
bina yapısının niteliği gibi parametrelere bağlı olarak değişmektedir. İvme değerinin negatif veya pozitif olması ise hareket yönünü belirtmektedir. Bu nedenle grafiklerde en büyük ivme değerlerinin mutlak değeri dikkate alınmıştır.



Şekil 5.1. Veri setinde bulunan her bir depreme ait en büyük pik ivmenin mutlak değerleri.



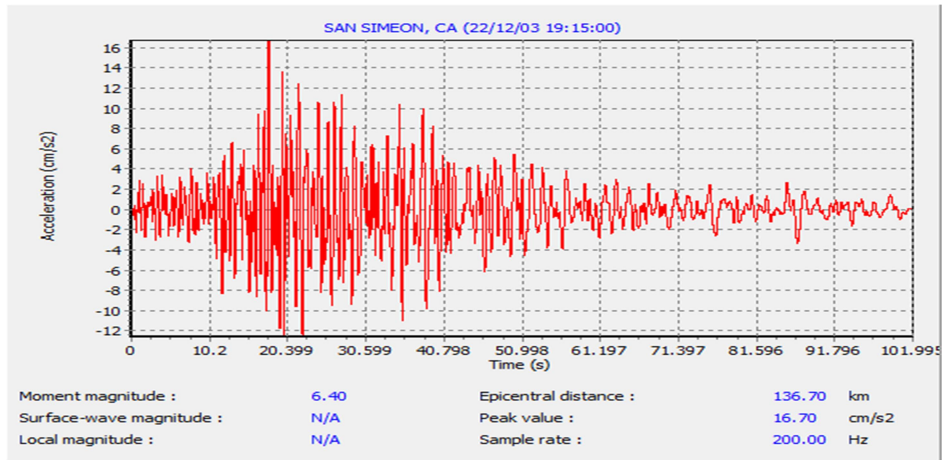
Şekil 5.2. Veri setinde bulunan her bir depreme ait derinlik (sütun grafik) ve magnitüd (çizgisel grafik) değerleri.



Şekil 5.3. Veri setinde bulunan her bir depreme ait en yakın ve en uzak merkez üssü-istasyon arası mesafe değerleri.

5.2.1. San Simeon Depremi, Kaliforniya, A.B.D.

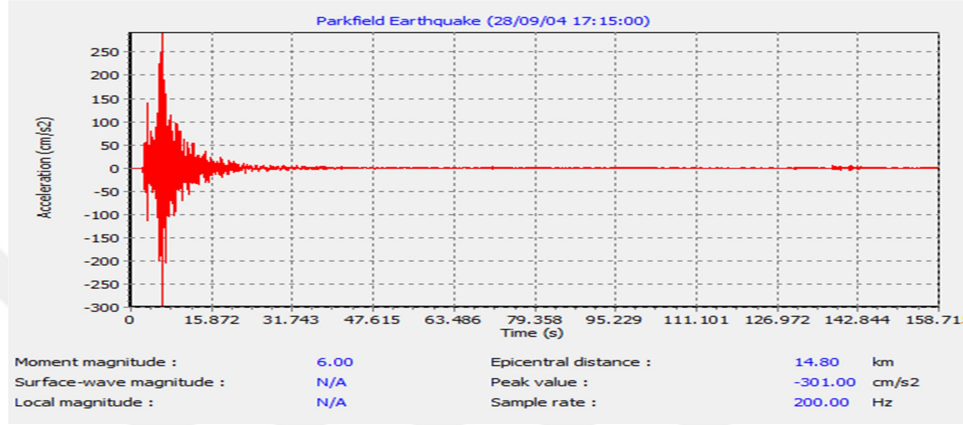
Amerika Birleşik Devletleri'nin Kaliforniya Eyaleti'nde 22.12.2003 tarihinde meydana gelen San Simeon Depremi'ne ait 12 adet istasyon kaydı verisi kullanılmıştır. Bu depreme ait veri setinde bulunan en büyük ivme kaydı 16,70 cm/s^2 olup, bu kayda ait akselogram Şekil 5.4'de gösterilmiştir.



Şekil 5.4. San Simeon Depremi ivme-zaman grafiği [15].

5.2.2. Parkfield Depremi, Kaliforniya, A.B.D.

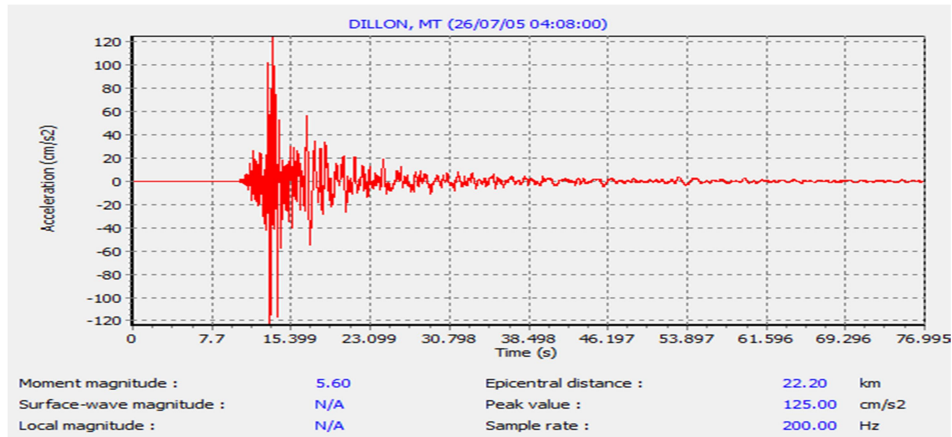
Amerika Birleşik Devletleri'nin Kaliforniya Eyaleti'nde 28.09.2004 tarihinde meydana gelen Parkfield Depremi'ne ait 10 adet istasyon kaydı verisi kullanılmıştır. Bu depreme ait veri setinde bulunan en büyük ivme kaydı 301 cm/sn² olup, bu kayda ait akselogram Şekil 5.5'de gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Parkfield Depremi ivme-zaman grafiği [15].

5.2.3. Dillon Depremi, Montana, A.B.D.

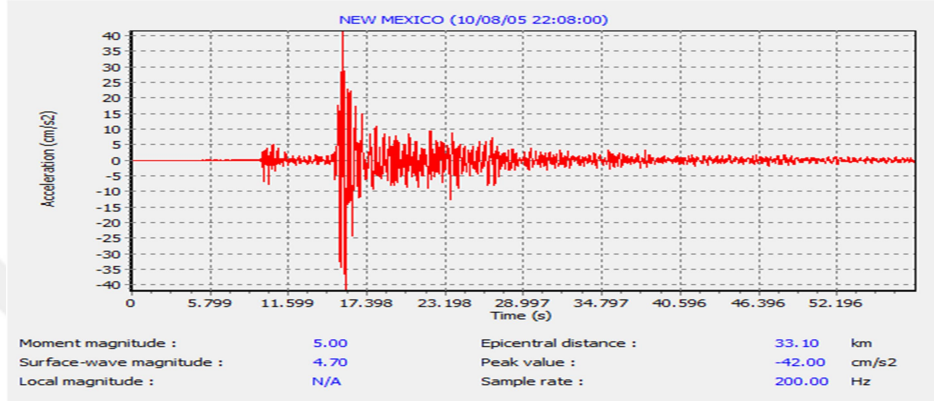
Amerika Birleşik Devletleri'nin Montana Eyaleti'nde 26.07.2005 tarihinde meydana gelen Dillon Depremi'ne ait 9 adet istasyon kaydı verisi kullanılmıştır. Bu depreme ait veri setinde bulunan en büyük ivme kaydı 125 cm/sn² olup, bu kayda ait akselogram Şekil 5.6'da gösterilmiştir.



Şekil 5.6. Dillon Depremi ivme-zaman grafiği [15].

5.2.4. New Mexico Depremi, A.B.D.

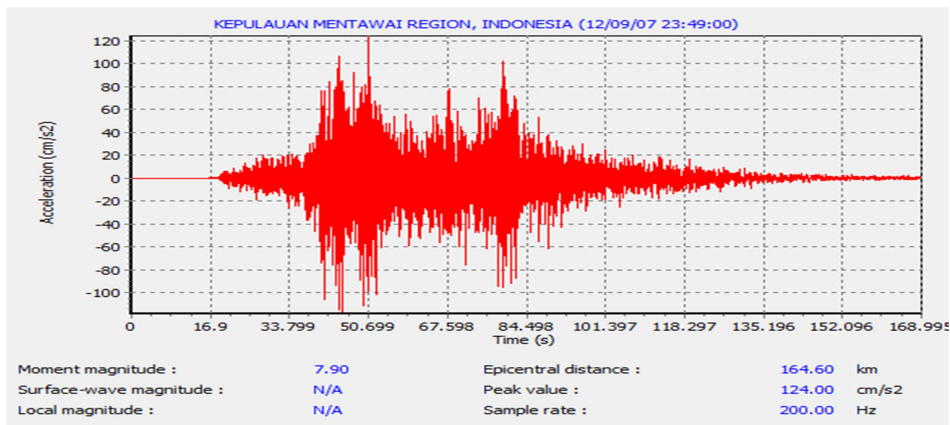
Amerika Birleşik Devletleri'nin New Mexico Eyaleti'nde 10.08.2005 tarihinde meydana gelen New Mexico Depremi'ne ait 3 adet istasyon kaydı verisi kullanılmıştır. Bu depreme ait veri setinde bulunan en büyük ivme kaydı 42 cm/sn^2 olup, bu kayda ait akselogram Şekil 5.7'de gösterilmiştir.



Şekil 5.7. New Mexico Depremi ivme-zaman grafiği [15].

5.2.5. Kepulauan Mentawai Adaları Depremi, Batı Sumatra, Endonezya

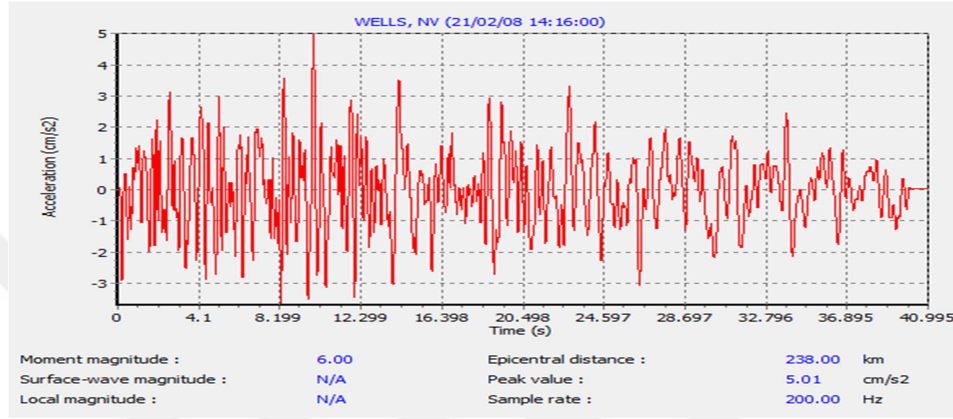
Endonezya Cumhuriyeti'nin Batı Sumatra Vilayeti, Kepulauan Mentawai Takım Adaları'nda 12.09.2007 tarihinde meydana gelen Kepulauan Mentawai Depremi'ne ait 3 adet istasyon kaydı verisi kullanılmıştır. Bu depreme ait veri setinde bulunan en büyük ivme kaydı 124 cm/sn^2 olup, bu kayda ait akselogram Şekil 5.8'de gösterilmiştir.



Şekil 5.8. Kepulauan Depremi ivme-zaman grafiği [15].

5.2.6. Wells Depremi, Nevada, A.B.D.

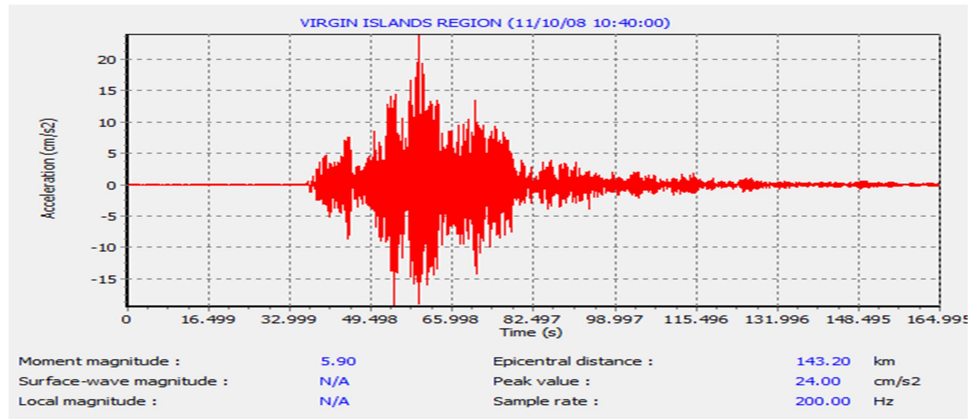
Amerika Birleşik Devletleri'nin Nevada Eyaleti'nde 21.02.2008 tarihinde meydana gelen Wells Depremi'ne ait 2 adet istasyon kaydı verisi kullanılmıştır. Bu depreme ait veri setinde bulunan en büyük ivme kaydı 5,01 cm/sn² olup, bu kayda ait akselogram Şekil 5.9'da gösterilmiştir.



Şekil 5.9. Wells Depremi ivme-zaman grafiği [15].

5.2.7. Virgin Adaları Depremi, Porto Rico, A.B.D.

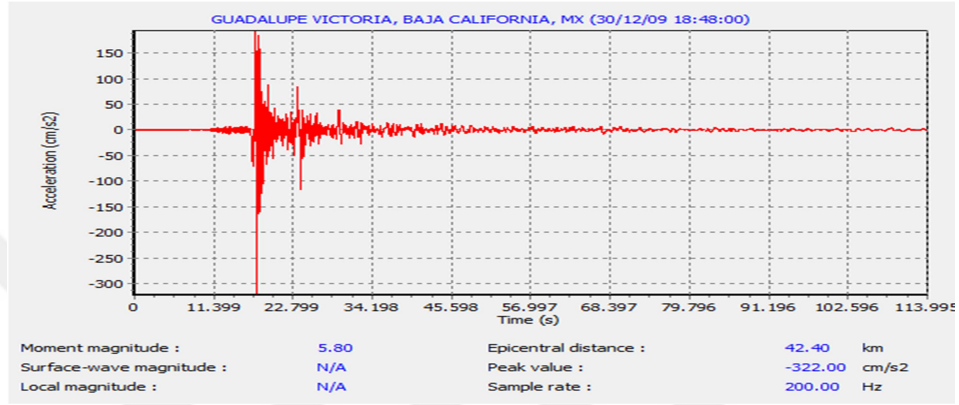
Amerika Birleşik Devletleri'nin Porto Rico Bölgesi'nde 11.10.2008 tarihinde meydana gelen Virgin Adaları Depremi'ne ait 6 adet istasyon kaydı verisi kullanılmıştır. Bu depreme ait veri setinde bulunan en büyük ivme kaydı 24 cm/sn² olup, bu kayda ait akselogram Şekil 5.10'da gösterilmiştir.



Şekil 5.10. Virgin Adaları Depremi ivme-zaman grafiği [15].

5.2.8. Guadalupe Victoria Depremi, Baja Kaliforniya, Meksika

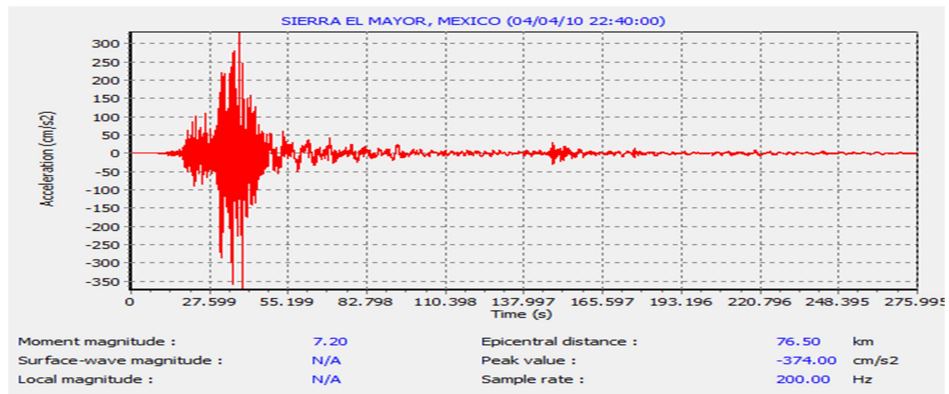
Birleşik Meksika Devletleri'nin Baja Kaliforniya Eyaleti'nde 30.12.2009 tarihinde meydana gelen Guadalupe Victoria Depremi'ne ait 8 adet istasyon kaydı verisi kullanılmıştır. Bu depreme ait veri setinde bulunan en büyük ivme kaydı 322 cm/sn^2 olup, bu kayda ait akselogram Şekil 5.11'de gösterilmiştir.



Şekil 5.11. Guadalupe Depremi ivme-zaman grafiği [15].

5.2.9. Sierra El Mayor Depremi, Baja Kaliforniya, Meksika

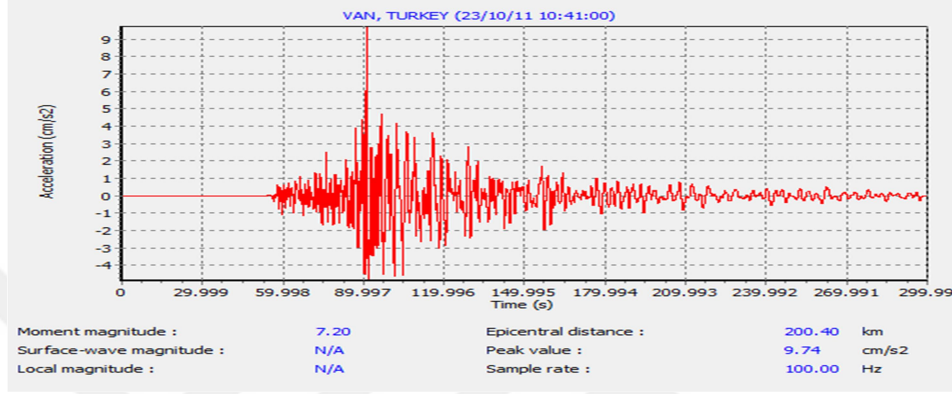
Birleşik Meksika Devletleri'nin Baja Kaliforniya Eyaleti'nde 04.04.2010 tarihinde meydana gelen Sierra El Mayor Depremi'ne ait 14 adet istasyon kaydı verisi kullanılmıştır. Bu depreme ait veri setinde bulunan en büyük ivme kaydı 374 cm/sn^2 olup, bu kayda ait akselogram Şekil 5.12'de gösterilmiştir.



Şekil 5.12. Sierra El Mayor Depremi ivme-zaman grafiği [15].

5.2.10. Van Depremi, Van, Türkiye

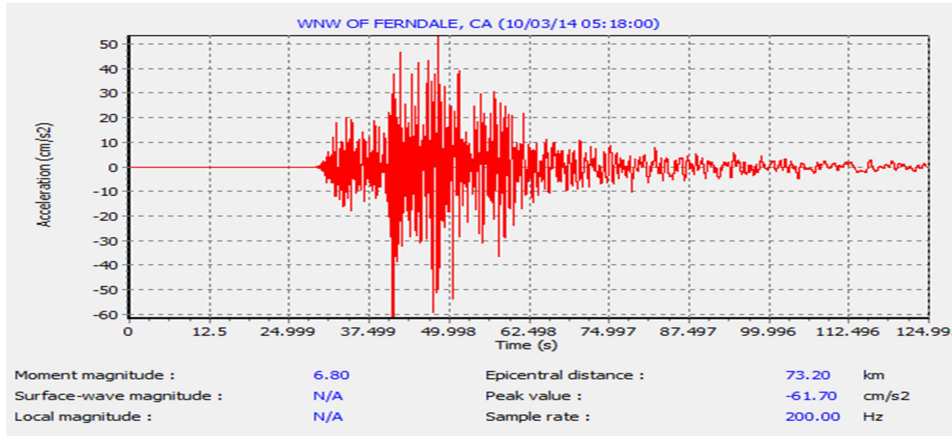
Türkiye Cumhuriyeti'nin Van İli'nde 23.10.2011 tarihinde meydana gelen Van Depremi'ne ait 3 adet istasyon kaydı verisi kullanılmıştır. Bu depreme ait veri setinde bulunan en büyük ivme kaydı 9,74 cm/sn² olup, bu kayda ait akselogram Şekil 5.13'de gösterilmiştir.



Şekil 5.13. Van Depremi ivme-zaman grafiği [15].

5.2.11. Ferndale Depremi, Kaliforniya, A.B.D.

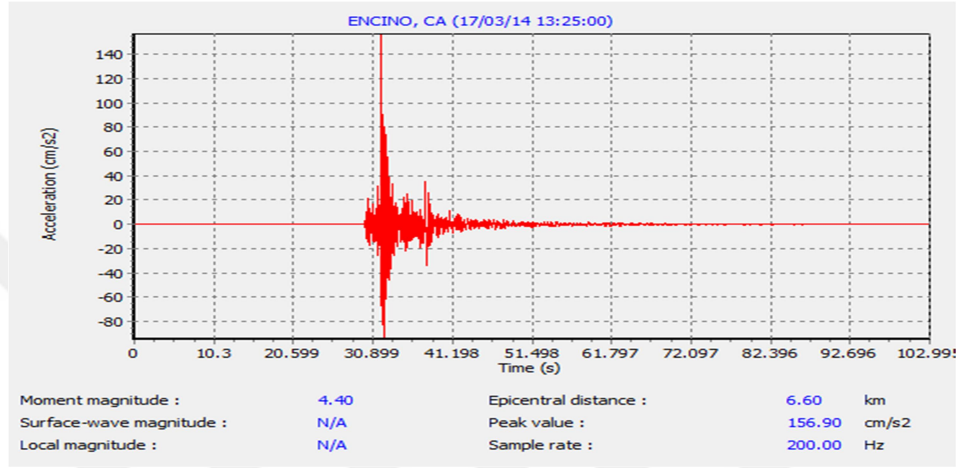
Amerika Birleşik Devletleri'nin Kaliforniya Eyaleti'nde 10.03.2014 tarihinde meydana gelen Ferndale Depremi'ne ait 18 adet istasyon kaydı verisi kullanılmıştır. Bu depreme ait veri setinde bulunan en büyük ivme kaydı 61,7 cm/sn² olup, bu kayda ait akselogram Şekil 5.14'de gösterilmiştir.



Şekil 5.14. Ferndale Depremi ivme-zaman grafiği [15].

5.2.12. Encino Depremi, Kaliforniya, A.B.D.

Amerika Birleşik Devletleri'nin Kaliforniya Eyaleti'nde 17.03.2014 tarihinde meydana gelen Encino Depremi'ne ait 12 adet istasyon kaydı verisi kullanılmıştır. Bu depreme ait veri setinde bulunan en büyük ivme kaydı 156,9 cm/sn² olup, bu kayda ait akselogram Şekil 5.15'de gösterilmiştir.



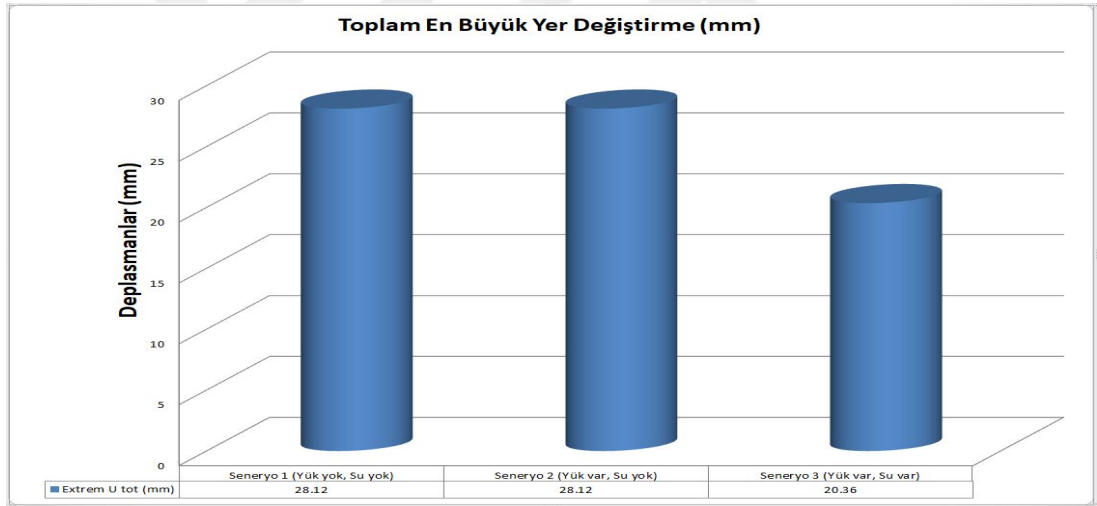
Şekil 5.15. Encino Depremi ivme-zaman grafiği [15].

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

6.1. STATİK ANALİZ SONUÇLARI

Model şevde mevcut statik yükler altında 3 senaryo için yapılan analizler sonucunda oluşacak en büyük yer değiştirmeler çizelge ve grafik olarak sunulmuştur. Buna göre statik yükler altında oluşacak en büyük deformasyon değerleri Senaryo 1 için 28,12 mm, Senaryo 2 için 28,12 mm ve Senaryo 3 için 20,26 mm olarak tespit edilmiştir (Şekil 6.1).



Şekil 6.1. Model şev üzerine etkiyen statik yükler altında oluşan yer değiştirmeler.

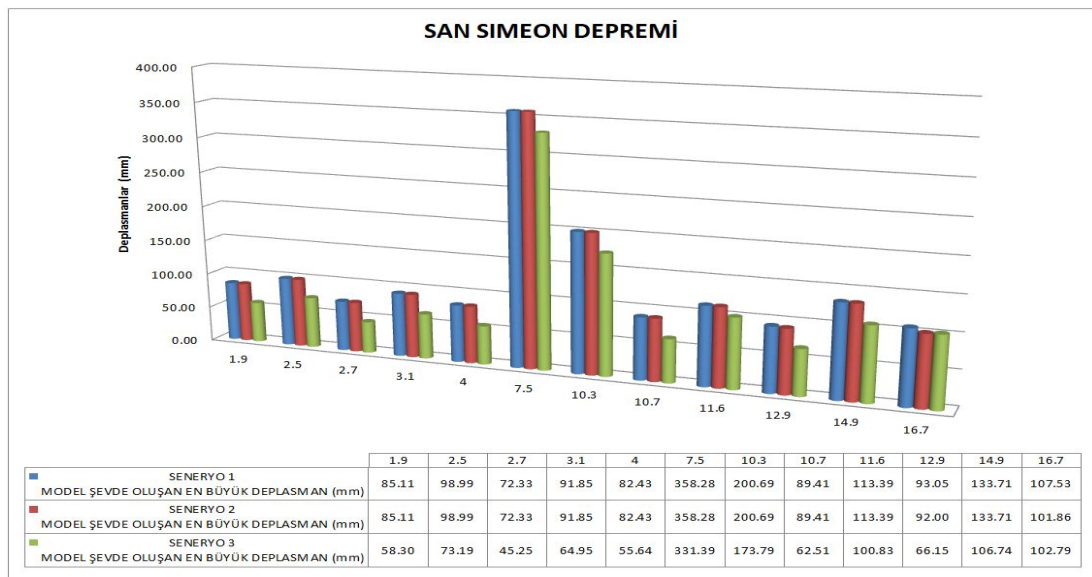
6.2. DİNAMİK ANALİZ SONUÇLARI

Şev stabilitesi geoteknik mühendislerinin çözümü gereken başlıca sorunlar arasında yer almaktadır. Şev problemlerinin doğru analizi, ancak şevin stabilitesini olumlu veya olumsuz yönde etkileyen etkenlerin doğru tespiti ile sağlanabilir. Zemin özelliklerini, zemin-yapı etkileşimini, zemine etkiyen kuvvetleri ve diğer tüm etkenlerin gerçeğe en yakın şekilde modellenerek analizi, geoteknik mühendislerini doğru çözüme ulaştırabilir.

Model şevin bu çalışma kapsamında seçilmiş bulunan 12 adet gerçekleşmiş depremlere ait toplam 100 adet ivme kaydı verileri ile analizi sonucu hesaplanan en büyük yer değiştirmeleri aşağıda, grafiklerle sunulmuştur. Veri seti geniş olduğundan çalışmanın daha iyi anlaşılabilmesi için her bir depreme ait tablolar ayrı ayrı olarak hazırlanmıştır (Şekil 6.2 - 6.13).

6.2.1. San Simeon Depremi, Kaliforniya, A.B.D.

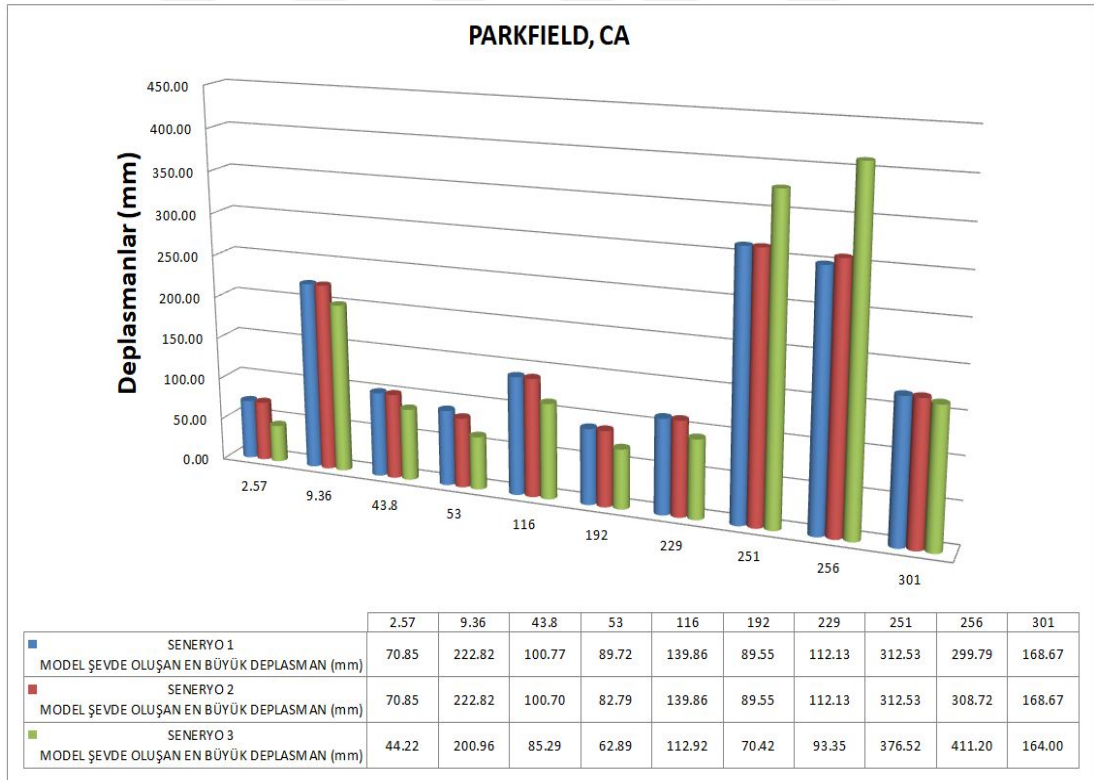
Amerika Birleşik Devletleri'nin Kaliforniya Eyaleti sınırları içinde, 22 Aralık 2003 tarihi, saat 19.15 sularında, yeryüzünden 7,6 km derinlikte meydana gelmiş olan ve magnitüd değeri 6,4 olarak ölçülen San Simeon Depremi'ne ait, pik ivme değerleri $1,9 \text{ cm/sn}^2 \sim 16,7 \text{ cm/sn}^2$ aralığında, episantra olan uzaklıkları 134,2 km ~ 314,4 km aralığında değişen 12 adet istasyona ait 41 sn ~ 300 sn zaman aralığında kaydedilen deprem verileri ile gerçekleştirilen analizler sonucunda her üç senaryo için hesaplanan en büyük yer değiştirmeler Şekil 6.2'de sunulmuştur. Bu verilerin karşılaştırılması yapıldığında, en küçük yer değiştirme $2,7 \text{ cm/sn}^2$ pik ivme ile kaydedilen episantra uzaklığı 168,8 km, ivme kayıt süresi 41 sn olan Anderson Barajı İstasyonu'nda 72,33 mm, en büyük yer değiştirme $7,5 \text{ cm/sn}^2$ pik ivme ile kaydedilen episantra uzaklığı 285,7 km, ivme kayıt süresi 61 sn olan CSUN Mühendislik Binası İstasyonu'nda 358,28 mm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.2. San Simeon Depremi ile yapılan analiz sonuçları.

6.2.2. Parkfield Depremi, Kaliforniya, A.B.D.

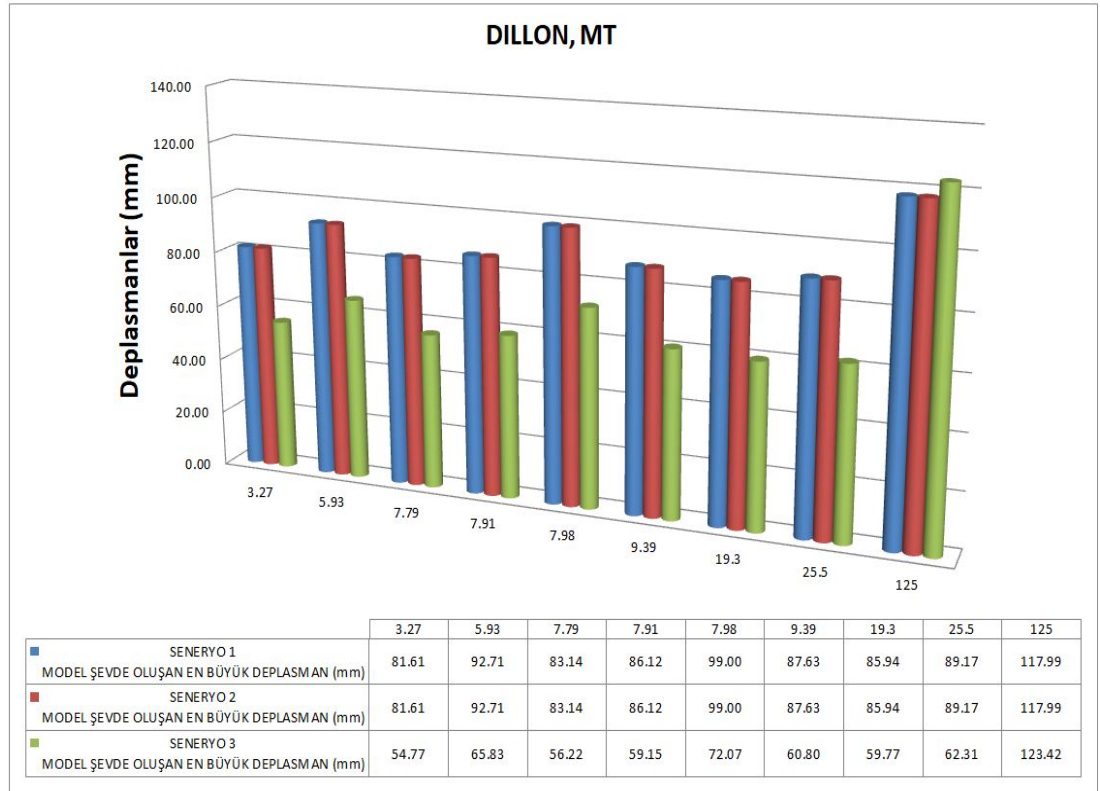
Amerika Birleşik Devletleri'nin Kaliforniya Eyaleti sınırları içinde, 28 Eylül 2004 tarihi, saat 17.15 sularında, yeryüzünden 7,9 km derinlikte meydana gelmiş olan ve magnitüd değeri 6,0 olarak ölçülen Parkfield Depremi'ne ait, pik ivme değerleri 2,57 cm/sn^2 ~ 301 cm/sn^2 aralığında, episantra olan uzaklıkları 3,2 km ~ 151 km aralığında değişen 10 adet istasyona ait 41 sn ~ 179 sn zaman aralığında kaydedilen deprem verileri ile gerçekleştirilen analizler sonucunda her üç senaryo için hesaplanan en büyük yer değiştirmeler Şekil 6.3'de sunulmuştur. Bu verilerin karşılaştırılması yapıldığında, en küçük yer değiştirme 2,57 cm/sn^2 pik ivme ile kaydedilen episantra uzaklığı 118,3 km, ivme kayıt süresi 41 sn olan NSMP Ofisi İstasyonu'nda 44,22 mm, en büyük yer değiştirme 256 cm/sn^2 pik ivme ile kaydedilen episantra uzaklığı 18,8 km, ivme kayıt süresi 93 sn olan Vineyard Kanyonu İstasyonu'nda 411,20 mm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.3. Parkfield Depremi ile yapılan analiz sonuçları.

6.2.3. Dillon Depremi, Montana, A.B.D.

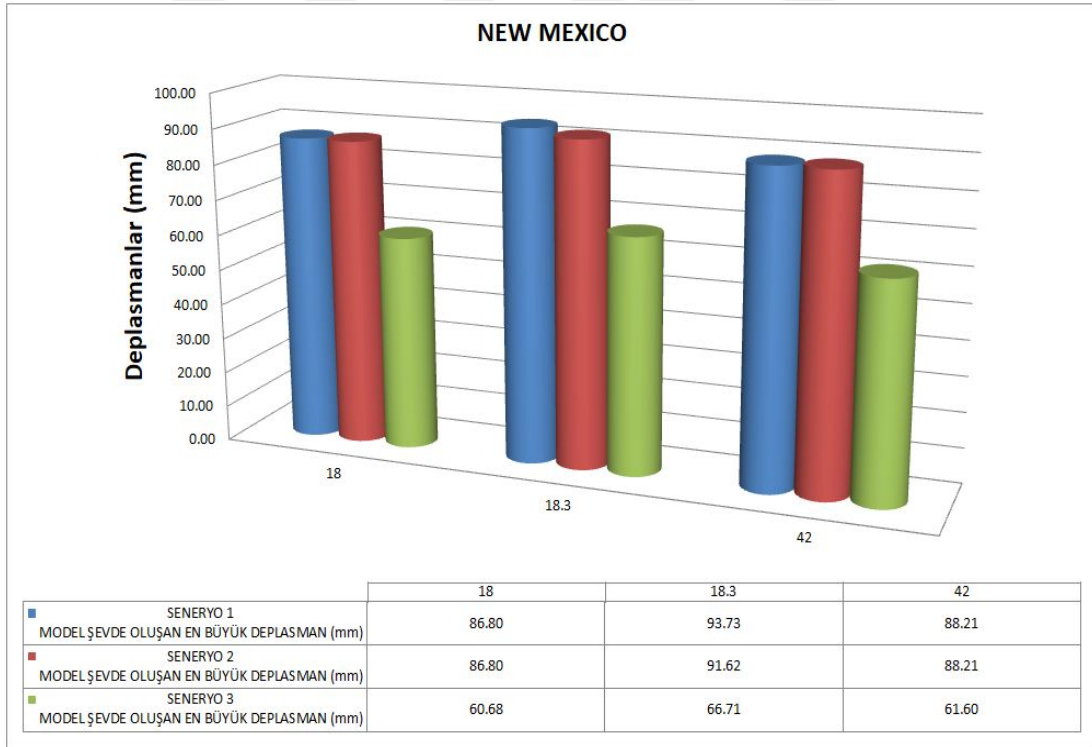
Amerika Birleşik Devletleri'nin Montana Eyaleti sınırları içinde, 26 Temmuz 2005 tarihi, saat 04.08 sularında, yeryüzünden 5 km derinlikte meydana gelmiş olan ve magnitüd değeri 5,6 olarak ölçülen Dillon Depremi'ne ait, pik ivme değerleri 3,27 $\text{cm/sn}^2 \sim 125 \text{ cm/sn}^2$ aralığında, episantra olan uzaklıkları 22,2 km $\sim 338,1$ km aralığında değişen 9 adet istasyona ait 41 sn ~ 77 sn zaman aralığında kaydedilen deprem verileri ile gerçekleştirilen analizler sonucunda her üç senaryo için hesaplanan en büyük yer değiştirmeler Şekil 6.4'de sunulmuştur. Bu verilerin karşılaştırılması yapıldığında, en küçük yer değiştirme 3,27 cm/sn^2 pik ivme ile kaydedilen episantra uzaklığı 338,1 km, ivme kayıt süresi 41 sn olan İlçe Adalet Merkezi İstasyonu'nda 54,77 mm, en büyük yer değiştirme 125 cm/sn^2 pik ivme ile kaydedilen episantra uzaklığı 22,2 km, ivme kayıt süresi 77 sn olan Montana-Batı Üniversitesi İstasyonu'nda 123,42 mm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.4. Dillon Depremi ile yapılan analiz sonuçları.

6.2.4. New Mexico Depremi, A.B.D.

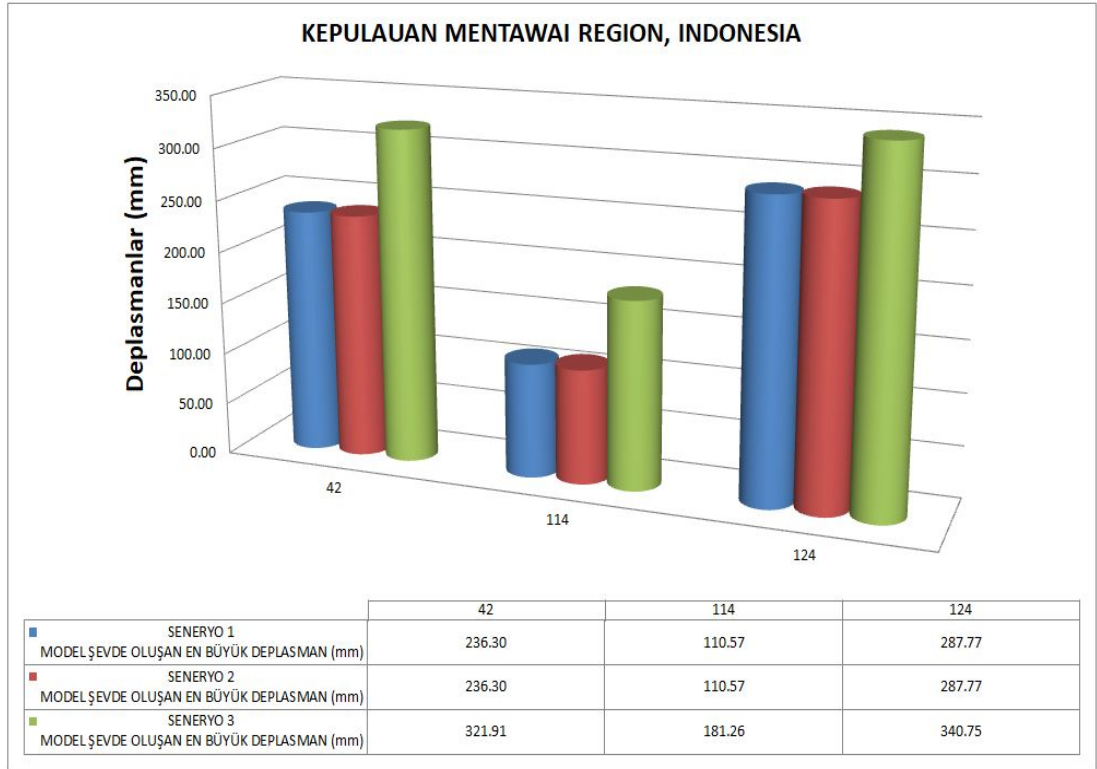
Amerika Birleşik Devletleri'nin New Mexico Eyaleti sınırları içinde, 10 Ağustos 2005 tarihi, saat 22.08 sularında, yeryüzünden 5 km derinlikte meydana gelmiş olan ve magnitüd değeri 5 olarak ölçülen New Mexico Depremi'ne ait, pik ivme değerleri $18 \text{ cm/sn}^2 \sim 42 \text{ cm/sn}^2$ aralığında, episantra olan uzaklıkları $33 \text{ km} \sim 33,4 \text{ km}$ aralığında değişen 3 adet istasyona ait $47 \text{ sn} \sim 60 \text{ sn}$ zaman aralığında kaydedilen deprem verileri ile gerçekleştirilen analizler sonucunda her üç senaryo için hesaplanan en büyük yer değiştirmeler Şekil 6.5'de sunulmuştur. Bu verilerin karşılaştırılması yapıldığında, en küçük yer değiştirme 18 cm/sn^2 pik ivme ile kaydedilen episantra uzaklığı $33,4 \text{ km}$, ivme kayıt süresi 47 sn olan Trinidad Barajı Aşağı Akış İstasyonu'nda $60,68 \text{ mm}$, en büyük yer değiştirme $18,3 \text{ cm/sn}^2$ pik ivme ile kaydedilen episantra uzaklığı 33 km , ivme kayıt süresi 47 sn olan Trinidad Barajı Üst Kule İstasyonu'nda $93,73 \text{ mm}$ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.5. New Mexico Depremi ile yapılan analiz sonuçları.

6.2.5. Kepulauan Mentawai Adaları Depremi, Batı Sumatra, Endonezya

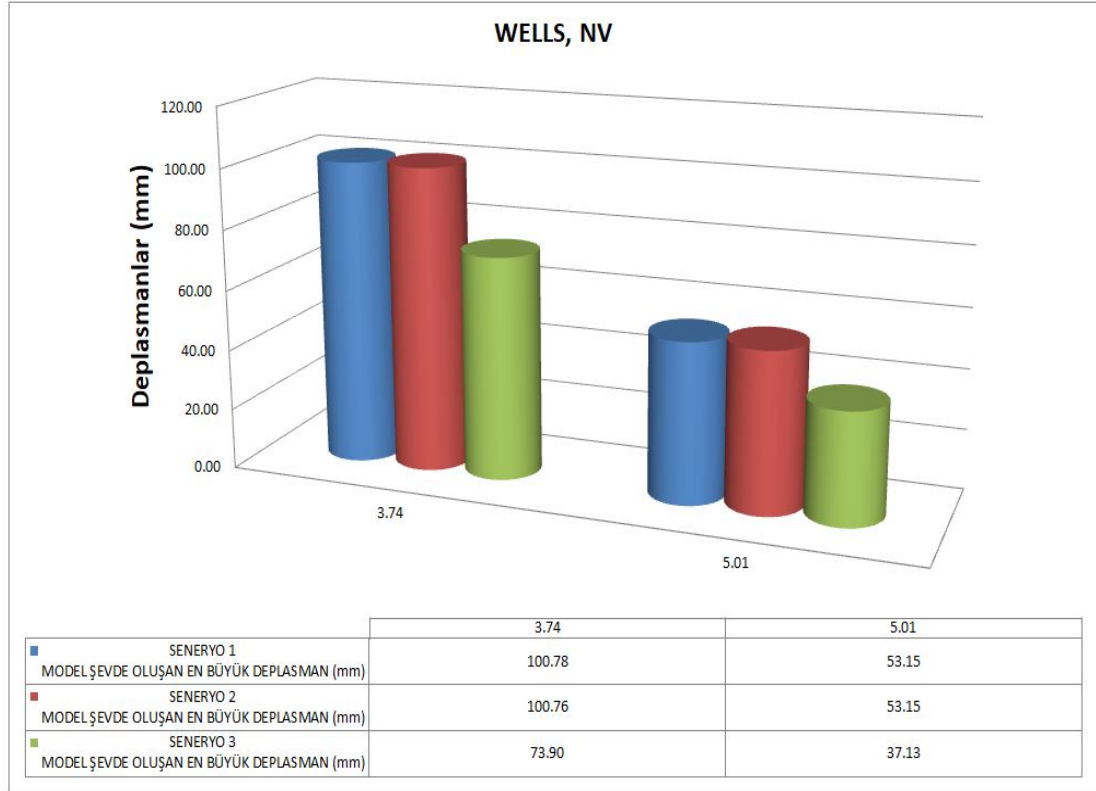
Endonezya Cumhuriyeti'nin Batı Sumatra Vilayeti, Kepulauan Mentawai Takım Adaları'nda 12 Eylül 2007 tarihi, saat 23.49 sularında, yeryüzünden 30 km derinlikte meydana gelmiş olan ve magnitüd değeri 7,9 olarak ölçülen Kepulauan Mentawai Adaları Depremi'ne ait, pik ivme değerleri $42 \text{ cm/sn}^2 \sim 124 \text{ cm/sn}^2$ aralığında, episantra olan uzaklıkları 164,6 mesafede bulunan 3 adet istasyona ait 170 sn zaman aralığında kaydedilen deprem verileri ile gerçekleştirilen analizler sonucunda her üç senaryo için hesaplanan en büyük yer değiştirmeler Şekil 6.6'da sunulmuştur. Bu verilerin karşılaştırılması yapıldığında, en küçük yer değiştirme 114 cm/sn^2 pik ivme ile kaydedilen episantra uzaklığı 164,6 km, ivme kayıt süresi 170 sn olan Sikuai Adası İstasyonu'nda $110,57 \text{ mm}$, en büyük yer değiştirme 124 cm/sn^2 pik ivme ile kaydedilen episantra uzaklığı 164,6 km, ivme kayıt süresi 170 sn olan Sikuai Adası İstasyonu'nda $340,75 \text{ mm}$ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.6. Kepulauan Depremi ile yapılan analiz sonuçları.

6.2.6. Wells Depremi, Nevada, A.B.D.

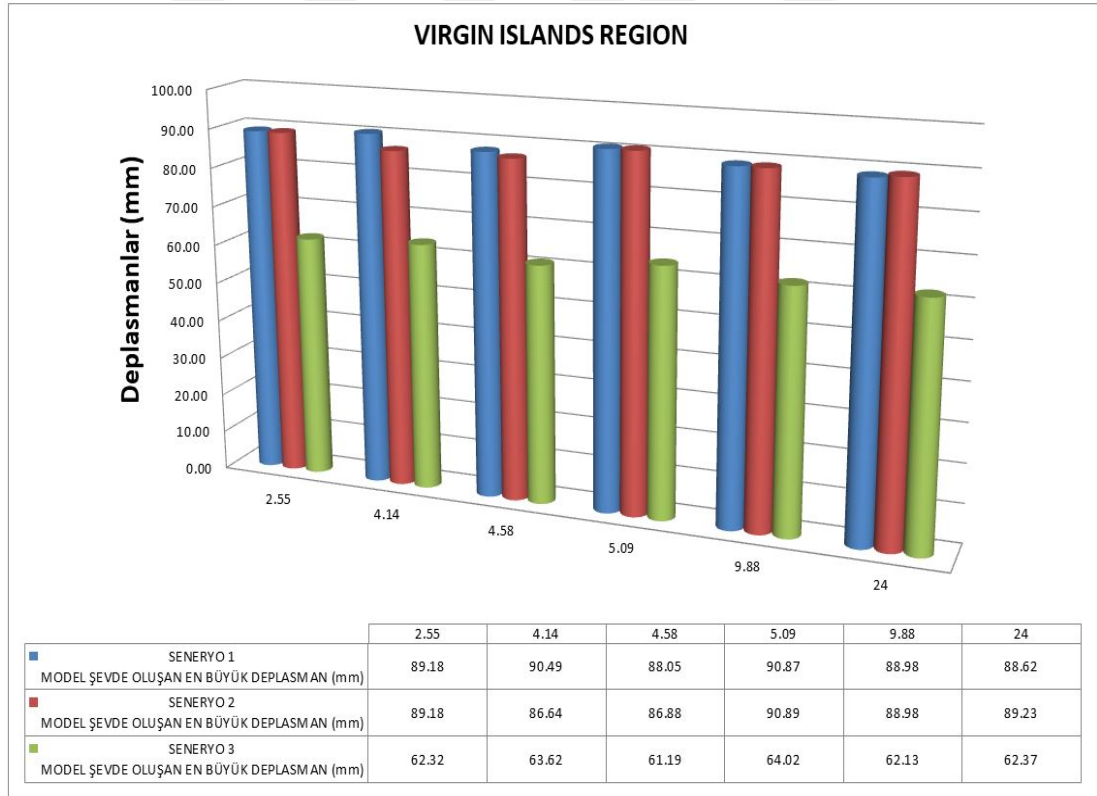
Amerika Birleşik Devletleri'nin Nevada Eyaleti sınırları içinde, 21 Şubat 2008 tarihi, saat 14.16 sularında, yeryüzünden 9 km derinlikte meydana gelmiş olan ve magnitüd değeri 6 olarak ölçülen Wells Depremi'ne ait, pik ivme değerleri $3,74 \text{ cm/sn}^2 \sim 5,01 \text{ cm/sn}^2$ aralığında, episantra olan uzaklıkları $238 \text{ km} \sim 275,6 \text{ km}$ aralığında değişen 2 adet istasyona ait 41 sn zaman aralığında kaydedilen deprem verileri ile gerçekleştirilen analizler sonucunda her üç senaryo için hesaplanan en büyük yer değiştirmeler Şekil 6.7'de sunulmuştur. Bu verilerin karşılaştırılması yapıldığında, en küçük yer değiştirme $5,01 \text{ cm/sn}^2$ pik ivme ile kaydedilen episantra uzaklığı 238 km , ivme kayıt süresi 41 sn olan Uluslararası Hava Alanı İstasyonu'nda $53,15 \text{ mm}$, en büyük yer değiştirme $3,74 \text{ cm/sn}^2$ pik ivme ile kaydedilen episantra uzaklığı $275,6 \text{ km}$, ivme kayıt süresi 41 sn olan BLM Saha Ofisi İstasyonu'nda $100,78 \text{ mm}$ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.7. Wells Depremi ile yapılan analiz sonuçları.

6.2.7. Virgin Adaları Depremi, Porto Rico, A.B.D.

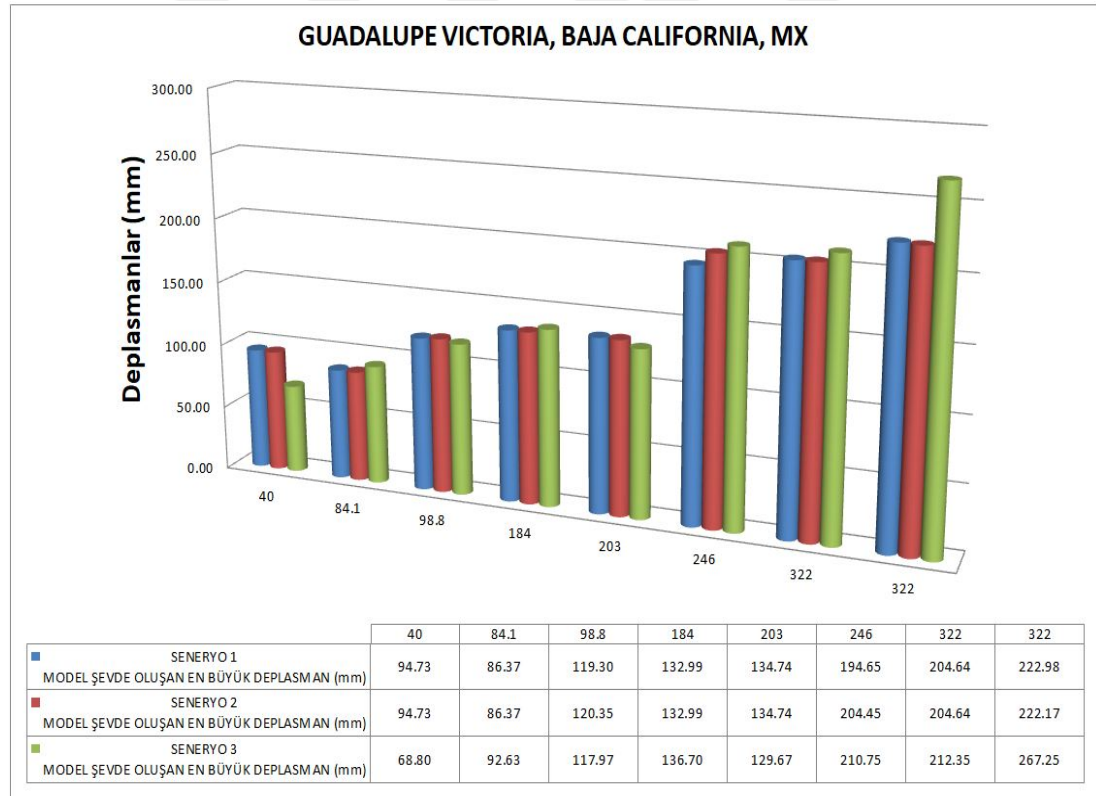
Amerika Birleşik Devletleri'nin Porto Rico Bölgesi'nde 11 Ekim 2008 tarihi, saat 10.40 sularında, yeryüzünden 23 km derinlikte meydana gelmiş olan ve magnitüd değeri 5,9 olarak ölçülen Virgin Adaları Depremi'ne ait, pik ivme değerleri 2,55 cm/sn^2 ~ 24 cm/sn^2 aralığında, episantra olan uzaklıkları 143,2 km ~ 229,4 km aralığında değişen 6 adet istasyona ait 41 sn ~ 165 sn zaman aralığında kaydedilen deprem verileri ile gerçekleştirilen analizler sonucunda her üç senaryo için hesaplanan en büyük yer değiştirmeler Şekil 6.8'de sunulmuştur. Bu verilerin karşılaştırılması yapıldığında, en küçük yer değiştirme 4,58 cm/sn^2 pik ivme ile kaydedilen episantra uzaklığı 152,3 km, ivme kayıt süresi 89 sn olan Naguabo PR-FS İstasyonu'nda 61,19 mm, en büyük yer değiştirme 5,09 cm/sn^2 pik ivme ile kaydedilen episantra uzaklığı 229,4 km, ivme kayıt süresi 41 sn olan UPR Utaudo Bölgesi İstasyonu'nda 90,89 mm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.8. Virgin Adaları Depremi ile yapılan analiz sonuçları.

6.2.8. Guadalupe Victoria Depremi, Baja Kaliforniya, Meksika

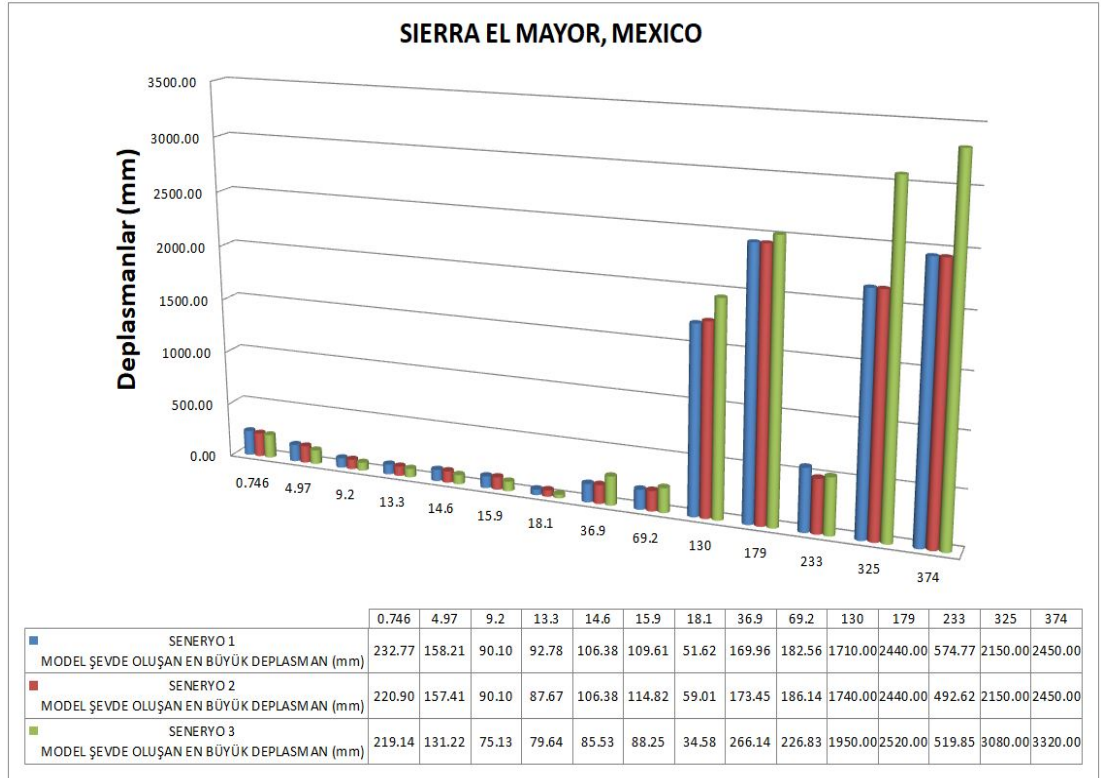
Birleşik Meksika Devletleri'nin Baja Kaliforniya Eyaleti'nde 30 Aralık 2009 tarihi, saat 10.48 sularında, yeryüzünden 6 km derinlikte meydana gelmiş olan ve magnitüd değeri 5,8 olarak ölçülen Guadalupe Victoria Depremi'ne ait, pik ivme değerleri 40 cm/sn² ~ 322 cm/sn² aralığında, episantra olan uzaklıkları 36,50 km ~ 65,9 km aralığında değişen 8 adet istasyona ait 90 sn ~ 163 sn zaman aralığında kaydedilen deprem verileri ile gerçekleştirilen analizler sonucunda her üç senaryo için hesaplanan en büyük yer değiştirmeler Şekil 6.9'da sunulmuştur. Bu verilerin karşılaştırılması yapıldığında, en küçük yer değiştirme 40 cm/sn² pik ivme ile kaydedilen episantra uzaklığı 65,9 km, ivme kayıt süresi 140 sn olan Brawley Havaalanı Hangar İstasyonu'nda 68,8 mm, en büyük yer değiştirme 322 cm/sn² pik ivme ile kaydedilen episantra uzaklığı 42,4 km, ivme kayıt süresi 114 sn olan Holtville Postanesi İstasyonu'nda 267,25 mm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.9. Guadalupe Depremi ile yapılan analiz sonuçları.

6.2.9. Sierra El Mayor Depremi, Baja Kaliforniya, Meksika

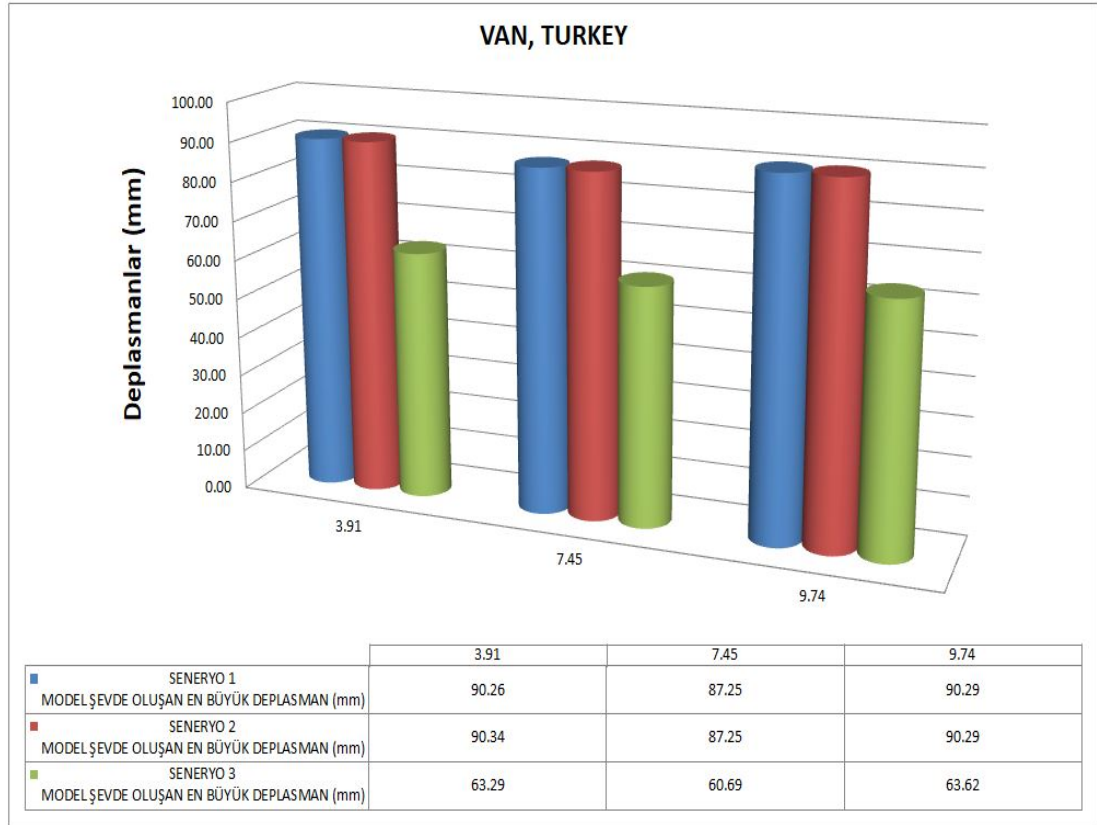
Birleşik Meksika Devletleri'nin Baja Kaliforniya Eyaleti'nde 04 Nisan 2010 tarihi, saat 15.40 sularında, yeryüzünden 4 km derinlikte meydana gelmiş olan ve magnitüd değeri 7,2 olarak ölçülen Sierra El Mayor Depremi'ne ait, pik ivme değerleri $0,746 \text{ cm/sn}^2 \sim 374 \text{ cm/sn}^2$ aralığında, episantra olan uzaklıkları $62,6 \text{ km} \sim 607,6 \text{ km}$ aralığında değişen 14 adet istasyona ait $45 \text{ sn} \sim 276 \text{ sn}$ zaman aralığında kaydedilen deprem verileri ile gerçekleştirilen analizler sonucunda her üç senaryo için hesaplanan en büyük yer değiştirmeler Şekil 6.10'da sunulmuştur. Bu verilerin karşılaştırılması yapıldığında, en küçük yer değiştirme $18,1 \text{ cm/sn}^2$ pik ivme ile kaydedilen episantra uzaklığı $241,90 \text{ km}$, ivme kayıt süresi 77 sn olan Cabazon Postanesi İstasyonu'nda $34,58 \text{ mm}$, en büyük yer değiştirme 374 cm/sn^2 pik ivme ile kaydedilen episantra uzaklığı $76,5 \text{ km}$, ivme kayıt süresi 276 sn olan El Centro Bölge Hastanesi İstasyonu'nda 3320 mm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.10. Sierra El Mayor Depremi ile yapılan analiz sonuçları.

6.2.10. Van Depremi, Van, Türkiye

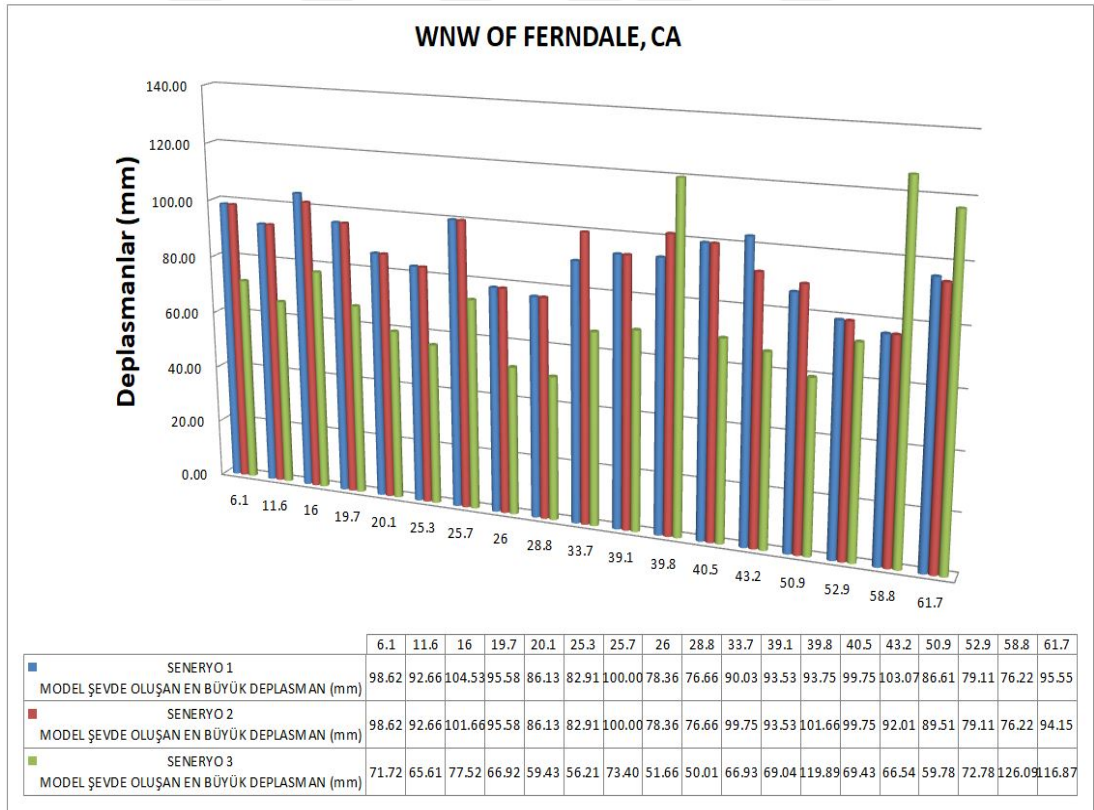
Türkiye Cumhuriyeti'nin Van İli'nde 23 Ekim 2011 tarihi, saat 10.41 sularında, yeryüzünden 16 km derinlikte meydana gelmiş olan ve magnitüd değeri 7,2 olarak ölçülen Van Depremi'ne ait, pik ivme değerleri $3,91 \text{ cm/sn}^2 \sim 9,74 \text{ cm/sn}^2$ aralığında, episantra olan uzaklıkları 200,4 km mesafede bulunan 3 adet istasyona ait 158 sn ~ 300 sn zaman aralığında kaydedilen deprem verileri ile gerçekleştirilen analizler sonucunda her üç senaryo için hesaplanan en büyük yer değiştirmeler Şekil 6.11'de sunulmuştur. Bu verilerin karşılaştırılması yapıldığında, en küçük yer değiştirme $7,45 \text{ cm/sn}^2$ pik ivme ile kaydedilen episantra uzaklığı 200,4 km, ivme kayıt süresi 300 sn olan Garni1 İstasyonu'nda 60,69 mm, en büyük yer değiştirme $3,91 \text{ cm/sn}^2$ pik ivme ile kaydedilen episantra uzaklığı 200,4 km, ivme kayıt süresi 300 sn olan Garni2 İstasyonu'nda 90,34 mm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.11. Van Depremi ile yapılan analiz sonuçları.

6.2.11. Ferndale Depremi, Kaliforniya, A.B.D.

Amerika Birleşik Devletleri'nin Kaliforniya Eyaleti'nde 10 Mart 2014 tarihi, saat 22.18 sularında, yeryüzünden 16,6 km derinlikte meydana gelmiş olan ve magnitüd değeri 6,8 olarak ölçülen Ferndale Depremi'ne ait, pik ivme değerleri $6,1 \text{ cm/sn}^2 \sim 61,7 \text{ cm/sn}^2$ aralığında, episantra olan uzaklıkları $65,5 \text{ km} \sim 83 \text{ km}$ aralığında değişen 18 adet istasyona ait $87 \text{ sn} \sim 125 \text{ sn}$ zaman aralığında kaydedilen deprem verileri ile gerçekleştirilen analizler sonucunda her üç senaryo için hesaplanan en büyük yer değiştirmeler Şekil 6.12'de sunulmuştur. Bu verilerin karşılaştırılması yapıldığında, en küçük yer değiştirme $28,8 \text{ cm/sn}^2$ pik ivme ile kaydedilen episantra uzaklığı $77,7 \text{ km}$, ivme kayıt süresi 92 sn olan Güney Körfezi Okulu İstasyonu'nda $50,01 \text{ mm}$, en büyük yer değiştirme $58,8 \text{ cm/sn}^2$ pik ivme ile kaydedilen episantra uzaklığı $73,2 \text{ km}$, ivme kayıt süresi 125 sn olan Ferndale İtfaiyesi İstasyonu'nda $126,09 \text{ mm}$ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.12. Ferndale Depremi ile yapılan analiz sonuçları.

6.2.12. Encino Depremi, Kaliforniya, A.B.D.

Amerika Birleşik Devletleri'nin Kaliforniya Eyaleti'nde 17 Mart 2014 tarihi, saat 06.25 sularında, yeryüzünden 9,9 km derinlikte meydana gelmiş olan ve magnitüd değeri 4,4 olarak ölçülen Encino Depremi'ne ait, pik ivme değerleri $7,3 \text{ cm/sn}^2 \sim 156,9 \text{ cm/sn}^2$ aralığında, episantra olan uzaklıkları $0,6 \text{ km} \sim 95,9 \text{ km}$ aralığında değişen 12 adet istasyona ait 45 sn ~ 106 sn zaman aralığında kaydedilen deprem verileri ile gerçekleştirilen analizler sonucunda her üç senaryo için hesaplanan en büyük yer değiştirmeler Şekil 6.13'de sunulmuştur. Bu verilerin karşılaştırılması yapıldığında, en küçük yer değiştirme $156,9 \text{ cm/sn}^2$ pik ivme ile kaydedilen episantra uzaklığı 6,6 km, ivme kayıt süresi 103 sn olan Van Nuys İstasyonu'nda 34,02 mm, en büyük yer değiştirme $156,9 \text{ cm/sn}^2$ pik ivme ile kaydedilen episantra uzaklığı 6,6 km, ivme kayıt süresi 103 sn olan Van Nuys İstasyonu'nda 99,74 mm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.13. Encino Depremi ile yapılan analiz sonuçları.

6.3. ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Analizler sonucu elde edilen verilerin işlenmesi ile oluşturulan grafiklerin detaylı incelenmesi sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

1. Şevlerin stabilitesinin değerlendirilmesi çalışmalarında kabul edilebilir en büyük deplasman değerlerinin 100 mm ~ 150 mm civarında bulunduğu kabul edildiğinde, model şevin her üç senaryo için, statik yükler altında stabil olduğu, ancak dinamik yükler etkisi altında stabilitesini koruyamadığı görülmüştür.
2. Model şevde oluşan deplasman değerlerinin pik ivme değeri ile doğru orantılı olmadığı tespit edilmiştir.
3. Literatürde yer alan a_c/a_{maks} denklemini içeren formüllerin her zaman doğru sonuçları vermeyebileceği görülmüştür.
4. Şevlerin stabilitesini etkileyen sismik yüklerin salt a_{maks} değeri ile ilişkilendirilemeyeceği, a_{maks} değerinin bu sismik yüklerin bir parametresi olduğunu, ancak diğer parametrelerin de stabilitenin yitirilmesinde etken rol oynadığı anlaşılmıştır.

BÖLÜM 7

SONUÇLAR

Bu çalışmada, yapılan değerlendirmeler sonucunda şevlerin stabilitesinin analizinde farklı ivme kayıtlarının kullanılması gerektiği görülmüştür. Şevlerin stabilite analizinde, Newmark tarafından 1965 yılında önerilen yöntemin temel dayanak noktaları olan;

1. Kritik yenilme ivmesi a_c : Kritik ivme a_c ne kadar büyük ise, herhangi bir depremde şev duraylılığı da o kadar yüksektir.
2. Depremın pik ivmesi a_{maks} : Depremın pik ivmesi, yatay yer ivmesinin en büyük değerini gösterir. Gerçekte bu ivme değeri, en büyük ivme palsının genliğidir. Pik ivmesi ve yenilme ivmesi arasındaki fark ne kadar büyükse, şev aşağı hareket de o kadar büyük olur.
3. Sürenin uzunluğu: Deprem ivmesinin, yenilme ivmesini aşma süresi ne kadar uzun ise, şev aşağı hareket de o kadar büyüktür. 2. ve 3. maddelerin birleşik etkilerini göz önüne alarak, kritik ivme değerinin aşıldığı a_{maks}/a_c değeri kadar büyükse ve aşılma süresi ne kadar uzunsa, şev aşağı hareketin de o kadar büyük olacağı sonucuna varılır.
4. İvme palslarının sayısı: Yenilme ivmesini aşan $(a_{maks}/a_c) > 1$ olan ivme palslarının sayısı ne kadar çok ise, şev üzerinde meydana gelen şev aşağı hareket de o kadar büyüktür [10].

yargıları bu çalışmanın sonuçlarını doğrular nitelikte olup şevlerin sismik analizinde bu çıkarımların dikkate alınmasının gerekli olduğu değerlendirilmiştir.

KAYNAKLAR

1. İnternet: Afet Ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı, "Deprem Nedir", <https://www.afad.gov.tr/deprem-nedir> (2019).
2. Akçakal, Ö., "Şev stabilitesi analizinde geri hesap yöntemi ve bir vaka analizi", Yüksek lisans tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Den Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 3-5 (2009).
3. Özmen, B., Nurlu, M., Kuterdem, K. ve Temiz, A., "Afet yönetimi ve Afet İşleri Genel Müdürlüğü", *Deprem Sempozyumu*, Kocaeli, 1472-1474 (2005).
4. Öztürk, K., "Heyelanlar ve Türkiye'ye etkileri", *G.Ü. Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 22 (2): 35-50 (2002).
5. Varnes, D., "Slope movement types and processes", *TRB Special Report*, 176: 11-33 (1978).
6. Ulusay, R., "Heyelanlar ve mühendislik şevlerindeki duraysızlıklar: Türleri, etkileri ve zararların azaltılması", *Sel-Heyelan-Çığ Sempozyumu*, Samsun 157-185 (2007).
7. Kramer, S. L., "Geoteknik Deprem Mühendisliği", Kamil Kayabalı, *Gazi Kitabevi*, Ankara, 466, 470, 474-485 (2003).
8. Gitirana Jr., G. D. F. N., "Weather-related geo-hazard assessment model for railway embankment stability", M. Sc. Thesis, *University of Saskatchewan*, Saskatchewan Canada, 46 (2005).
9. Yıldırım, S., "Zemin İncelemesi ve Temel Tasarım", *Birsen Yayınevi*, İzmir, 353-392 (2004).
10. Day, R. W., "Geoteknik Deprem Mühendisliği El Kitabı", Murat Mollamahmutoğlu, Kamil Kayabalı, *Gazi Kitabevi*, Ankara, 272-279 (2002).
11. Ziony, J. I., "Evaluating Earthquake Hazards in the Los Angeles Region - An Earth-Science Perspective", *U.S. Geological Survey Professional Paper 1360*, Washington, 335-338 (1985).
12. ÖZMEN, M. T., "Deprem ve Antalya'nın Depremselliği", *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Antalya Şubesi*, Antalya, 10 (2007).
13. İnternet: Afet Ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı, "Deprem'in Büyüklüğü Ve Şiddeti Aynı Kavramlar Mıdır?", <https://www.afad.gov.tr/depremin->

buyuklugu-ve-siddeti-ayni-kavramlar-midir (2019).

14. Kanamori, H. and, "Magnitude scale and quantification of earthquakes", *Tectonophysics*, 93 (3-4): 185–199 (1983).
15. İnternet: The Center for Engineering Strong Motion Data, "**İnternet Data Reports for Earthquakes**", <https://www.strongmotioncenter.org/> (2021).



ÖZGEÇMİŞ

Fatih KARATAŞ; ilk, orta ve lise öğrenimini Karabük'te tamamladı. 75. Yıl Karabük Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2001 yılında Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde yükseköğrenime başlayıp 2005 yılında iyi derece ile mezun oldu. 2008 yılında Anadolu Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme Lisans Bölümü'nde öğrenime başlayıp 2013 yılında iyi derece ile ikinci yükseköğretim ana dalından mezun oldu. 2006 yılında Karabük İli'nde serbest inşaat mühendisi olarak göreve başladı. 2006 ~ 2021 yıllarında serbest inşaat mühendisi olarak birçok projede çeşitli unvanlarla çalıştı. 2017 yılında Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda başlamış olduğu yüksek lisans programına ve serbest inşaat mühendisi olarak çalışma hayatına devam etmektedir.