

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

128716

DEPREM RİSKİ ANALİZİ İLE KUZEY ANADOLU FAY
HATTINDA (KARADENİZ BÖLGESİ) İSTİNAT
DUVARLARI TASARIMI

İnş. Müh. Ferit GÖKSU

FBE İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Geoteknik Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Nejat Nuri ÇETİNKAYA

Prof. Dr. Serkan TUNALI

Prof. Dr. Ayhan İSİK



128716

İSTANBUL, 2002

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	iv
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ÖNSÖZ.....	x
ÖZET.....	xi
ABSTRACT.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. DEPREM HAREKETİ.....	2
2.1 Giriş.....	2
2.2 Deprem Tarihçesi.....	2
2.3 Depremlerin Oluşumu, Özellikleri ve Türleri.....	5
2.3.1 Faylar.....	5
2.3.2 Deprem Türleri.....	8
2.4 Deprem Parametreleri.....	9
2.4.1 Deprem Oluş Zamanı.....	9
2.4.2 Odak Noktası (Hıposantr) ve Odak Derinliği.....	10
2.4.3 Merkezüstü (Episantr).....	11
2.4.4 Deprem Dalgaları.....	11
2.4.5 Eşşiddet (İzoseit) Eğrileri.....	12
2.4.6 Deprem Şiddeti.....	12
2.4.7 Deprem Büyüklüğü.....	16
2.5 Zemin Durumunun Deprem Hareketine Etkisi.....	17
2.5.1 Maksimum İvme.....	18
2.5.2 Maksimum Hız.....	19
2.5.3 Spektrum.....	19
2.5.4 Zemin Sıvılaşma Potansiyeli.....	22
3. TÜRKİYE ve KARADENİZ BÖLGESİNİN JEOLJİK ÖZELLİKLERİ İLE DEPREMSELLİĞİ.....	23
3.1 Giriş.....	23
3.2 Karadeniz Bölgesi'nin Depremselliği ve Kuzey Anadolu Fay Kuşağının Türkiye'nin Depremselliğine Etkisi.....	27
3.3 Doğu Anadolu Fay Kuşağının Türkiye'nin Depremselliğine Etkisi.....	31
4. İSTİNAT DUVARLARI.....	32
4.1 Giriş.....	32
4.2 Rijit Beton Kütle Duvarlar.....	33
4.2.1 Sadece Betondan Yapılmış Beton Kütle Duvarlar.....	33
4.2.2 Yarı Kütle Duvarlar.....	33

4.2.3	Betonarme Konsol Duvarlar.....	35
4.2.4	Payandalı Duvarlar	35
4.3	Bükülebilir Kütle Duvarlar.....	35
4.3.1	Kaya Dolgulu Butresler	35
4.3.2	Tel Sandık Tipi Duvarlar	35
4.3.3	Kafes Tipi Duvarlar	36
4.3.4	Donatılı Zemin Duvarları	36
4.4	İstinat Duvarlarına Etkiyen Kuvvetler	38
4.4.1	Sismik Toprak Basınçları	39
4.4.1.1	Aktif Toprak Basıncı.....	40
4.4.1.2	Pasif Toprak Basıncı	41
4.4.1.3	Coulomb Toprak Basıncı Teorisi	42
4.4.1.4	Rankine Zemin Basıncı	46
4.4.1.5	Doygun Olmayan Kohezyonsuz Zeminlerde Aktif Sismik Basınçlar	51
5.	PROBABİLİSTİK METOTLAR ve BU METOTLARIN KARADENİZ BÖLGESİ SİSMOTEKTONİK YÖRESİNE UYGULANMASI	57
5.1	Giriş.....	57
5.2	Probabilistik Metotlar - Yıllık Ekstrem Değerler Metodu	57
5.3	Yıllık Ekstrem Değerler Metodunun Karadeniz Bölgesi Sismotektonik Yöresine Uygulanışı	59
5.3.1	Maksimum İvme Önerileri	68
6.	İSTİNAT DUVARLARINDA DEPREM HALİNDE OLUŞACAK TOPRAK BASINÇLARI GRAFİKLERİ	72
6.1	Giriş.....	72
6.2	Mononabe-Okabe Metoduna Göre Elde Edilen Grafikler	72
7.	SONUÇLAR.....	109
7.1	Giriş.....	109
7.2	Gumbel Yıllık Ekstrem Değerler Metoduna Göre Yapılan İhtimal Hesapları Sonuçları.....	109
7.3	İstinat Duvarlarında Deprem Halinde Etkiyecek Yanal Toprak Basınçları Grafiklerinin Yorumlanması	111
7.3.1	Toplam Deprem Yüğü ile Yükseklik ve İçsel Sürtünme Açısı Değerlerinin Değişiminin Verildiği Grafikler	111
7.3.2	Toplam Deprem Yüğü ile Deprem Magnitudü (Risk Olasılığı) Değerlerinin Değişiminin Verildiği Grafikler	112
7.3.3	Toplam Deprem Yüğü/Durgun Haldeki Toprak Basıncı (P_{AD}/P_A) ile İçsel Sürtünme Açısının Değerlerinin Değişiminin Verildiği Grafikler	113
	KAYNAKLAR.....	114
	ÖZGEÇMİŞ.....	116

SİMGE LİSTESİ

a	Maksimum zemin ivmesi
a	Regresyon katsayısı
b	Regresyon katsayısı
d	Zemin deplasmanı
E	Enerji (erg)
f	Coulomb toprak basıncı teorisinde sürtünme katsayısı
f	Deprem frekansı
F_c	Güvenlik faktörü
g	Yer çekimi ivmesi
$G(M)$	Bir yıl içinde magnitüdü M'den büyük depremlerin aşılması olasılığı
H	İstinat duvarı yüksekliği
i	Dolgu sevi açısı
j	Deprem yinelenme periyodu
K_a	Aktif basınç katsayısı (depremsiz hal)
K_p	Pasif basınç katsayısı (depremsiz hal)
P_a	Aktif toprak basıncı (depremsiz hal)
P_p	Pasif toprak basıncı (depremsiz hal)
$K_{AD} = K_{AE}$	Aktif basınç katsayısı (deprem etkisinde)
$P_{AD} = P_{AE}$	Toplam aktif toprak basıncı (deprem etkisinde)
ΔP_{AE}	Deprem oluşturduğu aktif basınç
M	Richter skalasına göre deprem magnitüdü
N	Bir yıl içinde magnitüdü M veya daha büyük olan deprem sayısı
r	Pearson-Bravais korelasyon katsayısı
R	Episantr uzaklığı
R	Yıllık risk
T_r	Magnitüdü belli bir depremin yıl olarak tekrar periyodu
V	Deprem hızı
ϕ	İçsel sürtünme açısı
$OC = \sigma_3$	Aktif toprak basıncında min. gerilme
$OD = \sigma_1$	Aktif toprak basıncında ana gerilme
γ	Zeminin birim hacim ağırlığı
γ_d	Zeminin birim hacim ağırlığı
γ'	Zeminin efektif birim ağırlığı
α_{AE}	Bir depremde kırılan yüzeyin şev açısı
α	Regresyon katsayısı
β	Regresyon katsayısı
β	Duvarın arka yüzünün düşeyle yaptığı açı
δ	Duvar sürtünme açısı
ϕ	İçsel sürtünme açısı
θ	Deprem katsayılarına bağlı bir açı
α_h	Sismik katsayı = $1/g$ (yatay zemin ivmesi)
α_v	Sismik katsayı = $1/g$ (düşey zemin ivmesi)

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1	Faylanma türleri (Demirtaş ve Erkmén)..... 7
Şekil 2.2	Bir faylanma sonucu oluşan deprem odağından yayılan sismik enerjinin yer içinde yayılması ve bu sismik enerjinin neden olduğu hasara bağılı olarak çizilen eşşiddet eğrilerinin gösterimi (Eyidoğan vd., 1991) 10
Şekil 2.3	Esnek serbestlenme kavramı ışığında esnek bir yer bloğunun tektonik kuvvetler altında kırılması aşamaları (Eyidoğan vd., 1991)..... 11
Şekil 2.4	Deprem hareketinin ölçülen A en büyük genliğinin yatay mesafe ile olan değişimi (Celep ve Kumbasar, 1991)..... 16
Şekil 2.5	Maksimum deprem ivmesinin zemin durumuna ve uzaklığa bağılı değişimi (Celep ve Kumbasar, 1991)..... 17
Şekil 2.6	Değişik zemin durumları için maksimum deprem ivmesi (Celep ve Kumbasar, 1991) 18
Şekil 2.7	Maksimum deprem hızının depremin merkezine olan uzaklığa bağılılığı (Celep ve Kumbasar, 1991) 19
Şekil 2.8	Deprem ivme spektrumunun normalize edilmesi (Celep ve Kumbasar, 1991) 20
Şekil 2.9	Değişik yerel zemin durumları için ortalama ivme spektrumu (Celep ve Kumbasar, 1991) 20
Şekil 2.10	San Francisco 1957 depreminde zemin kalınlığının maksimum kesme kuvvetine olan etkisi (Celep ve Kumbasar, 1991) 21
Şekil 3.1	Türkiye ve çevresinde jeolojik ve tektonik etkinlikte önemli rol oynayan levhalar, tektonik sınır ve bölgeler (Eyidoğan, Güçlü, Değirmenci, 1991)..... 24
Şekil 3.2	Türkiye diri fay haritası 25
Şekil 3.3	Türkiye deprem bölgeleri haritası 26
Şekil 3.4	1999 Gölcük-Arifiye depremi sonrası yüzeyde gözlenen kaymalar 29
Şekil 3.5	1999 Gölcük-Arifiye depremi sonrası demiryolu raylarındaki yanal yer değ. 29
Şekil 3.6	Kuzey Anadolu Fayı üzerinde son yüzyılda meydana gelen yıkıcı depremler (MTA ve JGS ortak çalışması)..... 31
Şekil 4.1	Kütle olmayan istinat duvarlar 32
Şekil 4.2	Granüler ve iyi drenajlı zeminlerde aktif toprak basıncı için gerekli dolgu geometrisi (Bowles, 1974)..... 33
Şekil 4.3	Beton kütle duvar çeşitleri, genel boyutları ve yük diyagramları (Navfac, 1982) 34
Şekil 4.4	Basit kütle duvarlar 35
Şekil 4.5	Bükülebilir istinat duvarları 37
Şekil 4.6	Elastik ve plastik denge durumunun gösterimi (Bowles, 1982) 40
Şekil 4.7	Kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminler için aktif ve pasif basınç değerleri (Bowles, 1982) 42
Şekil 4.8	a) Göçme için tahmin edilen durumlar b) Bileşke kuvvet denge sağlanamadığından O noktasından geçmez c) P_a 'yı bulmak için kuvvet üçgeni oluşturulur (Bowles, 1982) 44
Şekil 4.9	a) Pasif basınçtaki göçme kaması ve etkiyen kuvvetler, b) Pasif basıncı oluşturan kuvvet poligonu (Bowles, 1982)..... 46
Şekil 4.10	a) Rankine çözümü için $\alpha = 90^\circ$ 'deki zemin sistem, b) Rankine çözümünde kuvvet üçgeni (Bowles, 1982)..... 46
Şekil 4.11	Bir deprem süresince esnek istinat duvarı ve doymun olmayan kohezyonsuz zemindeki aktif basınçlar(Mononabe-Okabe eşitliklerinden)(Dowrick, 1987).52

Şekil 5.1	Karadeniz sismotektonik yöresinde 1901-2000 yılları arasında meydana gelen depremler ($M \geq 4.00$).....	60
Şekil 5.2	Magnitüd-log N ilişkisi.....	64
Şekil 5.3	Magnitüd-Risk ilişkisi	66
Şekil 5.4	Kayada ivme-mesafe eğrileri	68
Şekil 5.5	Zemin ivmesi-Episantr uzaklığı değişimi.....	70
Şekil 6.1.a	Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi ($M=4.73$, $R=40\text{km}$).....	74
Şekil 6.1.b	Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi ($M=5.00$, $R=40\text{km}$).....	74
Şekil 6.1.c	Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi ($M=6.31$, $R=40\text{km}$).....	74
Şekil 6.1.d	Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi ($M=7.16$, $R=40\text{km}$).....	74
Şekil 6.1.e	Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi ($M=7.84$, $R=40\text{km}$).....	75
Şekil 6.1.f	Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi ($M=8.38$, $R=40\text{km}$).....	75
Şekil 6.2.a	Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi ($M=4.73$, $R=60\text{km}$).....	76
Şekil 6.2.b	Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi ($M=5.00$, $R=60\text{km}$).....	76
Şekil 6.2.c	Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi ($M=6.31$, $R=60\text{km}$).....	76
Şekil 6.2.d	Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi ($M=7.16$, $R=60\text{km}$).....	76
Şekil 6.2.e	Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi ($M=7.84$, $R=60\text{km}$).....	77
Şekil 6.2.f	Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi ($M=8.38$, $R=60\text{km}$).....	77
Şekil 6.3.a	Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi ($M=4.73$, $R=80\text{km}$).....	78
Şekil 6.3.b	Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi ($M=5.00$, $R=80\text{km}$).....	78
Şekil 6.3.c	Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi ($M=6.31$, $R=80\text{km}$).....	78
Şekil 6.3.d	Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi ($M=7.16$, $R=80\text{km}$).....	78
Şekil 6.3.e	Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi ($M=7.84$, $R=80\text{km}$).....	79
Şekil 6.3.f	Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi ($M=8.38$, $R=80\text{km}$).....	79
Şekil 6.4.a	Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi ($M=4.73$, $R=120\text{km}$).....	80
Şekil 6.4.b	Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi ($M=5.00$, $R=120\text{km}$).....	80
Şekil 6.4.c	Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi ($M=6.31$, $R=120\text{km}$).....	80
Şekil 6.4.d	Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi ($M=7.16$, $R=120\text{km}$).....	80
Şekil 6.4.e	Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi ($M=7.84$, $R=120\text{km}$).....	81
Şekil 6.4.f	Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi ($M=8.38$, $R=120\text{km}$).....	81
Şekil 6.5.a	Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi ($M=4.73$, $R=140\text{km}$).....	82
Şekil 6.5.b	Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi ($M=5.00$, $R=140\text{km}$).....	82
Şekil 6.5.c	Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi ($M=6.31$, $R=140\text{km}$).....	82
Şekil 6.5.d	Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi ($M=7.16$, $R=140\text{km}$).....	82
Şekil 6.5.e	Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi ($M=7.84$, $R=140\text{km}$).....	83
Şekil 6.5.f	Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi ($M=8.38$, $R=140\text{km}$).....	83
Şekil 6.6.a	Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi ($M=4.73$, $R=40\text{km}$)	84
Şekil 6.6.b	Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi ($M=5.00$, $R=40\text{km}$)	84
Şekil 6.6.c	Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi ($M=6.31$, $R=40\text{km}$)	84
Şekil 6.6.d	Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi ($M=7.16$, $R=40\text{km}$)	84
Şekil 6.6.e	Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi ($M=7.84$, $R=40\text{km}$)	85
Şekil 6.6.f	Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi ($M=8.38$, $R=40\text{km}$)	85
Şekil 6.7.a	Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi ($M=4.73$, $R=60\text{km}$)	86
Şekil 6.7.b	Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi ($M=5.00$, $R=60\text{km}$)	86
Şekil 6.7.c	Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi ($M=6.31$, $R=60\text{km}$)	86
Şekil 6.7.d	Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi ($M=7.16$, $R=60\text{km}$)	86
Şekil 6.7.e	Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi ($M=7.84$, $R=60\text{km}$)	87
Şekil 6.7.f	Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi ($M=8.38$, $R=60\text{km}$)	87

Şekil 6.8.a	Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi (M=4.73, R=80km)	88
Şekil 6.8.b	Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi (M=5.00, R=80km)	88
Şekil 6.8.c	Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi (M=6.31, R=80km)	88
Şekil 6.8.d	Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi (M=7.16, R=80km)	88
Şekil 6.8.e	Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi (M=7.84, R=80km)	89
Şekil 6.8.f	Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi (M=8.38, R=80km)	89
Şekil 6.9.a	Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi (M=4.73, R=120km)	90
Şekil 6.9.b	Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi (M=5.00, R=120km)	90
Şekil 6.9.c	Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi (M=6.31, R=120km)	90
Şekil 6.9.d	Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi (M=7.16, R=120km)	90
Şekil 6.9.e	Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi (M=7.84, R=120km)	91
Şekil 6.9.f	Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi (M=8.38, R=120km)	91
Şekil 6.10.a	Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi (M=4.73, R=140km)	92
Şekil 6.10.b	Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi (M=5.00, R=140km)	92
Şekil 6.10.c	Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi (M=6.31, R=140km)	92
Şekil 6.10.d	Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi (M=7.16, R=140km)	92
Şekil 6.10.e	Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi (M=7.84, R=140km)	93
Şekil 6.10.f	Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi (M=8.38, R=140km)	93
Şekil 6.11.a	Toplam deprem yükünün deprem magnitudü ile değişimi (H=4m, R=40km).....	94
Şekil 6.11.b	Toplam deprem yükünün deprem magnitudü ile değişimi (H=4m, R=60km).....	94
Şekil 6.11.c	Toplam deprem yükünün deprem magnitudü ile değişimi (H=4m, R=80km).....	95
Şekil 6.11.d	Toplam deprem yükünün deprem magnitudü ile değişimi (H=4m, R=120km).....	95
Şekil 6.11.e	Toplam deprem yükünün deprem magnitudü ile değişimi (H=4m, R=140km).....	96
Şekil 6.12.a	Toplam deprem yükünün deprem magnitudü ile değişimi (H=8m, R=40km).....	97
Şekil 6.12.b	Toplam deprem yükünün deprem magnitudü ile değişimi (H=8m, R=60km).....	97
Şekil 6.12.c	Toplam deprem yükünün deprem magnitudü ile değişimi (H=8m, R=80km).....	98
Şekil 6.12.d	Toplam deprem yükünün deprem magnitudü ile değişimi (H=8m, R=120km).....	98
Şekil 6.12.e	Toplam deprem yükünün deprem magnitudü ile değişimi (H=8m, R=140km).....	99
Şekil 6.13.a	Toplam deprem yükünün deprem magnitudü ile değişimi (H=12m, R=40km).....	100
Şekil 6.13.b	Toplam deprem yükünün deprem magnitudü ile değişimi (H=12m, R=60km).....	100
Şekil 6.13.c	Toplam deprem yükünün deprem magnitudü ile değişimi (H=12m, R=80km).....	101
Şekil 6.13.d	Toplam deprem yükünün deprem magnitudü ile değişimi (H=12m, R=120km).....	101

Şekil 6.13.e	Toplam deprem yükünün deprem magnitudü ile değişimi (H=12m, R=140km).....	102
Şekil 6.14.a	Toplam deprem yükünün deprem magnitudü ile değişimi (H=14m, R=40km).....	103
Şekil 6.14.b	Toplam deprem yükünün deprem magnitudü ile değişimi (H=14m, R=60km).....	103
Şekil 6.14.c	Toplam deprem yükünün deprem magnitudü ile değişimi (H=14m, R=80km).....	104
Şekil 6.14.d	Toplam deprem yükünün deprem magnitudü ile değişimi (H=14m, R=120km).....	104
Şekil 6.14.e	Toplam deprem yükünün deprem magnitudü ile değişimi (H=14m, R=140km).....	105
Şekil 6.15.a	Toplam deprem yükü/depremsiz durumdaki yükün içsel sürtünme açısı ϕ ile değişimi (M=4.73).....	106
Şekil 6.15.b	Toplam deprem yükü/depremsiz durumdaki yükün içsel sürtünme açısı ϕ ile değişimi (M=5.00).....	106
Şekil 6.15.c	Toplam deprem yükü/depremsiz durumdaki yükün içsel sürtünme açısı ϕ ile değişimi (M=6.31).....	107
Şekil 6.15.d	Toplam deprem yükü/depremsiz durumdaki yükün içsel sürtünme açısı ϕ ile değişimi (M=7.16).....	107
Şekil 6.15.e	Toplam deprem yükü/depremsiz durumdaki yükün içsel sürtünme açısı ϕ ile değişimi (M=7.84).....	108
Şekil 6.15.f	Toplam deprem yükü/depremsiz durumdaki yükün içsel sürtünme açısı ϕ ile değişimi (M=8.38).....	108

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Şiddet, zemin ivmesi, hız ve yapı tiplerindeki hasar arasındaki ilişkiler (Deprem Araştırma Bülteni, No:11).....	13
Çizelge 4.1 Aktif durumu olan duvar hareketi (Dowrick, 1987)	38
Çizelge 4.2 Coulomb denklemine göre aktif toprak basıncı katsayısı, K_a	48
Çizelge 4.3 Coulomb denklemine göre pasif toprak basıncı katsayısı, K_p	49
Çizelge 4.4 Rankine denklemine göre aktif toprak basıncı katsayısı, K_a	50
Çizelge 4.5 Rankine denklemine göre pasif toprak basıncı katsayısı, K_p	50
Çizelge 4.6 Episantr uzaklıklarına göre açı (θ) değerleri	55
Çizelge 4.7 K_{AD} ve p_{AD} , P_{AD} değerlerinin değişimi.....	55
Çizelge 4.8 İstinat perdesine gelecek ek toprak basınçlarının uzaklıkla değişimi.....	56
Çizelge 5.1 Karadeniz Bölgesi sismotektonik yöresinde 1901-2000 yılları arasında meydana gelen depremlerin yıllık maksimum değerleri (Richter'e göre)	61
Çizelge 5.2 Karadeniz Bölgesi Gumbel yıllık maksimum dağılımı analizi.....	62
Çizelge 5.3 Regresyon doğrusu analizleri.....	63
Çizelge 5.4 Karadeniz Bölgesi yıllık risk ve magnitüd değerleri.....	66
Çizelge 5.5 Karadeniz Bölgesi yıllık risk ve deprem tekrarlama periyotları	67
Çizelge 5.6.a Karadeniz Bölgesi yıllık risk, magnitüd ve maksimum ivme değerleri (R=20, 40, 60km'ler için)	70
Çizelge 5.6.b Karadeniz Bölgesi yıllık risk, magnitüd ve maksimum ivme değerleri (R=80, 120, 140km'ler için)	70
Çizelge 5.7 Karadeniz Bölgesi zemin deplasmanı değerleri.....	71
Çizelge 5.8 Karadeniz Bölgesi zemin deplasmanı analizleri (Probabilite hesapları sonuçlarına göre).....	71

ÖNSÖZ

Çalışmam süresince, her türlü bilgi ve birikimini bana özveri ile aktaran Danışmanım Yrd. Doç. Dr. Nejat Nuri Çetinkaya'ya, kaynakların temin edilmesinde bana yardımcı olan Araştırma Görevlisi Murat Tonaroğlu'na, bana her zaman destek olan sevgili aileme ve dostlarıma teşekkür ederim.



ÖZET

Deprem, bir doğal afettir ve kendine has özellikleri vardır. Günümüzde, depremin önceden tahmin edilebilmesi için yeterli imkanlar henüz mevcut değildir. Gelecekte meydana gelebilecek olan depremlerin de belirsiz olduğu bir gerçektir. Bununla beraber, geçmiş yıllarda meydana gelmiş olan depremlerin parametrelerinin probabilistik metotlar ile incelenmesi sonucunda, proje kriterlerini belirleyebilmek için, gelecekte meydana gelebilecek depremlerin karakteristiklerini takribi olarak tahmin edebilmek mümkün olabilir.

Bu çalışmada, Karadeniz Bölgesi'nde 1901-2000 yılları arasındaki 100 sene içinde meydana gelen depremler gözönüne alınmış, Gumbel risk analizi ile, çeşitli risk olasılıkları ve episantr uzaklıkları için maksimum magnitüd, ivme, hız ve deplasman tahminleri yapılmıştır. Bu ivme değerleri Mononabe Okabe formülleri, 1998 Yeni Deprem Yönetmeliğinde kullanılmış ve istinat duvarlarında oluşacak toplam yanal toprak basınçlarının, risk olasılıkları, içsel sürtünme açıları, duvar yükseklikleri ve episantr uzaklıkları ile değişimleri grafikler halinde verilerek, grafiklerin yorumları yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Karadeniz Bölgesi, probabilistik metotlar, deprem risk analizleri, istinat duvarları, yanal toprak basınçları.



ABSTRACT

Earthquake is a disaster and has its own characteristics. It is not yet possible to determine/foresee the earthquakes before they happen. It is also certain that the earthquakes which may happen in the future are indefinite. However, in aim to determine the projects criterions, it could be possible to find out the characteristics of the possible future earthquakes approximately by considering the old earthquakes with probabilistic methods.

In this study, the earthquakes in Black Sea Region which occurred between 1901 and 2000 are investigated. Maximum magnitude, acceleration, velocity and displacement forecasts are made for various risk probabilities and epicentre distances by means of Gumbel risk analysis. These acceleration values are used in Mononabe-Okabe formulas; New Earthquake Code 1998 and graphics are formed and explained by the comparison of the total lateral earth pressure with the risk probabilities, friction angles, retaining wall heights and epicentre distances.

Keywords: Black Sea Region, probabilistic methods, earthquake risk analysis, retaining walls, lateral earth pressures.



1. GİRİŞ

Bir alt yapı, üst yapı, su yapısı veya akla gelebilecek herhangi bir yapıyı düşündüğümüzde, projelendirme aşamasına geçmeden önce, yapının bulunduğu bölgenin çok iyi incelenip, proje kriterlerini teşkil edecek parametrelerin saptanması gereklidir. Bu çalışmanın amacı da, istinat duvarları analizi ve projelendirmesi yapabilmeye yardımcı olacak parametreleri, deprem etkisi de göz önünde bulundurarak, elde etmek ve sunmaktır. Çalışmanın ilk bölümünde, öncelikle, deprem hareketi, depremin tarihçesi, oluşumu, deprem parametreleri ile türleri anlatılmış, ardından depremin Türkiye ve Kuzey Anadolu Fay Hattının Karadeniz Bölgesi üzerindeki etkilerine yer verilmiştir. Daha sonra bu çalışmanın esas parametrelerinden birini teşkil eden istinat duvarları konusunda teorik bilgiler verilmiştir. İstinat duvarları konusu işlenirken, deprem halinde istinat duvarlarına etkiyecek yanal basınçların hesap yöntemleri detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Bu hesap yöntemleri ile; seçilen sismotektonik yörede, Karadeniz Bölgesi için $39.00^{\circ}\text{N} - 43.00^{\circ}\text{N}$ enlemleri ile $30.00^{\circ}\text{E} - 42.50^{\circ}\text{E}$ boylamları arasındaki bölge, 1901-2000 yılları arasında meydana gelmiş magnitüdü dört ve dörtten büyük depremler, Gumbel Olasılık Metodu/Yıllık Ekstrem Değerler Metodu ile değerlendirilmiş ve Karadeniz Bölgesi için yıllık risk, magnitüd, maksimum ivme ve zemin deplasmanı değerleri bulunmuştur. Elde edilen bu verilerin yardımıyla, bu bölgede istinat duvarlarına etkiyecek yanal basınçlar hesaplanarak, istinat duvarları analizlerine yardımcı olacak grafikler çizilmiş ve bu grafiklerin yorumları yapılmıştır.

DEPREM HAREKETİ

2.1 Giriş

Yerkabuğu içindeki kırılmalar nedeniyle ani olarak ortaya çıkan titreşimlerin dalgalar halinde yayılarak geçtikleri ortamları ve yer yüzeyini sarsma olayına "DEPREM" denir.

Deprem, insanın hareketsiz kabul ettiği ve güvenle ayağını bastığı toprağın da oynayacağını ve üzerinde bulunan tüm yapılarında hasar görüp, can kaybı yaratacak şekilde yıkılabileceklerini gösteren bir doğa olayıdır.

Önceden bir uyarı olmadan meydana gelmesi yönünden deprem, doğal afetler arasında kendine has bir özelliğe sahiptir. Deprem meydana gelmeden önce bazı ön işaretler görülebilse de, günümüzde depremin önceden tahmin edilmesi konusunda güvenilir sonuçlar henüz mevcut değildir. Güvenilir bir uyarı sisteminin henüz mevcut olmaması, yapıların depreme karşı düzenlenerek, depremin etkilerinden korunmanın sağlanması gereğini ortaya çıkarmıştır.

Deprem, yerkabuğunun bir titreşimi olduğu için, yapıların mesnetlerine bağlı bir yer değiştirme hareketi doğurarak dinamik bir etki oluşturur. Depreme dayanıklılık yapı tasarımının önemli iki adımından yapının iyi düzenlenmesi ve yeterli kalitede olması, diğeri ise bu yapıda depremin oluşturması beklenen kesit zorlarının yeterli yaklaşıklıkla belirlenerek karşılanmasıdır. Deprem etkisi, yapıları alışılmış yüklerin üzerinde zorlayarak, yapının tasarımında ve uygulanmasında yapılmış hataları ortaya çıkarır (Celep ve Kumbasar, 1992).

Gelecekte meydana gelecek depremler belirsizlikler ihtiva etmektedir; bununla beraber geçmiş yıllarda meydana gelmiş olan depremlerin parametrelerinin probabilistik metotlar ile incelenmesi sonucunda, gelecekte meydana gelebilecek depremlerin karakteristikleri konusunda proje kriterleri için takribi olarak tahminler yapılabilmektedir. Bu sebeple, yapıların deprem açısından projelendirilmesinde ihtimal hesapları önemli bir yer teşkil etmektedir.

2.2 Depremin Tarihçesi

Depremler hakkında ilk akılcı açıklama ve yaklaşımlar eski Batı Anadolu'lu (İyonya) ve Yunanlı'lar tarafından yapılmıştır.

Din etkisinin altında geçen yüzyıllarda depremlerin ve diğer doğal olayların izahı ve tek nedeni Tanrı olmuştur.

Bundan dolayı Eski İyon, Yunan ve Roma Medeniyetlerinde düşünürler tarafından oluşan bilimsel yaklaşımlar ve teoriler asırlarca zorlanmamış ve değişmemiştir.

Ancak, Eski Çin Uygarlığında, depremlerin kayıtları ve bildirilmeleri ile ilgili bir sistem kurulduğu bilinmektedir. O zamanki inanca göre depremler ile hükümetlerin değişmesi gerekmekte idi. Bu aralarda, İmparatorluk gökbilimcisi Chang Heng (78-139), dünyada vazife gören ilk sismografi yapmıştır. Bu basit sarkaç prensibine göre çalışan ilginç bir alettir. Eski Çin İmparatorluğunda Chau ve Shong sülaleleri zamanından itibaren başlayan (M.Ö. 800-1000) deprem kataloglarında yaklaşık 2.000 deprem kaydı toplandığı, Japonya'da ise M.Ö. 599 yılından bu yana depremlerin kayıt ve tahmin edildiği ve M.S. 1600 yılında Tokugawa Şogun'lu zamanında da kataloglaştırıldığı bilinmektedir.

1750 ile 1755 yılları arasında dünyada meydana gelen aşırı sismik hareketler bütün ilgileri deprem üzerine çekmiştir. Bu sismik hareketler, Lizbon'u yıkan ve bütün Avrupa'yı sarsan 1 Kasım 1755 Lizbon depremi ile sona ermiştir. 18. yüzyılın yarısında da, hala, genel kanı depremlerin, insanlığın artan bencilliği ve hainliği sonucunda cezalandırılmalarından dolayı oluştuğudur.

Bilimsel çevreler ise deprem konusunda iki farklı düşüncenin etrafında toplanmaktadır. Buffon'a göre depremler, volkanik hareketler ve yer altı patlamalarından dolayı meydana gelmektedir. Stukeley ise depremleri elektriksel nedenlere dayandırmaktadır.

1760'da yazdığı anılarında Mitchell (1724-1793), deprem ve sismik hareket nedenlerini yer altında olan yangınlarda aramıştır. Kendinden öncekilerden farklı olarak Mitchell, teorisinin her aşamasını ispatlamaya çalışmıştır. Ona göre aniden alev alan yanmaya başlayabilen piritler, yeraltındaki kömür ve şeyl tabakalarında geniş ve tehlikeli yangınlar oluşturmakta ve depremlere neden olmaktadır. Ancak Mitchell de kendinden önceki Woodward veya sonraki Humbold gibi volkanların dünyanın emniyet supabı olduğuna inanmaktadır; volkanlar vasıtasıyla, yeraltından sıkışmış buhar ve gazlar çıkmakta ve böylelikle çok sayıda depreme mani olunmaktadır.

Sismolojinin gerçek bir bilim olarak tanınıp kurulması 19. yüzyılda olmuştur. Gelişen sismografların, sismologlar tarafından yaygın olarak kullanılmaya zorlanması bu yönde yeni ufuklar açmış ancak depremlerin oluş nedenlerini açıklayan araştırmalar bir süre ihmal

edilmiştir. Ancak bu konuda ileri sürülen fikirlerin 17. ve 18. yüzyıllardaki teorilerden farklılık gösterdiği göze çarpmaktadır.

Çağdaş sismolojinin esaslarını ortaya koyan Mallet'in (1810-1881), depremler hakkında ilk fikirlerinde dahi kendi zamanına oranla daha ileri düşündüğü görülmektedir. Mallet depremlerin, ya dünya kabuğunun bazı kısımlarında ani bükülme ve burkulmalar sonucu veya yer altı tabakaları içinde ani gerilme boşalmaları sonucu meydana geldiğini açıklamaktadır. Bu değişimlerin volkanik bölgelerden ziyade genellikle denizlerin altında olduğunu söylemektedir. Daha sonraları bu fikirlerini geliştiren Mallet, depremlerin yalnızca tek bir nedene bağlanamayacağını ifade etmiş ve depremlerin, yer kabuğunun çok altındaki volkanik hareketlerden veya, yer kabuğunun yüzyıllar süren soğuması sırasında meydana gelen gerilme ve kaymalar sonucu oluştuğunu açıklamıştır.

Bu düşünceler, depremlerin iki ayrı nedenden oluştuğuna inanan John Milne (1850-1913) tarafından geliştirilmiştir. Milne'nin teorisine göre volkanlar civarında ve oldukça sık olan volkanik hareketler nispeten ufak depremleri oluşturmaktadır. Ancak, binlerce kilometre uzaktan sismograflar ile de kayıt edilebilen büyük depremler, yer altındaki büyük kaya kitlelerinin iç gerilmeler altında kırılması veya hareketi sonucu meydana gelmektedir. Bu gerilmeler, yeryüzü kabuğunun yüzyıllar süren kıvrılması sırasındaki ani, yerel hareketler sonucu, veya, deniz ve su altı tabakalarının dolgular ve birikintiler ile zamanla aşırı yüklenmeleri sonucu meydana gelmektedir. Milne bu düşüncelerini ispatlamak amacıyla, dünya üzerinde büyük deprem serilerinin olduğu bölgelere ait çok sayıda jeolojik örnek de göstermiştir.

1910'da Reid'in, depremlerin oluş nedenlerini açıklayan "elastik geri tepme" teorisi ile birlikte on dokuzuncu yüzyıldan beri geliştirilen kayaların kıvrımlanma ve kırılma düşüncelerinde gerçeklik kazanılacaktır. Reid "elastik geri tepme" teorisini, 1906 San Francisco depremini ayrıntılı incelemesi sonucunda geliştirmiştir. Buna göre, yer kabuğunu oluşturan kısımların kırıklar üzerinde, birbirlerine oranla yaptıkları çok yavaş yer değiştirmeler, zamanla büyük elastik şekil değiştirmeler meydana getirerek kırılmaya neden olmaktadır. Kırılmayı takiben kaya kitleleri ani bir elastik geri tepme yaparak doğa minimum şekil değiştirme ile dengelenmektedir. Sonuç olarak zaman içinde biriken şekil değiştirme enerjisi kinetik enerjiye dönüşmekte ve bu çok ani enerji boşalımı, deprem olayını ve hasarını meydana getirmektedir.

Çok büyük depremlerde boşalan enerjinin 10^{26} erg mertebesinde olduğu ve bunun da, örneğin 1946'daki Bikini atom bombası patlatma deneyindeki enerji boşalım miktarından yüz bin defa daha büyük olduğu unutulmamalıdır.

Depremler az sayıda da olsa, Litosferden daha alt seviyelerde, 700 km derinliklere kadar inen Üst Manto içerisinde de oluşmaktadır. Ancak bu bölgeler elastik deformasyona ve dolayısıyla deformasyon enerjisi birikimine uygun olmadığından, buralardaki derin depremleri elastik kırılma teorisine bağlamak güçlüğü ortaya çıkmıştır. Fakat bu güçlük, problem, son yıllarda tüm jeolojik kavramları etkileyen "Levha Tektoniği" ile sağlıklı bir çözüme ulaşmıştır.

Depremlerin oluşum sıklığını kontrol eden doğal kanunları saptamak amacıyla da çok sayıda inceleme yapılmıştır. Depremlerin gece sırasında ve kış mevsiminde daha sık oldukları, ayın ve güneşin konumu ile ilgisi bulunduğu, meteor düşmesi ve güneş lekelerine bağlı olduğu iddia edilmiş, ancak gerçekçi ve geçerli bir istatistiki bağıntı saptanamamıştır. Ancak depremlerin kısa bir süre önceden bilinmesi yolunda, belirgin doğal değişimlerden yararlanarak, elde edilen başarılar vardır. İleriki yüzyıllarda bu konuda gerçeklere daha da yaklaşılabileceği ümit edilmektedir (Erguvanlı, 1979).

2.3 Depremlerin Oluşumu, Özellikleri ve Türleri

2.3.1 Faylar

Yer kabuğundaki deformasyon enerjisinin artması sonucunda, depremin meydana gelmesini hazırlayan, kayaçların kırılarak yer değiştirmesini sonuçlayan deformasyonlara fay denilmektedir. Kırılmanın meydana geldiği düzlem Fay Düzlemi olarak tanımlanmaktadır. Birbirlerinden ayrılan bloklar (kompartmanlar) bu düzlem boyunca kayarak yer değiştirirler. Fay düzleminin üzerinde kalan bloğa Tavan Bloğu, altında kalan bloğa ise Taban Bloğu denilmektedir. Taban ve tavan bloklarının bitişik noktalarının yer değiştirmelerini gösteren uzaklığa da atım denilir (Tabban ve Gencoğlu, 1975; Deprem Araştırma Bülteni, No:11).

Demirtaş ve Erkmen tarafından belirtildiği üzere; yerkabuğunu oluşturan kayaçlar, basınç altında kaldıkları zaman çeşitli şekillerde kırılırlar. Bazı büyük ölçekli kırılmalarda, kayaçlar dilimler halinde ayrılır ve ufak parçalara dönüşürler. Kayaçlar, bu dilimler arasında gelişen faylanma yüzeyleri boyunca göreceli olarak aniden kayarlar. Bu kayma sonucu, kırılmadan önce yan yana bulunan kısımlar, kırılmadan sonra birbirlerine uyuyorsa, bu tip kırılmalara rijid kırılmalar (brittle fracture) adı verilir. Diğer bir kırılma tipinde ise, kırılan kısımlar aniden kayma yerine, yavaş bir şekilde yer değiştirirler. Bu tür kaymalar, biriken elastik enerjii hızlı

bir şekilde boşaltmazlar. Doğada çeşitli ölçekteki kayma yüzeyleri, (üzerinde deprem olan ve hareket eden iki levha ya da levhacık arasındaki ara yüzey) fay olarak adlandırılır. Bir fayın blokları dereceli olarak kayabilir ya da bir depremde enerjisini boşaltarak aniden kayabilir. İkinci durumda fayın karşılıklı bloklarında yer alan çizgisel hatlar göreceli olarak yer değiştirilirler. Bazı faylar, binlerce kilometre kadar karada izlenebilecek uzunluktadırlar. Faylar çok çeşitli özellikler sergilerler. Bazı faylar, küçük ötelenmeler gösteren oldukça temiz yüzeyler sunabilir ya da tekrarlı hareketler sonucu yüzlerce onlarca metre genişlikte geniş bir ezilme zonuna sahip olabilirler. Faylanma meydana geldikten sonra, bu yüzeyler, sürekli yüklenen gerilmeler karşısında sürekli ötelenmeler gösterirler. Buna en iyi delil, fay yüzeyleri yakınında bulunan ezilmiş kayalar ve kil malzemeleridir. Yüzeydeki kayalarda, kaymaya eşlik eden çok sayıda kırıklar bulunur. Fay zonundaki kayalar, birçok deprem sonucu ezilerek ve kesilerek fay miloniti denilen plastik bir kil malzemesi haline dönüşürler. Bu malzeme o kadar düşük direnime sahiptir ki elastik enerjiyi depolayamazlar.

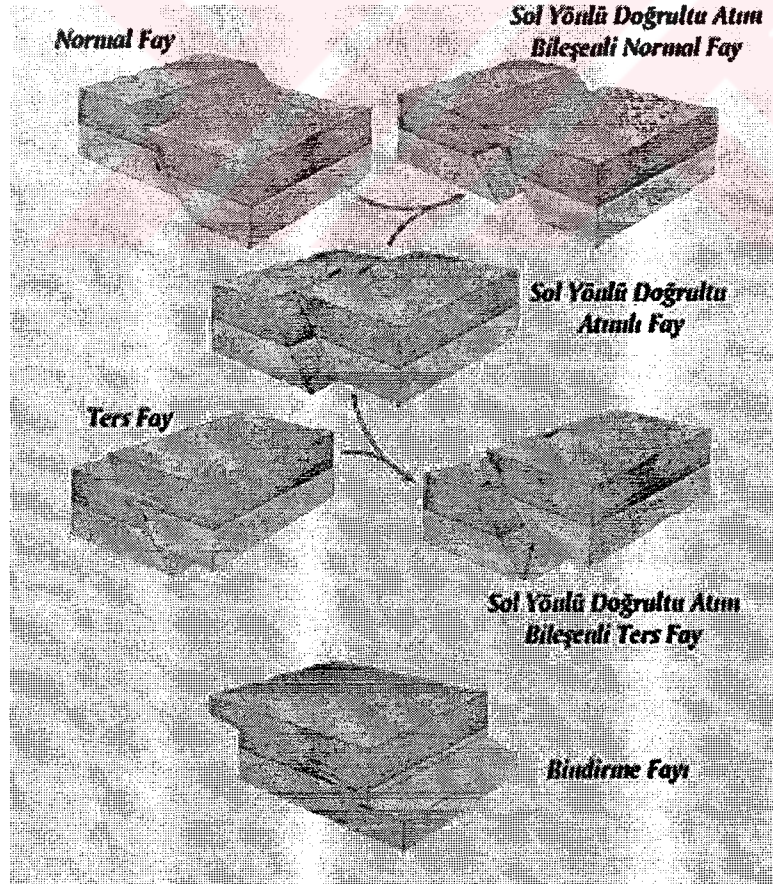
Faylar, geometrik olarak ve kayma yönüne göre sınıflandırılır. Fay yönelimi, üç boyutta iki açı ile tanımlanır. İlki eğim açısı olup, yatay düzlemle fay yüzeyinin yaptığı açıyı temsil eder. İkinci fayın doğrultusu olup, yeryüzündeki fay izinin kuzey ile yapmış olduğu açıyla tanımlanır.

Ayrıca faylar, eğim ve doğrultularına göre de sınıflandırılır. Karşılıklı blokları birbirlerine göre yatay olarak yer değiştiren faylara doğrultu atımlı faylar denir. Bu tip fayda her iki blokta bulunan kayalar yanal olarak ötelenirler. Fayın bir bloğunda durulduğunda diğer blok soldan sağa doğru hareket ediyorsa sağ yönlü, veya tersine blok sağdan sola doğru yer değiştiriyorsa sol yönlü doğrultu atımlı fay olarak adlandırılır. Faydaki hareket eğim boyunca ise, bu tür faylar eğim atımlı faylar olarak isimlendirilir. Eğim atımlı faylarda bloklar birbirlerine göre aşağı ya da yukarıya doğru kayarlar. Bu faylarda, hareket eğime paralel olup kayalar düşey yönde yer değiştirirler. Bu yer değiştirme sonucu yeryüzünde fay sarplıkları oluşur. Eğim atımlı faylar iki alt gruba ayrılırlar. Faylanma yüzeyinin üzerindeki blok altındakine göre aşağıya doğru hareket ediyorsa normal fay tersine yukarıya doğru hareket ediyorsa ters fay olarak isimlendirilir. Diğer yandan eğim açısı küçük olan ters faylar, bindirme fayları olarak bilinir. Bununla birlikte, doğada yukarıda bahsedilen sırf doğrultu atımlı ya da eğim atımlı faya nadir olarak rastlanılır. Bunların yerine verrev ya da oblik atımlı fay olarak adlandırılan hem doğrultu hem de eğim atımlı bileşenleri içeren faylanmalar gözlenir. Bazı kırıklar, ana kaya üstündeki toprak seviyesi içerisine kadar ulaşamazlar. Çünkü

zemin yüzeyi yakınındaki toprak seviyesi bu hareketleri farklı şekilde soğururlar. Bu durumlarda, hendekler (trench) kazılarak faylanmalar hakkında bilgi elde edilebilir.

Aşağıda fay tipleri hakkında kısaca bilgiler verilecektir.

- Doğrultu atımlı faylar: Bu tip faylar yeryüzünde 90 dereceye yakın dik bir konumda olan ve yerin içine doğru hafifçe eğimlenen yalnızca yatay atımın olduğu yanal atımlı faylardır. Bu faylar, atımlarına göre sağ ya da sol yönlü olabilirler. Kuzey Anadolu Fayı, sağ; Doğu Anadolu Fayı ise sol yönlü doğrultu atımlı faylardır. Atım, doğal olarak göreceli bir kavramdır. Aslında kırığın hangi tarafındaki bloğunun hareket ettiği pek önemli değildir. Örneğin; Kuzey Anadolu Fayı boyunca fayın güney tarafındaki blok, kuzeyine göre batıya doğru hareket etmektedir.
- Normal Atımlı Fay: Bu tip faylarda fay düzleminin bir tarafındaki blok yükselirken diğer tarafındaki düşerek uzaklaşır. Burada hareket yine göreceli olarak gelişmektedir. Bir başka deyişle, bir blok yükselirken diğeri yerinde durabilir ya da bir taraf yerinde dururken diğer taraf düşebilir.
- Ters Atımlı Faylar: Bu tip faylar da düşey atımlı faylar olup, yalnızca fay düzlemi boyunca hareket eğim yönüne göre ters yönde olmakta ve bloklar birbirine göre yaklaşmaktadır.
- Verev Atımlı Faylar: Fay düzlemi boyunca hareketin hem düşey hem de yatay yönde olduğu faylardır.



Şekil 2.1 Faylanma türleri (Demirtaş ve Erkmen)

2.3.2 Deprem Türleri

Deprem oluşumları ile ilgili bilgiler (depremin oluş tarihi ve zamanı, merkez ve merkez üstü konumu, kaynak parametreleri ve yarattığı etkilerle ilgili makrosismik veriler) bir yörenin deprem tehlikesinin belirlenmesindeki en önemli iki unsurdan birisini teşkil eder. Diğer önemli unsur yörenin jeolojik ve tektonik yapısıdır.

Depremlerin çok büyük bir bölümü, yerkabuğundaki soğumadan veya çeşitli etkilerden meydana gelen şekil değiştirme enerjisinin ani olarak açığa çıkmasıyla meydana gelir. Böyle bir olay sırasında yer kabuğunu oluşturan plakalar kendilerini sınırlayan çizgiler olan faylar boyunca ani olarak kayar. Yani herhangi bir noktada, zamana bağımlı olarak, yavaş yavaş oluşan birim deformasyon birikiminin elastik olarak depoladığı enerji, kritik bir değere eriştiğinde, fay düzlemi boyunca var olan sürtünme kuvvetini yenerek, fay çizgisinin her iki tarafındaki kayaç bloklarının birbirine göreli hareketlerini oluşturmaktadır. Bu ani yer değiştirmeler ise bir noktada biriken birim deformasyon enerjisinin açığa çıkması, boşalması ve sonuç olarak yer katmanlarının kırılma ve yırtılma hareketi ile olmaktadır.

Bu tür tektonik depremde ortaya çıkan yer değiştirme dalgaları sönmümlenerek uzaklara yayılır. Deprem yer ve şiddetine göre yer kabuğunda yeni fayları da oluşturabilir. Deprem hareketinin bu tür açıklanması “Elastik Geri Sekme Teorisi” olarak isimlendirilir.

“Plaka Tektoniği” olarak bilinen bilim dalı, yerkabuğunun birkaç parçadan oluştuğunu, bu plakaların birbirlerine göre hareket ettiklerini kabul etmekte ve birçok tektonik olayı bu esasa göre açıklamaktadır. Bu plaka parçaları sınırlarda birbirlerine göre kaymakta veya biri diğerinin üzerine çıkabilmektedir. Bu hareketlerin ve yer kabuğu altında sıvı halde bulunan magmanın basıncında soğuma veya benzeri nedenlerle meydana gelen basınç değişimlerinin, yer kabuğunda gerilmeler oluşturacağı açıktır. Öte yandan kabuğun birçok yerde faylarla kesilmiş olduğu da bilinmektedir. Yer kabuğunda artan gerilmeler zayıf olan bu çizgiler üzerinde veya belirli zayıf bölgelerde yer kabuğunun taşıma gücünü aşarak ani bir kayma (yırtılma) olmasına neden olur. Böylece uzun zamanda toplanan şekil değiştirme enerjisi yırtılma hareketiyle yerkabuğunun taşıyabileceği seviyeye ani boşalma ile iner. Sözü edilen boşalma yerkabuğunda gevşeme meydana getirir. Bu tür bölgelerde gevşeme, yani depremlerin meydana gelme zaman aralığı açıldıkça, kabukta zamanla toplanan enerji de artar. Bu ise meydana gelecek yer hareketinin daha şiddetli olması sonucunu doğurur. Yerkabuğunda meydana gelen kaymanın bir dalga hareketi olarak yayılması sonucu oluşan yüzey titreşimleri deprem olarak algılanır.

Depremler oluş nedenlerine göre değişik türlerde olabilir. Dünyada meydana gelen depremlerin büyük bir bölümü yukarıda anlatılan biçimde oluşmakla birlikte az miktarda da olsa başka doğal nedenlerle de olan deprem türleri bulunmaktadır. Yukarıda anlatılan levhaların hareketi sonucu olan depremler genellikle "TEKTONİK" depremler olarak nitelenir ve bu depremler çoğunlukla levhalar sınırlarında oluşurlar. Yeryüzünde olan depremlerin %90'ı bu gruba girer. Türkiye'de olan depremler de büyük çoğunlukla tektonik depremlerdir.

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

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

Odağı deniz dibinde olan Derin Deniz Depremlerinden sonra, denizlerde kıyılara kadar oluşan ve bazen kıyılarda büyük hasarlara neden olan dalgalar oluşur ki bunlara (Tsunami) denir. Deniz depremlerinin çok görüldüğü Japonya'da Tsunami'den 1896 yılında 30.000 kişi ölmüştür.

2.4 Deprem Parametreleri

Birçok fiziksel olguda olduğu gibi depremi tanımlamak için de nitel ve nicel parametreler vardır. Aşağıda kısaca bu parametrelerin açıklaması yapılacaktır.

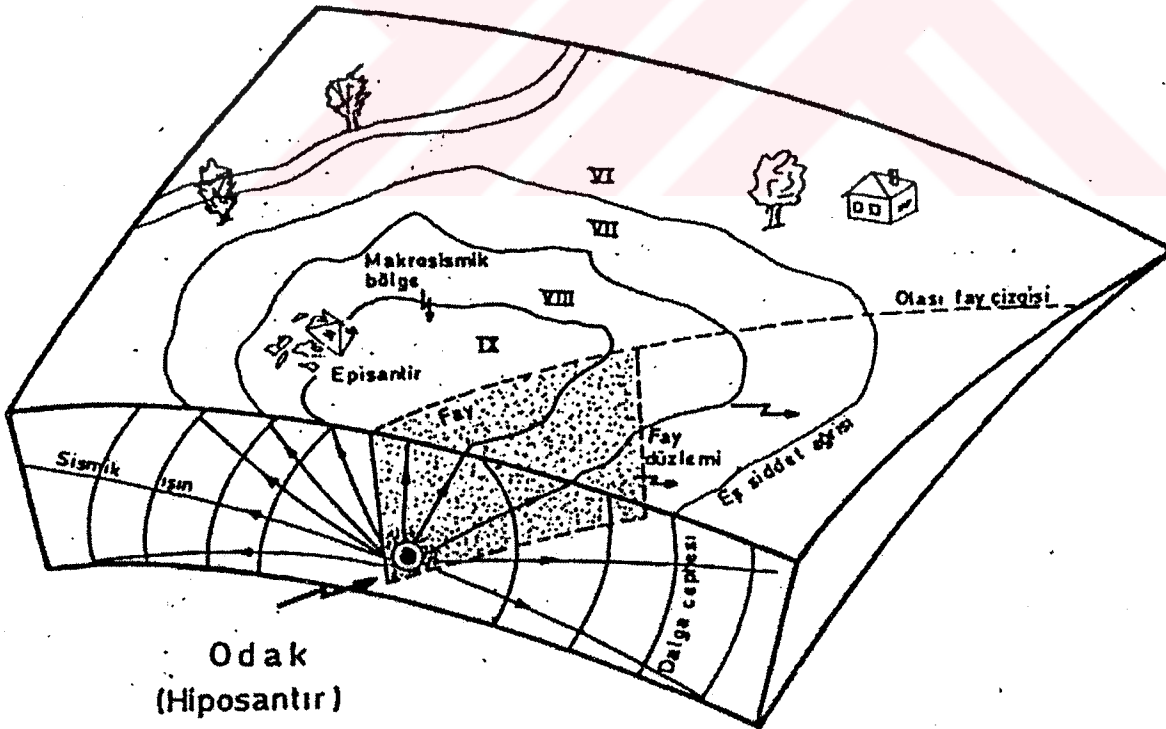
2.4.1 Depremin Oluş Zamanı

Fiziksel anlamda oluş zamanı fay üzerinde ilk kırılmanın olduğu andır. Depremle ilgili araştırmalarda depremlerin tarih ve GMT'ye (Greenwich Saati) göre oluş zamanının belirlenmesi istenir. Bu, hem arşivlemede hem de fiziksel ve istatistiksel araştırmalarda gerekli olmaktadır. Depremin yerinin ve oluş zamanının doğru olarak saptanması için deprem istasyonlarında kullanılan saatlerin çok duyarlı olması (0-10 milisaniye/gün) gereklidir.

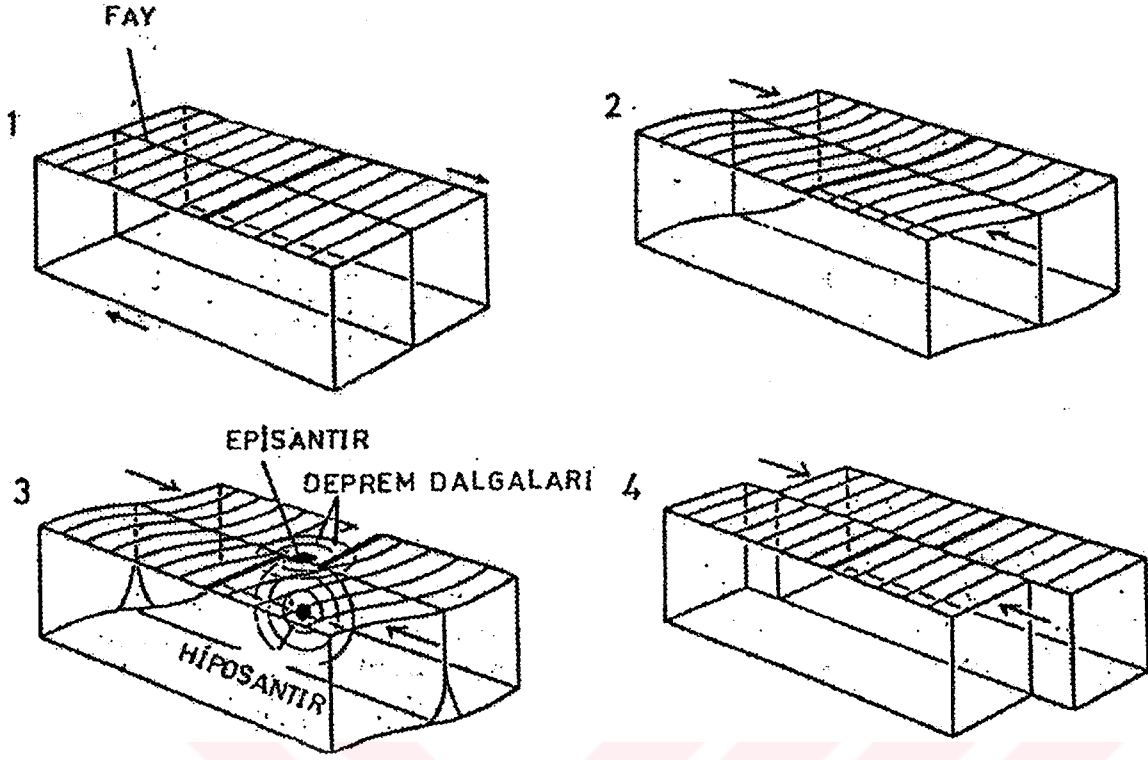
2.4.2 Odak Noktası (Hiposantr) ve Odak Derinliği

Deprem hareketinin başladığı bölge, Deprem Odağı (Hiposantr) olarak adlandırılır. Deprem enerjisinin ortaya çıktığı noktadır. Gerçekte enerjinin ortaya çıktığı yer nokta olmayıp bir alandır, fakat pratik uygulamalarda nokta olarak kabul edilmektedir. Yırtılma bölgesi yeryüzüne yakın olabildiği gibi derinlerde de bulunabilir.

Odak derinliği, depremin oluşturacağı hasar konusunda önemli bir büyüklüktür. Depremde enerjinin açığa çıktığı noktanın yeryüzünden en kısa uzaklığı olarak adlandırılır, odak ile merkezüstü arasındaki uzaklıktır. Depremler odak derinliklerine göre sınıflandırılabilir. Derin depremler yüzeyde daha az etki gösterirken daha yaygın bir çevrede hissedilir. Sığ depremler ise, odağa en yakın yeryüzünde büyük etki gösterirken, uzaklaştıkça azalan bu etki daha az yaygın olan bir çevrede hissedilir. Derinliğin ~60km'den az olduğu durumlarda sığ, 60km ile ~300km arasında orta derinlikte ve ~300km'den fazla ise derin depremler söz konusudur. Odak derinliği 700km'ye kadar çıkabilir. Yurdumuzdaki depremlerin odak derinliği genellikle 10 ile ~30km arasındadır. Depremlerin oluşum sıklığı derinlikle azalır. Yıkıcı depremler ise daha çok sığ olanlardır.



Şekil 2.2 Bir faylanma sonucu oluşan deprem odağından yayılan sismik enerjinin yer içinde yayılması ve bu sismik enerjinin neden olduğu hasara bağlı olarak çizilen eşsiddet eğrilerinin gösterimi (Eyidoğan vd., 1991)



Şekil 2.3 Esnek serbestlenme kavramı ışığında esnek bir yer bloğunun tektonik kuvvetler altında kırılması aşamaları (Eyidoğan vd., 1991)

2.4.3 Merkezüstü (Episantr)

Yüzeyde, deprem odağının hemen üstüne rastlayan nokta merkezüstü, dış merkez (Episantr) olarak adlandırılır. Burası aynı zamanda depremin en çok hasar yaptığı veya en kuvvetli olarak hissedildiği noktadır. Aslında bu, bir noktadan çok bir alandır. Depremin dış merkez alanı depremin şiddetine bağlı olarak çeşitli büyüklüklerde olabilir. Bazen büyük bir depremin odak noktasının boyutları yüzlerce kilometreyle de belirlenebilir. Bu nedenle "Episantr Bölgesi" ya da "Episantr Alanı" olarak tanımlama yapılması gerçeğe daha yakın bir tanımlama olacaktır.

2.4.4 Deprem Dalgaları

Deprem kayıtları, deprem hareketinden doğan düşey P dalgasının (boyuna dalgalar) kayıt aletine ulaşmasıyla başlar ve bunu yatay yöndeki S dalgası (enine dalgalar) izler. Bu dalgaların yayılma hızları genellikle derinlikle değişir. P dalgası için 6.4 ~ 8.2 km/sn ve S dalgası için 3.8 ~ 4.8 km/sn değer aralıkları verilebilir. P dalgaları yayılma doğrultusuna koşut yönde parçacık hareketi oluştururlar. Yapılarda en fazla hasara S dalgaları neden olur. Love ve Rayleigh dalgaları olarak iki bölüme ayrılan yüzey dalgaları ise yeryüzünde en büyük

genlikle oluşurlar ve derinlikle azalır. S dalgalarından sonra gelen bu dalgalar yakın depremlerde S dalgaları gibi yıkıcı özelliktedir. Oluşturdukları parçacıkların hareketleri S dalgalarında olduğu gibi yayılma doğrultusuna dik yöndedir.

2.4.5 Eşşiddet (İzoseit) Eğrileri

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

2.4.6 Depremin Şiddeti

Bir depremin şiddeti, herhangi bir derinlikte olan depremin, yeryüzünde hissedildiği bir noktadaki etkisinin ölçüsü olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir deyişle depremin şiddeti, onun yapılar, doğa ve insanlar üzerindeki etkilerinin bir ölçüsüdür. Şiddet depremin kaynağındaki büyüklüğü hakkında doğru bilgi vermez. Meydana gelen hasar, yapıların dayanım düzeyi ile çok yakından ilişkili olduğu için; aynı bir deprem, sağlam yapılardan oluşan bir yörede daha az şiddetli, dayanım düzeyi düşük yapılardan oluşan bir yörede ise daha şiddetli görülebilir.

Bugün kullanılan başlıca şiddet cetvelleri değiştirilmiş “Mercalli Cetveli (MM)” ve “Medvedev-Sponheur-Karnik (MSK)” şiddet cetvelidir. Her iki cetvel de XII şiddet derecesini kapsamaktadır.

Deprem şiddetini belirlemek için bugüne kadar kullanılan şiddet çizelgeleri, insanların algılarına ve izlenen fiziksel hasarlara dayandığından sübjektif bir değer taşımaktadır. Hala kullanılmakta olan deprem şiddet çizelgelerine, belirli bir periyot aralığında olmak üzere, zemin ivme değerleri ve titreşim hız değerleri de eklenerek niceliksel bir anlam taşımaları olanağı sağlanmıştır. Çünkü mühendislik açısından, deprem sırasında yapılara gelen yatay kuvvetlerin bilinmesi önemli bir nokta olarak ortaya konulmaktadır. Çizelge 2.1’de bu değerlerle birlikte, deprem şiddeti ve çeşitli yapı tiplerindeki hasar durumları arasındaki ilişkiler verilmektedir (Tabban ve Gencoğlu, 1975).

Çizelge 2.1 Şiddet, zemin ivmesi, hız ve yapı tiplerindeki hasar arasındaki ilişkiler
(Deprem Araştırma Bülteni, No:11)

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

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

- A Tipi : Kırsal konutlar, kerpiç yapılar, kireç ya da çamur harçlı moloz taş yapılar.
- B Tipi : Tuğla yapılar, yarım kagir yapılar, kesme taş yapılar, beton biriket ve hafif prefabrike yapılar.
- C Tipi : Betonarme yapılar, iyi yapılmış ahşap yapılar.

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

Yapılardaki hasar ise beş gruba ayrılmıştır :

- Hafif Hasar : İnce sıva çatlaklarının meydana gelmesi ve küçük sıva parçalarının dökülmesiyle tanımlanır.
- Orta Hasar : Duvarlarda küçük çatlakların meydana gelmesi, oldukça büyük sıva parçalarının dökülmesi, kiremitlerin kayması, bacalarda çatlakların oluşması ve bazı baca parçalarının aşağıya düşmesiyle tanımlanır.
- Ağır Hasar : Duvarlarda büyük çatlakların meydana gelmesi ve bacaların yıkılmasıyla tanımlanır.
- Yıkıntı : Duvarların yarılması, binaların bazı kısımlarının yıkılması ve derzlerle ayrılmış kısımlarının bağlantısını kaybetmesiyle tanımlanır.
- Fazla Yıkıntı : Yapıların tüm olarak yıkılmasıyla tanımlanır.

Şiddet çizelgelerinin açıklanmasında her şiddet derecesi üç bölüme ayrılmıştır.

Bunlardan;

“a” bölümünde depremin kişi ve çevre,

“b” bölümünde depremin her tipteki yapılar,

“c” bölümünde de depremin arazi üzerindeki etkileri belirtilmiştir.

MSK Şiddet Cetveli :

• I- Duyulmayan:

- (a) : Titreşimler insanlar tarafından hissedilmeyip, yalnız sismograflarca kaydedilir.

• II- Çok Hafif:

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

• III- Hafif:

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

• IV- Orta Şiddetli:

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

• V- Şiddetli:

- (a) : Deprem, yapı içerisinde herkes, dışarıda ise çok kişi tarafından hissedilir. Uyumakta olan çok kişi uyanır. Hayvanlar huysuzlanmaya başlar. Yapılar baştan aşağıya titrerler, asılmış eşyalar ve duvarlara asılmış resimler önemli derecede sarsılır. Sarkaçlı saatler durur. Az miktarda sabit olmayan eşyalar yerlerini değiştirebilirler, devrilebilirler. Açık kapı ve pencereler şiddetle itilip kapanırlar, iyi kilitlenmemiş kapalı kapılar açılabilir. İyice dolu, ağzı açık kaplardaki sıvılar dökülür. Sarsıntı yapı içerisine ağır bir eşyanın düşmesi gibi hissedilir.
- (b) : A tipi yapılarda hafif hasar olabilir.
- (c) : Bazen kaynak sularının debisi değişebilir.

• VI- Çok Şiddetli:

- (a) : Ev içerisinde ve dışarıda hemen herkes tarafından hissedilir. Evcil hayvanlar ağıllarından dışarı kaçarlar. Bazen tabak, bardak v.s.gibi cam eşyalar kırılabilir, kitaplar raflardan aşağıya düşerler. Ağır mobilyalar yerlerini değiştirirler.
- (b) : A tipi çok ve B tipi az yapılarda hafif hasar ve A tipi az yapıda orta hasar görülür.
- (c) : Bazı durumlarda nemli zeminlerde 1 cm. genişliğinde çatlaklar olabilir. Dağlarda rastgele yer kaymaları, pınar sularında ve yeraltı su düzeylerinde değişiklikler görülebilir.

• VII- Hasar Yapıcı:

- (a) : Herkes korkar ve dışarı kaçar, pek çok kişi oturdukları yerden kalkmakta güçlük çekerler. Sarsıntı, araç kullanan kişiler tarafından önemli olarak hissedilir.
- (b) : C tipi çok binada hafif hasar, B tipi çok binada orta hasar, A tipi çok binada ağır hasar, A tipi az binada yıkıntı görülür.

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

- **VIII- Yıkıcı:**

- (a) : Korku ve panik meydana gelir. Araç kullanan kişiler rahatsız olur. Ağaç dalları kırılıp, düşer. En ağır mobilyalar bile hareket eder ya da yer değiştirerek devrilir. Asılı lambalar zarar görür.
- (b) : C tipi çok yapıda orta hasar, C tipi az yapıda ağır hasar, B tipi çok yapıda ağır hasar, A tipi çok yapıda yıkıntı görülür. Boruların ek yerleri kırılır. Abide ve heykeller hareket eder ya da burkular. Mezar taşları devrilir. Taş duvarlar yıkılır.
- (c) : Dik şevli yol kenarlarında ve vadi içlerinde küçük yer kaymaları olabilir. Zeminde farklı genişliklerde cm. ölçüsünde çatlaklar oluşabilir. Göl suları bulanır, yeni kaynaklar meydana çıkabilir. Kuru kaynak sularının akıntıları ve yeraltı su düzeyleri değişir.

- **IX- Çok Yıkıcı:**

- (a) : Genel panik. Mobilyalarda önemli hasar olur. Hayvanlar rastgele öte beriye kaçar ve bağırır.
- (b) : C tipi çok yapıda ağır hasar, C tipi az yapıda yıkıntı, B tipi çok yapıda yıkıntı, B tipi az yapıda fazla yıkıntı ve A tipi çok yapıda fazla yıkıntı görülür. Heykel ve sütunlar düşer. Bentlerde önemli hasarlar olur. Toprak altındaki borular kırılır. Demiryolu rayları eğrilip, bükülür yollar bozulur.
- (c) : Düzlük yerlerde çokça su, kum ve çamur tasmaları görülür. Zeminde 10 cm. genişliğine dek çatlaklar oluşur. Eğimli yerlerde, nehir teraslarında bu çatlaklar 10 cm.den daha büyüktür. Bunların dışında, çok sayıda hafif çatlaklar görülür. Kaya düşmeleri, birçok yer kaymaları ve dağ kaymaları, sulara büyük dalgalanmalar meydana gelebilir. Kuru kayalar yeniden sulanır, sulu olanlar kurur.

- **X- Ağır Yıkıcı**

- (b) : C tipi çok yapıda yıkıntı, C tipi az yapıda fazla yıkıntı, B tipi çok yapıda fazla yıkıntı, A tipi pek çok yapıda fazla yıkıntı görülür. Baraj, bent ve köprülerde önemli hasarlar olur. Tren yolu rayları eğrilir. Yeraltındaki borular kırılır ya da eğrilir. Asfalt ve parke yollarda kasisler oluşur.
- (c) : Zeminde birkaç desimetre ölçüsünde çatlaklar oluşabilir. Bazen 1 m. genişliğinde çatlaklar da olabilir. Nehir teraslarında ve dik meyilli yerlerde büyük heyelanlar olur. Büyük kaya düşmeleri meydana gelir. Yeraltı su seviyesi değişir. Kanal, göl ve nehir suları karalar üzerine taşar. Yeni göller oluşabilir.

- **XI - Çok Ağır Yıkıcı**

- (b) : İyi yapılmış yapılarda, köprülerde, su bentleri, barajlar ve tren yolu raylarında tehlikeli hasarlar olur. Yol ve caddeler kullanılmaz hale gelir. Yeraltındaki borular kırılır.
- (c) : Yer, yatay ve düşey doğrultudaki hareketler nedeniyle geniş yarıklar ve çatlaklar tarafından önemli biçimde bozulur. Çok sayıda yer kayması ve kaya düşmesi meydana gelir. Kum ve çamur fişkırmaları görülür.

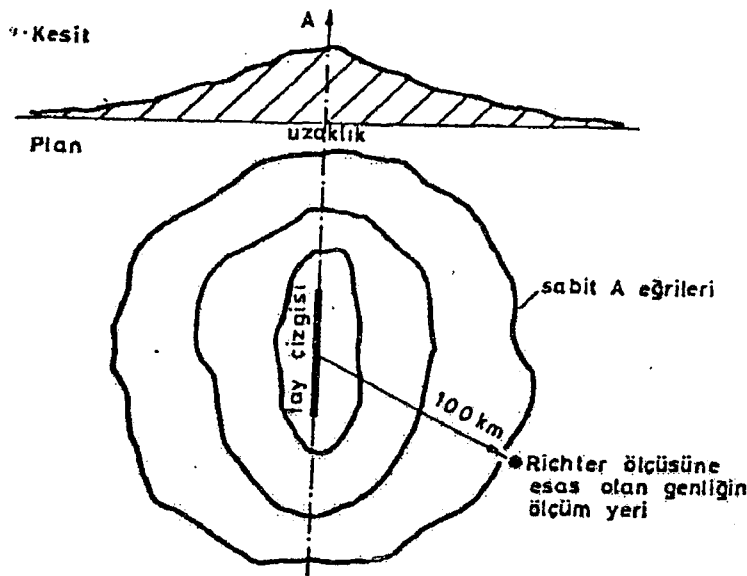
- **XII- Yok Edici (Manzara Değişir)**

- (b) : Pratik olarak toprağın altında ve üstündeki tüm yapılar baştanbaşa yıkıntıya uğrar.
- (c) : Yer yüzeyi büsbütün değişir. Geniş ölçüde çatlak ve yarıklarda, yatay ve düşey hareketlerin yön miktarları izlenebilir. Kaya düşmeleri ve nehir versanlarındaki göçmeler çok geniş bir bölgeyi kaplar. Yeni göller ve çağlayanlar oluşur.

2.4.7 Depremın Büyüklüğü (Magnitüd)

Bir depremin büyüklüğü hakkında bilgi verebilecek en iyi ölçü, hareket sırasında ortaya çıkan enerji miktarıdır. Ancak enerjinin doğrudan ölçülmesi olanağı olmadığından değişik büyüklük tarifleri geliştirilmiştir. En yaygın kullanılanı, C. F. Richter tarafından 1930 yıllarında ortaya atılanıdır. Richter ölçeği bir deprem için mutlak bir ölçü olarak tanımlanmıştır. Yani Mercalli şiddet ölçeğindeki gibi depremin hissedildiği noktada tanımlanması değildir ve depremin ölçüsünü gözlemlerimizden ve hasar durumundan bağımsız olarak saptayabilmektedir. Richter, episantrdan 100 km. uzaklıkta ve sert zemine yerleştirilmiş özel bir sismografla (2800 büyütme, özel periyodu 0.8 saniye ve %80 sönümü olan bir Wood-Anderson torsion Sismografi ile) kaydedilmiş zemin hareketinin mikron cinsinden (1 mikron 1/1000 mm) ölçülen maksimum genliğinin 10 tabanına göre logaritmasını bir depremin "magnitüdü" olarak tanımlamıştır. Bugüne dek olan depremler istatistik olarak incelendiğinde kaydedilen en büyük magnitüd değerinin 8.9 olduğu görülmektedir (31 Ocak 1906 Kolombiya-Ekvator ve 2 Mart 1933 Sanriku-Japonya depremleri).

Ancak episantrdan 100km uzaklıkta oluşan şekil tam bir daire olmayıp düzgün olmayan eğriler şeklinde belirir. Ayrıca, yer kabuğu koşullarının da homojen olmaması, bir depremin Richter ölçüsünü matematiksel kesinlikten uzaklaştırarak, yaklaşık olmasını doğurur. Bunun sonucu olarak belirli bir deprem için farklı ölçü istasyonları birbirlerine yakın, fakat değişik deprem büyüklükleri bildirebilirler. Önemli noktalardan biri de ölçeğin logaritmik olması yüzünden, genliklerin bir birimden diğer birime geçerken, örneğin M6 Richter ölçeğinden M7 Richter ölçeğine, on kat artmasıdır.



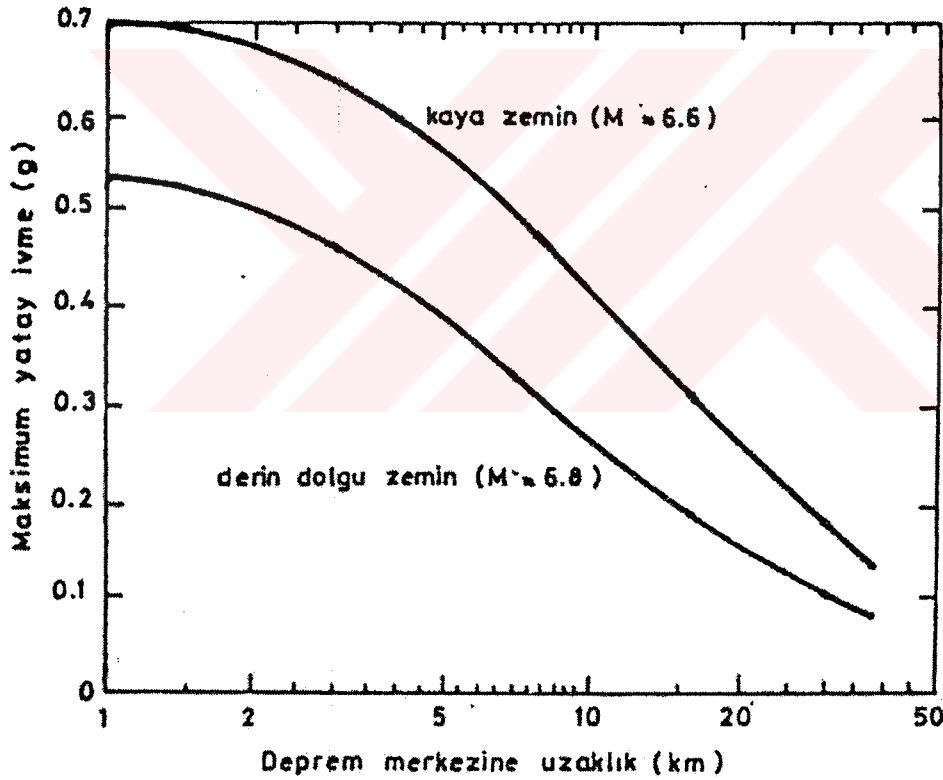
Şekil 2.4 Deprem hareketinin ölçülen A en büyük genliğinin yatay mesafe ile olan değişimi (Celep ve Kumbasar, 1991)

2.5 Zemin Durumunun Deprem Hareketine Etkisi

Deprem yer altındaki bir kaynaktan yayılan titreşim hareketi olduğu bilindiğine göre, yeryüzündeki bir bölgede meydana getirdiği etkinin bağlı olduğu belli başlı parametreler;

- Deprem şiddeti
- Göz önüne alınan bölgenin, enerjinin açığa çıktığı kaynağa uzaklığı
- Kaynaktan yayılan deprem dalgasının göz önüne alınan yere gelinceye kadar geçtiği ara bölgenin jeolojik durumu
- Deprem enerjisinin açığa çıkma türü
- Ara bölgede bulunan faylardan veya serbest yüzeylerde deprem dalgasının kırılması ve yansımaları
- Göz önüne alınan bölgedeki zemin durumu

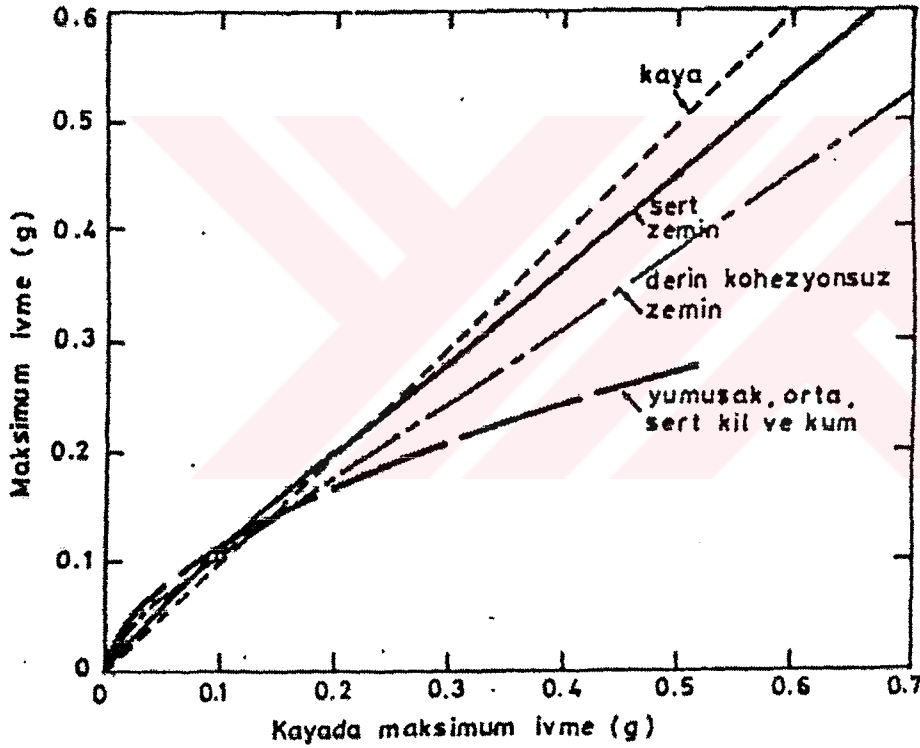
olarak sıralanabilir. Bu sayılan parametrelerden zemin durumu ile ilgili olanların depremin karakterine olan etkisi aşağıda açıklanacaktır.



Şekil 2.5 Maksimum deprem ivmesinin zemin durumuna ve uzaklığa bağlı değişimi (Celep ve Kumbasar, 1991)

2.5.1 Maksimum İvme

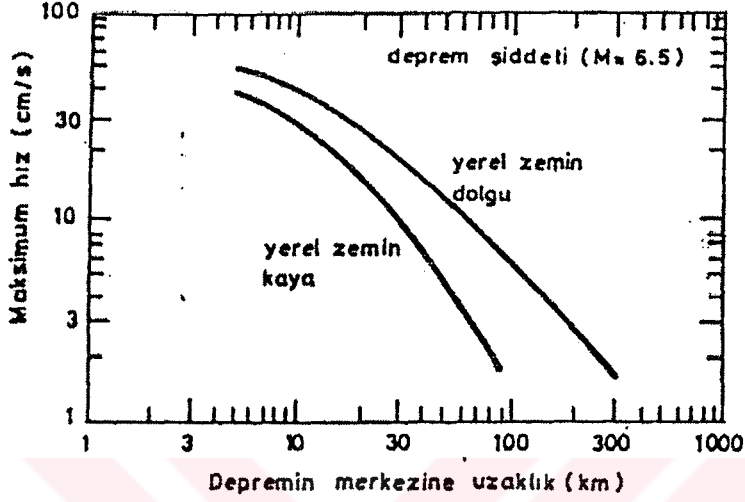
Zemin durumunun maksimum yer ivmesine olan etkisi Şekil 2.6'da gösterilmektedir. Buna göre kayada ölçülen ivme, derin dolguya sahip zeminde ölçülenden daha fazladır. Ancak daha ayrıntılı yapılan araştırmalardan bu durumun maksimum ivmenin 0.1g'den büyük olması halinde ortaya çıktığını göstermiştir. Şekil 2.6'da görüldüğü gibi eğer maksimum ivme 0.1g'den küçük ise durum tersine dönmekte ve maksimum ivme derin dolguda kayadakinden daha fazla ortaya çıkmaktadır. Aradaki fark yumuşak ve orta derinlikteki kil ve kumlar için oldukça belirgindir. Diğer zemin çeşitleri için ise, zemin durumunun maksimum ivme değerine önemli bir etkisinin olmadığı söylenebilir.



Şekil 2.6 Değişik zemin durumları için maksimum deprem ivmesi
(Celep ve Kumbasar, 1991)

2.5.2 Maksimum Hız

Zemin durumunun maksimum hıza olan etkisi Şekil 2.7'de verilmiştir. Bu durumda, yerel zeminin meydana gelecek maksimum hıza önemli etkisi olduğu görülmektedir. Dolgu zeminde meydana gelen hız yaklaşık olarak kayadaki hızın iki katı civarındadır.



Şekil 2.7 Maksimum deprem hızının depremin merkezine olan uzaklığa bağlılığı (Celep ve Kumbasar, 1991)

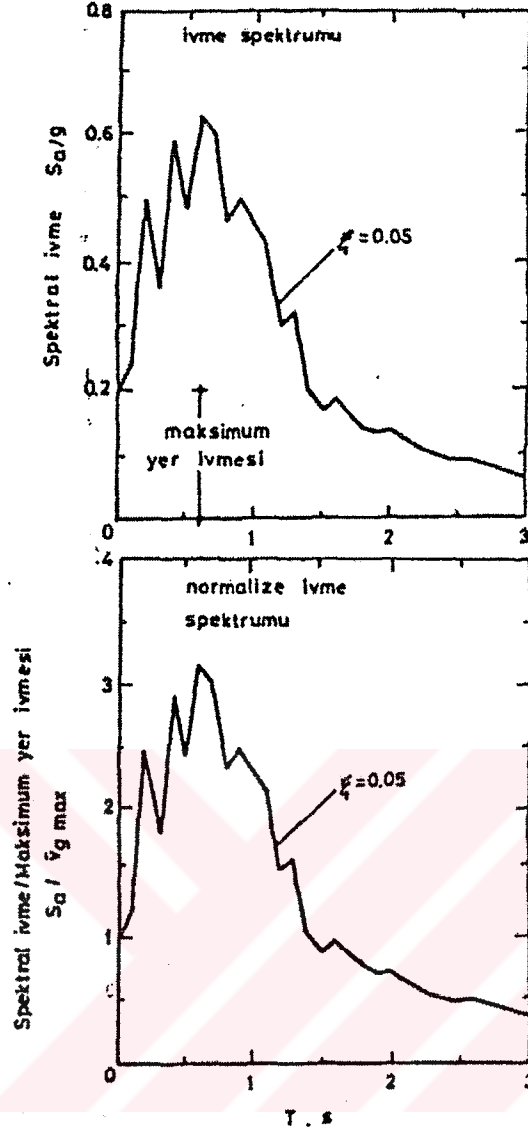
2.5.3 Spektrum

Deprem hareketinin spektrumu zemin durumundan önemli derecede etkilenir. Farklı zemin durumlarına ait spektrum eğrilerinin birbirleriyle kıyaslanması amacıyla, önce spektrum eğrilerinin normalize edilmesi gereklidir.

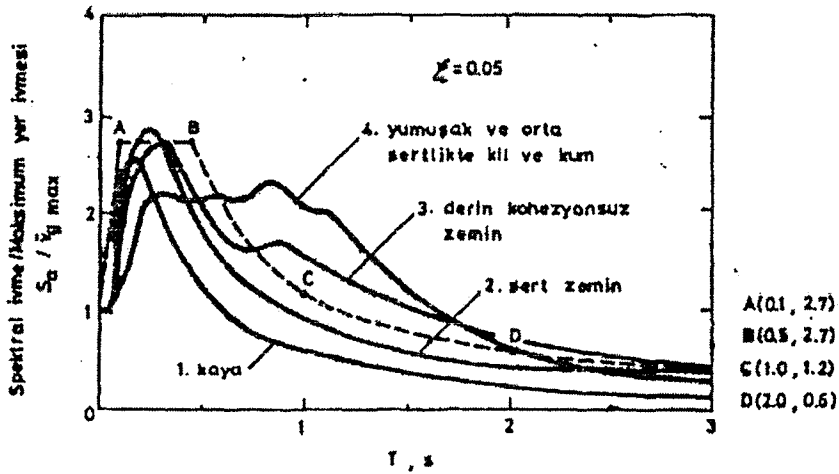
Örneğin Şekil 2.8'de alışlagelen bir ivme spektrum eğrisi ve onun sıfır periyottaki değerine göre normalize edilmiş şekli gösterilmiştir. Şekil 2.9'da dört tür yerel zemin durumu için spektrum eğrileri verilmiştir.

1. Kaya
2. 70 metreden daha az kalınlıkta sert zemin
3. 80 metreden fazla kalınlıkta kohezyonsuz zemin
4. Yumuşak ve orta sertlikte kil ve kum dolgunun bulunduğu yerel zemin

Eğrilerin incelenmesinden özellikle 0.5sn'den büyük periyot için oldukça farklılıkların bulunduğu görülür. Kohezyonsuz zeminde ve yumuşak, orta sertlikteki kil dolgusunda spektral değerlerin 0.5sn'lik periyodun üzerinde, sert zemin ve kayaya göre daha büyük olduğu görülmektedir. Bu ise, söz konusu zeminlerin uzun periyoda ait titreşim bileşenlerinin daha büyük oranlarda yer hareketi ile etkileşime girdiğini gösterir.

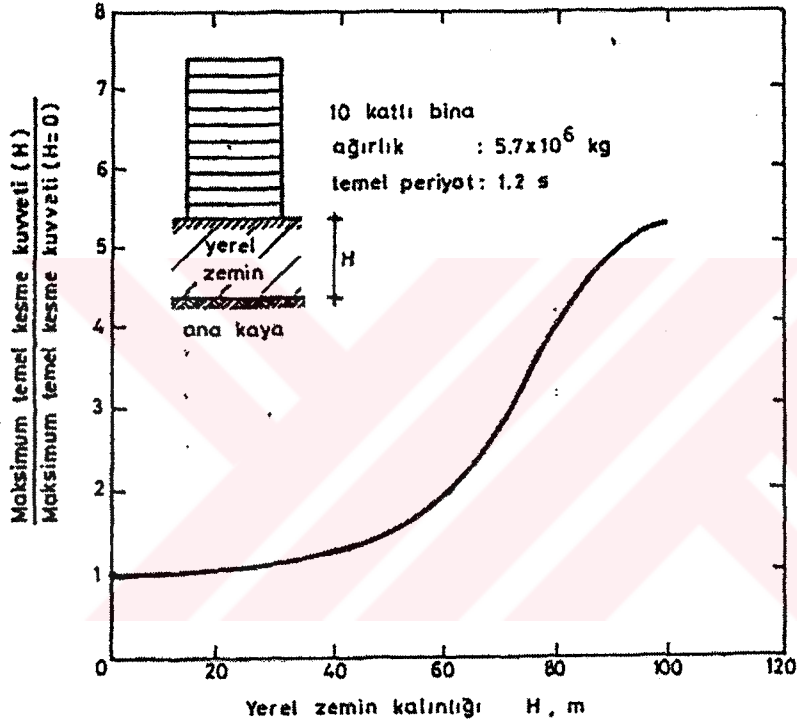


Şekil 2.8 Deprem ivme spektrumunun normalize edilmesi
(Celep ve Kumbasar, 1991)



Şekil 2.9 Değişik yerel zemin durumları için ortalama ivme spektrumu
(Celep ve Kumbasar, 1991)

Şekil 2.10'da ise on katlı bir yapıdaki deprem taban kesme kuvvetinin ana kaya üzerindeki dolgu zemin yüksekliğine oranı gösterilmiştir. Şekilden, yapı ile ana kaya arasındaki zemin kalınlığı arttıkça, taban kesme kuvvetinin de büyüdüğü görülmektedir. Bu durum Şekil 2.9'da verilen spektrum eğrileri ile de uyuşmaktadır. Göz önüne alınan yapının periyodu $T=1.2$ sn için yerel zeminin kaya olması durumunda spektral ivme değeri en düşük olarak belirmektedir. Şekil 2.9'da verilen ivme spektrum eğrilerinin kaya ve sert zeminler için ABCD noktalarından geçen bir eğri şeklinde birleştirilmesi tavsiye edilebilir.



Şekil 2.10 San Francisco 1957 depreminde zemin kalınlığının maksimum kesme kuvvetine olan etkisi (Celep ve Kumbasar, 1991)

2.5.4 Zeminin Sıvılaşma Potansiyeli

Deprem sırasında yapılarda meydana gelen hasarların en önemli sebeplerinden birisi de, suya doymuş kumlu dolgularda sıvılaşmanın ortaya çıkmasıdır. Bu durumda zemin yüzünde kabarmalar belirebilir ve akma eğilimi gösteren kısımlar oluşabilir. Zeminlerin sıvılaşması sonucu yapı zemine batma, veya hafif yapılarda yukarı doğru hareket ederek yüzme eğilimi gösterebilir. Zeminde sıvılaşma olayı pek çok depremde gözlenmiştir. Ancak 1964 Niigata (Japonya) ve Alaska (ABD) depremlerinde bu olaydan ortaya çıkan hasarlar önemli boyutlara ulaşmıştır. Depremden hemen sonra zeminde meydana gelen çatlaklardan su akmaya başlamış, bazı yerlerde 1m'ye varan oturmalar görülmüştür. Zemindeki düşey hareket, yapılarda dönmelere sebep olmuş ve binlerce binada ağır hasarlar meydana gelmiştir.

Kohezyonsuz suya doymuş zeminde sıvılaşmanın en önemli nedeni, yer hareketi ile meydana gelen yön değiştiren kayma gerilmelerinin, hidrostatik basıncı arttırması olarak kabul edilmektedir. Bu kayma gerilmelerinin etkisiyle, zeminin hacmi küçülür ve daha sıkı duruma gelirken zemin danelerindeki gerilme azalır. Eğer su zeminden ayrılamıyorsa, boşluk suyu basıncı artar. Boşluk suyu basıncı, uygulanan basınca eşit olduğunda, etkili gerilme sıfır olur ve kumun yapısında şekil değiştirmeler meydana gelir. Eğer kum gevşekse, boşluk suyu basıncı ani olarak uygulanan basınca ulaşır ve kumda büyük şekil değiştirmeler oluşur. Şekil değiştirmelerin çok büyümesiyle sıvılaşma olayı ortaya çıkar. Eğer kum sıkı ise, yön değiştiren deprem etkisi altında kumun yapısı şekil değiştirme yaparak etkilere karşı koyacak kararlı duruma gelir. Ancak kararlı duruma gelmek için gereken şekil değiştirme, dış etkinin uzun süre devam etmesiyle artabilir. Dış etkinin kaybolmasından sonra artık bir boşluk suyu basıncı kalır. Bu ise, boşluk suyunun yukarı doğru hareketine neden olabilir.

3. TÜRKİYE ve KARADENİZ BÖLGESİNİN JEOLJİK ÖZELLİKLERİ İLE DEPREMSELLİĞİ

3.1 Giriş

Genellikle bir bölgenin jeolojisi, jeolojik unsurların yaşları dikkate alınarak incelenip, Paleotektonik (yaşlı tektonik) ve neotektonik (genç tektonik) dönemler başlıkları altında sınıflandırılırlar. Türkiye'deki paleotektonik birlikler kuzeyden güneye doğru dört birimle sınırlanmıştır. Bunlar ;

- Kuzey ve kuzeybatı Anadolu sıradağları – Pontidler
- İç Anadolu sıradağları – Anatolidler
- Güney ve Doğu Anadolu sıradağları – Toridler (Toroslar)
- Güneydoğu Anadolu sıradağları – Kenar Kıvrımlı Bölgesi

isimleriyle adlandırılırlar.

Bugünkü Anadolu ve çevresine ait levhalar arası sınırlar şekil 3.1'de gösterilmiştir. Buna göre, Afrika levhasının bir parçası durumunda olan Arap levhası, kuzeye Avrasya levhasına doğru yer değiştirmekte ve doğu Anadolu'yu sıkıştırılmaktadır. Anadolu levhası bu sıkıştırmanın etkisiyle Kuzey Anadolu Fayı (KAF) ve Doğu Anadolu Fayı (DAF) üzerindeki kaymanın getirdiği kolaylıkla batıya doğru hareket etmektedir. Benzer şekilde, İran levhası da kuzeydoğuya yer değiştirerek, Arabistan levhasının neden olduğu sıkıştırmayı açığa çıkarmaktadır (Ketin, 1964,1966).

Türkiye, yapısal ve deformasyon özelliklerine bakılarak, üç ana neotektonik bölgeye ayrılmıştır (Şengör, 1979). Bu bölgeler ;

- Doğu Anadolu sıkışma bölgesi,
- Batı Anadolu açılma bölgesi,
- Orta Anadolu ovalar bölgesidir.

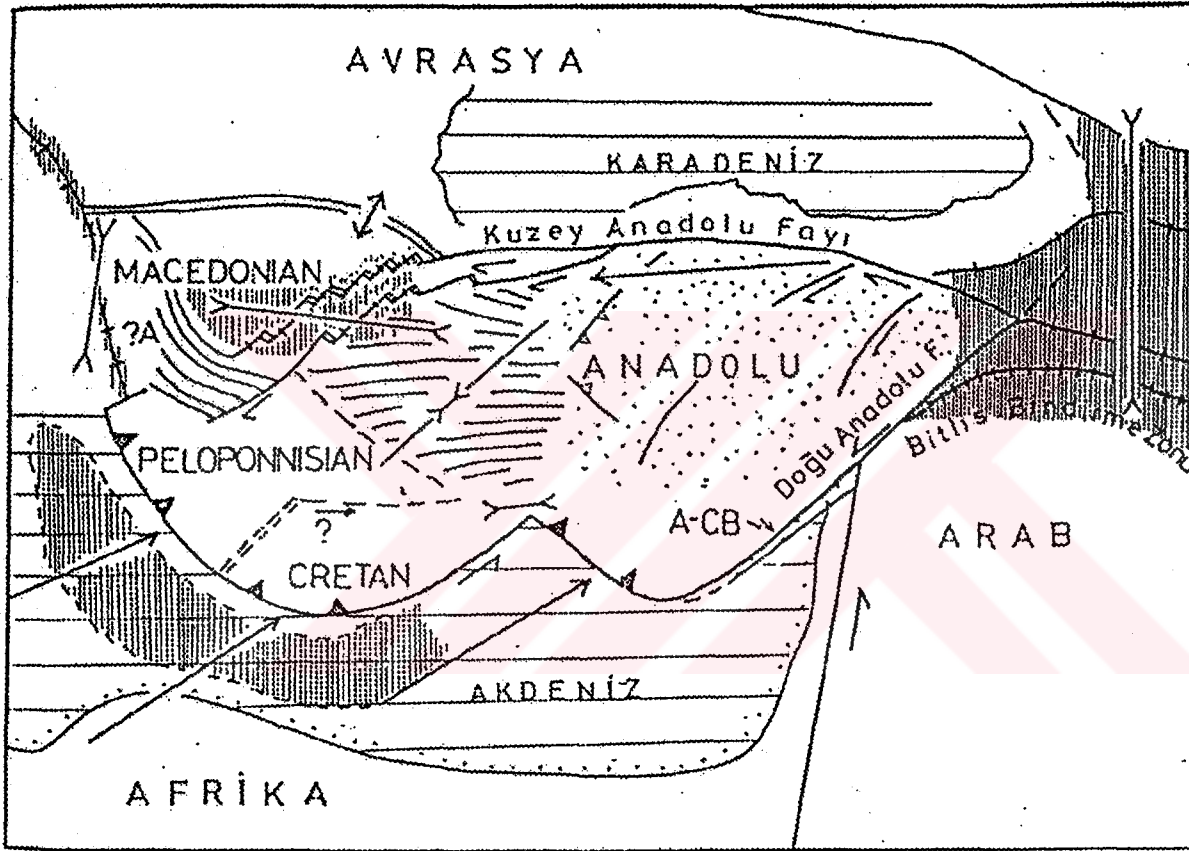
Yukarıdaki üç ana neotektonik bölgeden başka ayrıca üç ufak çaplı neotektonik bölge önerilmektedir (Şengör, 1980). Bunlar ;

- Karadeniz kıyı bölgesi,
- Trakya bölgesi,
- Adana / Klıkya havzası – Isparta açısı sistemidir.

Bu bölgeler, günümüzdeki etkin depremselliği belirleyen aktif fayları, bindirmeleri ve çöküntü havzalarını içermektedirler. Bilindiği gibi Türkiye de gerçekleşen depremler etkin

neotektonik bölgelerle ve kırık kuşaklarıyla ilişkilidir. Bu etkin deprem kuşakları aşağıda sıralanmıştır.

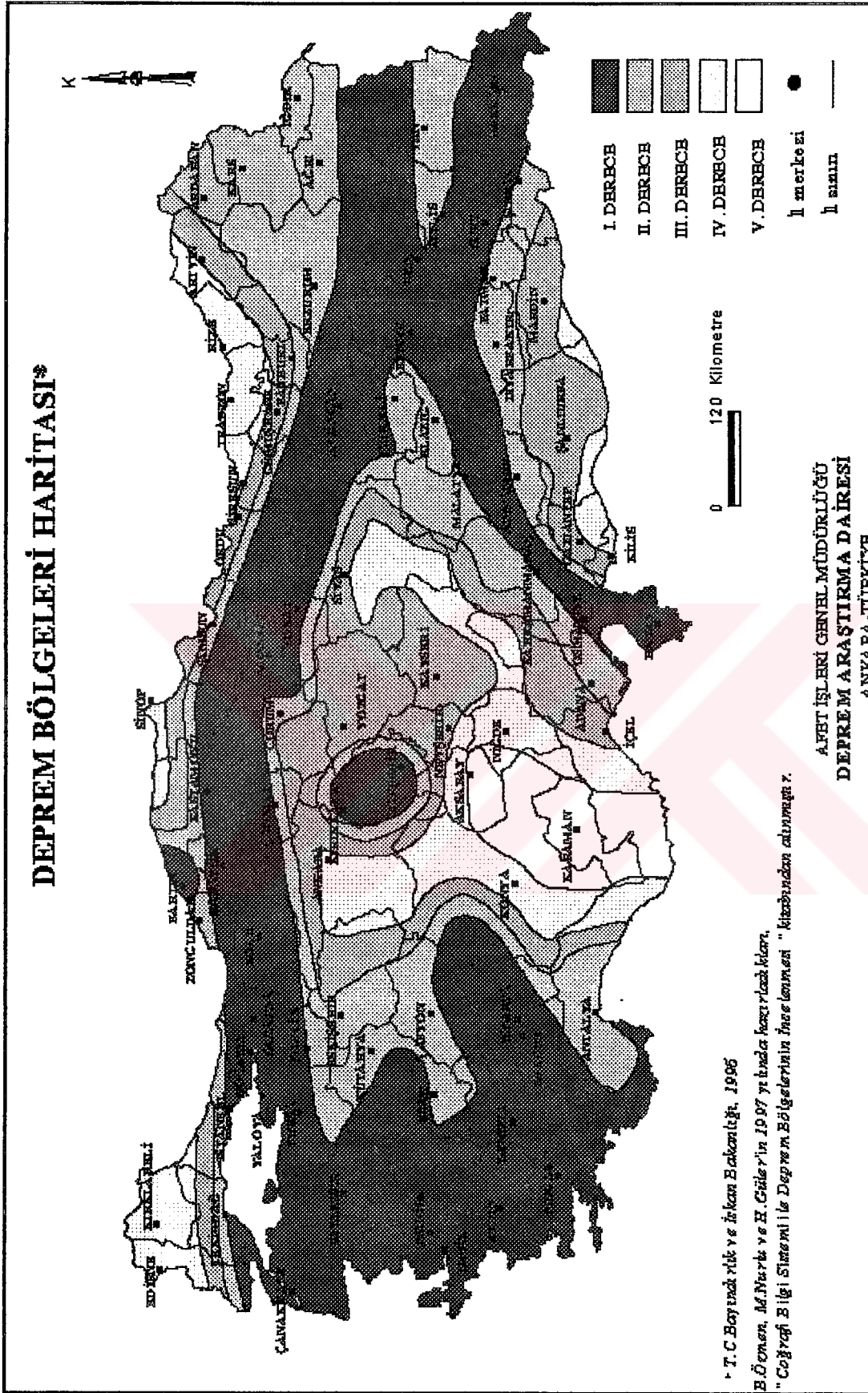
- Kuzey Anadolu Fay Kuşağı,
- Marmara çevresi ve güneybatı Anadolu graben havzaları,
- İskenderun körfezi ve Amik ovası kenarları,
- Güneybatı Anadolu'nun Ege kıyıları ve Ege denizi,
- Antalya körfezi açıkları – Kıbrıs kuşağı,
- Malatya – Karlıova – Varto – Kars üzerinden Kafkaslara doğru uzanan kuşak.



Şekil 3.1 Türkiye ve çevresindeki jeolojik ve tektonik etkinlikte önemli rol oynayan levhalar, tektonik sınır ve bölgeler (Eyidoğan, Güçlü, Değirmenci, 1991).



Şekil 3.2 Türkiye diri fay haritası



Şekil 3.3 Türkiye deprem bölgeleri haritası

Depremsellik kıtadan kıtaya olduğu gibi, ülkeden ülkeye ve ülkelerin kendi içindeki bölgelere göre de değişiklik gösterir. Bir ülkede bazı bölgelerde sık ve şiddetli depremler meydana gelirken, bazı bölgelerde ise daha az ve hafif depremler oluşabilir. Bu farklılıklar sayesinde kıtalar ve ülkeler depremsellikleri birbirlerinden farklı bölgelere veya zonlara bölünebilmekte, deprem bölgeleri, zonları haritaları yapılabilmektedir.

Şekil 3.3'de verilen Deprem Bölgeleri Haritası'na göre, yurdumuzun %92'sinin deprem bölgeleri içerisinde olduğu, nüfusumuzun %95'inin deprem tehlikesi altında yaşadığı ve ayrıca büyük sanayi merkezlerinin %98'i ve barajlarımızın %93'ünün deprem bölgesinde bulunduğu bilinmektedir.

3.2 Karadeniz Bölgesi'nin Depremselliği ve Kuzey Anadolu Fay Kuşağının Türkiye'nin Depremselliğine Etkisi

Ülkemiz dünyanın en önemli aktif kuşaklarından biri olan ve Azor Adaları'ndan başlayıp Güneydoğu Asya'ya kadar uzanan Alp-Himalaya deprem kuşağı üzerinde yer alan bir konuma sahiptir. Bu kuşak eski jeolojik dönemler boyunca hareketli ve tektonik yönden aktif bir kuşaktır. Dolayısıyla bu kuşak üzerinde yer alan ülkemiz de Alp-Himalaya dağ kuşağının tektonik özelliklerini bünyesinde taşımaktadır.

Yeryuvarlığının en karmaşık bölgelerinden biri olan ve deprem aktivitesinin yüksekliği ile dikkatleri üzerine çeken Türkiye, güneyde kuzey ve kuzeybatıya hareket eden Afrika ve Arap plakaları ile kuzeydeki Avrasya plakaları arasında yer almaktadır. Bu plakaların sıkıştirması nedeni ile batıya doğru kaçmaya zorlanan Anadolu plakasının hareketi, batıda Ege plakasının durdurulmaya çalışılınca bölgede kuzey-güney yönlü genişlemeler, Ege Graben Sistemleri meydana gelmiştir. Ülkemizde oluşan depremlerin çok büyük bir kısmı Anadolu plakasının çevresindeki plakalarla olan sınır zonlarında meydana gelmektedir. Bu zonlar ya da kırık hatları;

- 1- Kuzey Anadolu Fayı (KAF)
- 2- Doğu Anadolu Fayı (DAF)

Kuzey Anadolu Bölgesinin depremselliğine büyük ölçüde Kuzey Anadolu Fayı (KAF) damgasını vurmaktadır. Kuzey Anadolu Fayı (KAF), Ketin (1967) tarafından açıklandığı üzere, Türkiye'deki aktif fayların tipik bir örneği olup, Biga Yarımadası'nda Yenice-Gönen'den başlar, Abant, Bolu, Gerede, Ilgaz, Tosya, Ladik, Erbaa, Kelkit Vadisi, Erzincan Ovası, Elmalı Deresi, Üstükran, Varto ve Van Gölü kuzeyinden geçer. Zaman zaman yatak kayma hareketleri sonucu şiddetli depremlere sahne olan bu bölgede fay morfolojisi 2000

km'ye yakın bir güzergah boyunca müşahade olunabilmektedir. Doğrultu atımlı olan bu fay sisteminde arz kabuğunda hızlı bir deformasyon mevcut olup, bu fay hattı 10-12 milyon seneden beri hareket halindedir.

Plaka tektoniği açısından bakıldığında; KAF'ın kuzeydeki "Karadeniz plakası" ile güneydeki "Türkiye plakası" arasındaki sınırı oluşturduğu ve sınır boyunca sağ-yanal atımlı hareketlerin yer aldığı görülür yani fay doğrultu atımlı sağ yönlü bir faydır.

Türkiye'deki büyük şiddetteki ($M > 6.5$) depremlerin çoğunlukla bu kuşak içinde oluştuğu bilinmektedir.

Fay mekanizmasının anlaşılabilmesi için, KAF zonundaki gerilim (stress), birim deformasyon (strain) ve yer değişim (displacement)'lerin fay boyunca dağılımlarının bilinmesi gerekir.

17 Ağustos 1999 Gölcük depremi de KAF'ın batı ucunda yaklaşık 150 yıldır yırtılmayan bir parçanın yırtılması, önemli miktarda enerji ve sarsıntı açığa çıkması ile meydana gelmiş olup Kandilli Rasathanesi bulgularına göre odak derinliği yaklaşık 10-15 km ve büyüklüğü 7.4'tür. Depremi oluşturan fayın yüzeyde izlenen izi olan aktif yüzey kırığının toplam uzunluğunun yaklaşık 120-130 km olduğu belirlenmiştir. 4.5 m'ye varan sağ yanal atımlar meydana gelmiştir.

KAF zonu boyunca depremler esnasında ölçülen yatay kayma miktarı 30 cm ile 4.5 m civarında değişmektedir. Düşey kaymalar ise 0.40 ile 1 m arasında değişmektedir.

Toksöz (1979), KAF'ı Avrasya (Karadeniz) ile Anadolu Levhalarının sınırını meydana getirmekte olan, 31°E ve 41°E boylamları arasında morfolojik olarak tanımlanan, 31°E boylamının batısında ise iki veya üç kola ayrılmakta olan bir fay olarak tanımlamıştır.

Tabban (1970), Kuzey Anadolu'daki fay hareketlerinde Kuzey Anadolu Fay Hattı'nın kuzeyindeki arazi parçasının güneydeki parçaya nispetle doğuya doğru kayma gösterdiğini belirtmiştir. Bu zondaki depremler genellikle sığ depremler olup, tektonik arızalar mantoya kadar inmemektedir.

KAF zonunda depremler esnasında oluşan hareketin sağ yönlü oluşu, depremlerden sonra gözlenen yol ve duvarların bu yönde yer değiştirmeleri, fay hattının kestiği yerlerdeki sağ yönlü ötelenmelerden (kaymalardan) faydalanarak ortaya konmaktadır. KAF boyunca sağ yanal kayma, Pliyosen başlarından itibaren daha etkin ve belirgin olmaya başlamıştır. Fayın sağ yanal atımlı olduğu ilk kez Ketin (1948) tarafından belirtilmiştir. Bugüne değin yapılan çalışmalarda KAF boyunca meydana gelen toplam atım miktarı, değişik bilim adamlarınca ve

farklı yerlerde yapılan çalışmalarda ortaya konmuştur. Fayın atımı bölgelere göre değişiklik göstermektedir. Ancak 4 milyon yıl öncesinden günümüze değin Kuzey Anadolu Fayının yanal uzanımı boyunca toplam yer değiştirme miktarı ortalama bir değerle 40 km kadardır. Kayma miktarı için ortalama yıllık değerler vermek gerekirse, KAF'ın keserek geçtiği değişik bölgelerde, bir yıldaki kayma miktarları ortalama bir değerle 0.4cm ile 2cm arasında değişmektedir. Bu değerler yaklaşık olup, kayma miktarı batıda göreceli daha fazladır. Bu demektir ki KAF, ortalama 1000 yılda en fazla 20m'lik sağ yanal atım yapmaktadır. 1000 yıllık periyotta 20m'lik atım yapan KAF üzerinde Gölcük-Arifiye boyunca 45 saniye içerisinde yaklaşık 4.0-4.5m civarında dev sağ yanal atım meydana gelmesi ve büyüklüğü bu bakımdan önemlidir.



Şekil 3.4 1999 Gölcük-Arifiye depremi sonrası yüzeyde gözlenen kaymalar



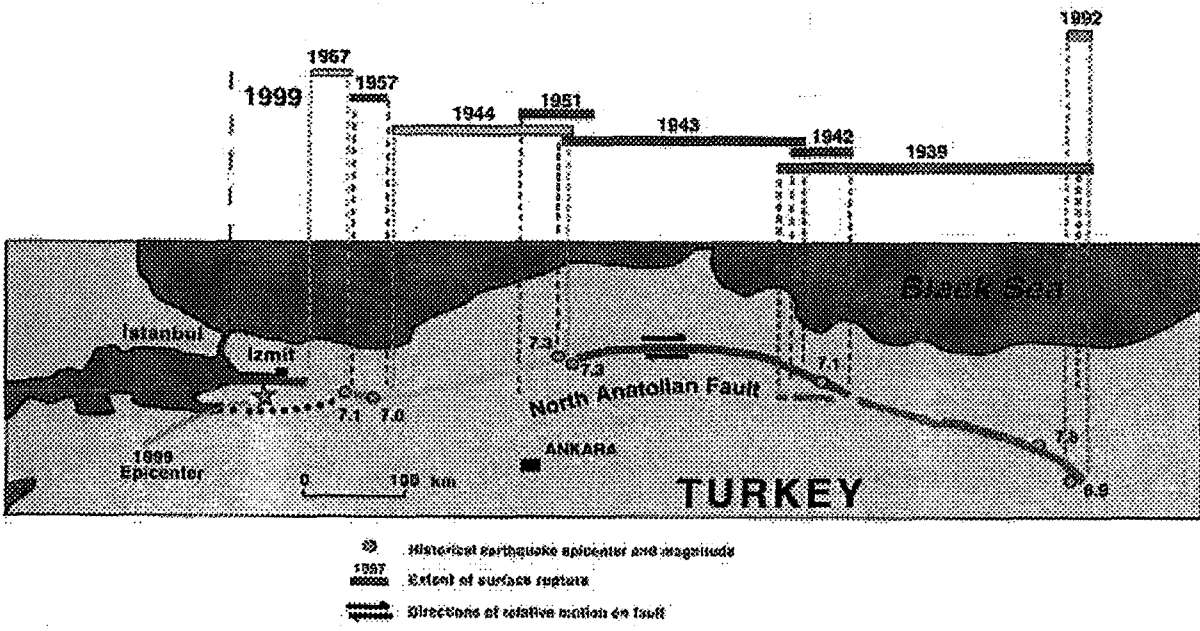
Şekil 3.5 1999 Gölcük-Arifiye depremi sonrası demiryolu raylarındaki yanal yer değiştirme

Kuzey Anadolu Fayı, ülkemizde deprem üreten bir kırık hattıdır. Bu fay boyunca değişik dönemlerde bir çok deprem olayı yaşanmıştır. KAF boyunca Anadolu levhasının kuzeydeki Karadeniz kara parçasına nazaran, batıya doğru hareket etmesi, bu kırık hattı üzerinde bulunan depremlerin de batıya doğru göç etmesine neden olmaktadır. Ketin (1948), Kuzey Anadolu'da oluşan depremlerin, KAF'ın sağ yanal hareketi sonucu meydana geldiğini öne sürmüştü ve bu fay boyunca Anadolu levhasının batıya doğru hareket ettiğini işaret etmiştir.

KAF ve DAF hatlarının oluşumu ve etkinliklerinden sonra, genelde tüm jeolojik dönemler boyunca depremlerin doğudan batıya doğru taşındığını görmekteyiz. Eskiden başlayan bu özellik günümüzde de benzer şekillerde sürmektedir. Bunun nedeni, K-G yönlü sıkışmadan kaynaklanan gerilmelerin KAF ve DAF boyunca sürekli olarak batıya aktarılması işlemidir. Ülkemizde önemli hasar yapmış olan 1939 Erzincan depreminden itibaren 17 Ağustos Gölcük-Arifiye depremine kadar meydana gelmiş 7 ayrı depremi incelediğinizde, KAF boyunca oluşan depremlerde batıya doğru bu göç olayı yine izlenir. KAF boyunca doğudan batıya doğru olan bu deprem göçü ilk kez 1944 yılında dikkati çekmiştir. Gölcük-Arifiye depremi de bu göçün halen devam ettiğini göstermektedir. Can kaybı ve hasar yaratan büyük depremler arasında bunların istisnaları 1992 Erzincan ve 1999 Düzce depremleridir. 1999 Kasım Düzce Depremi KAF üzerinde Gölcük depreminden sonra meydana gelmiş olup daha doğuda yer almaktadır. KAF boyunca doğudan batıya doğru göç eden ve büyüklüğü 7.0 ve üstü olan bu büyük depremler, oluşum tarihlerine göre aşağıda sıralanmıştır.

- 26 Aralık 1939 Erzincan depremi (M=7.9, yüzey kırığı 350 km)
- 20 Aralık 1942 Erbaa-Niksar depremi (M=7.0, yüzey kırığı 50 km)
- 26 Kasım 1943 Tosya-Ladik- Ilgaz depremi (M=7.2, yüzey kırığı 265 km)
- 1 Şubat 1944 Çerkeş-Bolu-Gerede depremi (M=7.4, yüzey kırığı 190 km)
- 26 Mayıs 1957 Bolu-Abant depremi (M=7.1, yüzey kırığı 40 km)
- 22 Temmuz 1967 Mudurnu depremi (M=6.8, yüzey kırığı 60 km)
- 17 Ağustos 1999 Gölcük-Arifiye depremi (M= 7.4, yüzey kırığı 120 km)

Büyüklüğü 7 civarında olan bu depremlerdeki sıralanışın yerbilimleri ve depremsellik açısından anlamı, bir önceki oluşan depremin, KAF üzerinde doğudan batıya doğru bir sonraki oluşacak olan depreme yoğun gerilme aktarmasıdır.



Şekil 3.6 Kuzey Anadolu Fayı üzerinde son yüzyılda meydana gelen yıkıcı depremler (MTA ve JGS ortak çalışması)

3.3 Doğu Anadolu Fay Kuşağının Türkiye'nin Depremselliğine Etkisi

Doğu Anadolu Fay Kuşağı, Karlıova'dan başlayıp Kahramanmaraş üzerinden Akdeniz'e kadar uzanan, sol yönlü bir hareket gösteren, ortalama 400 km uzunluğunda bir faydır. Doğu Anadolu Fay Kuşağında fay çizgiselliği zaman zaman dönmeler ve sıçramalar içermekte, fay gölleri ve çöküntü havzaları bulundurmaktadır.

Jeolojik veriler bu fay üzerinde 0.5 cm/yıl büyüklüğünde bir hareket hızı olduğunu göstermektedir. Görüldüğü üzere bu hız Kuzey Anadolu Fayı üzerindeki hareket hızından iki kat daha azdır (Dewey vd., 1986).

Aletsel kayıt dönemi içerisinde Doğu Anadolu Fayı boyunca $M > 6.0$ büyüklüğünde ancak birkaç deprem olmuştur. Tarihsel olarak incelendiğinde fay boyunca şiddeti I – VIII olan birkaç deprem görülmektedir (Ergin vd., 1967 ; Soysal vd., 1981). Doğu Anadolu Fay kuşağında 1964 – 1986 yılları arasında olmuş ve büyüklüğü $M=5.5$ olan dört depremin (1964, 1971, 1986 depremleri) kaynak parametrelerinin incelenmesi sonucu, fayın bu dönem içerisinde 3.4 cm/yıl düzeyinde bir kayma hızı ile hareket ettiği ve bu kuşak üzerindeki büyük depremlerinin kayma vektörlerinin Doğu Anadolu Fayı'nın doğrultusu ile ilişkisi olduğu bulunmuştur (Taymaz vd., 1991). Ayrıca, fayın çevresindeki ikincil fayların etkin olduğu ve hasar meydana getirecek potansiyele sahip olduğu anlaşılmaktadır.

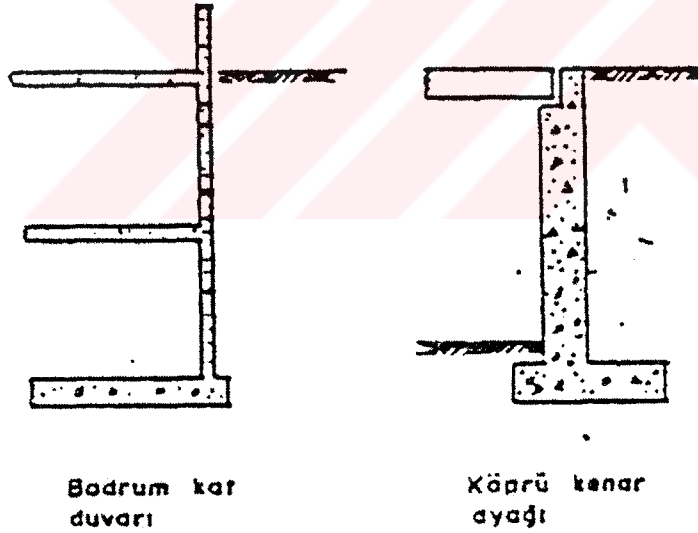
4. İSTİNAT DUVARLARI

4.1 Giriş

İstinat duvarlarını kütle istinat duvarları ve kütle olmayan istinat duvarları olarak iki katogoride inceleyebiliriz.

Kütle istinat duvarları kendi ağırlıkları ile stabiliteyi sağlarlar. Duvar gövdesi değişik şekil ve kombinasyonlarda inşa edilebilir. Yapının gövdesi, beton kütle, betonla birlikte zemin veya sadece zemin şeklinde oluşturulabilir. Bu duvarlar rijit veya bükülebilir olarak sınıflandırılabilir. Bu tip duvarların hepsi üstten serbest olup deplasmana müsaittir, bu nedenle de aktif toprak basıncı kolayca oluşur.

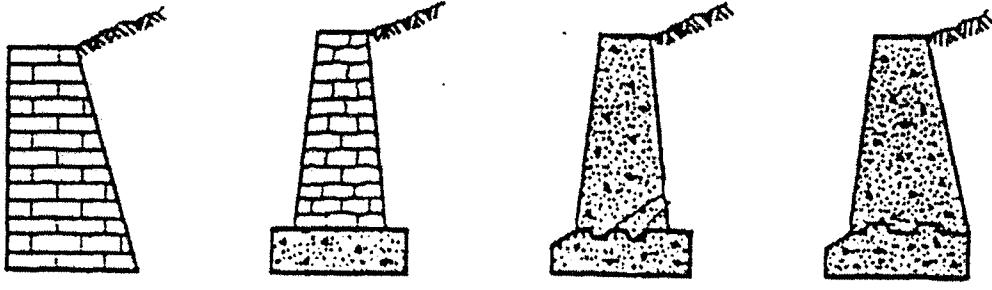
Kütle olmayan duvarlarda ise harekete izin verilmez. Bodrum duvarları, köprü giriş ayakları bu tipi oluştururlar.



Şekil 4.1 Kütle olmayan istinat duvarlar

Duvar Tipi	Yaygın duvarlandırma	Yük Diyagramı
Ağırlık	<p>$B = 0.4 \text{ to } 0.5 H$</p>	<p>arkaropuk</p>
Yarı ağırlık	<p>$d = 60 \text{ cm minimum}$</p>	<p>donatı</p>
Konsol	<p>sercihen 10 cm</p> <p>min. eğim = 1/50</p> <p>Kalınlık H/12 to H/10</p> <p>$B = 0.4 \text{ to } 0.7 H$</p>	<p>toprak basıncı</p>
Payandalı	<p>30 cm</p> <p>20 cm minimum</p> <p>$B = 0.4 \text{ to } 0.7 H$</p>	<p>kesit A-A</p>

Şekil 4.3 Beton kütle duvar çeşitleri, genel boyutları ve yük diyagramları (Navfac, 1982)



Şekil 4.4 Basit Kütle Duvarlar

4.2.3 Betonarme Konsol Duvarlar

Genellikle 8m. seviyesindeki duvarlar için ekonomiktirler. Bunun sebebi duvarın gövde birleşiminde yeterli mukavemetin sağlanması gereğidir. Arka toprak üzerine etkileyen toprağın ağırlığı ise aktif itkiye direnç sağlamak için beton ağırlığına ilave edilir.

4.2.4 Payandalı Duvarlar

Şekil 4.3'te görüldüğü gibi payandalarla güçlendirilmiş, yükseklikleri 8m'den 12 m'ye kadar değişen konsol duvarlardır. Boyutlandırılmaları konsol duvarlara benzer ve payanda aralıkları duvar yüksekliğine bağlı olarak $(1/3)$ ile $(1/2)H$ arasında değişir. Yüksekliğin 10m olduğu duvarlarda aralık bırakma $(1/2)H$ seviyelerindedir. Bu duvarlarda devrilmeye ve kaymaya karşı direnç tabana ankraj yapılarak elde edilebilir.

4.3 Bükülebilir Kütle Duvarlar

Donatılı zemin duvarlar yüksek kapasiteli bir şekilde inşa edilebilirler. Bu duvarlar pozitif eğim drenajı sağlamada ve oturma toleransı açısından doğal avantajlara sahiptirler.

4.3.1 Kaya Dolgulu Butresler

Büyük kaya parçacıkları ile inşa edilirler. Topuk yerinin uygunluğuna göre hareket eden şevleri stabilize etmekte kullanılırlar.

4.3.2 Tel Sandık Tipi Duvarlar

Bunlar, içi kaya veya çakıl dolu metal bloklar ile inşa edilen duvarlardır. Metal bloklar genellikle, 1m x 1m kesitinde olup 2m'ye varabilen uzunluklara sahiptirler. Bu duvarlarda tüm yapının stabilitesi hesaplanırken her bir bloğun da stabilitesi gözönünde

bulundurulmalıdır. Duvar yüzü düşeyden 6° kadar geriye doğru yatırılır. Maksimum yükseklik 10m civarındadır. Duvarın ön veya arka yüzü basamaklı olabilmektedir.

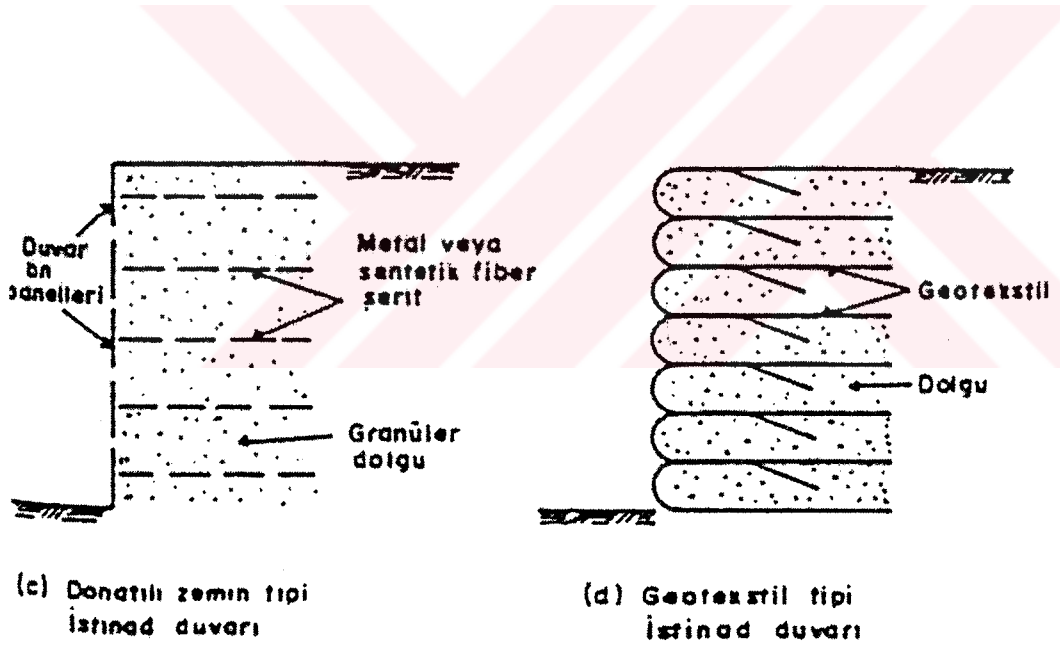
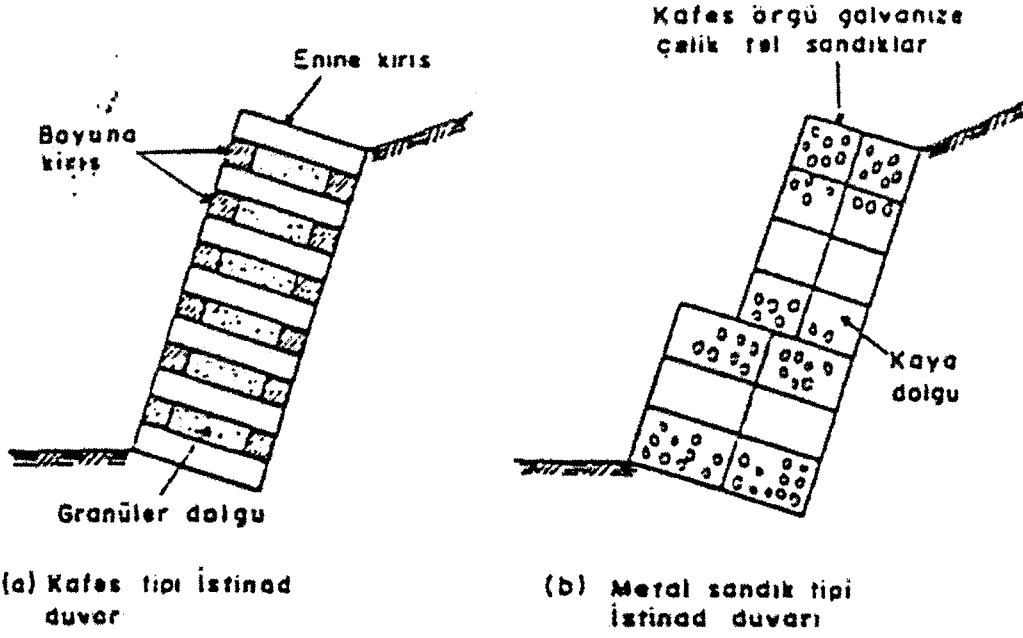
4.3.3 Kafes Tipi Duvarlar

Birbirine bağlı ahşap kereste, prefabrike beton ve metal elemanlardan imal edilen ve içi kırmataş veya diğer kaba daneli malzemelerle doldurulmuş kutulardan oluşan yapılardır. Genellikle yer seviyesindeki sıkıştırılmış yol dolgularında kullanılırlar. Yüksek duvarların enine farklı oturmalara karşı çok hassas olması ve çapraz elemanların zayıflığı ağır sürsarj yüklerinin karşılanmasına meydan vermemektedir.

4.3.4 Donatılı Zemin Duvarları

Şekil 4.5’de görüldüğü gibi genellikle galvanizli çelikten yapılmış şerit veya çubukların çekme gerilmelerini almak üzere dolgunun içine gömülmesi ile inşa edilirler. Şeritler alüminyum, plastik veya biyolojik ayrışma yapmayan örgüler de olabilir. Bu çubuk veya şeritler dış yüzeyde ince elemanlarla birleştirilirler. Bunun amacı yüzeyi tutabilmektir. Bu elemanlar dayanıklılık, estetik (bağlantı yerleri dahil), yatay basınçları karşılama ve her noktadaki gerekli mukavemet açısından prefabrike betondan yapılmaktadır.

Çubuklar gerekli çubuk-zemin sürtünmesini sağlayabilmek için yeterli uzunluk ve genişliğe sahip olmalıdır. Bu uzunluklar genellikle yapı yüksekliğinin 0.8 ile 1.2 katı arasında değişmektedir. Gerekli sürtünmenin elde edilebilmesi için dolgunun θ 'si minimum 25° olmalıdır. Ayrıca dolgunun maksimum %25’lik kısmı No:200 eleğinden geçmelidir (Lee vd., 1973).



Şekil 4.5 Bükülebilir istinat duvarları

4.4 İstinat Duvarlarına Etkiyen Kuvvetler

Sismik basıncın istinat yapıları üzerindeki etkisi relatif sıklılığa ve zemin ile beraber çalışmasına bağlıdır. Zemin-yapı etkileşmesi iki kategoride tanımlanır;

- 1) Esnek yapılar zemin basıncını minimize etmeye kadar hareket etme eğilimindedirler, örneğin serbest duran istinat yapıları gibi.
- 2) Bodrum duvarları ve sabitleştirilmiş istinat duvarları gibi rijit yapılar.

Birinci durumda, aktif basınçlar meydana gelir ve hareket Çizelge 4.1'deki gibi oluşur. Duvar hareketinin miktarı temel sağlamlığına ve duvar esnekliğine bağlıdır. Kesin analizler yapılmalı ve aşağıdaki basınçlar kullanılmalıdır:

- Esneklik: Kaya olmayan malzemeye temellenmiş duvarlar veya 5m'den yüksek destek duvarları.
- Orta Durum: Kayaya temellenmiş 5m'den az yükseklikteki destek duvarlar.
- Rijit Durum: Kayaya temellenmiş ağırlık duvarları ya da kazıklar (Dowrick, 1987)

Çizelge 4.1 Aktif durumu olan duvar hareketi (Dowrick, 1987)

ZEMİN	Duvar Hareketi / Yükseklik
Kohezyonsuz, sıkı	0.001
Kohezyonsuz, gevşek	0.001-0.002
Katı kil	0.01-0.02
Gevşek kil	0.02-0.05

4.4.1 Sismik Toprak Basınçları

Genel olarak, sismik kuvvetleri elde etmede tavsiye edilen ve eşdeğer katsayıları benimseyen metot kullanılmaktadır. Sadece çok nadir yapılarda sonlu elemanları kullanan dinamik analizler mevcuttur.

Ekivalan-statik metotta, zemin kamasının ağırlığına eşit yanal deprem kuvveti sismik bir katsayı ile çarpılmakta ve bunun zemin ağırlık merkezine etkidiği düşünülmektedir. Bu deprem kuvveti duvar üzerindeki statik kuvvetlere ilave bir kuvvet oluşturur.

Genelde, bir deprem süresince duvar üzerine gelen toplam basınç aşağıdaki üç olası parçanın toplamıdır:

- 1) Ağırlık yüklerinden gelmesi beklenen statik basınç,
- 2) Depremden gelmesi beklenen dinamik basınç,
- 3) Dolguya bir dış kuvvetten gelebilecek basınç, örneğin; monolitik bir köprü ayağında yatay sarsıntıdan oluşabilir.

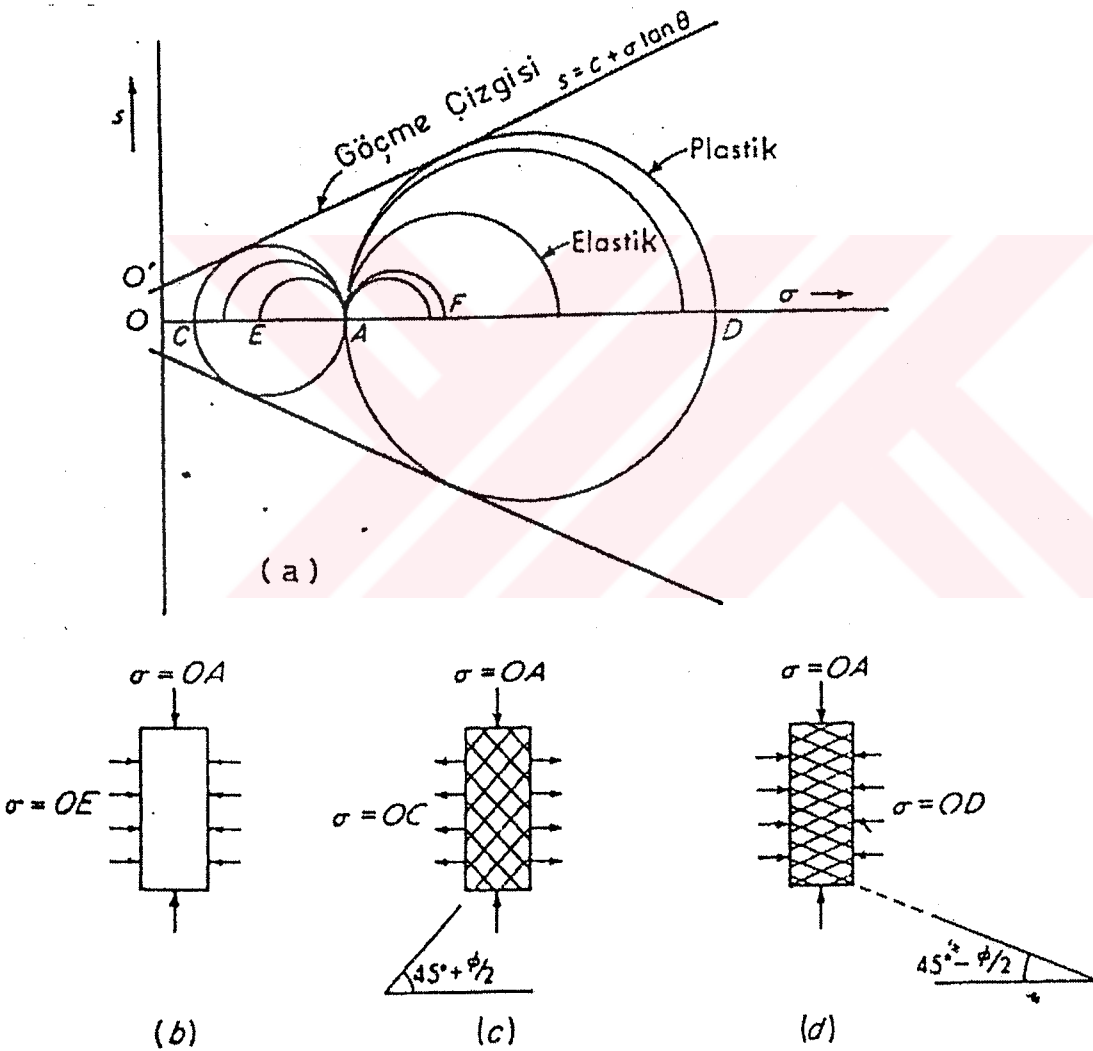
Zemin basınçları aşağıdaki metotlarla tahmin edilebilir:

- 1) Elastik teori
- 2) Yaklaşık plastik teori, Coulomb ve Mononobe-Okabe
- 3) Nümerik metotlar, zemini sonlu elemanlar olarak modelleyen metotlar.

Mononobe-Okabe metodunu kullanmak için efektif zemin ivmesi, yaklaşık olarak 0.3g kadar olmalıdır. Bu da kohezyonsuz zeminlerde statik basınca eşit bir deprem kuvveti meydana getirecek değerdedir.

4.4.1.1 Aktif Toprak Basıncı

Aktif toprak basıncı Şekil 4.6.a'da AC göçme dairesi ile verilen plastik denge durumunu gösterir. Şekil 4.6 b ve 4.6 c'de gösterilen denge durumu aşağıdaki gibidir. Öncelikle, OA ve OE gerilmeleri uygulanarak, K_0 durumu elde edilir. Daha sonra, OE gerilmesi OC'ye düşürülerek kayma açısı elde edilir. OA (maksimum) ve OC (minimum) gerilmeleri Mohr Dairesini oluşturmakta kullanılabilir. OA ile OC arasındaki fark ise daire çapı ve aynı zamanda deviatör gerilmesi olup laboratuarda üç eksenli gerilme deneyinden elde edilebilir. Şekil 4.6 b'deki zemin elemanını tanımlayan düşey ve yatay düzlemler K_0 durumundaki ana düzlemler olduğu için, kayma çizgileri aşağıdaki gibi oluşur.



Şekil 4.6 Elastik ve plastik denge durumunun gösterimi

- Göçmeden önceki (elastik) ve göçme durumundaki (plastik) gerilme
 - OA sabit çevre gerilmesinin başlangıç durumu
 - Aktif toprak basıncı teorisi için kesme göçme yüzeyleri
 - Pasif toprak basıncı teorisi için kesme göçme yüzeyleri
- c ve d'deki kayma çizgileri idealize edilmiştir (Bowles, 1982)

Minimum gerilme $OC = \sigma_3$ aşağıdaki denklemden hesaplanabilir.

$$\sigma_3 = \sigma_1 \tan^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right) - 2c \tan\left(45 - \frac{\phi}{2}\right) \quad (4.1)$$

Bell tarafından verilen bu denklem 1776'da Coulomb tarafından belirgin bir şekilde değiştirilmiştir. Denklem Avrupa literatüründe tanjant fonksiyonu için aşağıdaki şekilde verilmektedir.

$$\tan^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right) = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \quad \tan\left(45 - \frac{\phi}{2}\right) = \frac{1 - \sin \phi}{\cos \phi} \quad (4.2)$$

$45 + \frac{\phi}{2}$ için işaretler ters alınmalıdır.

Gerilmeyi her zaman deformasyon takip ettiği için Şekil 4.6 b ve 4.6 c'de görüldüğü gibi gerilme OE'den OC'ye düştüğü zaman zemin yanal olarak genişler. Bu yanal genişleme kazılarda OE'nin OC'ye değil de sıfıra eşit olduğu zamanlarda da görülür ve bu durum aynı zamanda K_0 'ın ölçülme zorluğunun da sebebidir.

Duvar arkasındaki basınç aktif duruma gelirse (minimum) duvar yanal olarak döner. Duvar beklenen değerlerde dönmezse bunun sonucunda daha fazla yanal basınç oluşacaktır. Herhangi ilave bir dönme aktif toprak basıncında düşmeye sebep olacaktır. Bu sebeple çoğu durumda aktif toprak basıncı duvar tasarımı için kritik bir değerdir.

4.4.1.2 Pasif Toprak Basıncı

Eğer Şekil 4.6 b için K_0 durumundan başlarsak, OA'yı sabit tutarak yanal gerilme OE'yi göçme gerilmesi OD'ye getirirsek Şekil 4.6 a'daki OD dairesini oluşturmak için gerekli verileri elde ederiz. Bu ikinci göçme dairesi ile tanımlanan pasif toprak basıncı durumudur. Bu durumda AD uzunluğu deviatör gerilmesini vermektedir. Kayma düzlemleri yatayla ϕ açısı yapmaktadır ki bu açı malzemenin sadece mekaniğiyle ilgilidir.

Ana gerilme $OD = \sigma_1$, aktif basınçtaki gibi Mohr dairesinden;

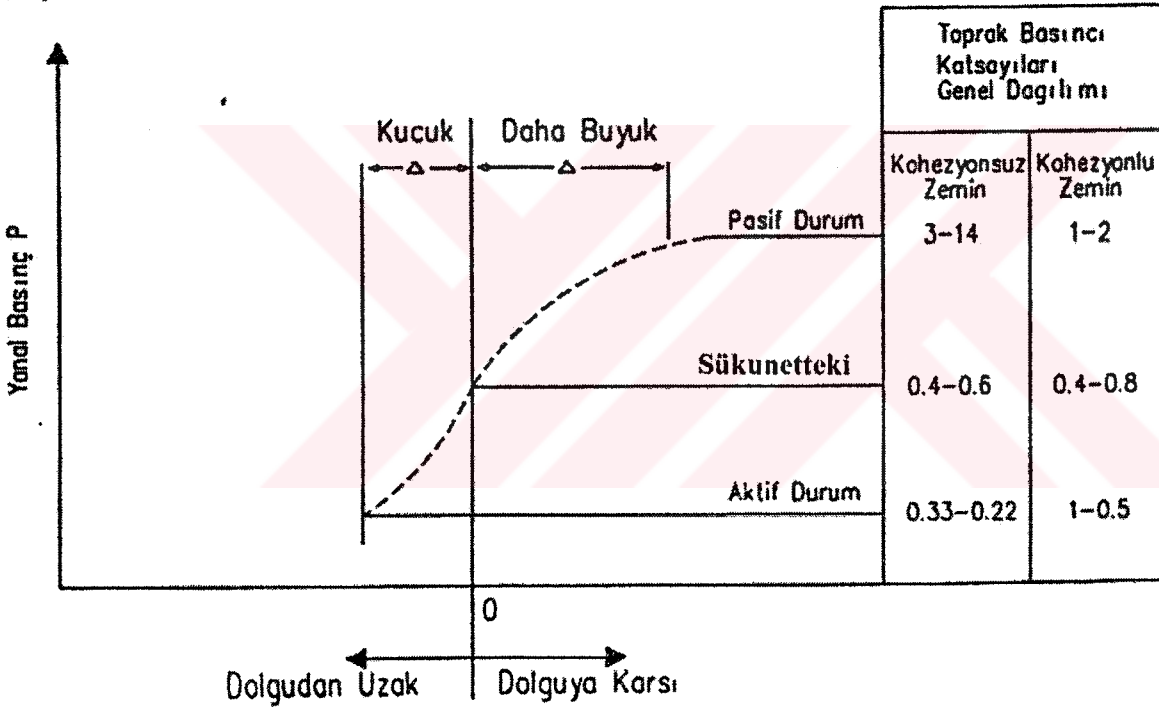
$$\sigma_1 = \sigma_3 \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) + 2c \tan\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) \quad (4.3)$$

Pasif toprak basıncı, Şekil 4.6 b ve 4.6 d'de görüldüğü gibi yanal basıncı OE'den OD'ye arttırarak elde edilir. Bu duvarı yatay şekilde zemine itmeye hemen hemen aynıdır. Duvarlar nadiren pasif toprak basıncına göre tasarlanır (Bowles, 1982).

4.4.1.3 Coulomb Toprak Basıncı Teorisi

Coulomb, 1776 yılında, toprak basıncı kabullerini şu şekilde açıklamıştır;

- 1) Zemin izotropik ve homojendir. Ayrıca içsel sürtünme ve kohezyon da içermektedir.
- 2) Göçme yüzeyi düzlemseldir. Coulomb bunun böyle olmadığını fark etmiştir fakat hesaplarını kolaylaştırmak için kullanmıştır. Arka dolgu yüzeyi düzlemseldir.
- 3) Sürtünme kuvvetleri göçme yüzeyine uniform şekilde dağılmıştır ve $f = \tan \phi$ 'dir (sürtünme katsayısı = f).
- 4) Göçme kaması rijit bir küledir.
- 5) Duvar sürtünmesi vardır; göçme kaması duvar arkası boyunca hareket eder ve duvar sınırı boyunca sürtünme oluşturur.
- 6) Göçme düzlemsel bir eğilmedir, sonsuz uzun külenin birim uzunluğu göz önüne alınacaktır.



Şekil 4.7 Kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminler için aktif ve pasif basınç değerleri (Bowles,1982)

Coulomb teorisindeki ana kusurlar, ideal zemin kabulü ve göçme yüzeyinin düzlem tarif edilmesidir. Coulomb teorisine dayanan kohezyonsuz zemin için denklem, Şekil 4.8'den elde edilebilir. ABE zemin kamasının ağırlığı;

$$W = \gamma A(1) = \frac{\gamma H^2}{2 \sin^2 \alpha} \left[\sin(\alpha + \rho) \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\sin(\rho - \beta)} \right] \quad (4.4a)$$

Aktif kuvvet P_a , Şekil 4.8 c'de gösterilen ağırlık vektörünün bileşenidir. Sinüs kuralı uygulanırsa;

$$\frac{P_a}{\sin(\rho - \phi)} = \frac{W}{\sin(180 - \alpha - \rho - \phi + \delta)}$$

veya,

$$P_a = \frac{W \sin(\rho - \phi)}{\sin(180 - \alpha - \rho - \phi + \delta)} \quad (4.4b)$$

elde edilir.

(a) ve (b) denklemlerini birleştirerek,

$$P_a = \frac{\gamma H^2}{2 \sin^2 \alpha} \left[\sin(\alpha + \rho) \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\sin(\rho - \beta)} \right] \frac{\sin(\rho - \phi)}{\sin(180 - \alpha - \rho - \phi + \delta)} \quad (4.5a)$$

ρ değişkeni sıfıra eşitlersek,

$$\frac{dP_a}{d\rho} = 0$$

aktif duvar kuvvetinin maksimum değeri,

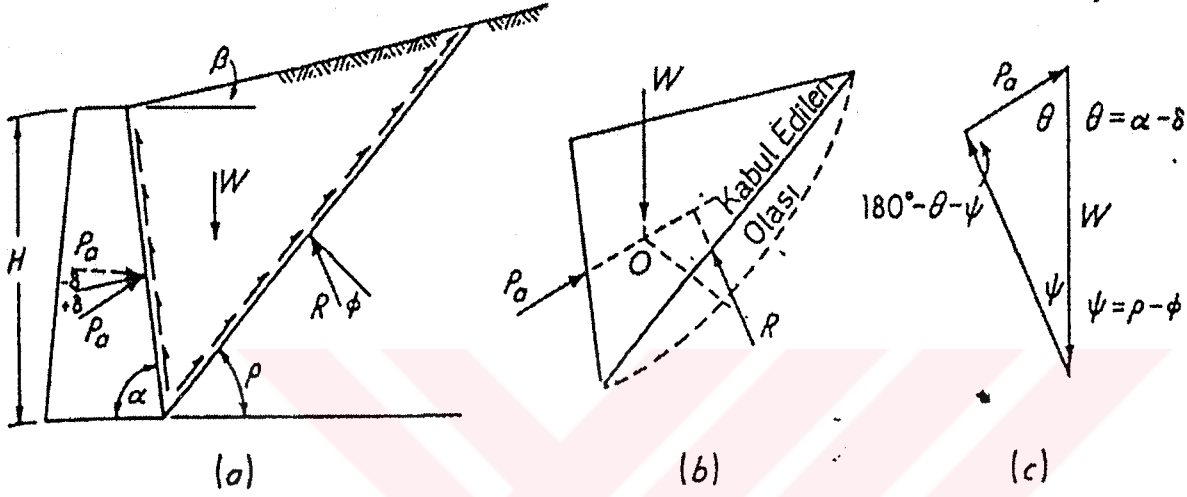
$$P_a = \frac{\gamma H^2}{2} \frac{\sin^2(\alpha + \phi)}{\sin^2 \alpha \sin(\alpha - \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \beta)}{\sin(\alpha - \delta) \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2} \quad (4.5b)$$

unur.

Eğer $\beta = \delta = 0$ ve $\alpha = 90^\circ$ (düzgün düşey bir duvar ve yatay dolgu) olursa, denklem daha da basitleşerek,

$$P_a = \frac{\gamma H^2}{2} \frac{(1 - \sin \phi)}{(1 + \sin \phi)} = \frac{\gamma H^2}{2} \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \quad (4.6)$$

haline gelir.



- Şekil 4.8 a) Göçme için tahmin edilen durumlar,
 b) Bileşke kuvvet denge sağlayamadığından O noktasından geçmez,
 c) P_a 'yı bulmak için kuvvet üçgeni oluşturulur (Bowles, 1982)

Denklem aktif toprak basıncı için Rankine'in de kabul ettiği genel hale getirilirse,

$$P_a = \frac{\gamma H^2}{2} K_a$$

$$K_a = \frac{\sin^2(\alpha + \phi)}{\sin^2 \alpha \sin(\alpha - \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \beta)}{\sin(\alpha - \delta) \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2} \quad (4.7)$$

olur. Çizelge 4.2'de seçilen açı değerleri için K_a değerleri verilmiştir.

Pasif toprak basıncı da Şekil 4.9'da gösterilen duvarın eğimi ve kuvvet üçgeni dışında benzer şekilde elde edilir.

Şekil 4.9'dan tahmini göçme kütlesi;

$$W = \frac{\gamma H^2}{2} \sin(\alpha + \rho) \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\sin(\rho - \beta)} \quad (4.8)$$

ve kuvvet üçgeninden sinüs kuralı uygulanarak,

$$P_p = W \frac{\sin(\rho + \phi)}{\sin(180 - \rho - \phi - \delta - \alpha)} \quad (4.9)$$

bulunur.

$\frac{dP_p}{d\rho} = 0$ türevi P_p 'nin minimum değerini verir.

$$P_p = \frac{\gamma H^2}{2} \frac{\sin^2(\alpha - \phi)}{\sin^2 \alpha \sin(\alpha + \delta) \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi + \beta)}{\sin(\alpha + \delta) \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2} \quad (4.10)$$

Düzgün düşey bir yük ve yatay dolgu için ($\beta = 0$ ve $\alpha = 90^\circ$) denklem basitleşerek;

$$P_p = \frac{\gamma H^2}{2} \frac{(1 + \sin \phi)}{(1 - \sin \phi)} = \frac{\gamma H^2}{2} \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad (4.11)$$

şeklini alır.

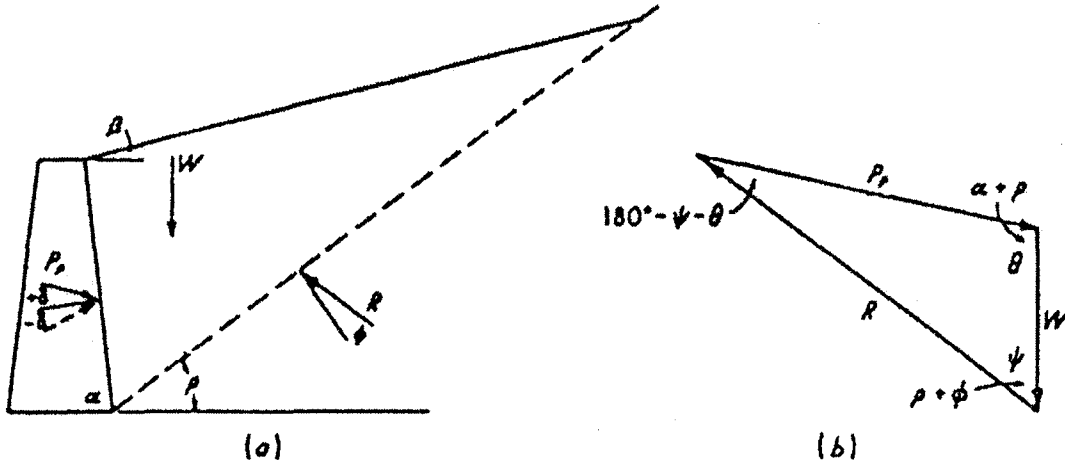
4.11 denklemi şu şekilde de yazılabilir,

$$P_p = \frac{\gamma H^2}{2} K_p$$

$$K_p = \frac{\sin^2(\alpha - \phi)}{\sin^2 \alpha \sin(\alpha + \delta) \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi + \beta)}{\sin(\alpha + \delta) \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2} \quad (4.12)$$

Çizelge 4.3, seçilen açı değerleri ϕ, α, δ ve β için K_p değerlerini göstermektedir.

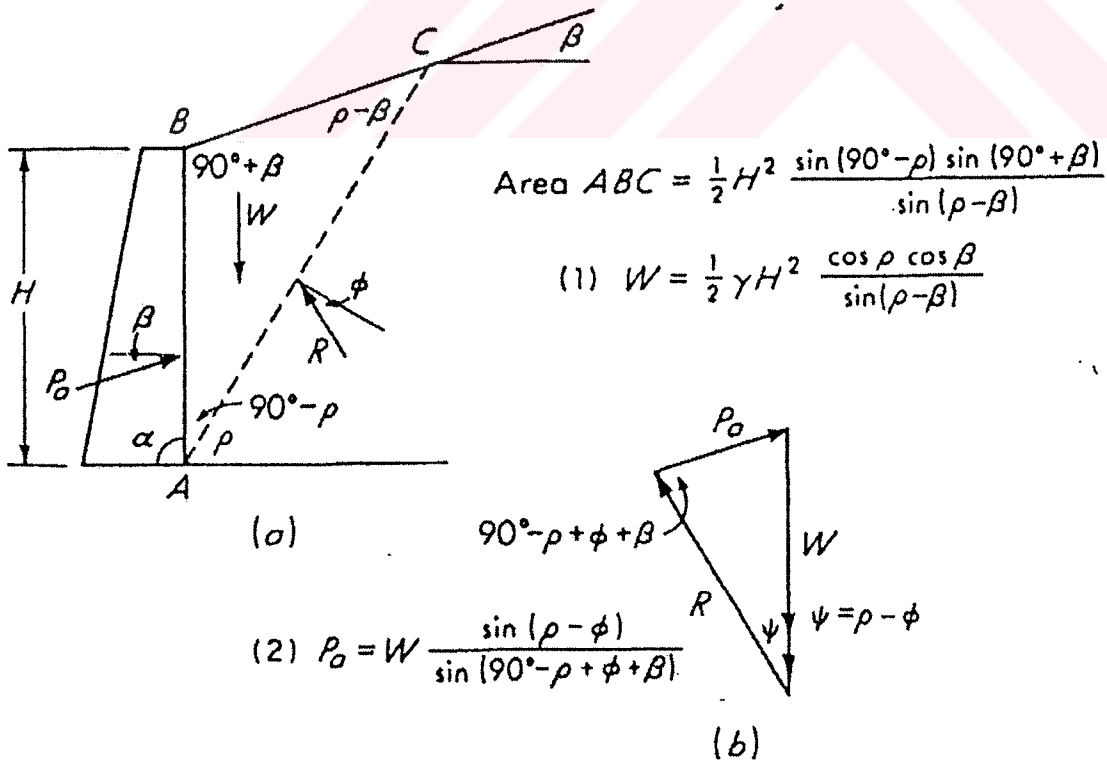
Şekil 4.8 zemin basıncının toplam basınca değil, efektif gerilmeye bağlı olduğunu göstermektedir. Su tablasının altındaki duvar basıncı hidrostatik basıncın ve zeminin efektif birim ağırlığından (γ') oluşan yanal kuvvetlerin toplamıdır.



Şekil 4.9 a) Pasif basıncıdaki göçme kaması ve etkiyen kuvvetler,
b) Pasif basıncı oluşturan kuvvet poligonu (Bowles, 1982).

4.4.1.4 Rankine Zemin Basıncı

Rankine (1857), zemini plastik denge halinde düşünmüş ve Coulomb'la aynı varsayımları yapmıştır. Coulomb'dan farklı olarak, Rankine, kohezyonu ve duvar sürtünmesi gözönüne almayarak problemi daha basit hale getirmiştir. Rankine durumu Şekil 4.10'da gösterilmektedir.



Şekil 4.10 a) Rankine çözümü için $\alpha = 90^\circ$ 'deki zemin sistemi,
b) Rankine çözümünde kuvvet üçgeni (Bowles, 1982).

Şekil 4.10'daki 1 nolu denklem 2 nolu denklemde yerine konular ve $dP_a / d\phi = 0$ alınrsa P_a değeri aşağıdaki gibi bulunur.

$$P_a = \frac{\gamma H^2}{2} \cos\beta \frac{\cos\beta - \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi}}{\cos\beta + \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi}} = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a \quad (4.13)$$

$$K_a = \cos\beta \frac{\cos\beta - \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi}}{\cos\beta + \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi}} \quad (4.14)$$

Çizelge 4.4'de K_a değerleri çeşitleri $\phi - \beta$ kombinasyonları için verilmiştir. $\delta = 0$ olduğunda, duvarda kesme gerilmeleri olmaz ve aktif gerilme P_a ana gerilme durumuna gelir. Bu durum zemin elemanına gerilme analizi yapılarak gösterilebilir ki bu durumda P_a dolgu eğimine paralel etkir.

Benzerlik sonucu Rankine pasif basıncı da,

$$P_p = \frac{\gamma H^2}{2} \cos\beta \frac{\cos\beta + \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi}}{\cos\beta - \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi}} = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_p \quad (4.15)$$

şeklinde bulunur.

K_p değerleri, seçilen β ve ϕ değerleri için Çizelge 4.5'de verilmiştir.

Çizelge 4.2 Coulomb denklemine göre aktif toprak basıncı katsayısı, K_a

$$\alpha = 90 \text{ ve } \beta = 0$$

δ	ϕ				
	26	28	30	32	34
0	0.390	0.361	0.333	0.307	0.283
16	0.349	0.324	0.300	0.278	0.257
20	0.345	0.320	0.297	0.276	0.255
22	0.343	0.319	0.296	0.275	0.254

$$\alpha = 90 \text{ ve } \beta = 5$$

δ	ϕ				
	26	28	30	32	34
0	0.414	0.382	0.352	0.323	0.297
16	0.373	0.345	0.319	0.295	0.272
20	0.370	0.342	0.316	0.292	0.270
22	0.369	0.341	0.316	0.292	0.269

$$\alpha = 90 \text{ ve } \beta = 10$$

δ	ϕ				
	26	28	30	32	34
0	0.443	0.407	0.374	0.343	0.314
16	0.404	0.372	0.342	0.315	0.289
20	0.402	0.370	0.340	0.313	0.287
22	0.401	0.369	0.340	0.312	0.287

Çizelge 4.3 Coulomb denklemine göre pasif toprak basıncı katsayısı, K_p

$$\alpha = 90 \text{ ve } \beta = 0$$

δ	ϕ				
	26	28	30	32	34
0	2.561	2.770	3.000	3.255	3.537
16	4.195	4.652	5.174	5.775	6.469
20	4.857	5.436	6.105	6.886	7.804
22	5.253	5.910	6.675	7.576	8.641

$$\alpha = 90 \text{ ve } \beta = 5$$

δ	ϕ				
	26	28	30	32	34
0	3.943	3.203	3.492	3.815	4.177
16	5.250	5.878	6.609	7.464	8.474
20	6.249	7.074	8.049	9.212	10.613
22	6.864	7.820	8.960	10.334	12.011

$$\alpha = 90 \text{ ve } \beta = 10$$

δ	ϕ				
	26	28	30	32	34
0	3.385	3.713	4.080	4.496	4.968
16	6.652	7.545	8.605	9.876	11.417
20	8.186	9.414	10.903	12.733	15.014
22	9.164	10.625	12.421	14.659	17.497

Çizelge 4.4 Rankine denklemine göre aktif toprak basıncı katsayısı, K_a
 ($\beta > \phi$ için değerler verilmemiştir)

β	ϕ				
	26	28	30	32	34
0	0.3905	0.3610	0.3333	0.3073	0.2827
5	0.3959	0.3656	0.3372	0.3105	0.2855
10	0.4134	0.3802	0.3495	0.3210	0.2944
15	0.4480	0.4086	0.3730	0.3405	0.3108
20	0.5152	0.4605	0.4142	0.3739	0.3381
25	0.6999	0.5727	0.4936	0.4336	0.3847
30	0.0000	0.0000	0.8660	0.5741	0.4776

Çizelge 4.5 Rankine denklemine göre pasif toprak basıncı katsayısı, K_p
 ($\beta > \phi$ için değerler verilmemiştir)

β	ϕ				
	26	28	30	32	34
0	2.5611	2.7698	3.0000	3.2546	3.5371
5	2.5070	2.7145	2.9431	3.1957	3.4757
10	2.3463	2.5507	2.7748	3.0216	3.2946
15	2.0826	2.2836	2.5017	2.7401	3.0024
20	1.7141	1.9175	2.1318	2.3618	2.6116
25	1.1736	1.4343	1.6641	1.8942	2.1352
30	0.0000	0.0000	0.8660	1.3064	1.5705

4.4.1.5 Doygun Olmayan Kohezyonsuz Zeminlerde Aktif Sismik Basınçlar

En çok kullanılan Mononabe-Okabe tarafından çıkarılan ve Coulomb teorisine dayanan çözümdür. Bir depremin etkisi zemin kamasına eşit statik yatay bir kuvvetin sismik bir katsayı ile çarpılması olarak tanımlanır. Şekil 4.11'e göre Mononabe-Okabe eşitlikleri aşağıdaki gibidir;

Bir duvara gelmesi beklenen statik ve aktif deprem basınçları (Doygun olmayan kohezyonsuz zeminlerde) şu şekildedir;

$$P_{AE} = \frac{1}{2} K_{AE} \gamma_d H^2 (1 - \alpha_v) \quad (4.16)$$

Burada,

$$K_{AE} = \frac{\cos^2(\phi - \beta - \theta)}{\cos\theta \cos^2\beta \cos(\delta + \beta + \theta) \left[1 + \left(\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - i - \theta)}{\cos(\delta + \beta + \theta) \cos(i - \beta)} \right)^{1/2} \right]^2} \quad (4.17)$$

$$\cot(\alpha_{AE} - 1) = -\tan(\phi + \delta + \beta - i) + \sec(\phi + \delta + \beta - i) \times \left(\frac{\cos(\beta + \delta + \theta) \sin(\phi + \delta)}{\cos(\beta - i) \sin(\phi + \theta - i)} \right)^{1/2} \quad (4.18)$$

Sözü edilen denklemlerde;

α_{AE} = Bir depremde kırılan yüzeyin şev açısı

β = Duvarın arka yüzünün düşeyle yaptığı açı

γ_d = Zemin birim hacim ağırlığı

δ = Duvar sürtünme açısı

ϕ = İçsel sürtünme açısı

i = Dolgu şevi açısı

$\theta = \tan^{-1}(\alpha_h / (1 - \alpha_v))$

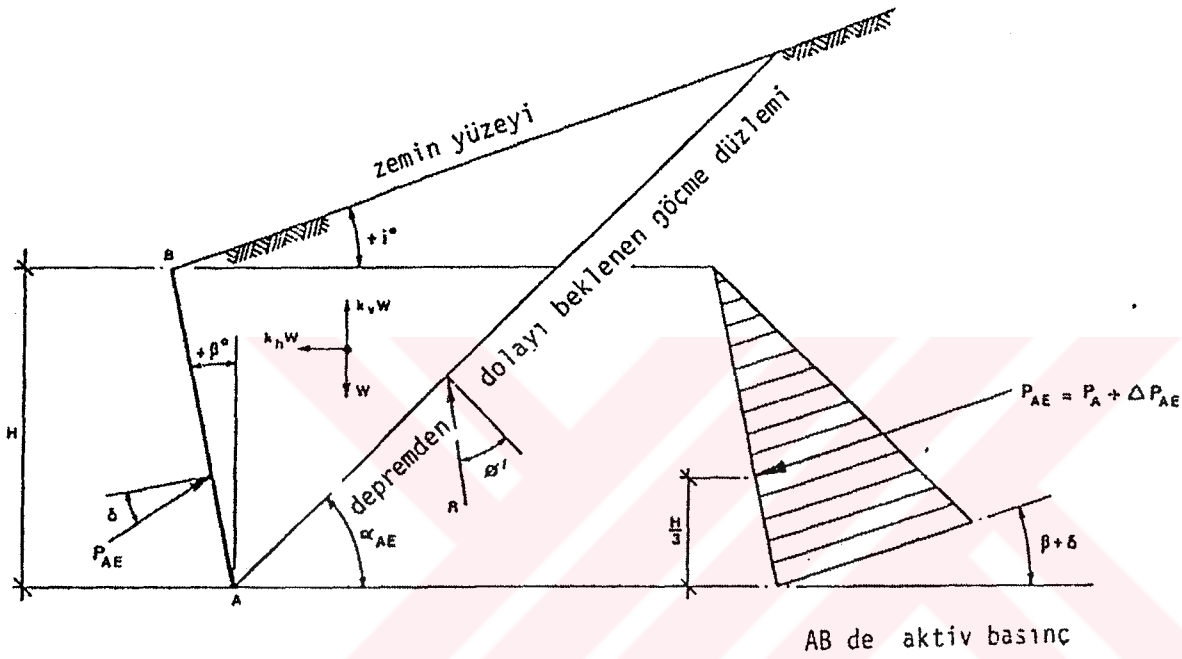
α_h = Sismik katsayı = $1/g$ (yatay zemin ivmesi)

α_v = Sismik katsayı = $1/g$ (düşey zemin ivmesi)

Ağırlık duvarları hariç düşey ivmenin duvar üzerindeki etkisi küçük gösterilmiştir. Bundan dolayı ağırlık duvarları dışında α_v kullanılmayabilir ve denklem;

$$P_{AE} = \frac{1}{2} K_{AE} \gamma_d H^2 \quad (4.19)$$

şeklini alır ve $\theta = \tan^{-1} \alpha_h$ olur.



Şekil 4.11 Bir deprem süresince esnek istinat duvarı ve doymun olmayan kohezyonsuz zemindeki aktif basınçlar (Mononabe-Okabe eşitliklerinden) (Dowrick, 1987)

Coulomb teorisindeki şartları sağlayan durumlarda deprem basıncı direkt olarak hesaplanabilir. Beton duvarlarda duvar sürtünmesi δ , $1/2\phi$ olarak alınabilir. Statik aktif kuvvet P_a Coulomb eşitliğinden bulunarak,

$$P_A = \frac{1}{2} K_A \gamma_d H^2 \quad (4.20)$$

olur, bu formülde yer alan K_A , (4.7) formülü kullanılarak bulunur.

Mononabe-Okabe, deprem kuvveti $\Delta P_{AE} = P_{AE} - P_A$ 'nın, tabandan $2H/3$ yüksekte etkiyeceğini düşünmüştür.

4.17 eşitliği genel bir durumu anlatır ve arka yüzü düşey, arka dolgusu yatay ve sürtünmesiz bir duvar için ($\beta = i = \delta = 0$ durumu);

$$K_{AE} = \frac{\cos^2(\phi - \theta)}{\cos^2 \theta \left[1 + \left(\frac{\sin \phi \sin(\phi - \theta)}{\cos \theta} \right)^{1/2} \right]^2} \quad (4.21)$$

olur.

Mononabe-Okabe tasarım metodu şu adımları içerir;

- 1) Zemin ivmesi A_g 'nin ve zemin hızı V 'nin pik değerleri seçilir,
- 2) Müsaade edilebilir maksimum yatay deplasman, d_L , seçilir,
- 3) Dayanım faktörü N bulunur. N_g duvarın kaymaya başladığı ivme değeridir. N 'i bulmak için Richards ve Elms'in tavsiye ettiği boyutsuz N/A parametresi şöyledir;

$$N/A = \left(\frac{0.087V^2}{d_L A_g} \right)^{1/4} \quad (4.22)$$

- 4) N , duvara etkiyen sismik katsayının limit değerine eşittir ve bu da α_h 'tır. Aktif basınç katsayısı K_{AE} , (4.17) eşitliğinden bulunabilir. Duvara gelmesi beklenen yatay kuvvet $\alpha_h W_w$ 'dir ve duvarın kayma için efektif ağırlığı $(1 - \alpha_v)W_w$ 'dir. Kayma dayanımı ise,

$$F = (1 - \alpha_v)W_w \tan \sin \theta_b \quad (4.23)$$

Burada θ_b duvarın taban sürtünme açısıdır. $F = \alpha_h W_w$ dersek;

$$W_w = \frac{1/2 \lambda_d H^2 (\cos(\delta + \beta) - \sin(\delta + \beta) \tan \theta_b)}{\tan \theta_b - \tan \theta} K_{AE} \quad (4.24)$$

değerini elde ederiz.

Belirsizliği ortadan kaldırmak için, Richards ve Elms güvenlik faktörü olarak 1.5 değerini kullanmışlar ve duvar ağırlığı olarak da $1.5W_w$ almışlardır.

Ağırlık duvarları için yukarıdaki tasarım yönteminin kanıtı olarak, Whitman ve Liao tarafından şöyle bir eşitlik tavsiye edilmiştir;

$$N/A = -\frac{1}{9.4} \ln \left[\left(\frac{d_L}{F_c} \right) \frac{A_g}{130V^2} \right] \quad (4.25)$$

Burada F_c , izin verilebilir deplasman d_L üzerindeki güvenlik faktörüdür. F_c 'nin uygun bir değeri olasılık dağılımı $d_R = (d_L / F_c)$ 'den bulunabilir. Genelde $F_c = 3.8$ olarak almak uygundur (Dowrick, 1987).

Aşağıda 1. derece deprem bölgesinde bulunan istinat perdesine deprem halinde etkiyecek toprak basıncı hesaplanmıştır.

$$\gamma = 1.75t/m^3 \quad \phi = 30^\circ \quad \delta = 0 \quad H = 12m$$

“Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik R.G.2.9.1997/23098’in alt bölüm 12.4 kısmı Depremde Toprak Basıncı ve İstinat Duvarları konusuna ayrılmıştır. Burada depremsiz ve depremden oluşan dinamik aktif ve pasif toprak basınçlarının hesabında kullanılacak toprak basınçları anlatılmıştır.

Hesaplar Mononabe Okabe eşitliklerinden elde edilmiştir.

(4.16) ve (4.17) formülünde $\beta, \phi, \theta, \delta, H$ Coulomb formülündeki değerlerdir.

$$\theta = \arctan(\alpha_h / 1 - \alpha_v)$$

bağıntısı ile verilmektedir.

$$\alpha_h = \text{yatay yer ivmesi} / g$$

$$\alpha_v = \text{düşey yer ivmesi} / g$$

dir. Pratik çözümler için, çok küçük olması nedeni ile $\alpha_v = 0$ ve $\alpha_h = C_0$ (deprem yönetmeliğinden alınacak katsayı) olarak kabul edilebilir.

Bölüm 6’da yapılacak hesap ve grafiklere esas teşkil edecek olan bu örnekte, farklı episantr uzaklıklarına göre hesaplar yapılmış ve C_0 değerleri olarak Çizelge 5.6’daki Karadeniz Bölgesi için hesaplanan maksimum yatay ivme değerlerinden $M=7,16$ magnitudündeki bir depremin yaratacağı ivme değeri alınmıştır. Bu değerler için; Newmark-Rosenblueth (1971)’e

göre olan sonuçlar ile Schnabel ve Seed'e (1973) göre olan sonuçlarının karşılaştırması neticesinde büyük olan ivme değerleri seçilerek güvenli tarafta kalınmıştır.

Bu durumda $\theta = \arctan C_0$ olmaktadır. Bu açı episantr uzaklığına göre Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6 Episantr uzaklıklarına göre açı (θ) değerleri

Uzaklık (km)	$\alpha = C_0$ (g)	θ (derece)
20	0.35	19.29
40	0.20	11.31
60	0.12	6.84
80	0.074	4.23
120	0.037	2.12
140	0.031	1.78

Depremsiz durumda istinat perdesine taban seviyesinde etkiyen aktif basıncı $\alpha = 90^\circ, \delta = 0, \phi = 30^\circ (K_A = 0.33)$ olduğu gözönünde tutularak,

$$p_A = \gamma H K_A = 1.75 \times 12 \times 0.3333 \sim 7.00 \text{ t/m}^2$$

ve perdeye etkiyen toplam basınç da;

$$P_A = 1/2 \times p_A \times H = 1/2 \times 7.00 \times 12 = 42.00 \text{ t/m}$$

olarak hesaplanır.

Deprem halinde istinat yapılarına etkiyecek toprak basınçlarının hesaplarında ise K_{AD} (4.17) formülü kullanılarak bulunur, ve

$$p_{AD} = \gamma H K_{AD} \text{ ve } P_A = 1/2 \times p_{AD} \times H \text{ olur (} K_{AD}, K_{AE} \text{'yi ifade etmektedir).}$$

Çizelge 4.7 K_{AD} ve p_{AD}, P_{AD} değerlerinin değişimi

Uzaklık Km	θ °	K_{AD} -	p_{AD} t/m^2	P_{AD} t/m
20	19,29	0,628	13,19	79,12
40	11,31	0,473	9,94	59,63
60	6,84	0,411	8,62	51,75
80	4,23	0,379	7,96	47,75
120	2,12	0,355	7,46	44,78
140	1,78	0,352	7,39	44,32

Deprem halinde istinat perdesine gelecek ek toprak basınçlarının istinat perdesi ucunda uzaklıkla değişimi Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8 İstinat perdesine gelecek ek toprak basınçlarının uzaklıkla değişimi

Uzaklık km	Δp_{AD} t/m^2	ΔP_{AD} t/m
20	6.19	37,12
40	2.94	17,63
60	1.62	9,75
80	0.96	5.75
120	0.46	2.78
140	0.39	2.32

5. PROBABLİSTİK METOTLAR ve BU METOTLARIN KARADENİZ BÖLGESİ SİSMOTEKTONİK YÖRESİNE UYGULANMASI

5.1 Giriş

Sismotektonik yöre tabiri, jeolojik formasyon ve jeolojik yapı itibari ile nispeten değişiklik göstermeyen bir karaktere sahip bölge için kullanılmaktadır.

Bir bölgede gelecekteki şiddetli bir depremin magnitudü, yer hareketinin ivmesi, süresi ve frekans içeriği gibi özelliklerini ihtimaller analizi yaparak tahmin edebilmek için başlıca beş hususta bilgi sahibi olmak gereklidir. Bölgenin ve civarının sismotektonik yapısı, bölgeyi etkisi altına alabilecek depremlerin noktasal, çizgisel veya alansal nitelikte olabilen kaynaklardan hangisine ait olduğunun bilinmesi, bölgenin sismik aktivitesinin tarihçesinin belirlenmesi, depremin episantrdaki yer ivmesinin yapının bulunduğu alana gelene kadar yapacağı yolculuk esnasında kaybedeceği değerin saptanması, yapı ve civarının jeolojik karakteri ve yapı temeli hizasında serbest yüzeyde meydana gelebilecek yer hareketinin özelliklerinin saptanması.

Karadeniz Bölgesi sismotektonik yöresi, genel olarak Kuzey Anadolu Fay Hattı boyunca uzunca bir çizgiye tekabül eder. Bu çalışmada, Karadeniz Bölgesinde meydana gelebilecek herhangi bir depremin kaynağının çizgisel olduğu kabul edilmiştir. Yine bu çalışmada yapılan analizlerde, 39.00°N – 43.00°N enlemleri ile 30.00°E - 42,50°E boylamları arasında kalan bölge Karadeniz Bölgesi Sismotektonik Bölgesi olarak adlandırılmıştır.

5.2 Probabilistik Metotlar-Yıllık Ekstrem Değerler Metodu

Gumbel (1958) tarafından yıllık maksimum deprem magnitudlerin dağılımı,

$$G(M) = e^{-\alpha e^{-\beta M}} \quad (5.1)$$

şeklinde ifade edilmiştir. Yıllık Ekstrem Değerler Metodu adı verilen bu metotta, G(M) ifadesi, bir yılda magnitudü M'den büyük depremlerin aşılma olasılığıdır. Bu ifadede α ve β regresyon katsayıları olup M deprem magnitudünü göstermektedir.

Gutenberg ve Richter (1942), magnitud-frekans ilişkisi için aşağıdaki ifadeyi tavsiye etmişlerdir;

$$\log N = a - bM \quad (5.2)$$

Bu ifadede;

a, b = Regresyon katsayıları

N = Bir yıl içinde magnitüdü M veya daha büyük olan deprem sayısı

olarak ifade edilmektedir.

Sipahioğlu (1984) tarafından bildirildiği üzere, Mogi (1962) ve Miyamura (1962) “b” katsayısının bölgelerin tektonik özellikleriyle ilişkili olduğunu öne sürmüşlerdir. “a” ve “b” katsayılarının incelenen ve ait oldukları bölgelerin depremsellik ve yapısal özelliklerine göre değerler aldığı ve bu bölgelerin sismik ve tektonik özelliklerine bağlı oldukları belirtilmektedir. “a” katsayısı, gözlemin sürecine, gözlem alanının boyutlarına ve bu alanın deprem etkinliğine, diğer taraftan “b”, gözlem alanının tektonik etkinlik özelliklerine bağlı olmaktadır. Bu katsayılar için terim olarak,

a = Ortalama yıllık sismik aktivite indeksi

b = Sismotektonik parametre

ifadelerinin kullanıldığı Tabban ve Gencoğlu (1975) tarafından belirtilmiştir. Dikkat edilmesi gereken bir diğer husus, incelenen bölgelerin aynı “a” ve “b” katsayılarına sahip bulunmasının, bu bölgelerin aynı deprem etkinlik özelliklerine sahip olmalarını gerektirmediğidir (Sipahioğlu 1984).

Bahsi geçen ifadeler arasında şu ilişkiler mevcuttur:

$$\alpha = 10^a \quad , \quad a = \log \alpha \quad (5.3)$$

$$\beta = b / \log e \quad , \quad b = \beta \log e \quad (5.4)$$

$$N = \alpha e^{-\beta M} = -\ln G \quad (5.5)$$

Ayrıca sismik aktivitenin zaman içinde dağılımının üniform olduğu kabulü ile;

$$N = \alpha T_r e^{-\beta M} \quad (5.6)$$

$$N = -\ln G = -\ln(e^{-\alpha T_r e^{-\beta M}}) \quad (5.7)$$

ifadeleri yazılabilir.

Bu ifadelerde T_r , magnitüdü belli bir depremin yıl olarak tekrar periyodu (Return Period) olarak tanımlanmaktadır.

5.3 Yıllık Ekstrem Değerler Metodunun Karadeniz Bölgesi Sismotektonik Yöresine Uygulanışı

Bu tez çalışmasında Karadeniz Bölgesi için 39.00°N – 43.00°N enlemleri ile 30.00°E – 42.50°E boylamları arasında kalan bölgenin sismotektonik yöre olarak kabul edildiği daha önce belirtilmişti. Bu yöre içinde 1901-2000 yılları arasında meydana gelmiş olan depremlerde rastlanan maksimum magnitud değerleri Çizelge 5.1’de sunulmakta olup, Şekil5.1’de sismotektonik yöre sınırları işaretlenmiştir. Bu tablonun hazırlanması sırasında Kandilli Rasathanesi Türkiye Deprem Katalogundan faydalanılmıştır. Aletsel veriler bulunmayan yıllar için magnitud değerleri $M = 0.59I_0 + 1,63$ (Okamoto vd., 1970) ampirik formülünden hesaplanmıştır.

Karadeniz Bölgesi sismotektonik yöresi regresyon katsayılarının hesaplanabilmesi için Çizelge 5.2 hazırlanmıştır. Bu tabloda “j” yinelenme periyotlarını (recurrence periods), “f” ise frekansları temsil etmekte olup, Kümülatif Gumbel dağılımları hesaplanmıştır.

Regresyon doğrusu analizleri Çizelge 5.3’te verilmiştir. Regresyon analizleri Velicangil (1975) tarafından tavsiye edilen metotlarla yapılmıştır. Bu analizler neticesinde Karadeniz Bölgesi için “a” ve “b” regresyon katsayıları ve ayrıca Pearson-Bravais Korelasyon katsayısı “r” hesaplanmıştır. Regresyon katsayıları, korelasyon katsayısı ve regresyon doğrusu denklemi aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

Karadeniz Bölgesi için Magnitud-logN bağıntısı, dispersiyon diyagramları ve regresyon doğruları Şekil 5.2’de verilmektedir. Aşağıda hesaplanan “r” değeri, “ileri derecede tam” bağıntıyı göstermektedir. Hesaplanan “a” ve “b” değerleriyle denklem (5.3) ve (5.4) kullanılarak bulunan “ α ” ve “ β ” regresyon katsayısı değerleri aşağıdaki gibidir;

$$T_x = 177,50 \quad m_x = T_x / n = 177,50 / 31 = 5,726$$

$$T_y = -13,27 \quad m_y = T_y / n = -13,27 / 31 = -0,428$$

$$b = \frac{\Sigma xy - \frac{(T_x T_y)}{n}}{\Sigma x^2 - \frac{T_x^2}{n}} = \frac{(-93,63) - \frac{(177,50 \times -13,27)}{31}}{1.046,15 - \frac{177,50^2}{31}} = -0,593 \Rightarrow \beta = b / \log e = 1,37$$

$$a = m_y - b m_x = -0,428 + (0,593) \times 5,726 = 2,967 \Rightarrow \alpha = 10^a = 926,83$$

$$\log N = a - bM = 2,967 - 0,593M$$

Bu durumda regresyon katsayıları;

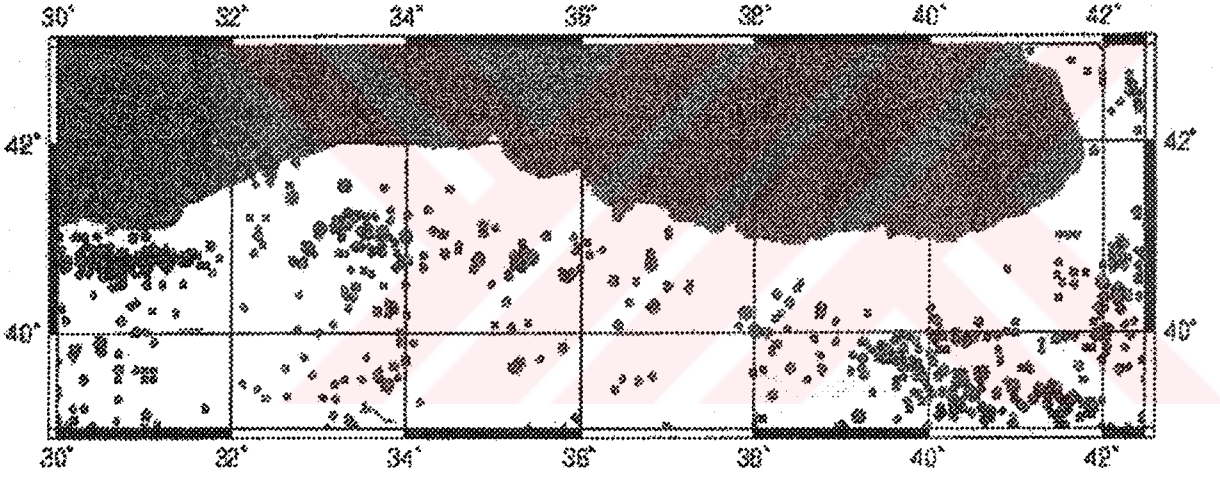
$$a = 2,967, b = 0,593$$

olarak tahmin edilmiştir.

Pearson-Bravais Korelasyon katsayısı (r) ise;

$$r = \frac{\Sigma xy - \frac{(T_x T_y)}{n}}{\sqrt{\left(\Sigma x^2 - \frac{T_x^2}{n}\right) \left(\Sigma y^2 - \frac{T_y^2}{n}\right)}} = \frac{(-93,63) - \frac{(177,50 \times -13,27)}{31}}{\sqrt{\left(1.046,15 - \frac{177,50^2}{31}\right) \left(16,55 - \frac{-13,27^2}{31}\right)}} = -0,982$$

$r = -0,982$, ileri derecede tam bağıntıyı göstermektedir.



Şekil 5.1 Karadeniz sismotektonik yöresinde 1901-2000 yılları arasında meydana gelen depremler ($M \geq 4.0$)

Çizelge 5.1 Karadeniz Bölgesi sismotektonik yöresinde 1901-2000 yılları arasında meydana gelen depremlerin yıllık maksimum magnitüd değerleri (Richter'e göre)

YIL	ENLEM N°	BOYLAM E°	M	YIL	ENLEM N°	BOYLAM E°	M
1901	39.80	30.50	5,00	1951	40.88	32.87	6,90
1902	43.00	42.00	5,20	1952	39.95	41.67	5,80
1903	39.10	42.50	6,30	1953	41.09	33.01	6,40
1904	40.30	38.40	5,10	1954	39.03	40.97	5,40
1905	39.00	39.00	6,80	1955	42.70	42.30	4,80
1906	40.50	42.00	6,00	1956	39.89	30.49	6,40
1907	40.70	30.10	5,50	1957	40.67	31.00	7,10
1908	40.60	35.90	5,20	1958	39.48	40.41	5,10
1909	40.00	38.00	6,30	1959	41.89	41.90	5,30
1910	41.00	34.00	6,20	1960	40.50	42.00	6,00
1911	-	-	-	1961	39.82	30.19	5,00
1912	-	-	-	1962	40.80	36.10	4,70
1913	-	-	-	1963	41.37	38.75	5,40
1914	39.84	35.80	5,40	1964	39.52	40.32	4,90
1915	42.10	42.40	4,30	1965	39.36	40.79	5,60
1916	40.27	36.83	7,10	1966	39.17	41.56	6,90
1917	41.90	36.90	5,00	1967	40.67	30.69	7,20
1918	40.89	33.41	5,80	1968	41.81	32.39	6,50
1919	41.16	33.20	5,70	1969	39.25	41.38	5,20
1920	-	-	-	1970	39.50	30.30	5,30
1921	-	-	-	1971	41.24	37.08	4,80
1922	-	-	-	1972	40.42	42.22	4,60
1923	40.07	36.43	5,90	1973	40.28	33.86	4,70
1924	39.96	41.94	6,80	1974	39.05	40.65	4,20
1925	40.00	42.00	5,00	1975	40.68	42.00	4,80
1926	40.13	30.72	5,70	1976	39.47	39.95	4,70
1927	42.50	36.50	4,60	1977	41.02	33.57	5,30
1928	40.22	33.67	5,70	1978	39.45	33.19	4,90
1929	40.20	37.90	6,10	1979	39.91	39.60	4,90
1930	39.72	39.24	5,60	1980	39.91	40.31	5,10
1931	41.02	39.55	4,90	1981	40.00	38.00	4,50
1932	40.90	30.60	4,50	1982	39.23	41.90	5,40
1933	41.21	33.64	4,80	1983	40.35	42.18	6,00
1934	41.00	41.60	4,70	1984	40.90	42.24	5,30
1935	39.35	40.52	5,00	1985	40.37	42.29	5,10
1936	41.25	33.33	5,20	1986	39.14	41.83	4,80
1937	39.94	40.43	4,70	1987	39.95	40.16	4,80
1938	39.44	33.79	6,60	1988	40.35	41.50	4,90
1939	39.80	39.51	7,90	1989	39.59	40.18	5,00
1940	39.64	35.25	6,20	1990	40.12	40.07	5,00
1941	39.74	39.50	6,00	1991	39.65	41.13	4,50
1942	40.70	36.80	7,00	1992	39.72	39.63	6,10
1943	41.05	33.72	7,20	1993	39.62	38.41	5,00
1944	41.41	32.69	7,20	1994	39.51	40.58	4,20
1945	41.54	33.29	6,00	1995	39.35	40.22	5,40
1946	39.29	41.21	5,70	1996	40.74	35.29	5,60
1947	40.71	32.82	5,10	1997	40.78	35.44	6,00
1948	40.39	38.25	5,00	1998	39.23	41.07	5,00
1949	39.57	40.62	7,00	1999	40.74	31.21	7,20
1950	39.30	41.00	4,90	2000	40.90	31.75	5,00

Çizelge 5.2 Karadeniz Bölgesi Gumbel yıllık maksimum dağılımı analizi

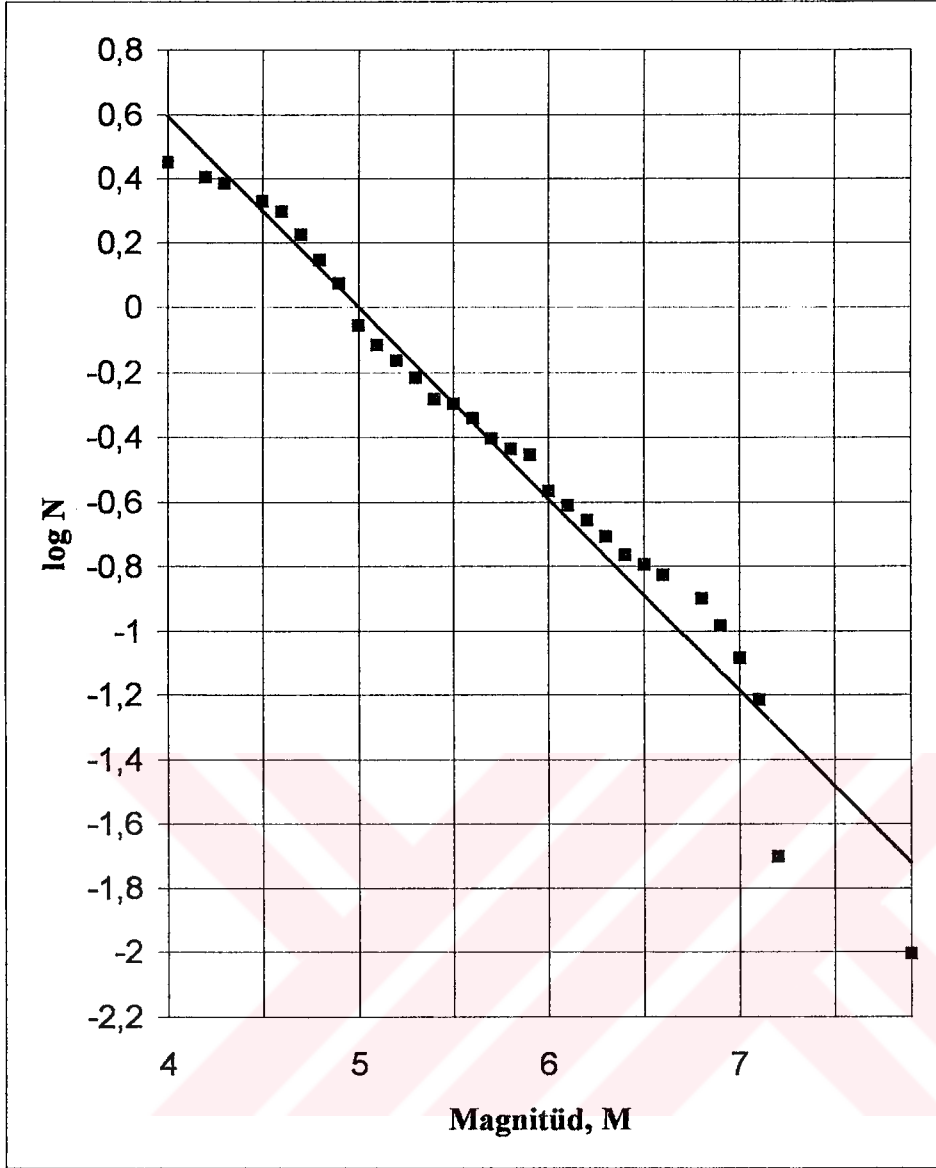
M	j	f=j/(n+1)	G(M)	N=-lnG	LogN
4,00	6	0,06	0,06	2,8234	0,451
4,20	2	0,02	0,08	2,5357	0,404
4,30	1	0,01	0,09	2,4179	0,383
4,50	3	0,03	0,12	2,1302	0,328
4,60	2	0,02	0,14	1,9761	0,296
4,70	5	0,05	0,19	1,6707	0,223
4,80	6	0,06	0,25	1,3962	0,145
4,90	6	0,06	0,31	1,1811	0,072
5,00	11	0,11	0,42	0,8775	-0,057
5,10	5	0,05	0,47	0,7650	-0,116
5,20	4	0,04	0,50	0,6833	-0,165
5,30	4	0,04	0,54	0,6078	-0,216
5,40	5	0,05	0,59	0,5208	-0,283
5,50	1	0,01	0,60	0,5042	-0,297
5,60	3	0,03	0,63	0,4562	-0,341
5,70	4	0,04	0,67	0,3956	-0,403
5,80	2	0,02	0,69	0,3666	-0,436
5,90	1	0,01	0,70	0,3524	-0,453
6,00	6	0,06	0,76	0,2713	-0,567
6,10	2	0,02	0,78	0,2457	-0,610
6,20	2	0,02	0,80	0,2207	-0,656
6,30	2	0,02	0,82	0,1963	-0,707
6,40	2	0,02	0,84	0,1725	-0,763
6,50	1	0,01	0,85	0,1608	-0,794
6,60	1	0,01	0,86	0,1492	-0,826
6,80	2	0,02	0,88	0,1265	-0,898
6,90	2	0,02	0,90	0,1043	-0,982
7,00	2	0,02	0,92	0,0825	-1,083
7,10	2	0,02	0,94	0,0612	-1,213
7,20	4	0,04	0,98	0,0200	-1,699
7,90	1	0,01	0,99	0,0100	-2,002

n=100

NOT: Magnitudü 4'ten küçük olan yıllar için Mmin=4 kabul edilmiştir

Çizelge 5.3 Regresyon doğrusu analizleri

No	M (x)	LogN (y)	x ²	y ²	x.y
1	4,00	0,451	16,0	0,203	1,803
2	4,20	0,404	17,6	0,163	1,697
3	4,30	0,383	18,5	0,147	1,649
4	4,50	0,328	20,3	0,108	1,478
5	4,60	0,296	21,2	0,087	1,361
6	4,70	0,223	22,1	0,050	1,048
7	4,80	0,145	23,0	0,021	0,696
8	4,90	0,072	24,0	0,005	0,354
9	5,00	-0,057	25,0	0,003	-0,284
10	5,10	-0,116	26,0	0,014	-0,593
11	5,20	-0,165	27,0	0,027	-0,860
12	5,30	-0,216	28,1	0,047	-1,146
13	5,40	-0,283	29,2	0,080	-1,530
14	5,50	-0,297	30,3	0,088	-1,635
15	5,60	-0,341	31,4	0,116	-1,909
16	5,70	-0,403	32,5	0,162	-2,296
17	5,80	-0,436	33,6	0,190	-2,528
18	5,90	-0,453	34,8	0,205	-2,672
19	6,00	-0,567	36,0	0,321	-3,399
20	6,10	-0,610	37,2	0,372	-3,719
21	6,20	-0,656	38,4	0,431	-4,069
22	6,30	-0,707	39,7	0,500	-4,455
23	6,40	-0,763	41,0	0,583	-4,885
24	6,50	-0,794	42,2	0,630	-5,160
25	6,60	-0,826	43,6	0,683	-5,453
26	6,80	-0,898	46,2	0,806	-6,106
27	6,90	-0,982	47,6	0,964	-6,775
28	7,00	-1,083	49,0	1,174	-7,584
29	7,10	-1,213	50,4	1,471	-8,612
30	7,20	-1,699	51,8	2,886	-12,232
31	7,90	-2,002	62,4	4,009	-15,817
n =	T _x =	T _y =	Σx ² =	Σy ² =	Σxy =
31	177,50	-13,27	1.046,15	16,55	-93,63



Şekil 5.2 Magnitüd – log N ilişkisi

Karadeniz Bölgesi için deprem magnitüdlerinin dağılımı ifadesi 1 yıllık baz süre için geçerli olup probabilite hesapları sonuçları aşağıda yer almaktadır. Bu formüllerde Tezcan, Acar ve Çivi (1991) tarafından faydalanılan formüller kullanılmıştır.

1. Yıllık maksimum magnitüdülerin ortalaması;

$$\bar{M} = M_{\min} + \frac{1}{\beta} = 4.0 + \frac{1}{1,37} = 4,73 \quad (5.8)$$

2. En sık meydana gelen yıllık magnitüd (model maksimum)

$$\bar{M}_{\max} = \frac{\ln \alpha}{\beta} = \frac{\ln 926,83}{1,37} = 4,99 \quad (T_r = 1) \quad (5.9)$$

Diğer taraftan aynı değer;

$\log N = 2,967 - 0,593M$ ifadesinde N yerine 1 yazılarak ~5.00 olarak bulunur.

3. İncelenen tarihçe 100 senedir. $T_r=100$ yıl olan magnitüd yani 100 yıl içinde meydana gelebilecek maksimum magnitüd,

$$\log N = a - bM + \log T_r \quad (5.10)$$

ifadesi ile hesaplanabilir.

$N=1$, $T_r = 100$ ise;

$$M_{\max} = \frac{a + \log T_r}{b} = \frac{2,967 + \log 100}{0,593} = 8,38 \quad \text{olur.} \quad (5.11)$$

4. Yıllık risk, R seçilen M magnitüdünde veya daha büyük bir depremin 1 yıl içinde aşılabilme ihtimalidir. Gumbel dağılımının 1'den farkıdır;

$$R = 1 - G = 1 - e^{-\alpha e^{-\beta M}} \quad (5.12)$$

denklemini ile ifade edilir.

Tekrarlama periyodu T_r , yıllık riskin tersi olup

$$T_r = 1/R \quad (5.13)$$

şeklindedir.

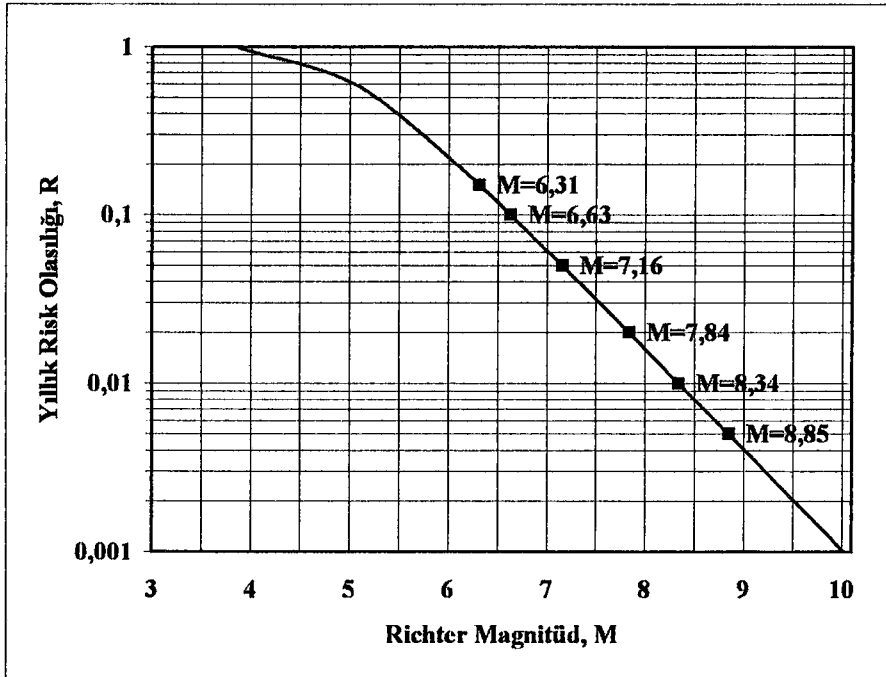
R yıllık risk bilindiği takdirde, bu riske tekabül eden magnitüd değerleri şu şekilde hesaplanabilir;

$$M = \frac{1}{\beta} \ln \left\{ \frac{\alpha}{-\ln(1-R)} \right\} \quad (5.14)$$

Tezcan, Acar ve Çivi (1991), İstanbul Sismotektonik Yöresi için hazırladıkları çalışmalarında normal yapılar için yıllık riski (R) Türkiye için 0.15 ve ABD kabullerine göre 0.10 olarak kabul etmişlerdir. Ayrıca önemli yapılar için R değeri 0.05, 0.02 veya 0.01 olarak, nükleer santraller için ise 0.05 olarak tavsiye edilmiştir. Aynı değerler Durgunoğlu, Çetinkaya ve Çivi (1982) tarafından da kullanılmıştır. Bu çalışmada da normal yapılar, önemli yapılar ve nükleer santraller için yukarıda bahsedilen yıllık risk (R) değerlerinin aynen kabul edilmesi uygun görülmüştür. Bu risk değerlerine tekabül eden değerler Çizelge 5.4'te verilmektedir. Yine seçilen bölge için yıllık risk ve magnitüd değerleri Şekil 5.3'te verilmektedir

Çizelge 5.4 Karadeniz Bölgesi yıllık risk ve magnitüd değerleri

YAPI CİNSLERİ	R(%)	M
Normal Yapılar	15	6,31
	10	6,63
Önemli Yapılar	5	7,16
	2	7,84
	1	8,34
Nükleer Santraller	0,5	8,85



Şekil 5.3 Magnitüd-Risk ilişkisi

Tezcan, Acar ve Çivi (1991) tarafından belirtildiği ve ayrıca Durgunoğlu, Çetinkaya ve Çivi (1982) tarafından da kullanıldığı şekilde, bir depremin T_r yıl içindeki sayısı $N=1$ ise,

$$N = \alpha T_r e^{-\beta M} = 1 \text{ ve } \alpha T_r = e^{\beta M} \quad (5.15)$$

olur ve

$$M_{\max} = (\ln \alpha T_r) / \beta \quad (5.16)$$

şeklini alır. Ayrıca eğer yıllık risk R , ekonomik ömrü T_d yıl olan yapının ekonomik ömrü içinde meydana gelebilecek ve magnitudü M veya daha büyük olan depremlerin meydana gelme ihtimali olduğundan,

$$R = 1 - e^{-\alpha T_d \exp(-\beta M)}$$

ifadesinde $e^{\beta M} = \alpha T_r$ ile

$$R = 1 - e^{-T_d T_r} \text{ ve } T_r = -T_d / [\ln(1 - R)] \quad (5.17)$$

ifadeleri elde edilir.

Karadeniz Bölgesinde seçilen bölgede normal yapılar, önemli yapılar ve nükleer santraller için risk değerleri ve yapı ekonomik ömürleri ile tekrarlama periyotları Çizelge 5.5'te sunulmaktadır. Bulunan değerler daha önce yapılan çalışmalardaki değerler ile aynı veya çok yakın değerlerdir.

Çizelge 5.5 Karadeniz Bölgesi yıllık risk ve deprem tekrarlama periyotları

YAPI CİNSLERİ	R (%)	DEPREM TEKRARLAMA PERYODU			
		Tr			
		Td (Yıl)			
		1	30	50	100
Normal Yapılar	15	6,15	184,5	307,5	615
	10	9,5	285	475	950
Önemli Yapılar	5	19,7	591	985	1970
	2	49,9	1497	2495	4990
	1	98,9	2967	4945	9890
Nükleer Santraller	0,5	198,9	5967	9945	19890

Literatürde çok yakın değerler Tezcan, Acar ve Çivi (1991) ve Durgunoğlu, Çetinkaya ve Çivi (1982) tarafından sunulmuştur

5.3.1 Maksimum İvme Önerileri

Tezcan (1988) tarafından açıklandığı üzere, M magnitüdündeki bir depremin meydana getireceği maksimum zemin ivmesi (a , cm/sn^2), zemin hızı (V , cm/sn) ve zemin deplasmanı (d , cm) Newmark-Rosenblueth (1971) tarafından sıkı zeminler için verilen aşağıdaki formüller ile tahmin edilebilmektedir:

$$a = 1230e^{0.8M} (R + 13)^{-2} \quad (5.18)$$

$$V = 15e^M (R + 0.17e^{0.59M})^{-1.7} \quad (5.19)$$

$$d = 15V^2 / a \quad (5.20)$$

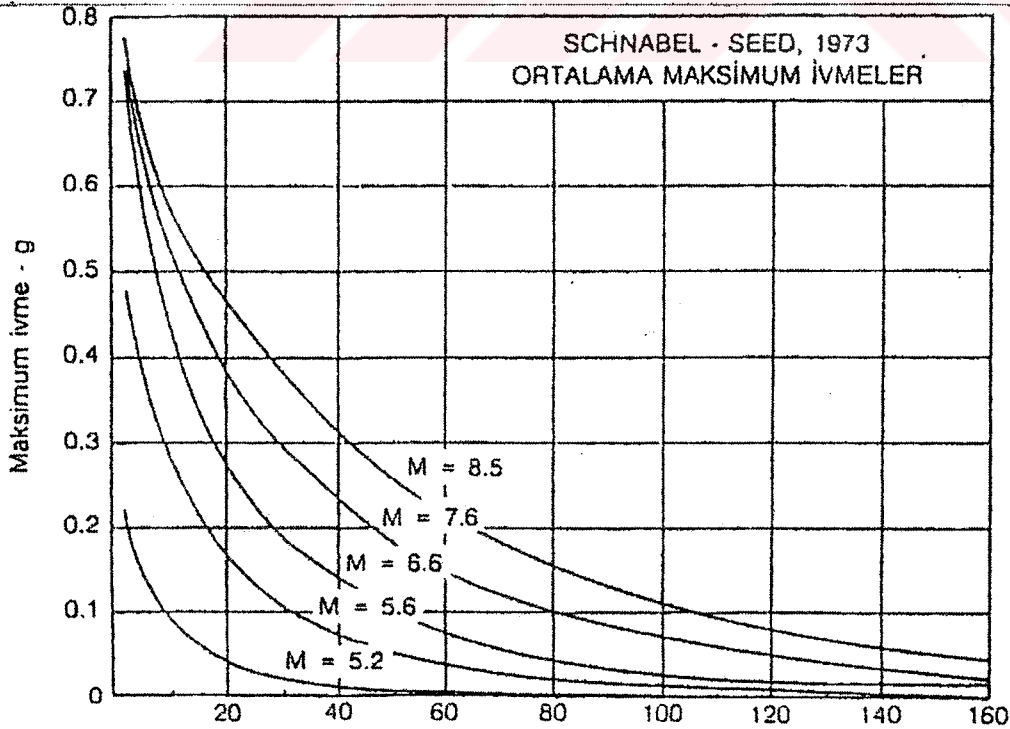
Burada,

M = Richter'e göre deprem magnitüdü

R = Episantr uzaklığı (km)

şeklinde ifade edilmektedir.

Diğer taraftan Schnabel ve Seed (1973) tarafından tavsiye edilen kayada ivme-mesafe eğrileri Şekil 5.4'te sunulmaktadır. Bu ivmeler kayma dalgası $700\text{m}/\text{sn}$ 'den büyük zeminler için geçerlidir.



Şekil 5.4 Kayada ivme – mesafe eğrileri

Bu bağıntılar vasıtasıyla Karadeniz Bölgesi için hesaplanan maksimum yer ivmeleri Çizelge 5.6.a ve 5.6.b'de özetlenmiştir. Bu hesaplarda $g=980,7 \text{ cm/sn}^2$ olarak kabul edilmiştir. Diğer taraftan, maksimum yer ivmesinin episantr uzaklığı, R ile değişimi Şekil 5.5'te sunulmaktadır. Yumuşak zeminler için ivme büyültme analizleri tavsiye edilmektedir.

Newmark-Rosenblueth (1971) tarafından açıklandığı üzere depremlerin birçoğu için ve pratik olarak Denklem 20,

$$ad/V^2 = 1 + (400/R^{0,6})$$

şeklinde ifade edilmektedir. Bu denklem, R (episantr uzaklığı) sıfıra ve sonsuza giderken değerlendirilmiş ve deprem verileri ile kontrol edilmiş olup, depremlerin çoğu için ve pratik olarak;

$$ad/V^2 = 5 - 15$$

şeklindedir.

Bu bağıntı, Tezcan (1988) tarafından da tercih edildiği gibi,

$$ad/V^2 = 15$$

olarak kabul edilmiş olup, Çizelge 5.6.a ve 5.6.b'de özetlenen magnitüd değerleri için hesaplanan zemin deplasmanı değerleri Çizelge 5.7'de sunulmaktadır. Aynı konuda 10km'lik episantr mesafesi (R) için yapılan analizlerde, sismotektonik yörede 200cm'den büyük zemin deplasmanları tespit edilmiştir.

Diğer taraftan, seçilen sismotektonik yöre için daha önce hesaplanan;

- Yıllık maksimum magnitüdlere ortalaması, \bar{M}
- En sık meydana gelen yıllık magnitüd (model maksimum), \bar{M}_{\max}
- 100 yıl içinde meydana gelebilecek maksimum magnitüd, M_{\max}

değerleri ile yapılan analizler sonucunda bu magnitüd değerlerine tekabül eden zemin ivmesi ve zemin deplasmanı değerleri Çizelge 5.8'de özetlenmiştir. Ayrıca daha önce hesaplanan 100 yıl içinde meydana gelebilecek maksimum magnitüdü ($M=8.38$) depremin yapılan 10km'lik episantr mesafesi analizi neticesinde; yaratacağı zemin deplasmanı değerinin 200cm'yi aştığı görülmüştür.

Çizelge 5.6.a Karadeniz Bölgesi yıllık risk, magnitüd ve maksimum ivme değerleri
(R=20, 40, 60km'ler için)

YAPI CİNSLERİ	R (%)	M	R=20km		R=40km		R=60km	
			Zemin İvmesi		Zemin İvmesi		Zemin İvmesi	
			(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
Normal Yapılar	15	6,31	0,18 g	0,25 g	0,07 g	0,12 g	0,04 g	0,06 g
	10	6,63	0,23 g	0,28 g	0,09 g	0,14 g	0,05 g	0,07 g
Önemli Yapılar	5	7,16	0,35 g	0,34 g	0,14 g	0,20 g	0,07 g	0,12 g
	2	7,84	0,61 g	0,41 g	0,24 g	0,26 g	0,12 g	0,17 g
	1	8,34	0,91 g	0,46 g	0,35 g	0,31 g	0,19 g	0,22 g
Nükleer Santraller	0,5	8,85	1,37 g	0,50 g	0,53 g	0,35 g	0,28 g	0,26 g

(1) Newmark-Rosenblueth (1971)

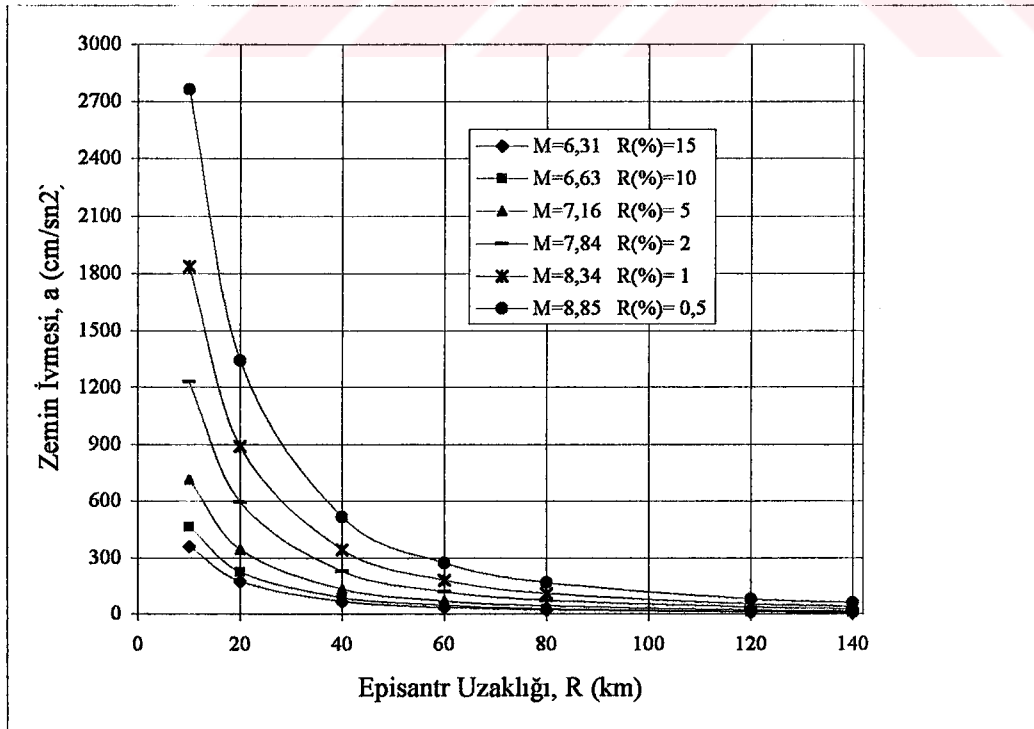
(2) Schnabel ve Seed (1973)

Çizelge 5.6.b Karadeniz Bölgesi yıllık risk, magnitüd ve maksimum ivme değerleri
(R=80, 120, 140km'ler için)

YAPI CİNSLERİ	R (%)	M	R=80km		R=120km		R=140km	
			Zemin İvmesi		Zemin İvmesi		Zemin İvmesi	
			(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
Normal Yapılar	15	6,31	0,023 g	0,034 g	0,011 g	0,017 g	0,008 g	0,014 g
	10	6,63	0,029 g	0,042 g	0,014 g	0,021 g	0,011 g	0,021 g
Önemli Yapılar	5	7,16	0,045 g	0,074 g	0,022 g	0,037 g	0,016 g	0,031 g
	2	7,84	0,077 g	0,116 g	0,038 g	0,058 g	0,028 g	0,046 g
	1	8,34	0,115 g	0,149 g	0,056 g	0,075 g	0,042 g	0,057 g
Nükleer Santraller	0,5	8,85	0,172 g	0,183 g	0,084 g	0,092 g	0,064 g	0,068 g

(1) Newmark-Rosenblueth (1971)

(2) Schnabel ve Seed (1973)



Şekil 5.5 Zemin ivmesi – Episantr uzaklığı değişimi

Çizelge 5.7 Karadeniz Bölgesi zemin deplasmanı değerleri

YILLIK RİSK, R(%)	M	ZEMİN DEPLASMANI, d (cm)					
		EPİSANTR UZAKLIĞI					
		20km	40km	60km	80km	120km	140km
15	6,31	78,56	30,84	17,53	11,73	6,64	5,36
10	6,63	96,45	40,81	23,95	16,27	9,33	7,57
5	7,16	127,97	62,34	38,88	27,31	16,31	13,34
0,5	8,85	185,31	156,58	128,41	106,41	76,76	66,62

Çizelge 5.8 Karadeniz Bölgesi zemin deplasmanı analizleri
(Probabilite hesapları sonuçlarına göre)

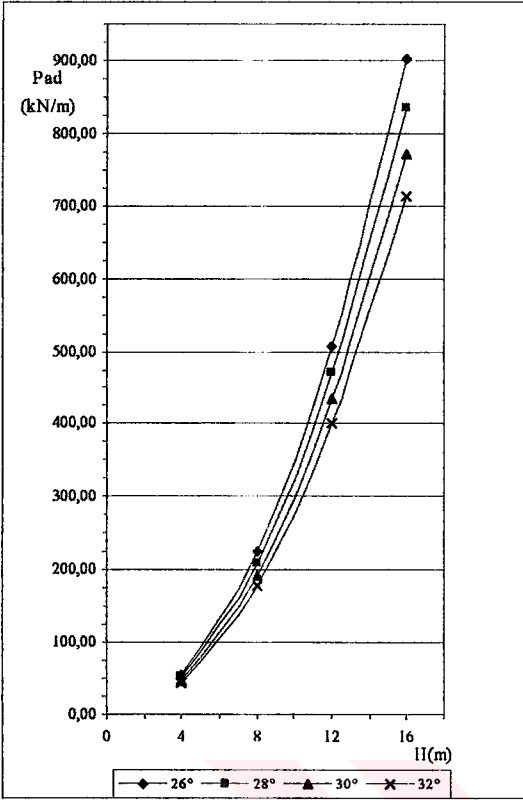
EPİSANTR UZAKLIĞI, R	M=4,73		M=5,00		M=8,38	
	a	d(cm)	a	d(cm)	a	d(cm)
20 km	0,051 g	21,15	0,063 g	27,28	0,939 g	181,81
40 km	0,020 g	6,42	0,024 g	8,54	0,364 g	130,72
60 km	0,010 g	3,28	0,013 g	4,44	0,192 g	98,21
80 km	0,006 g	2,07	0,008 g	2,83	0,118 g	77,05
120 km	0,003 g	1,13	0,004 g	1,52	0,058 g	52,06
140 km	0,002 g	0,89	0,003 g	1,21	0,044 g	44,22

yıllık magnitüd ($M=5.00$) ve 100 yıl içinde meydana gelebilecek maksimum magnitüd ($M=8.38$) değerleri ile (P_{AD}) değişiminin gösterildiği grafiklerde (Şekil 6.11-6.14 arası), $\phi = 26^\circ, 28^\circ, 30^\circ, 32^\circ$ değişkenleri için;

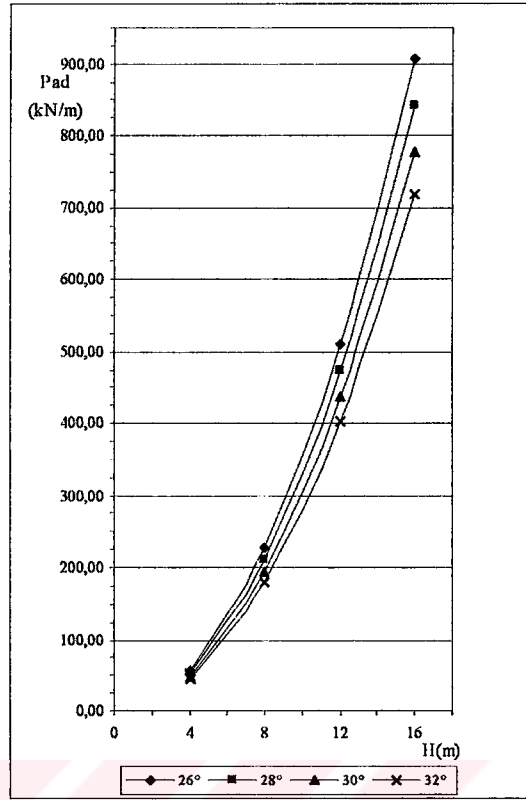
ve ayrıca içsel sürtünme açısı ϕ ile toplam yük/durgun haldeki toprak basıncı (P_{AD}/P_A) değişiminin gösterildiği grafikler de (Şekil 6.15), $R= 40\text{km}, 60\text{km}, 80\text{km}, 120\text{km}$ ve 140km değişkenleri için,

elde edilmiştir.

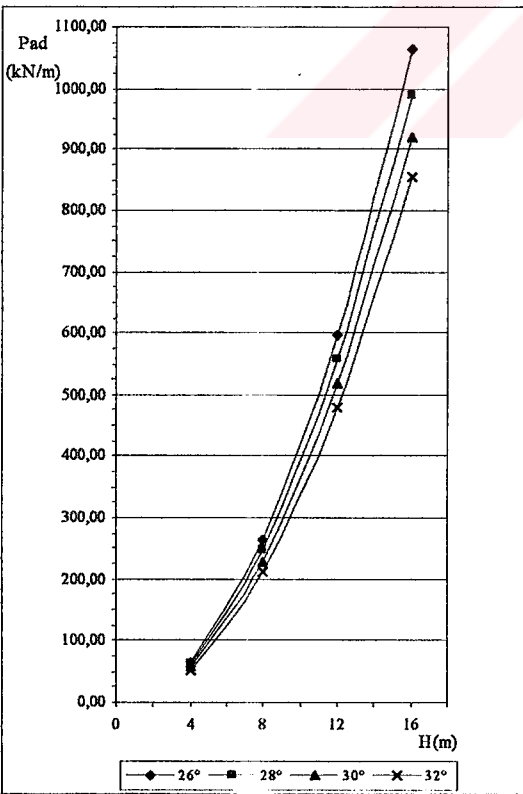




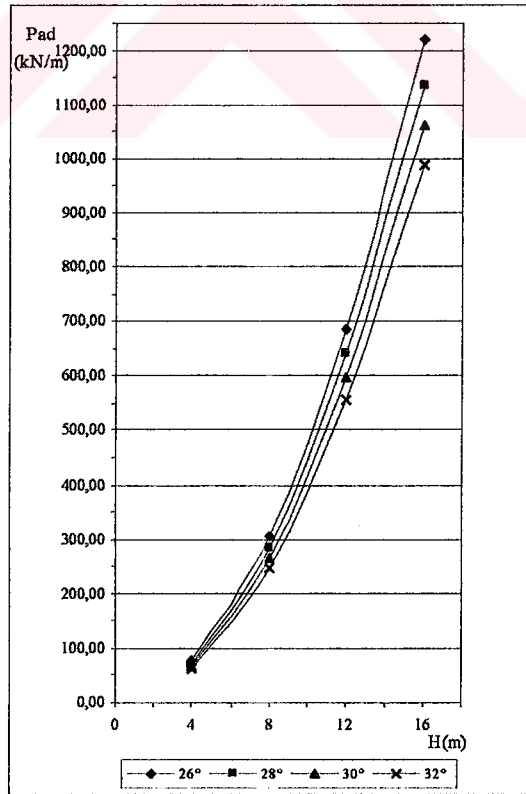
Şekil 6.1.a Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi (M=4.73, R=40km)



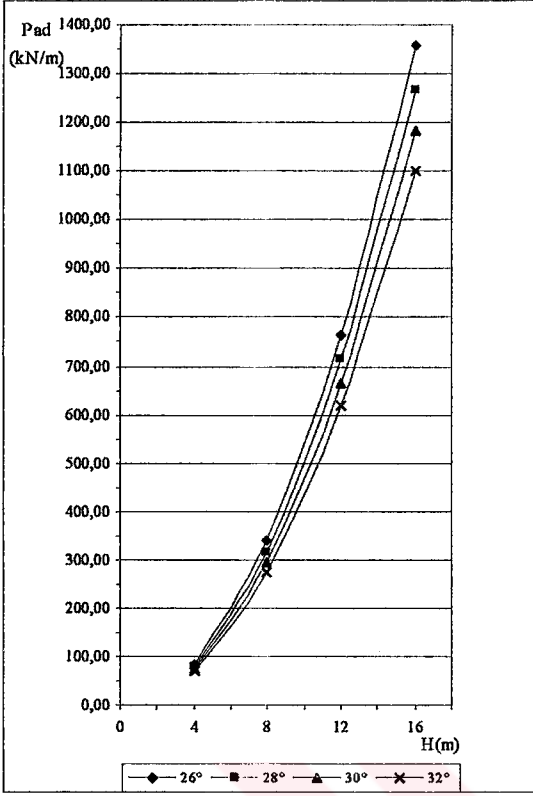
Şekil 6.1.b Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi (M=5.00, R=40km)



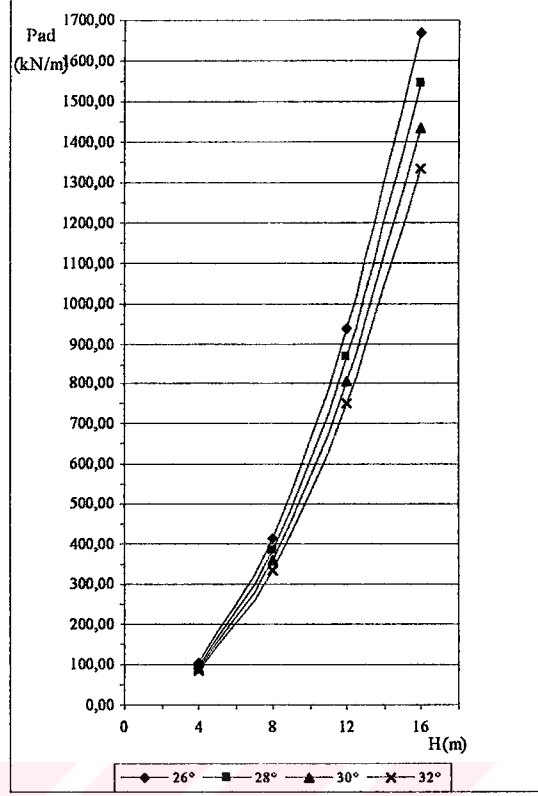
Şekil 6.1.c Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi (M=6.31, R=40km)



Şekil 6.1.d Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi (M=7.16, R=40km)



Şekil 6.1.e Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi (M=7,84, R=40km)

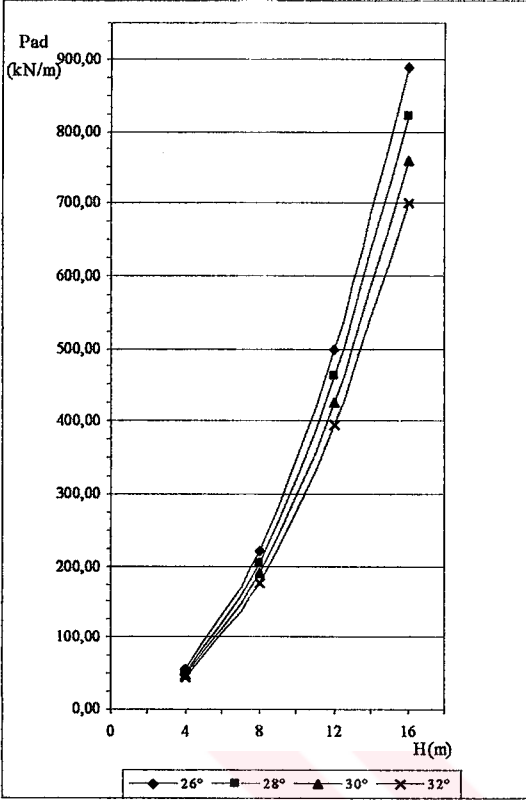


Şekil 6.1.f Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi (M=8,38, R=40km)

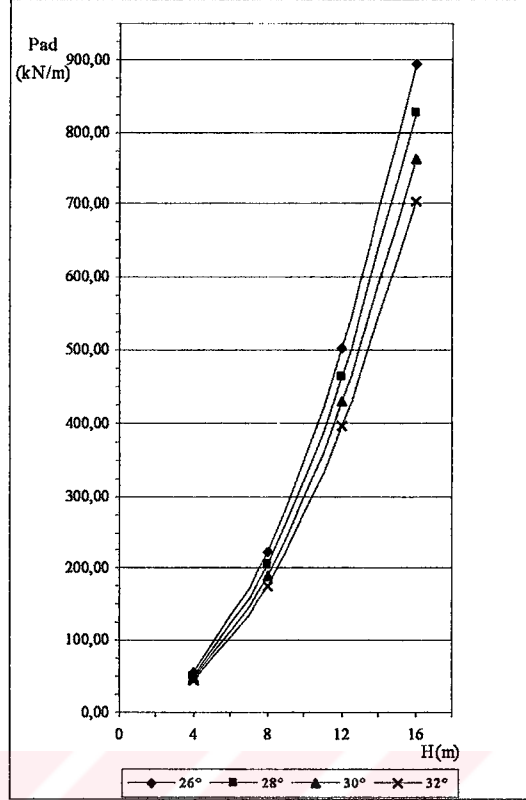
Şekil 6.1-6.5 arası grafiklerde; toplam deprem yükünün (deprensiz + deprem etkisi), istinat duvarı yüksekliği H ile değişimi incelenmiştir. Buna göre, Şekil 6.1 grafikleri için, toplam deprem yükü değerlerinin, kN/m cinsinden;

		$\phi = 28^\circ$	$\phi = 30^\circ$
R=40 km için; H=4m	M=5,00 için	53	49
	M=6,31 için	62	58
	M=8,38 için	97	90
R=40 km için; H=16m	M=5,00 için	842	778
	M=6,31 için	990	920
	M=8,38 için	1.545	1.435

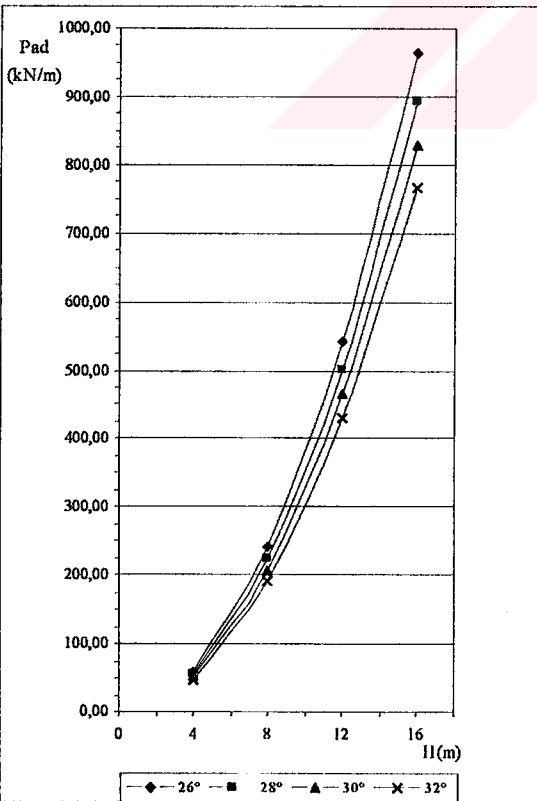
olduğu görülmektedir.



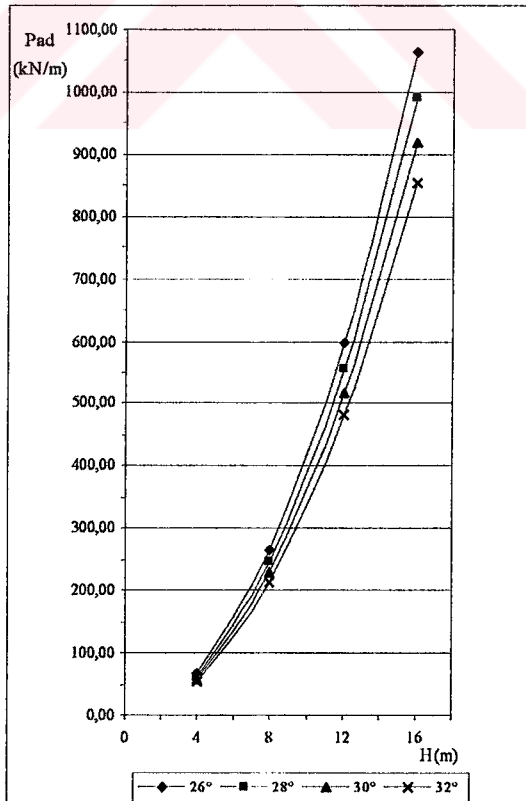
Şekil 6.2.a Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi (M=4.73, R=60km)



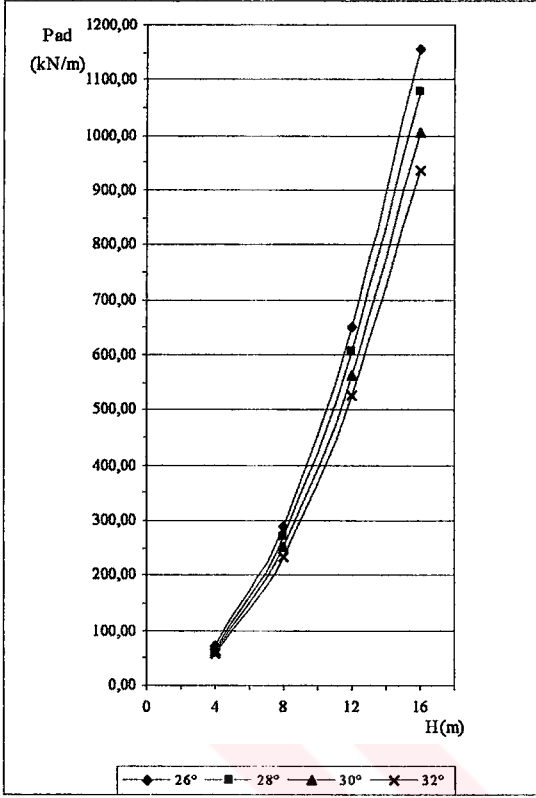
Şekil 6.2.b Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi (M=5.00, R=60km)



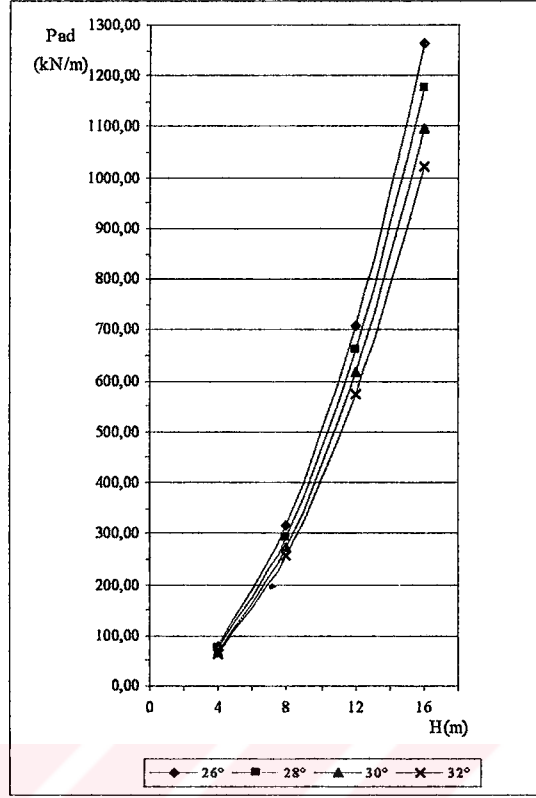
Şekil 6.2.c Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi (M=6.31, R=60km)



Şekil 6.2.d Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi (M=7.16, R=60km)



Şekil 6.2.e Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi (M=7,84, R=60km)

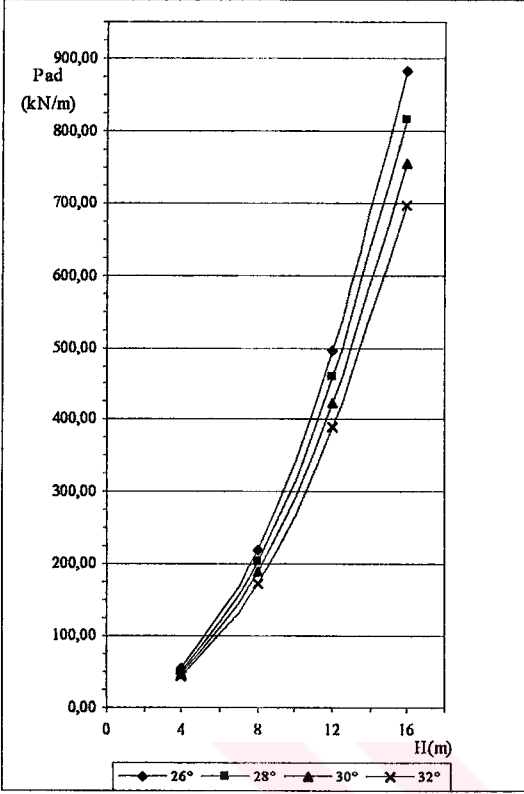


Şekil 6.2.f Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi (M=8,38, R=60km)

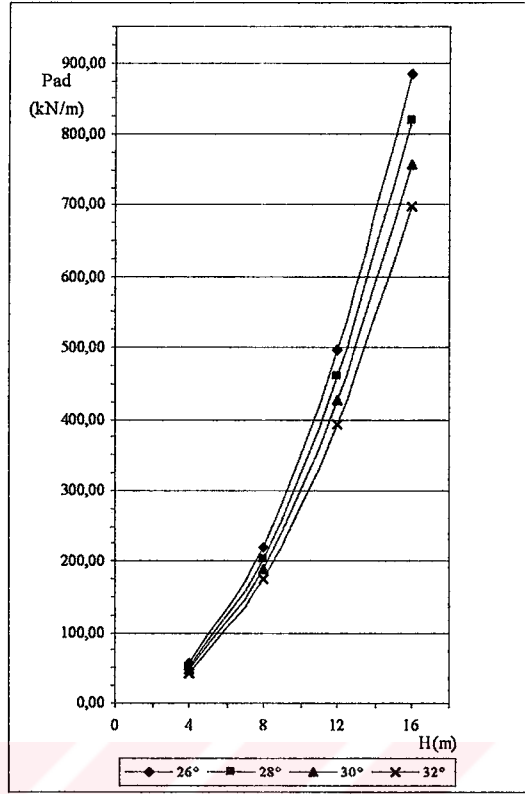
Şekil 6.2 grafikleri için, toplam deprem yükü değerlerinin, kN/m cinsinden;

		$\phi = 28^\circ$	$\phi = 30^\circ$
R=60 km için; H=4m	M=5,00 için	52	48
	M=6,31 için	56	52
	M=8,38 için	74	69
R=60 km için; H=16m	M=5,00 için	827	764
	M=6,31 için	894	829
	M=8,38 için	1.179	1.099

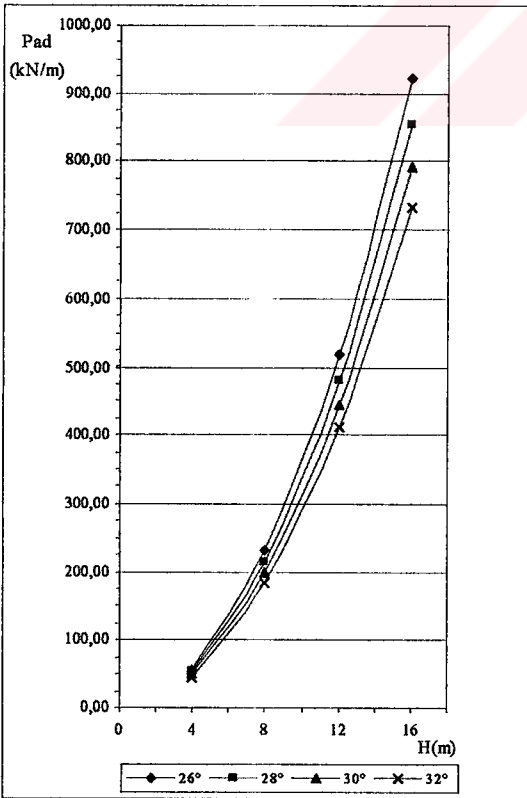
olduğu görülmektedir.



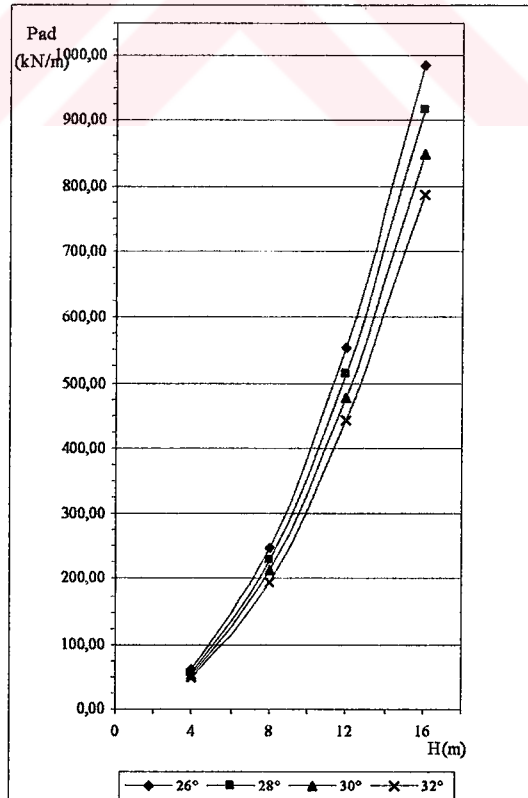
Şekil 6.3.a Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi (M=4.73, R=80km)



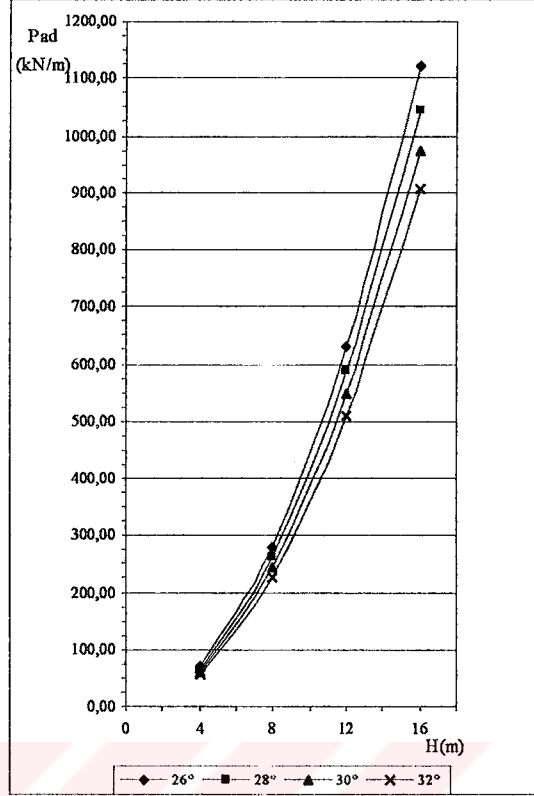
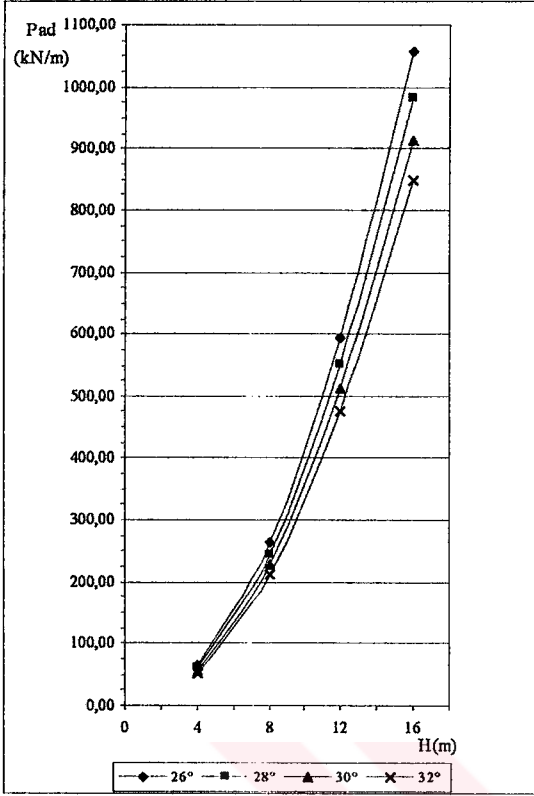
Şekil 6.3.b Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi (M=5.00, R=80km)



Şekil 6.3.c Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi (M=6.31, R=80km)

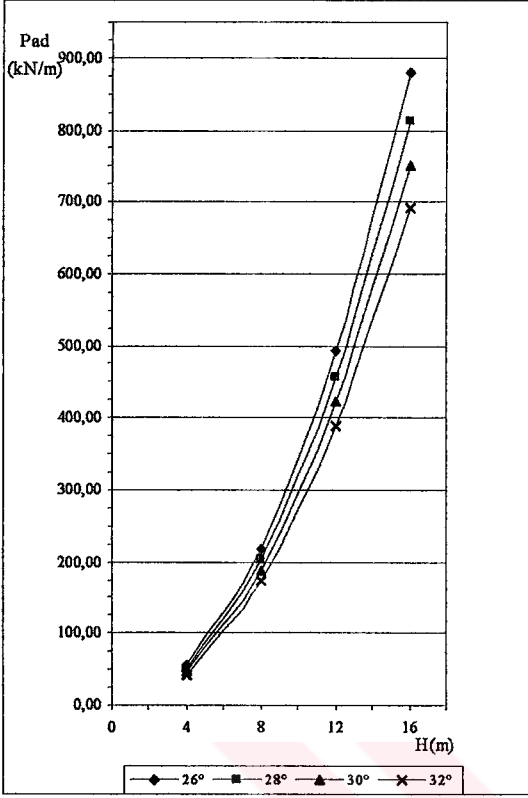


Şekil 6.3.d Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi (M=7.16, R=80km)

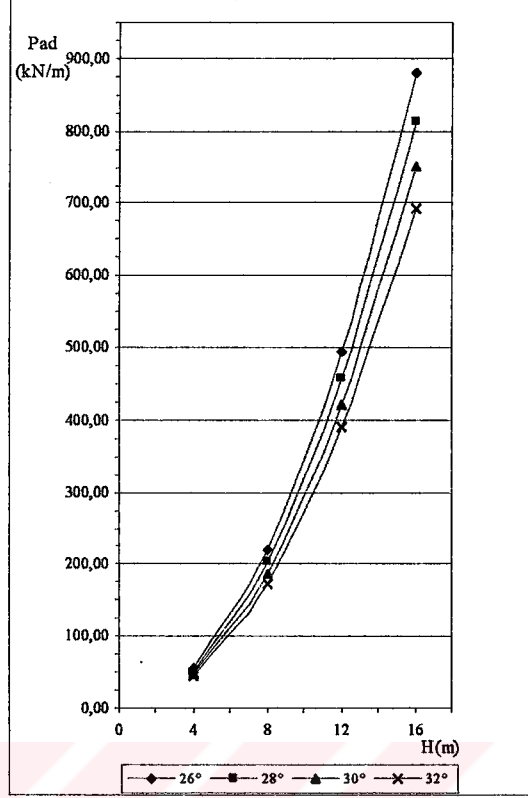


Şekil 6.3.e Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi (M=7,84, R=80km)

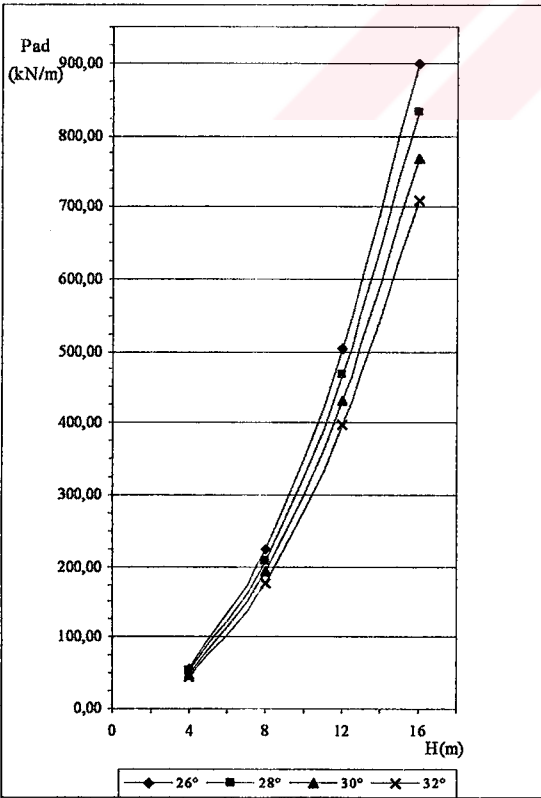
Şekil 6.3.f Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi (M=8,38, R=80km)



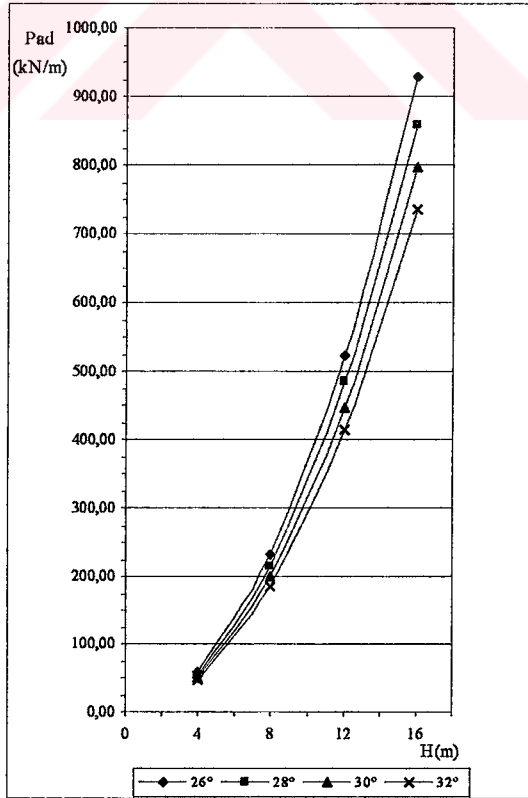
Şekil 6.4.a Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi (M=4.73, R=120km)



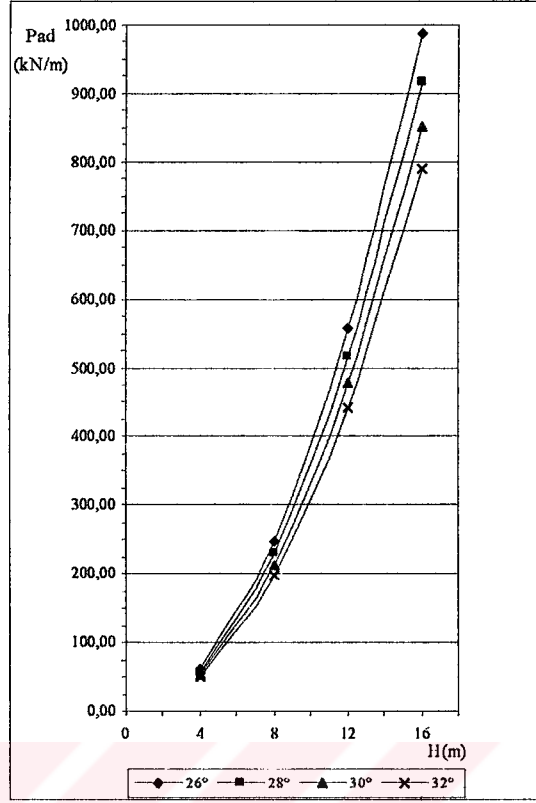
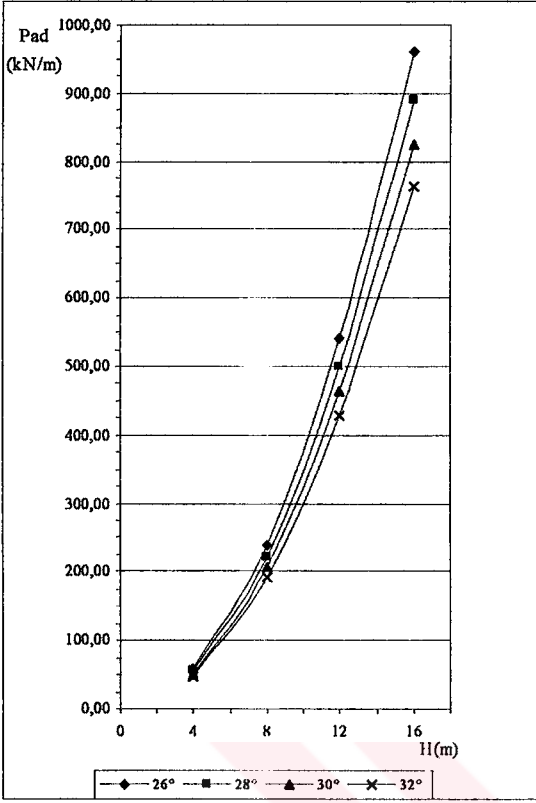
Şekil 6.4.b Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi (M=5.00, R=120km)



Şekil 6.4.c Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi (M=6.31, R=120km)

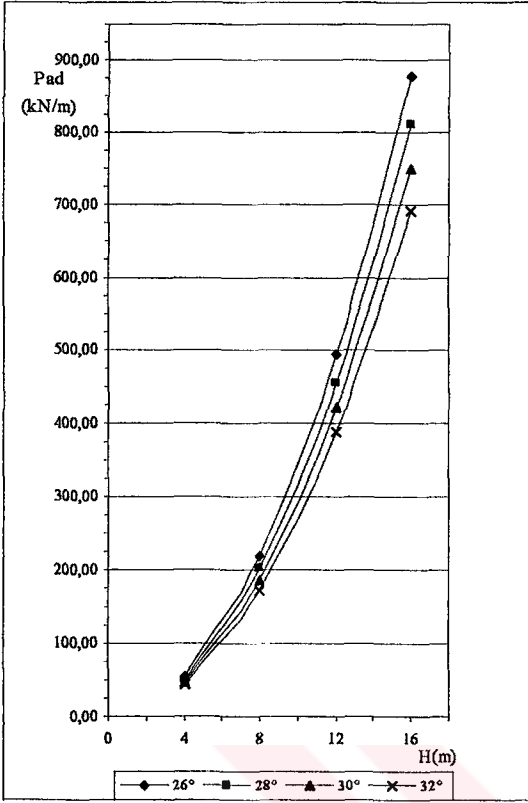


Şekil 6.4.d Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi (M=7.16, R=120km)

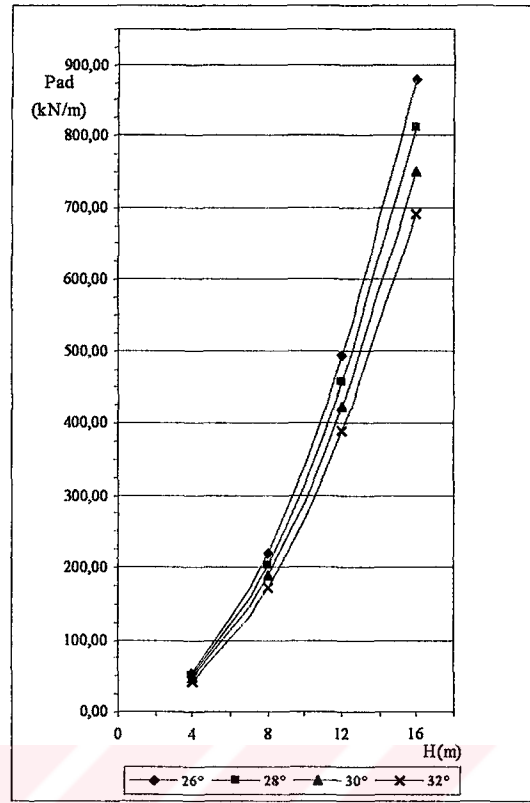


Şekil 6.4.e Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi (M=7,84, R=120km)

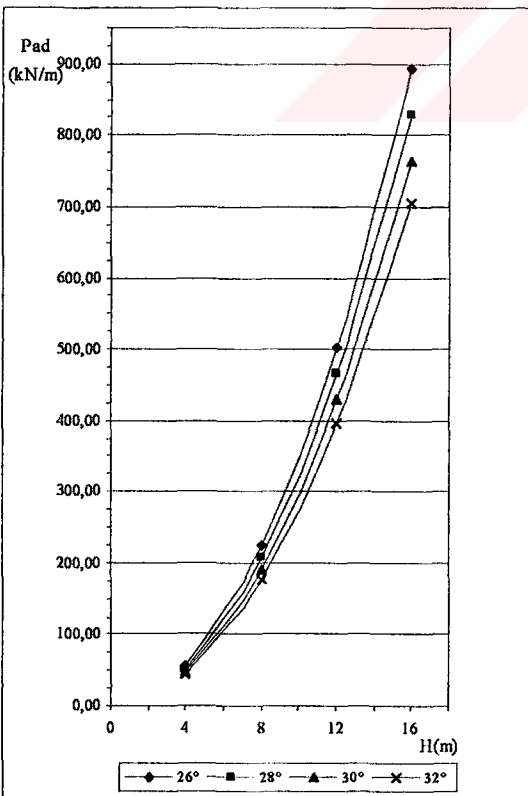
Şekil 6.4.f Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi (M=8,38, R=120km)



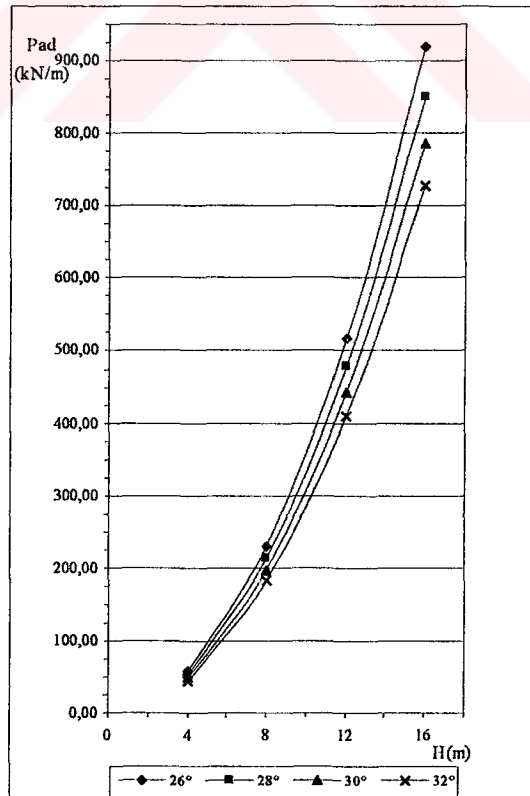
Şekil 6.5.a Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi (M=4.73, R=140km)



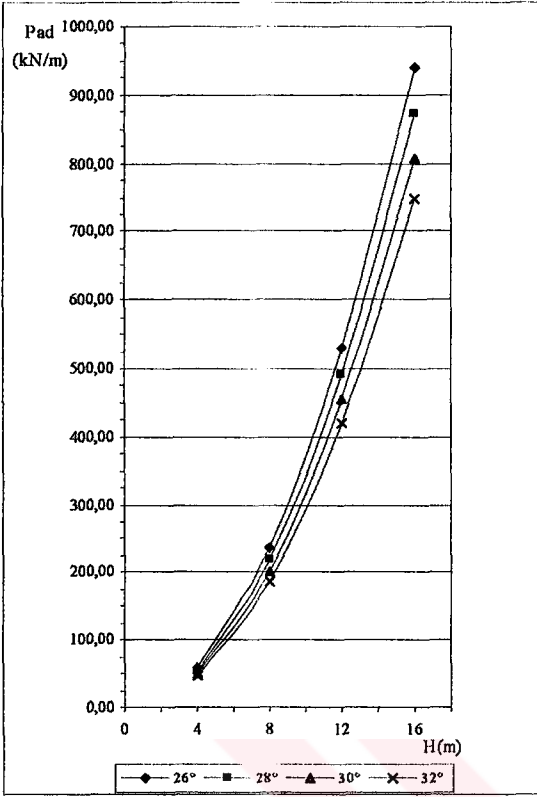
Şekil 6.5.b Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi (M=5.00, R=140km)



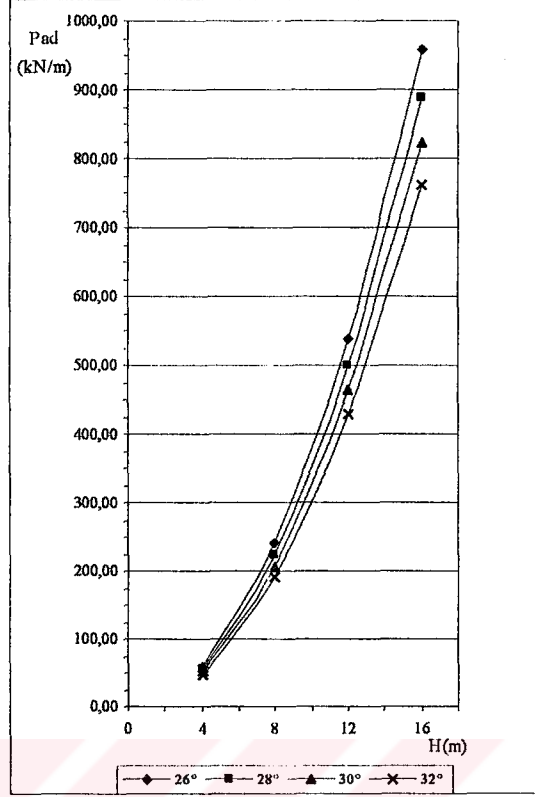
Şekil 6.5.c Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi (M=6.31, R=140km)



Şekil 6.5.d Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi (M=7.16, R=140km)



Şekil 6.5.e Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi (M=7,84, R=140km)



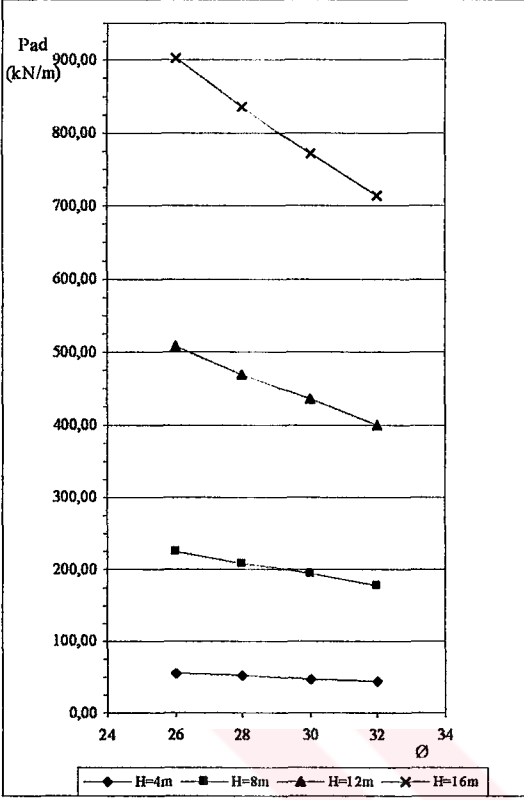
Şekil 6.5.f Toplam deprem yükünün yükseklikle değişimi (M=8,38, R=140km)

Şekil 6.5 grafikleri için, toplam deprem yükü değerlerinin, kN/m cinsinden;

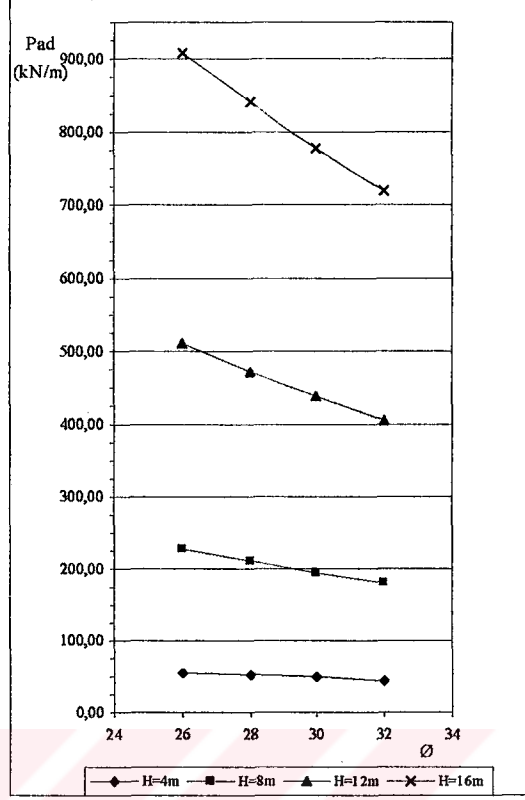
		$\phi = 28^\circ$	$\phi = 30^\circ$
R=140 km için; H=4m	M=5,00 için	51	47
	M=6,31 için	52	48
	M=8,38 için	56	52
R=140 km için; H=16m	M=5,00 için	813	751
	M=6,31 için	828	765
	M=8,38 için	890	824

olduğu görülmektedir.

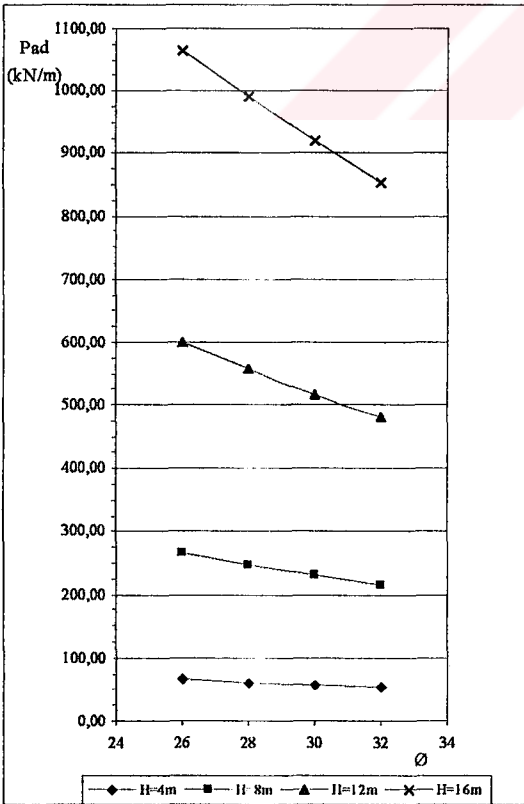
Şekil 6.1-6.5 arasındaki grafiklerinin yorumları, Sonuçlar Bölümünde yapılacaktır.



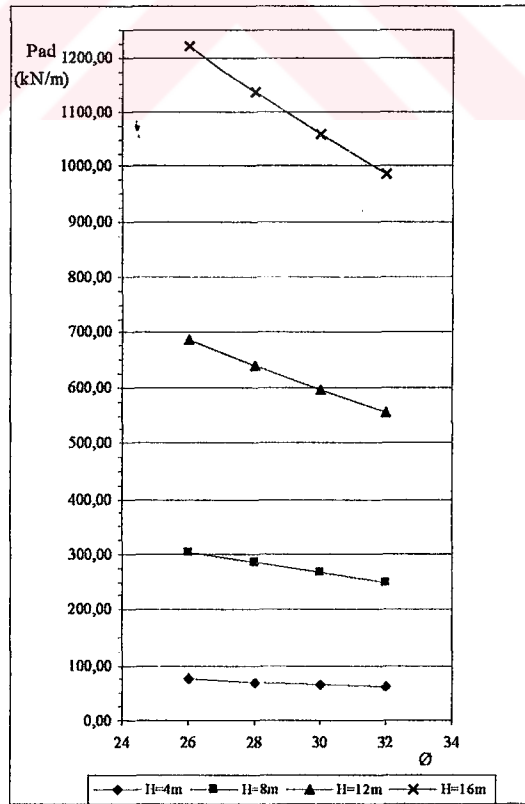
Şekil 6.6.a Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi ($M=4.73$, $R=40\text{km}$)



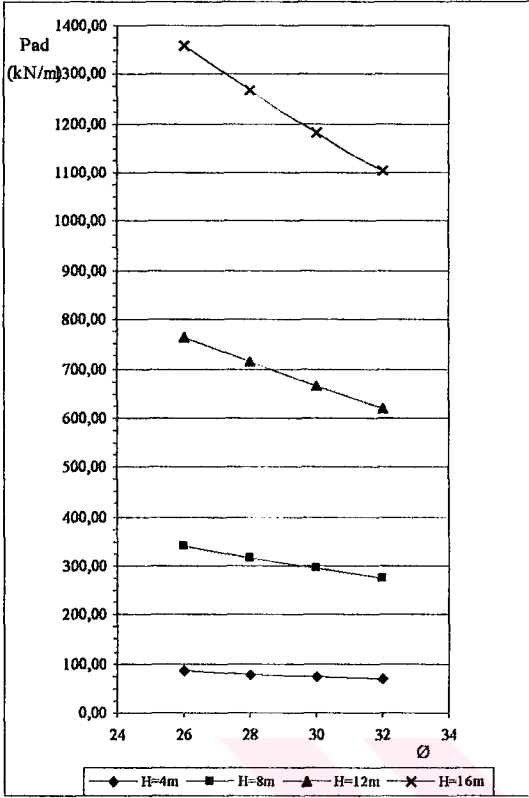
Şekil 6.6.b Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi ($M=5.00$, $R=40\text{km}$)



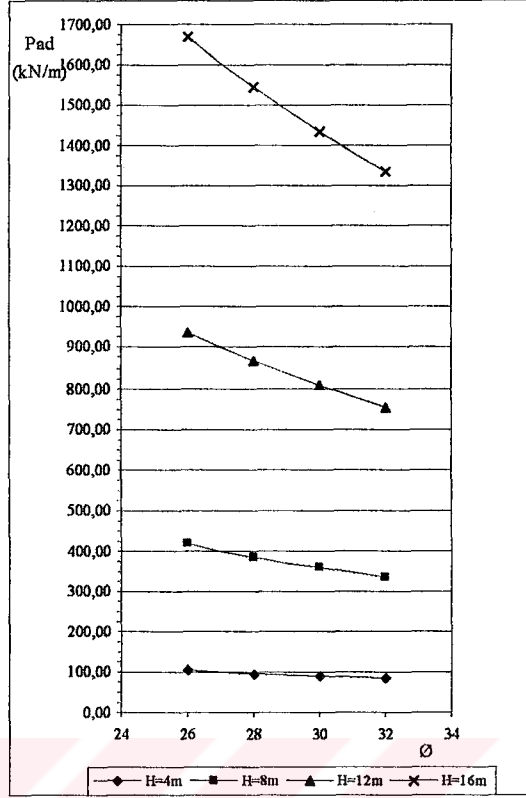
Şekil 6.6.c Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi ($M=6,31$, $R=40\text{km}$)



Şekil 6.6.d Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi ($M=7,16$, $R=40\text{km}$)



Şekil 6.6.e Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi (M=7,84, R=40km)

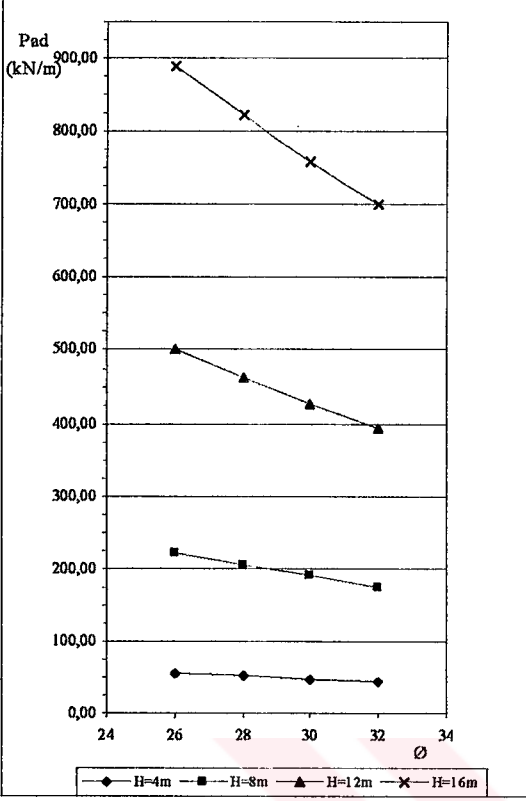


Şekil 6.6.f Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi (M=8,38, R=40km)

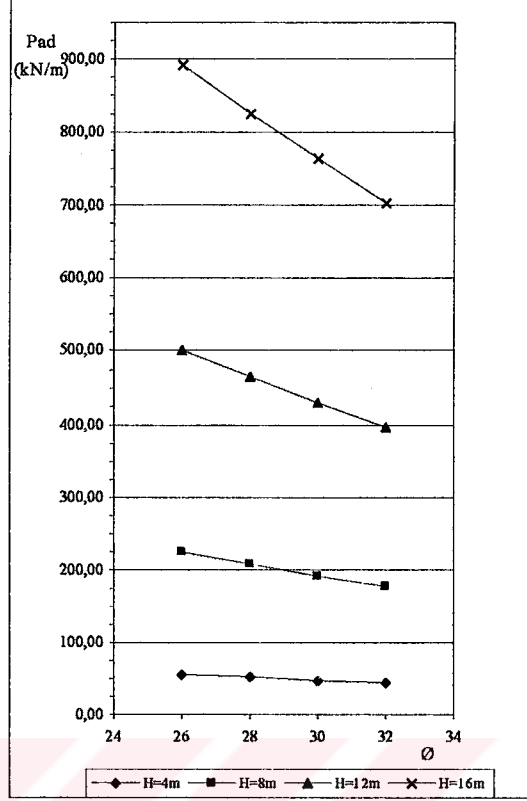
Şekil 6.6-6.10 arası grafiklerde; toplam deprem yükünün (deprensiz + deprem etkisi), içsel sürtünme açısı ϕ ile değişimi incelenmiştir. Buna göre, Şekil 6.6 grafikleri için, toplam deprem yükü değerlerinin, kN/m cinsinden;

		H=4m	H=16m
R=40 km için; $\phi = 26^\circ$	M=5,00 için	57	909
	M=6,31 için	67	1.064
	M=8,38 için	104	1.668
R=40 km için; $\phi = 32^\circ$	M=5,00 için	45	719
	M=6,31 için	54	854
	M=8,38 için	84	1.336

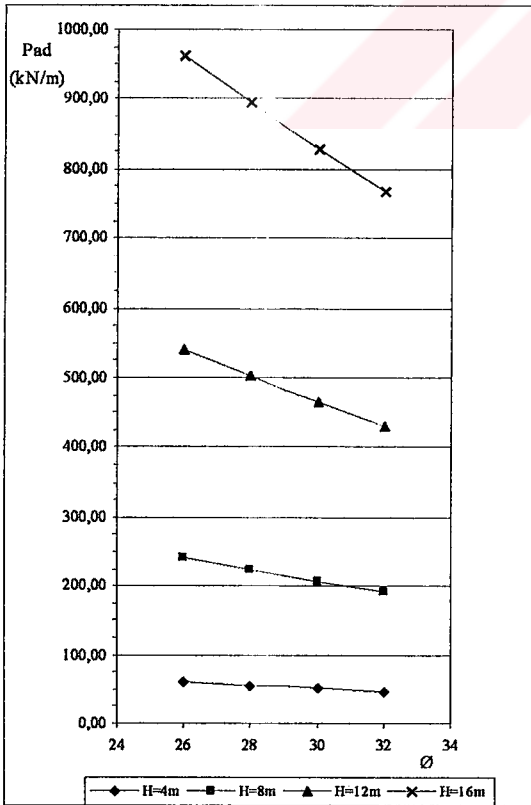
olduğu görülmektedir.



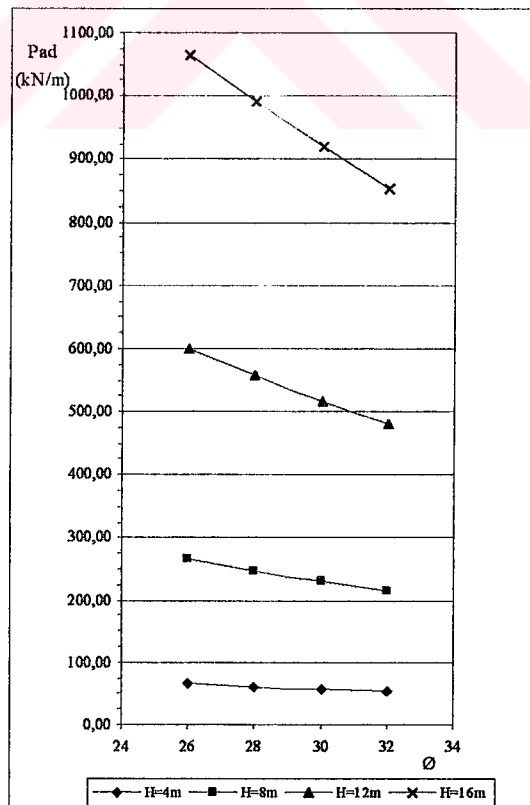
Şekil 6.7.a Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi ($M=4.73$, $R=60\text{km}$)



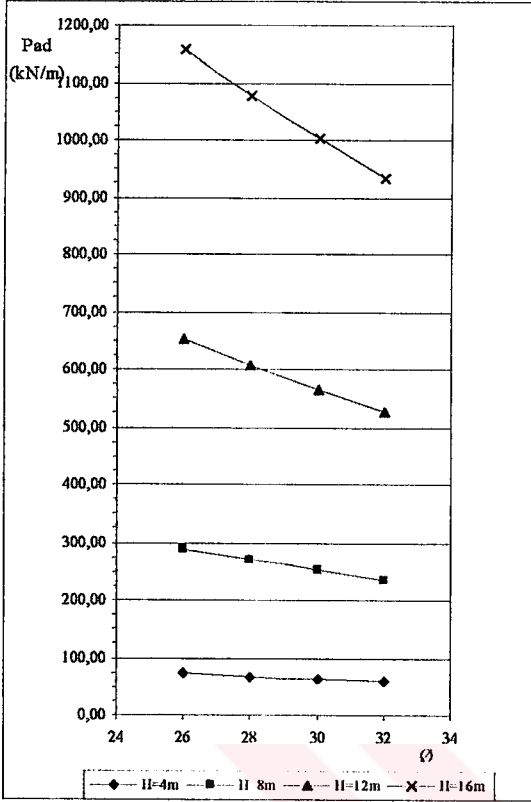
Şekil 6.7.b Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi ($M=5.00$, $R=60\text{km}$)



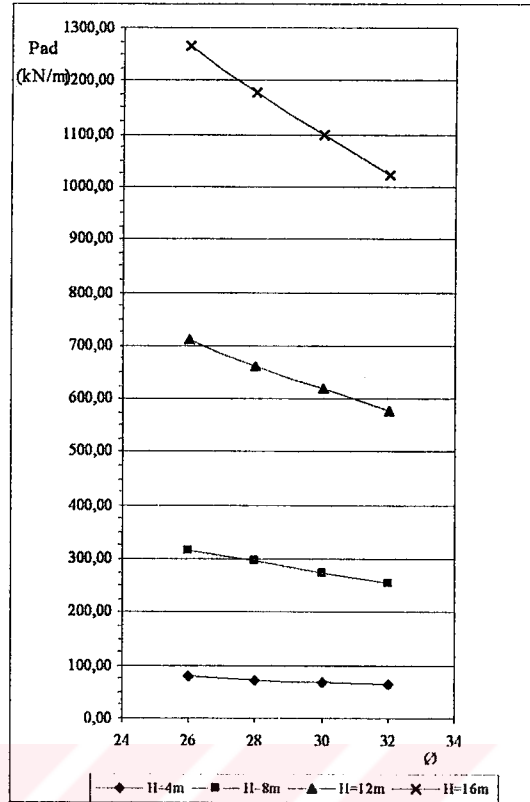
Şekil 6.7.c Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi ($M=6,31$, $R=60\text{km}$)



Şekil 6.7.d Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi ($M=7,16$, $R=60\text{km}$)



Şekil 6.7.e Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi ($M=7,84$, $R=60\text{km}$)

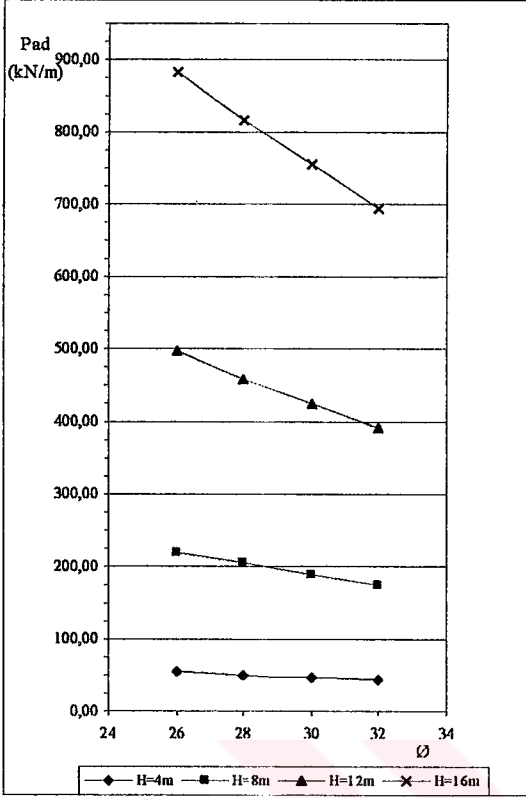


Şekil 6.7.f Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi ($M=8,38$, $R=60\text{km}$)

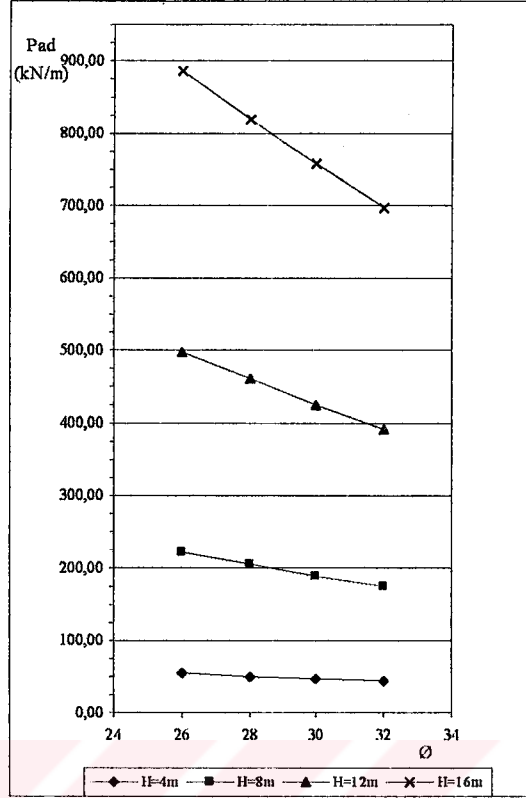
Şekil 6.7 grafikleri için, toplam deprem yükü değerlerinin, kN/m cinsinden;

		H=4m	H=16m
R=60 km için; $\phi = 26^\circ$	M=5,00 için	56	893
	M=6,31 için	60	964
	M=8,38 için	79	1.264
R=60 km için; $\phi = 32^\circ$	M=5,00 için	44	705
	M=6,31 için	48	767
	M=8,38 için	64	1.024

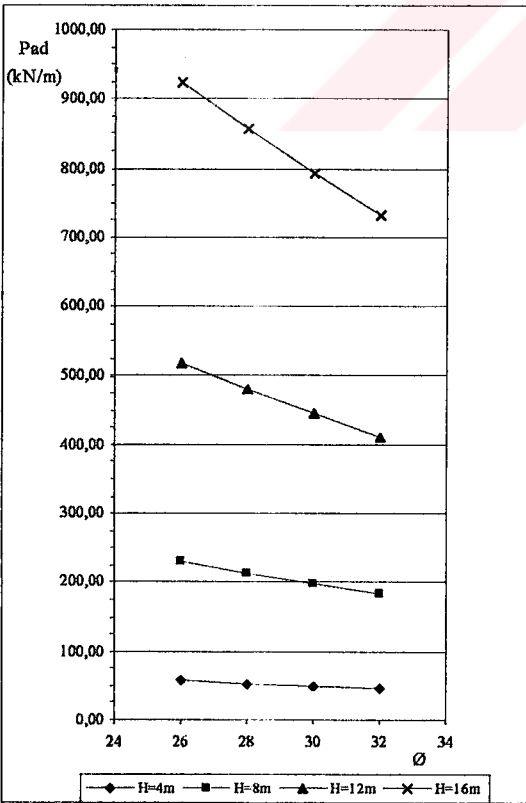
olduğu görülmektedir.



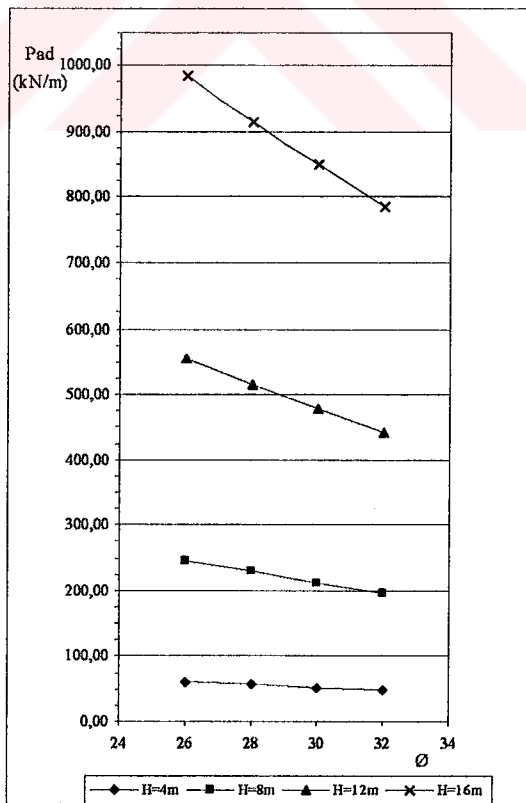
Şekil 6.8.a Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi (M=4.73, R=80km)



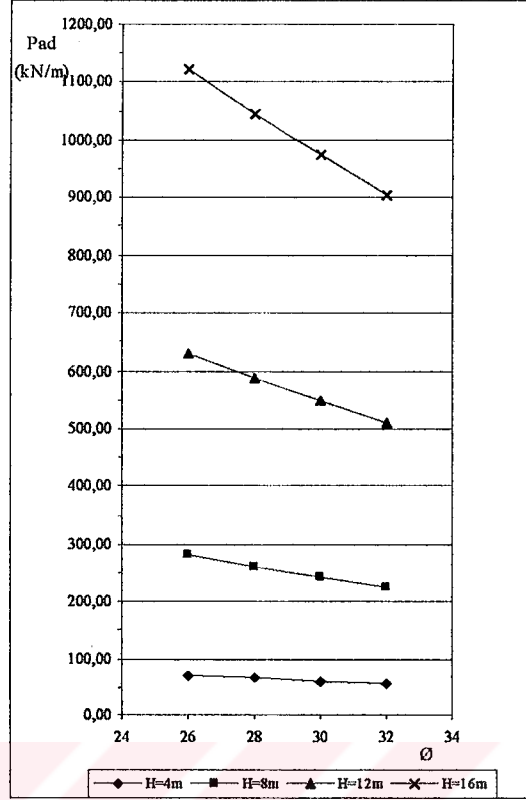
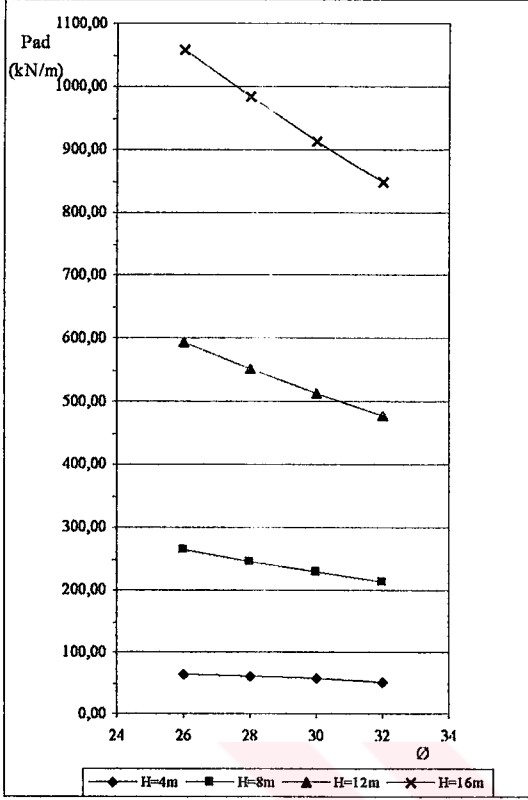
Şekil 6.8.b Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi (M=5.00, R=80km)



Şekil 6.8.c Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi (M=6.31, R=80km)

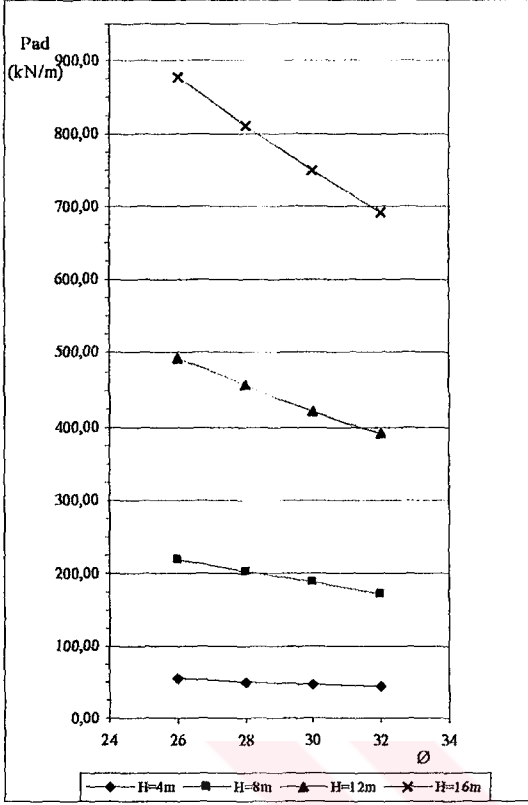


Şekil 6.8.d Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi (M=7.16, R=80km)

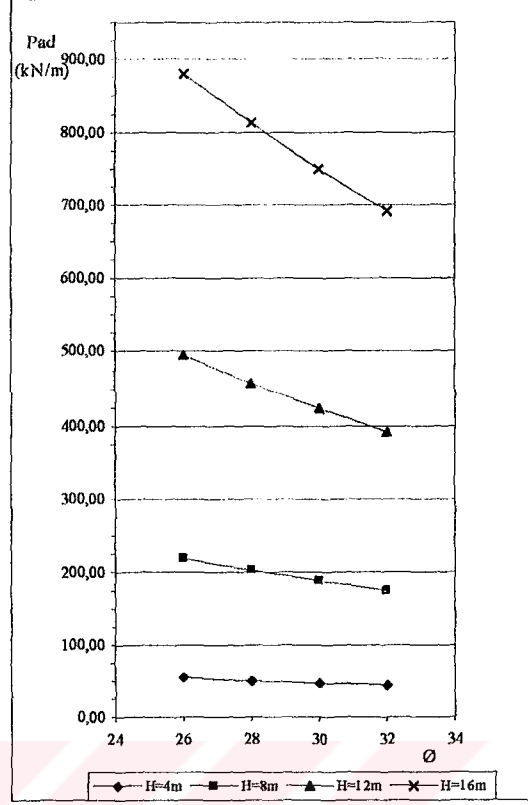


Şekil 6.8.e Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi (M=7,84, R=80km)

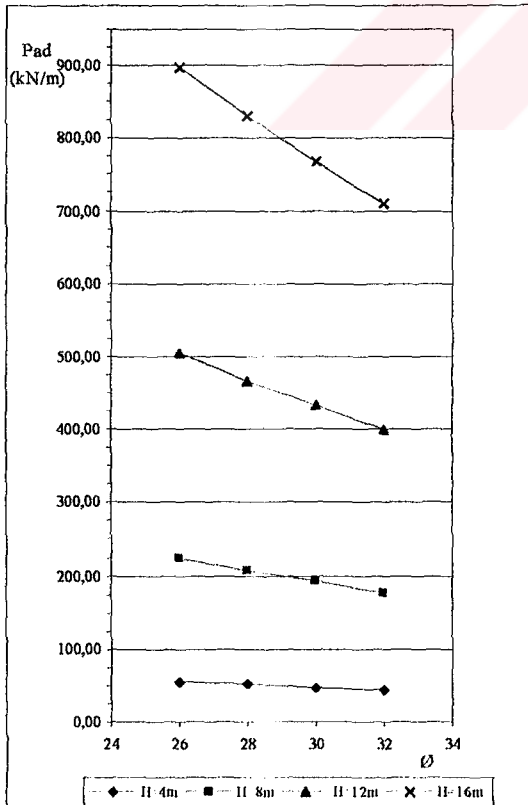
Şekil 6.8.f Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi (M=8,38, R=80km)



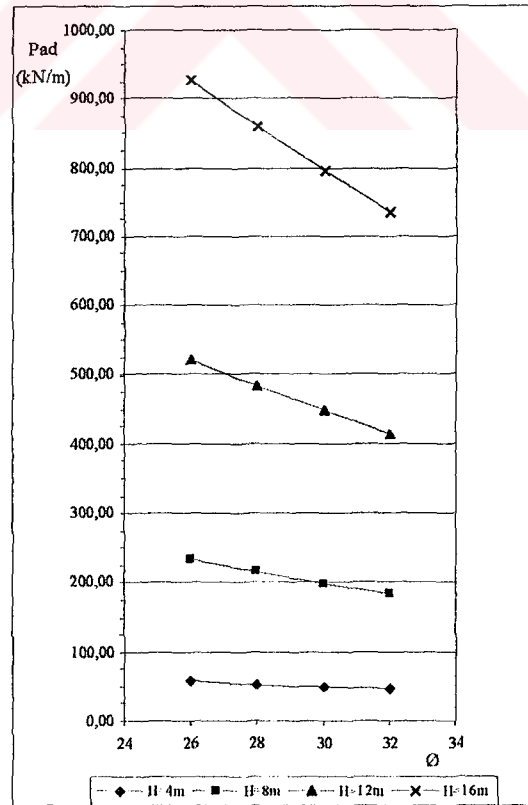
Şekil 6.9.a Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi ($M=4.73$, $R=120\text{km}$)



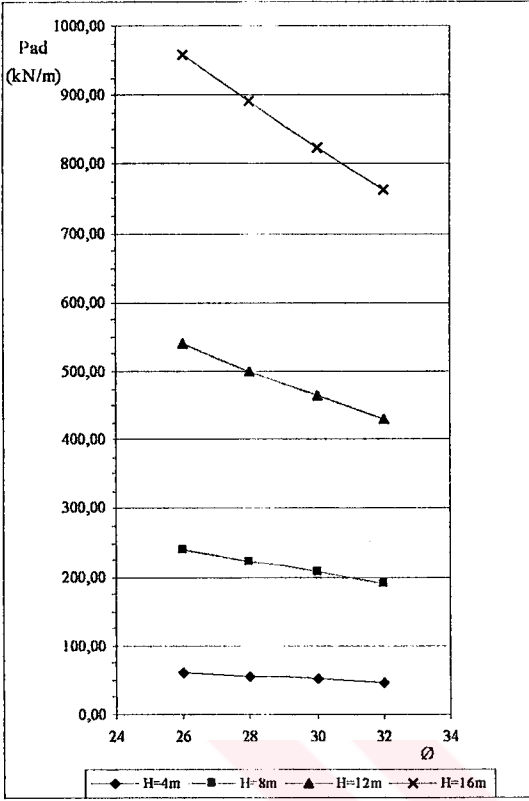
Şekil 6.9.b Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi ($M=5.00$, $R=120\text{km}$)



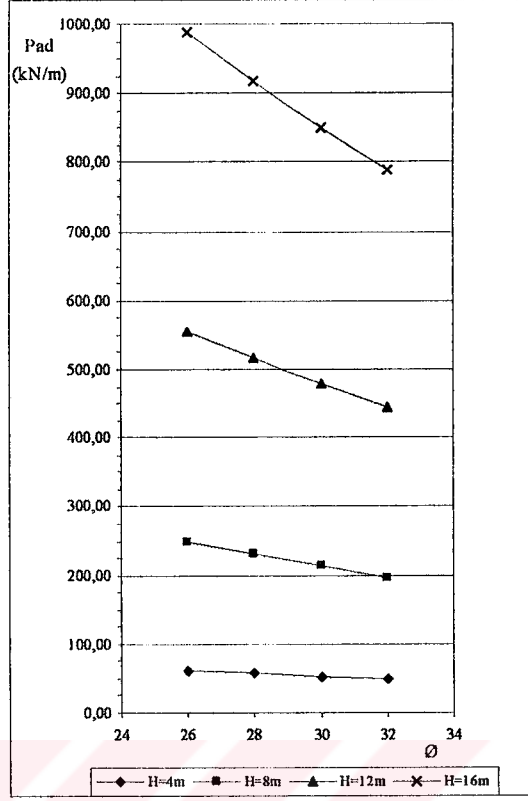
Şekil 6.9.c Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi ($M=6,31$, $R=120\text{km}$)



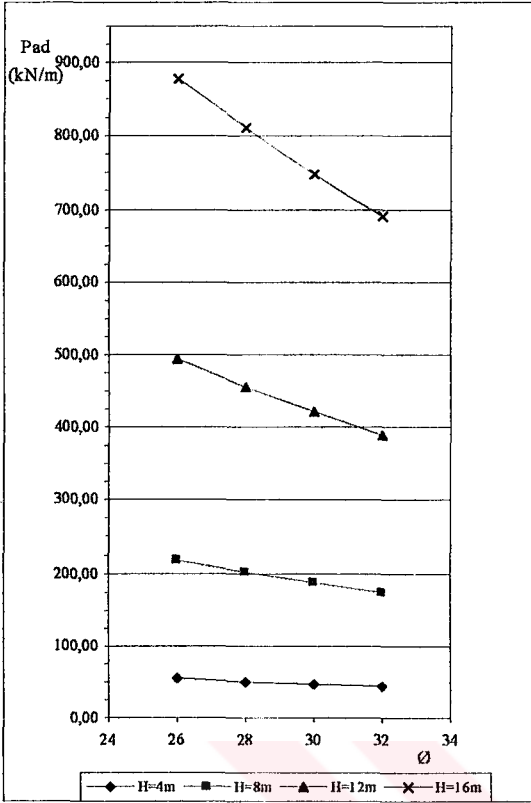
Şekil 6.9.d Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi ($M=7,16$, $R=120\text{km}$)



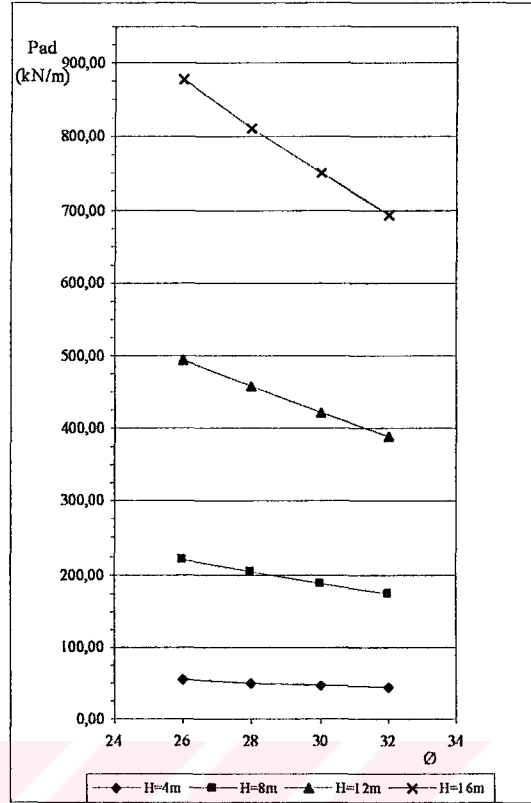
Şekil 6.9.e Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi (M=7,84, R=120km)



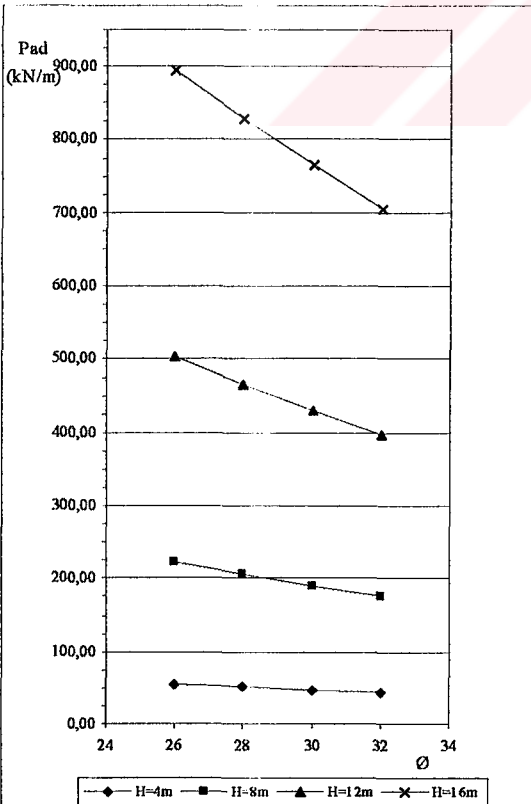
Şekil 6.9.f Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi (M=8,38, R=120km)



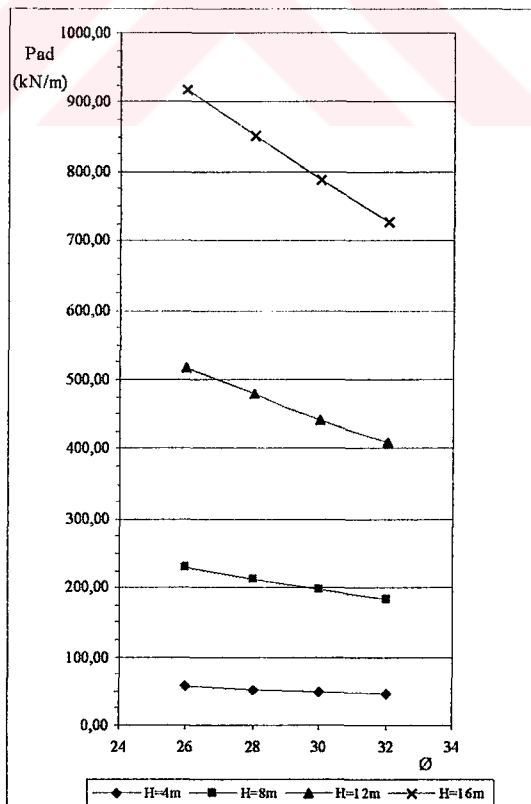
Şekil 6.10.a Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi ($M=4.73$, $R=140\text{km}$)



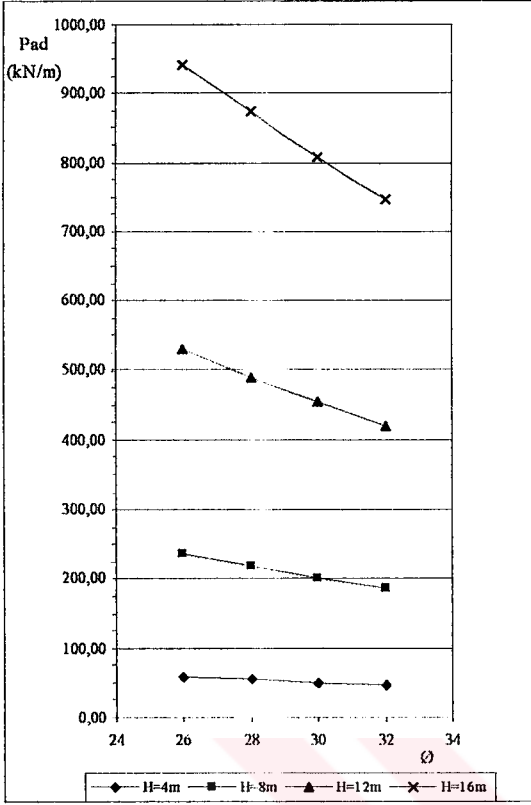
Şekil 6.10.b Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi ($M=5.00$, $R=140\text{km}$)



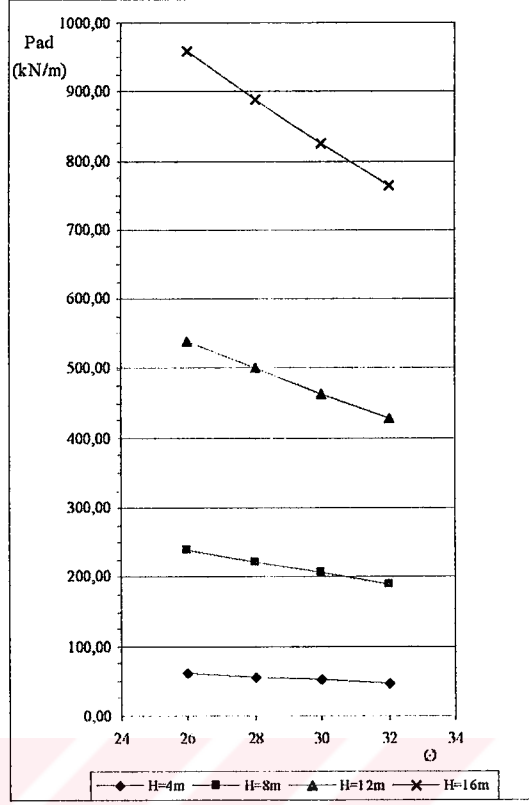
Şekil 6.10.c Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi ($M=6,31$, $R=140\text{km}$)



Şekil 6.10.d Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi ($M=7,16$, $R=140\text{km}$)



Şekil 6.10.e Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi (M=7,84, R=140km)



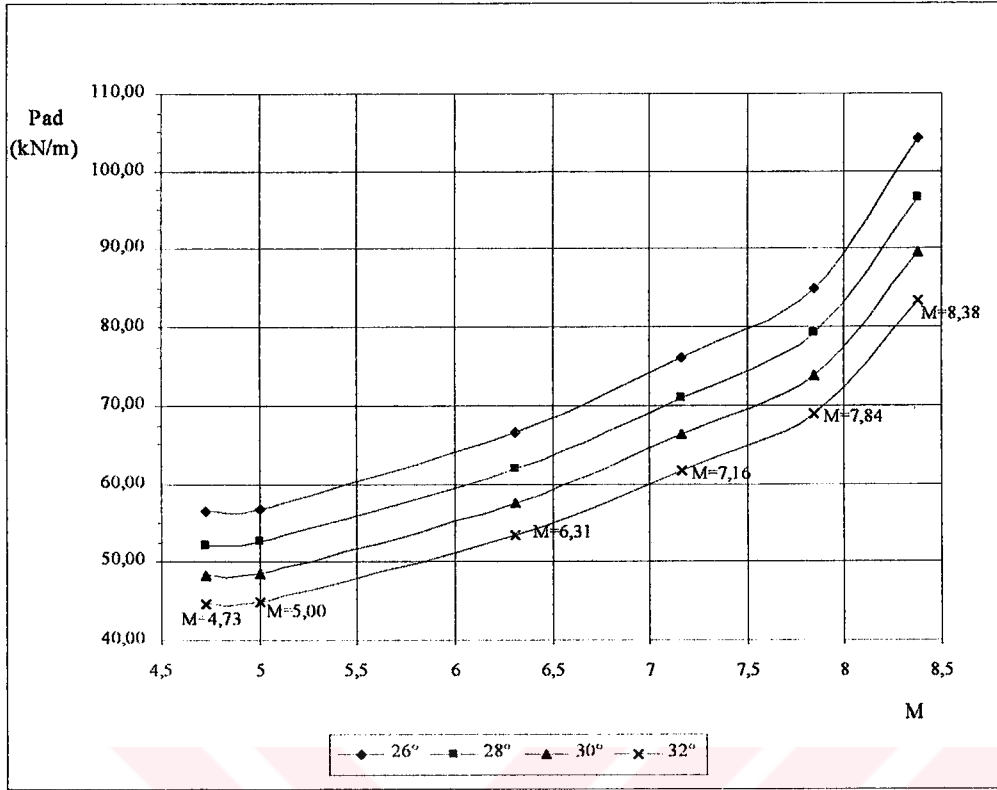
Şekil 6.10.f Toplam deprem yükünün ϕ ile değişimi (M=8,38, R=140km)

Şekil 6.10 grafikleri için, toplam deprem yükü değerlerinin, kN/m cinsinden;

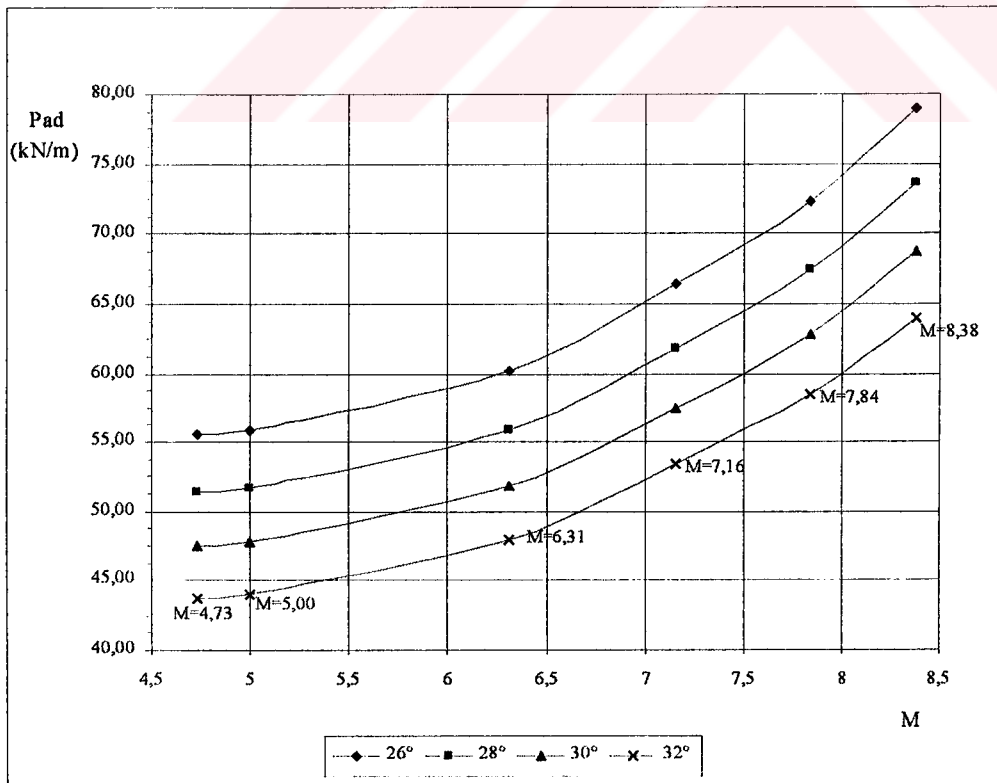
		H=4m	H=16m
R=140 km için; $\phi = 26^\circ$	M=5,00 için	55	879
	M=6,31 için	56	895
	M=8,38 için	60	959
R=140 km için; $\phi = 32^\circ$	M=5,00 için	43	692
	M=6,31 için	44	706
	M=8,38 için	48	763

olduğu görülmektedir.

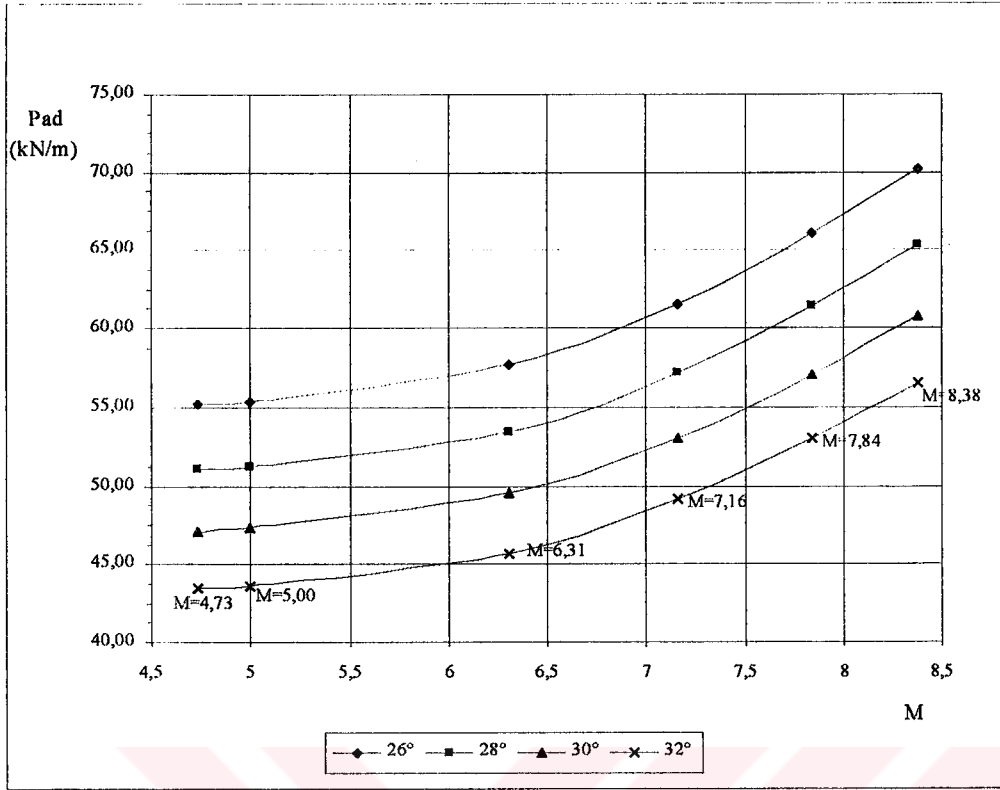
Şekil 6.6-6.10 arasındaki grafiklerinin yorumları, Sonuçlar Bölümünde yapılacaktır.



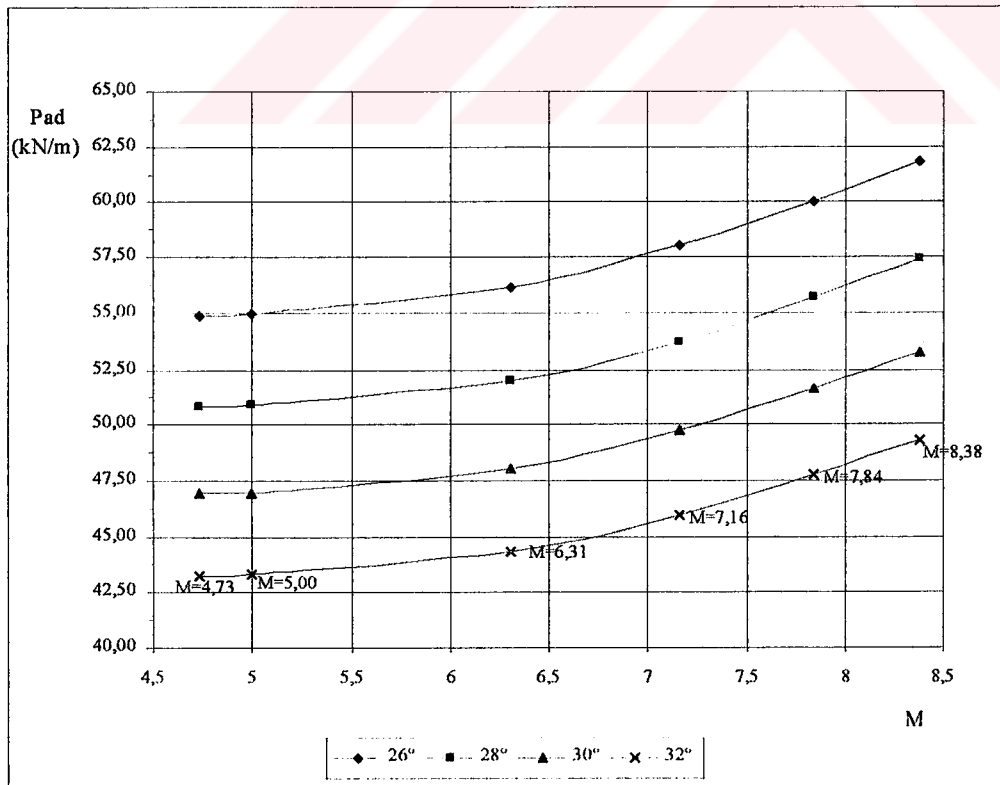
Şekil 6.11.a Toplam deprem yükünün deprem magnitudü ile değişimi (H=4m, R=40km)



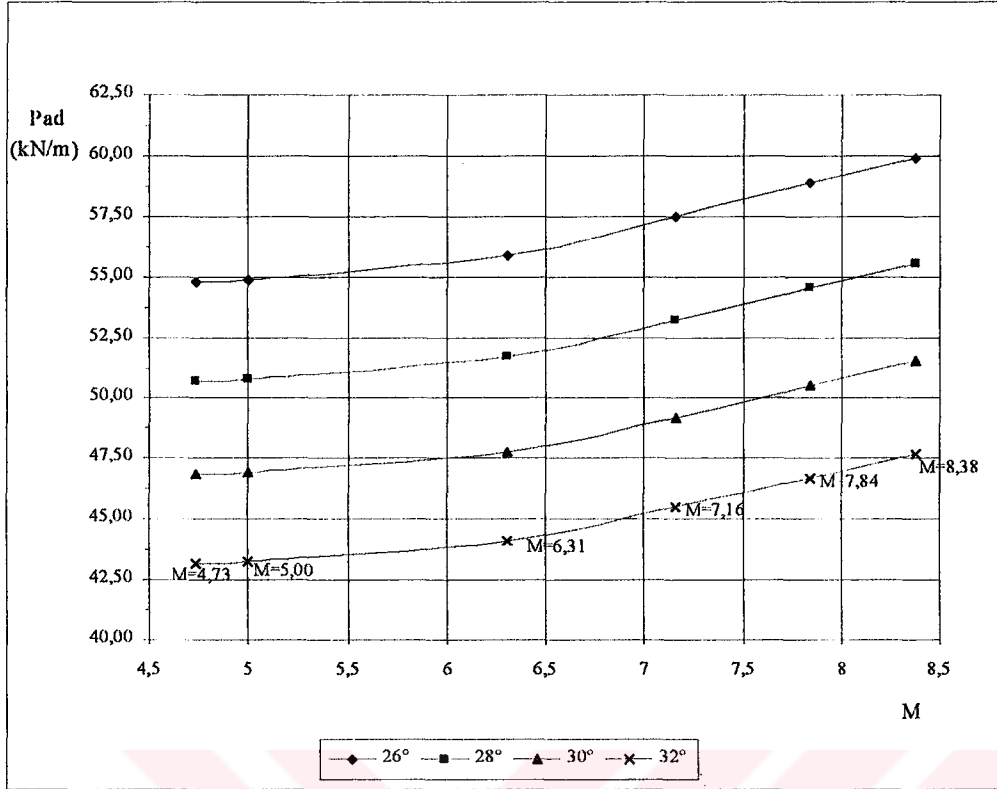
Şekil 6.11.b Toplam deprem yükünün deprem magnitudü ile değişimi (H=4m, R=60km)



Şekil 6.11.c Toplam deprem yükünün deprem magnitudü ile değişimi (H=4m, R=80km)



Şekil 6.11.d Toplam deprem yükünün deprem magnitudü ile değişimi (H=4m, R=120km)

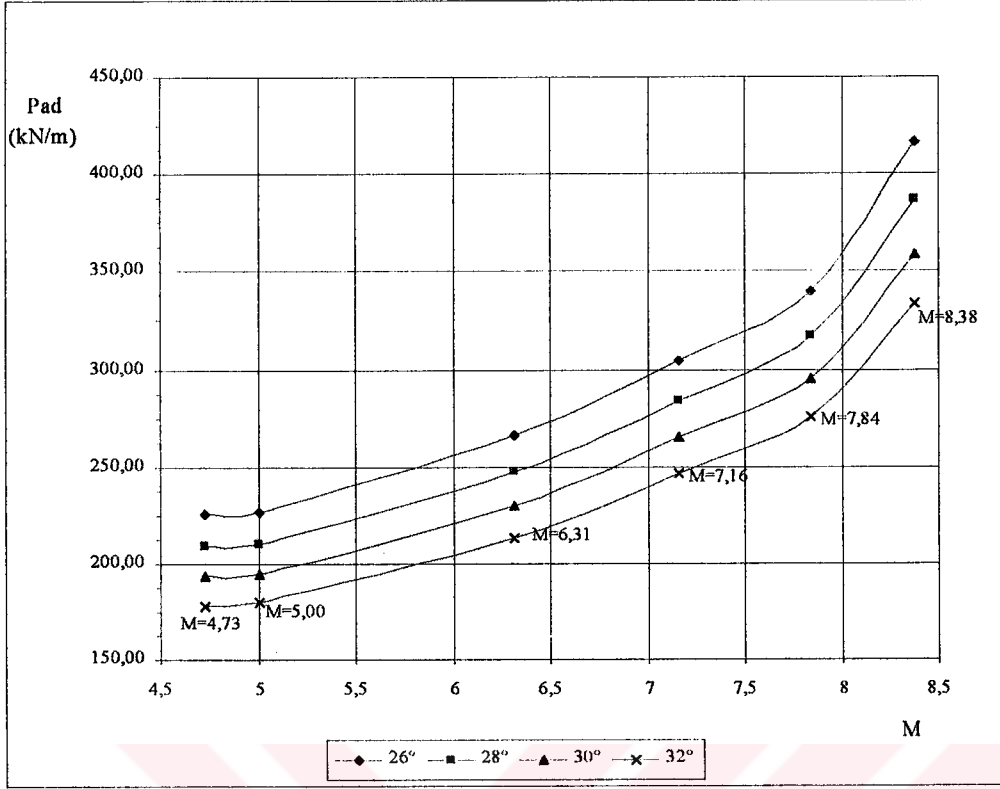


Şekil 6.11.e Toplam deprem yükünün deprem magnitudü ile değişimi (H=4m, R=140km)

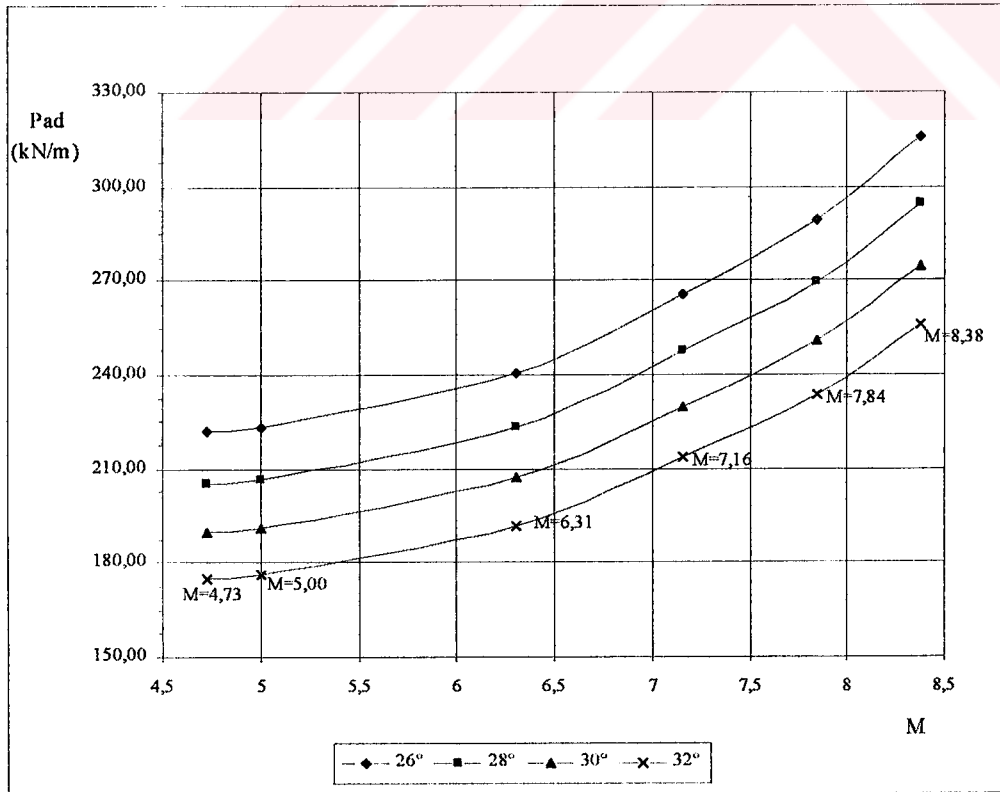
Şekil 6.11-6.14 arası grafiklerde; toplam deprem yükünün (deprensiz + deprem etkisi), M deprem magnitudü ile değişimi incelenmiştir. Buna göre, Şekil 6.11 grafikleri için, toplam deprem yükü değerlerinin, kN/m cinsinden;

		$\phi = 26^\circ$	$\phi = 32^\circ$
H=4m, R=40 km için;	M=4,73 için	57	45
	M=6,31 için	67	53
	M=7,16 için	76	62
	M=8,38 için	104	84
H=4m, R=60 km için;	M=4,73 için	56	44
	M=6,31 için	60	48
	M=7,16 için	67	53
	M=8,38 için	79	64
H=4m, R=140 km için;	M=4,73 için	55	43
	M=6,31 için	56	44
	M=7,16 için	58	46
	M=8,38 için	60	48

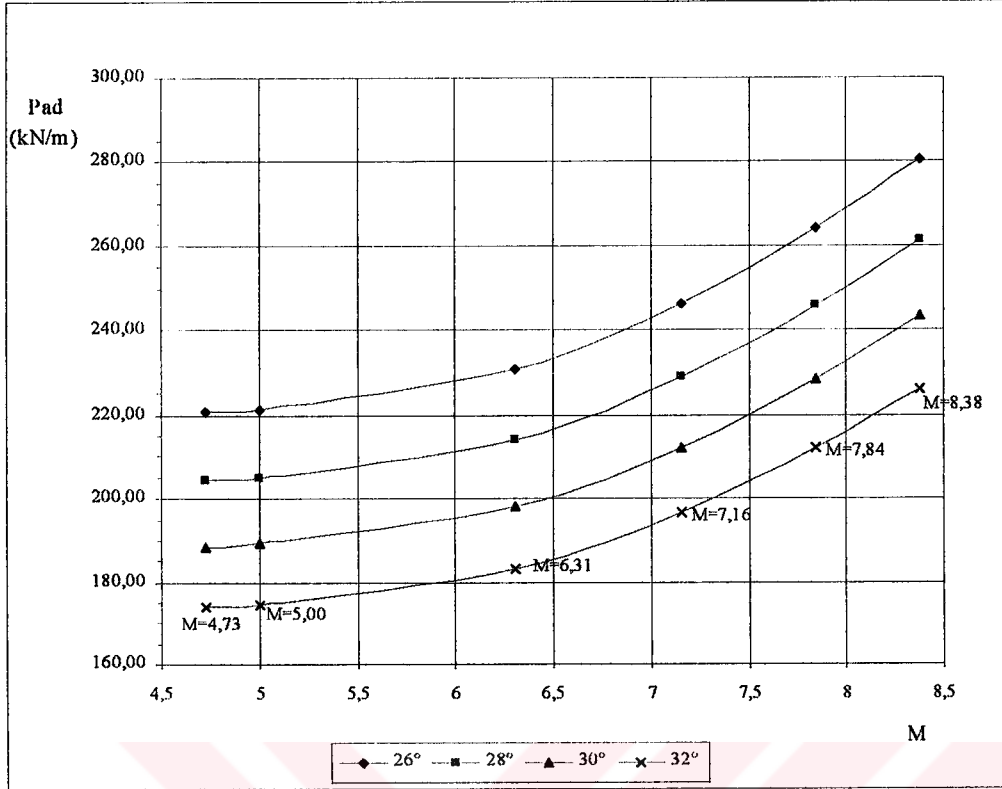
olduğu görülmektedir.



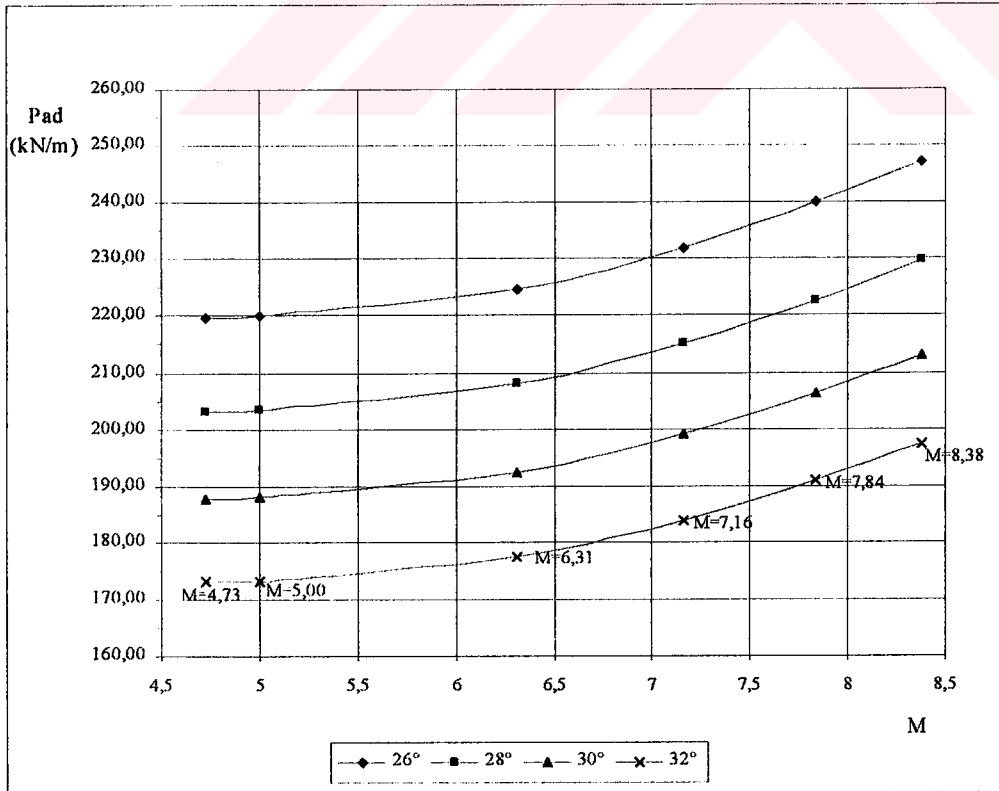
Şekil 6.12.a Toplam deprem yükünün deprem magnitüdü ile değişimi (H=8m, R=40km)



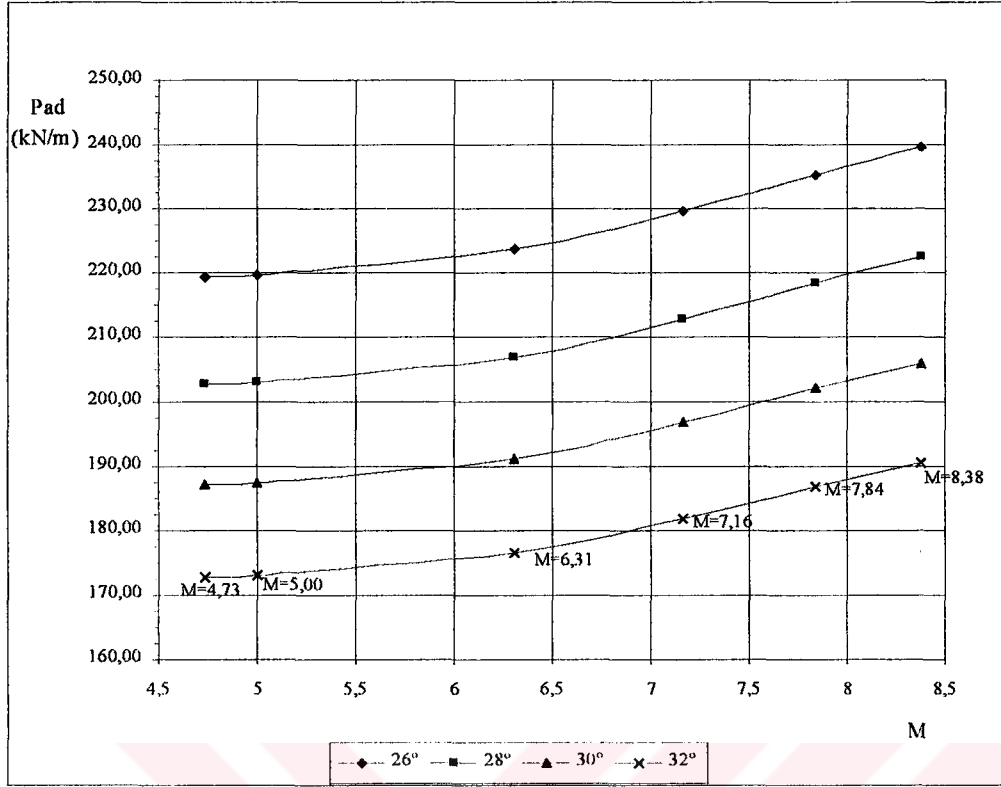
Şekil 6.12.b Toplam deprem yükünün deprem magnitüdü ile değişimi (H=8m, R=60km)



Şekil 6.12.c Toplam deprem yükünün deprem magnitudü ile değişimi (H=8m, R=80km)



Şekil 6.12.d Toplam deprem yükünün deprem magnitudü ile değişimi (H=8m, R=120km)

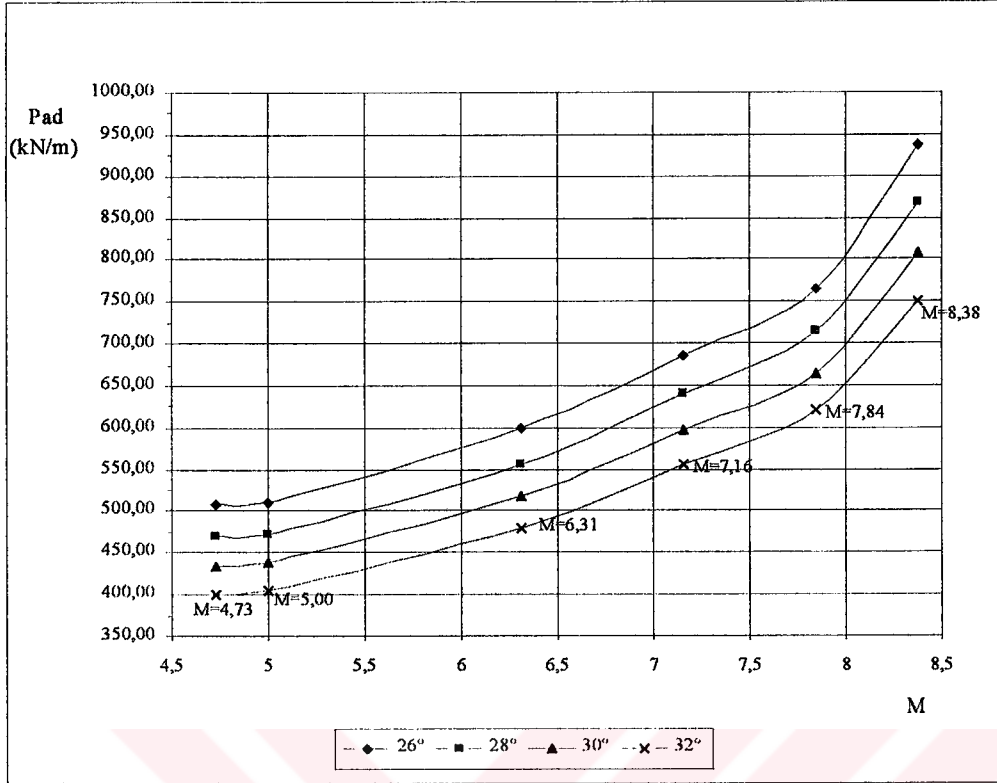


Şekil 6.12.e Toplam deprem yükünün deprem magnitudü ile değişimi (H=8m, R=140km)

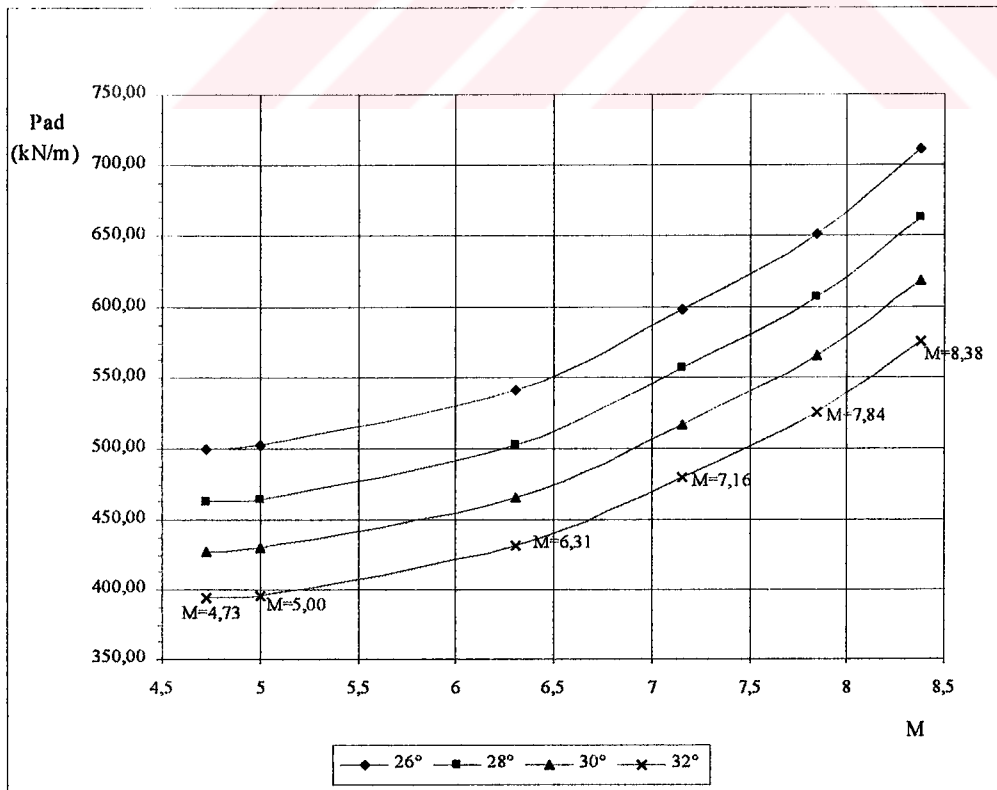
Şekil 6.12 grafikleri için, toplam deprem yükü değerlerinin, kN/m cinsinden;

		$\phi = 26^\circ$	$\phi = 32^\circ$
H=8m, R=40 km için;	M=4,73 için	226	178
	M=6,31 için	266	214
	M=7,16 için	305	247
	M=8,38 için	417	334
H=8m, R=60 km için;	M=4,73 için	222	175
	M=6,31 için	241	192
	M=7,16 için	266	214
	M=8,38 için	316	256
H=8m, R=140 km için;	M=4,73 için	219	173
	M=6,31 için	224	177
	M=7,16 için	230	182
	M=8,38 için	240	192

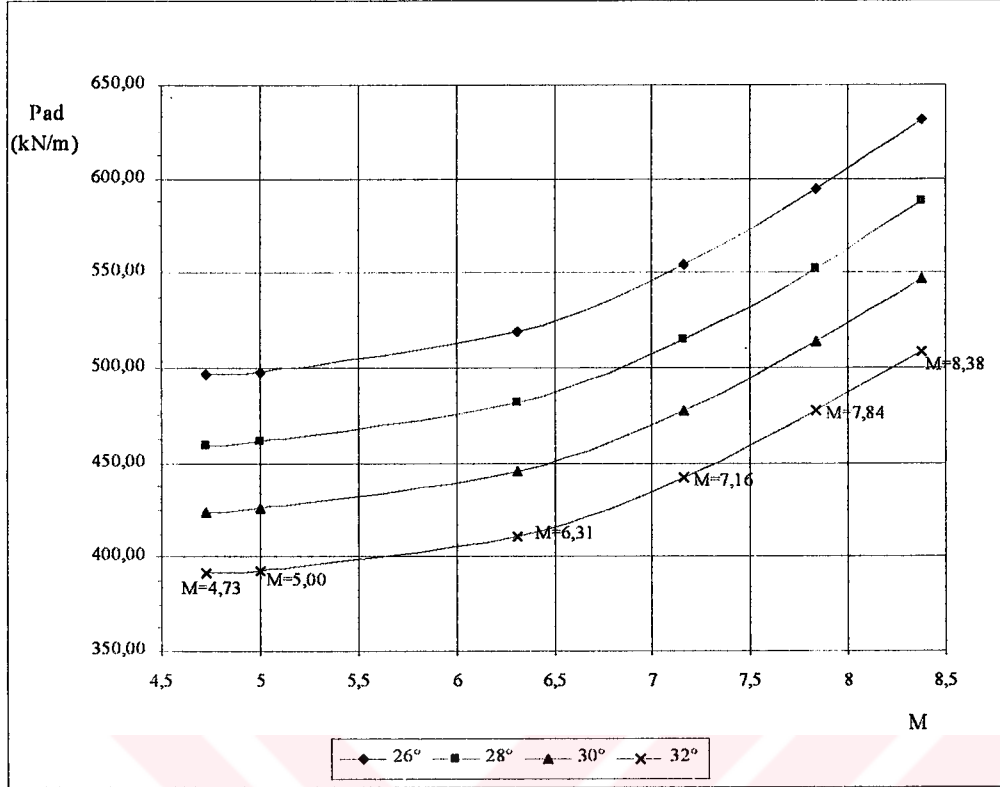
olduğu görölmektedir.



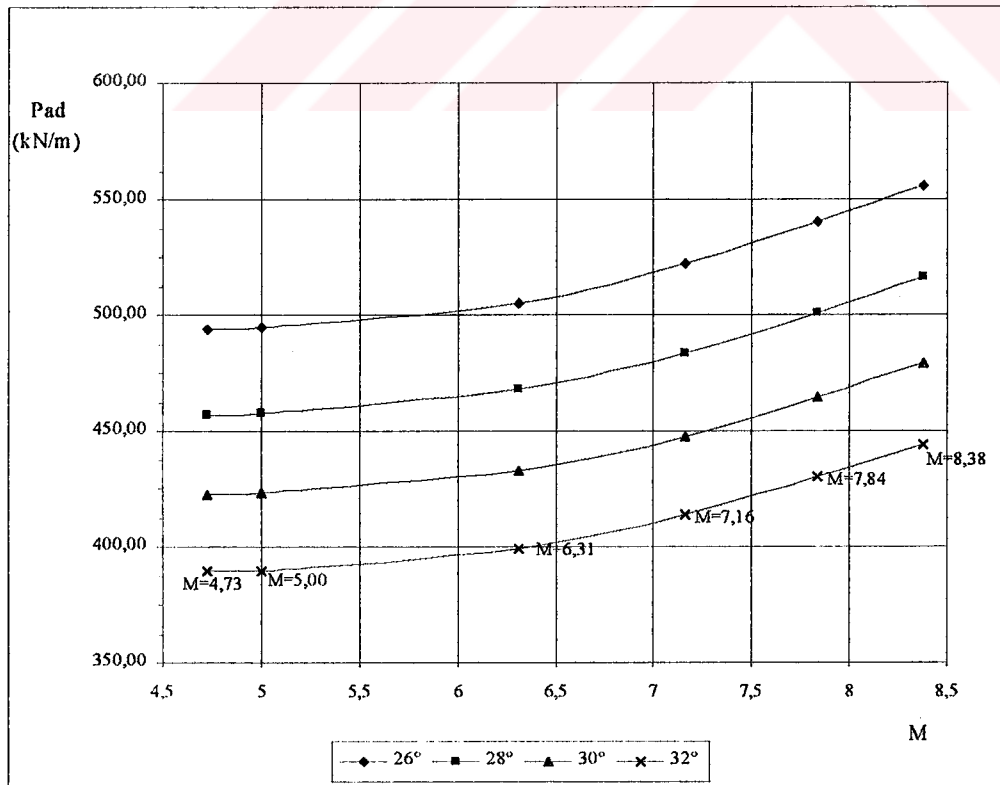
Şekil 6.13.a Toplam deprem yükünün deprem magnitudü ile değişimi (H=12m, R=40km)



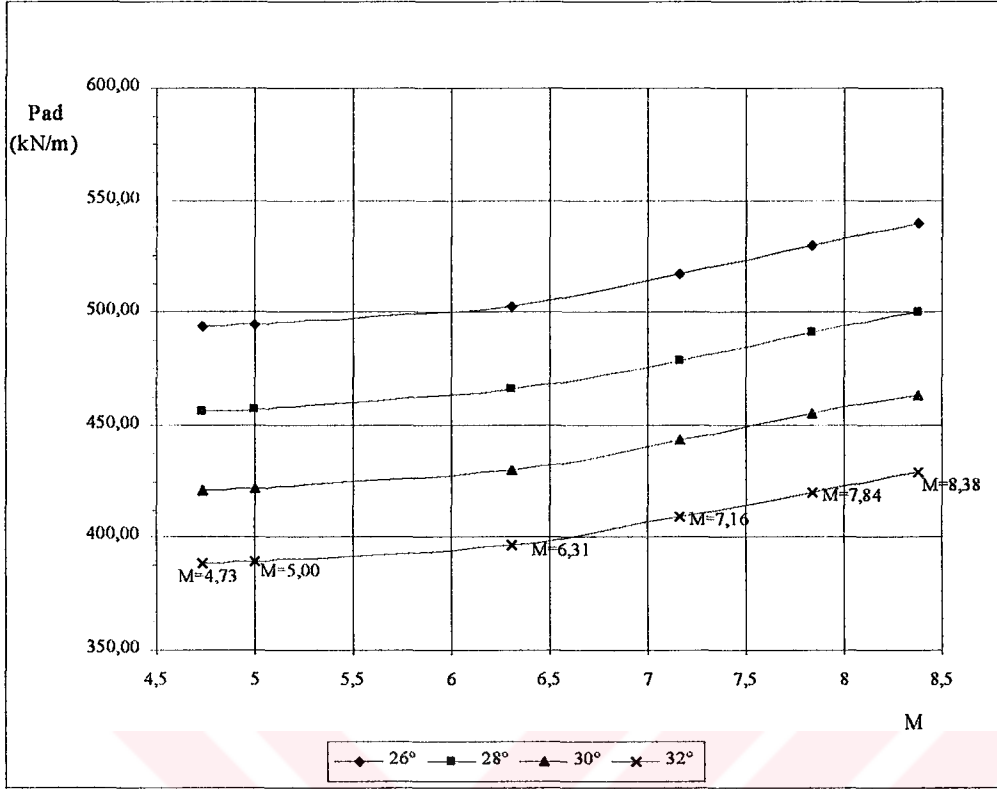
Şekil 6.13.b Toplam deprem yükünün deprem magnitudü ile değişimi (H=12m, R=60km)



Şekil 6.13.c Toplam deprem yükünün deprem magnitüdü ile değişimi (H=12m, R=80km)



Şekil 6.13.d Toplam deprem yükünün deprem magnitüdü ile değişimi (H=12m, R=120km)

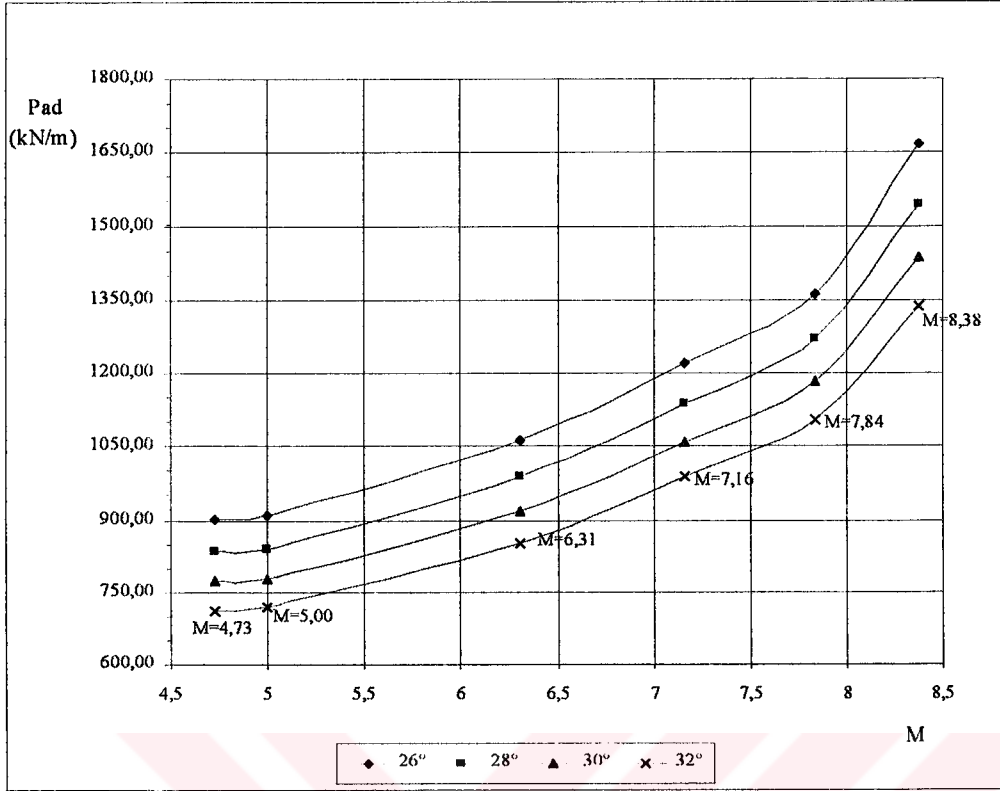


Şekil 6.13.e Toplam deprem yükünün deprem magnitudü ile değişimi (H=12m, R=140km)

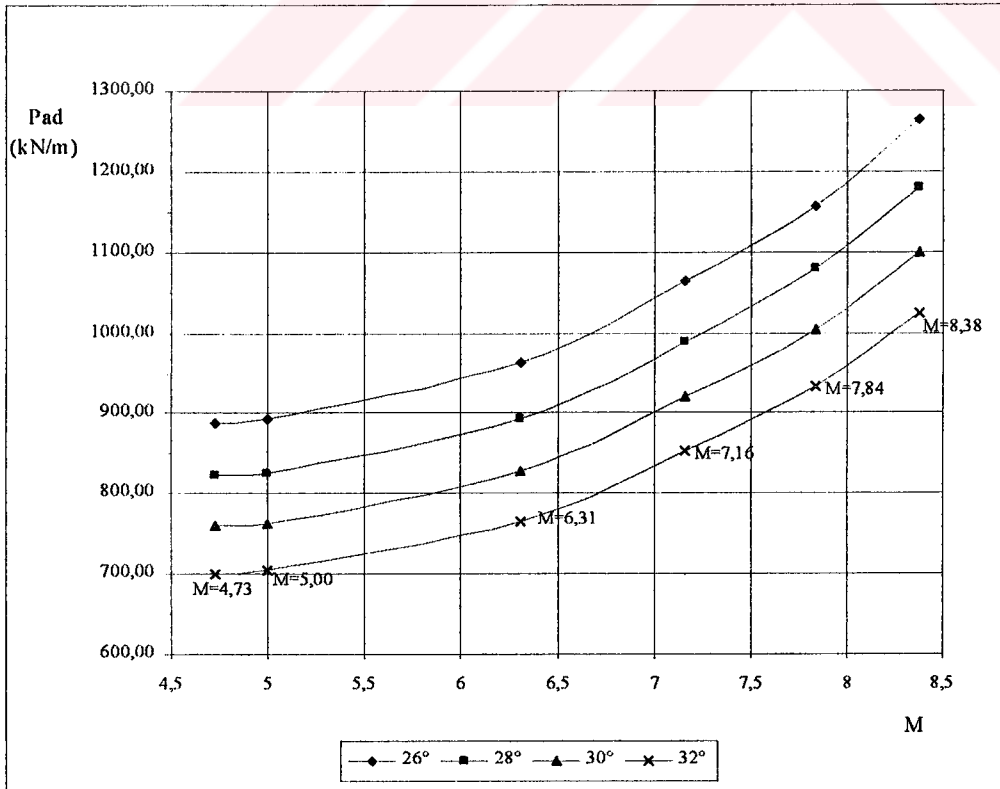
Şekil 6.13 grafikleri için, toplam deprem yükü değerlerinin, kN/m cinsinden;

		$\phi = 26^\circ$	$\phi = 32^\circ$
H=12m, R=40 km için;	M=4,73 için	508	401
	M=6,31 için	598	481
	M=7,16 için	686	555
	M=8,38 için	938	752
H=12m, R=60 km için;	M=4,73 için	500	394
	M=6,31 için	542	431
	M=7,16 için	598	481
	M=8,38 için	711	576
H=12m, R=140 km için;	M=4,73 için	494	389
	M=6,31 için	503	397
	M=7,16 için	517	409
	M=8,38 için	539	429

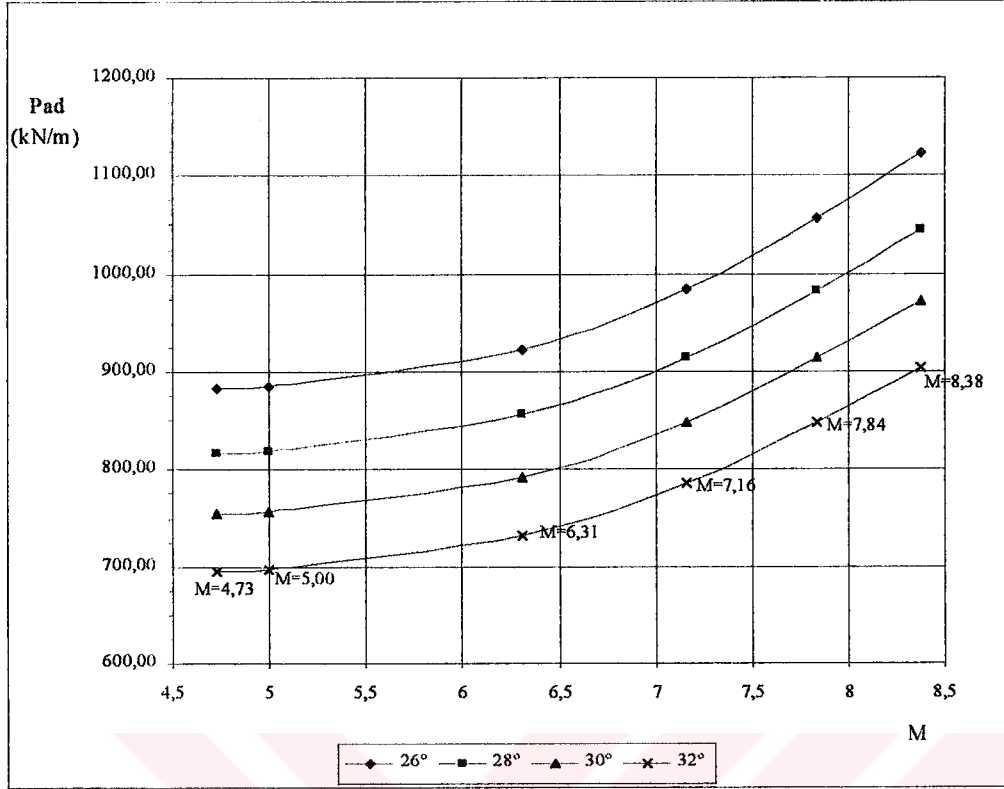
olduğu görölmektedir.



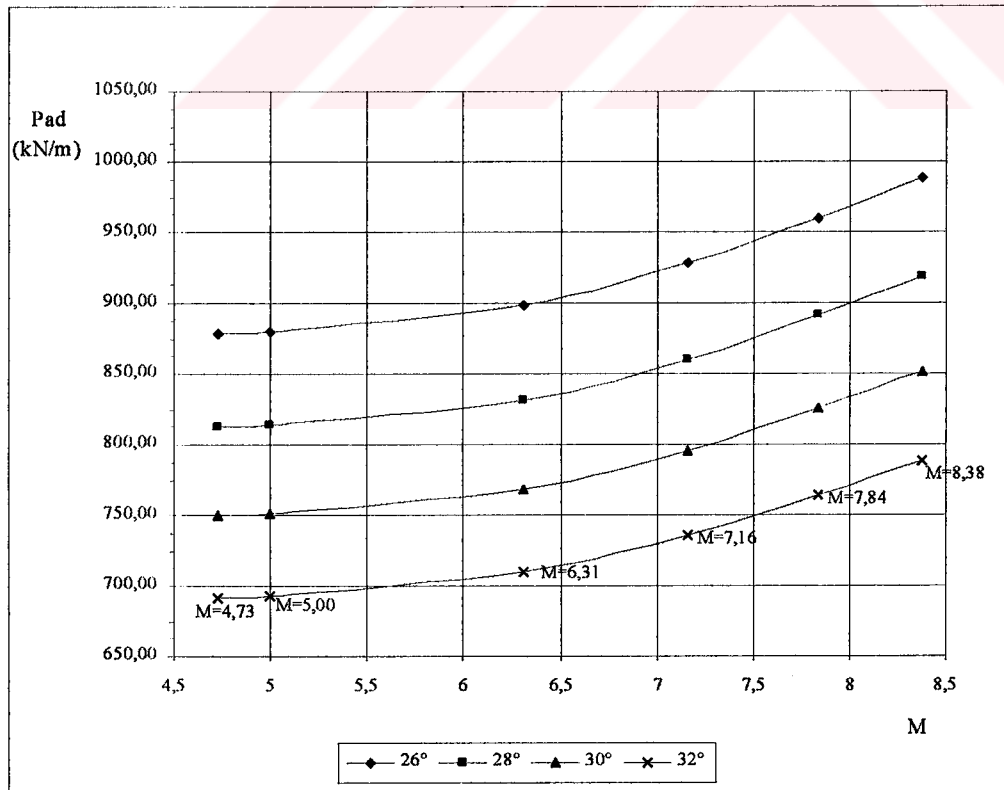
Şekil 6.14.a Toplam deprem yükünün deprem magnitüdü ile değişimi (H=16m, R=40km)



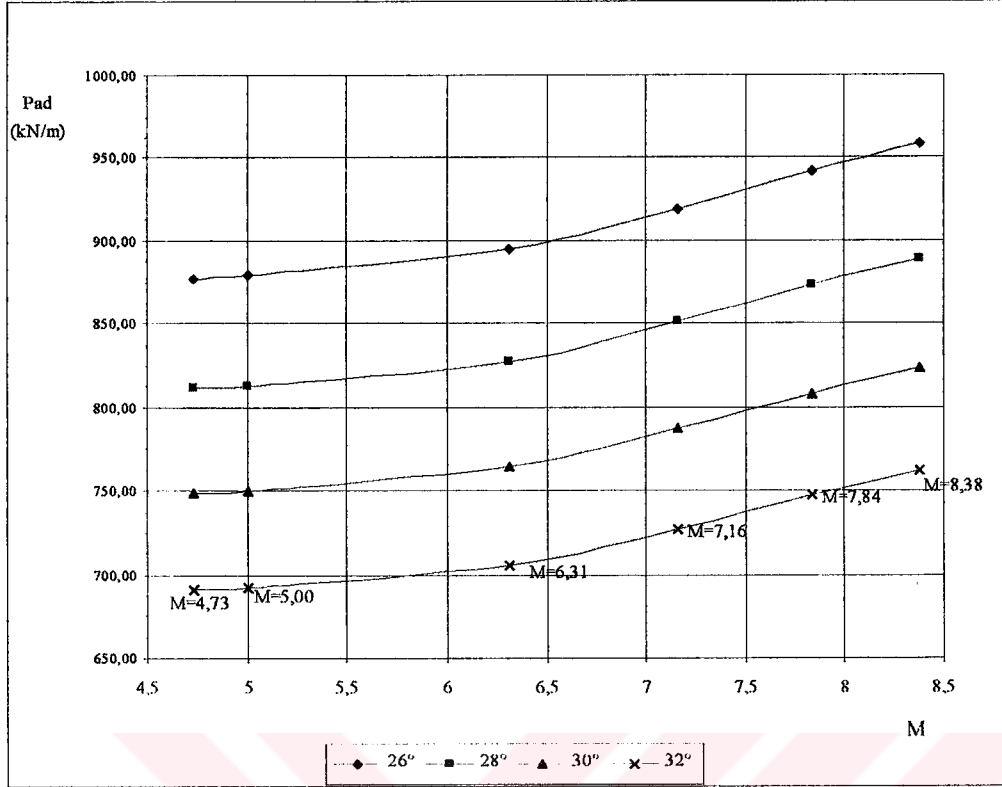
Şekil 6.14.b Toplam deprem yükünün deprem magnitüdü ile değişimi (H=16m, R=60km)



Şekil 6.14.c Toplam deprem yükünün deprem magnitudü ile değişimi (H=16m, R=80km)



Şekil 6.14.d Toplam deprem yükünün deprem magnitudü ile değişimi (H=16m, R=120km)



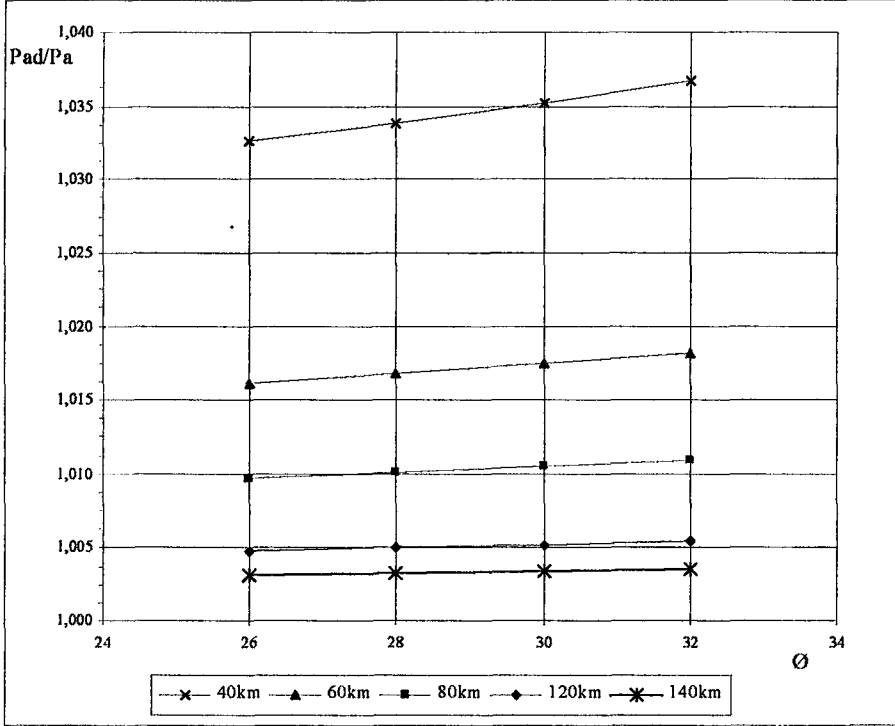
Şekil 6.14.e Toplam deprem yükünün deprem magnitudü ile değişimi (H=16m, R=140km)

Şekil 6.14 grafikleri için, toplam deprem yükü değerlerinin, kN/m cinsinden;

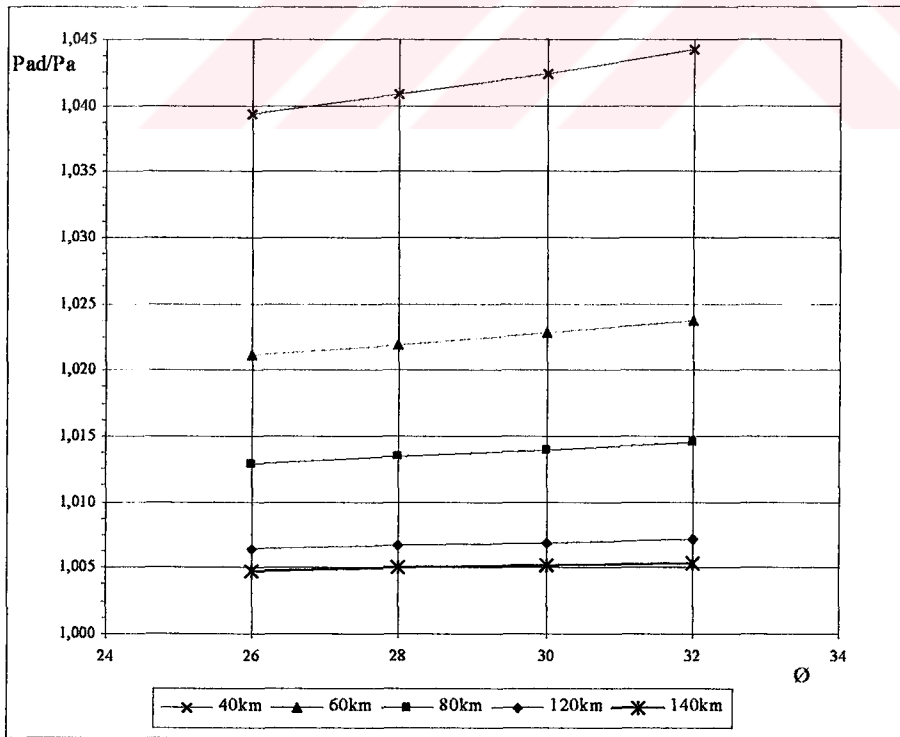
		$\phi = 26^\circ$	$\phi = 32^\circ$
H=16m, R=40 km için;	M=4,73 için	903	714
	M=6,31 için	1.064	854
	M=7,16 için	1.220	987
	M=8,38 için	1.668	1.336
H=16m, R=60 km için;	M=4,73 için	889	701
	M=6,31 için	964	767
	M=7,16 için	1.064	854
	M=8,38 için	1.264	1.024
H=16m, R=140 km için;	M=4,73 için	878	691
	M=6,31 için	895	706
	M=7,16 için	919	728
	M=8,38 için	959	763

olduğu görölmektedir.

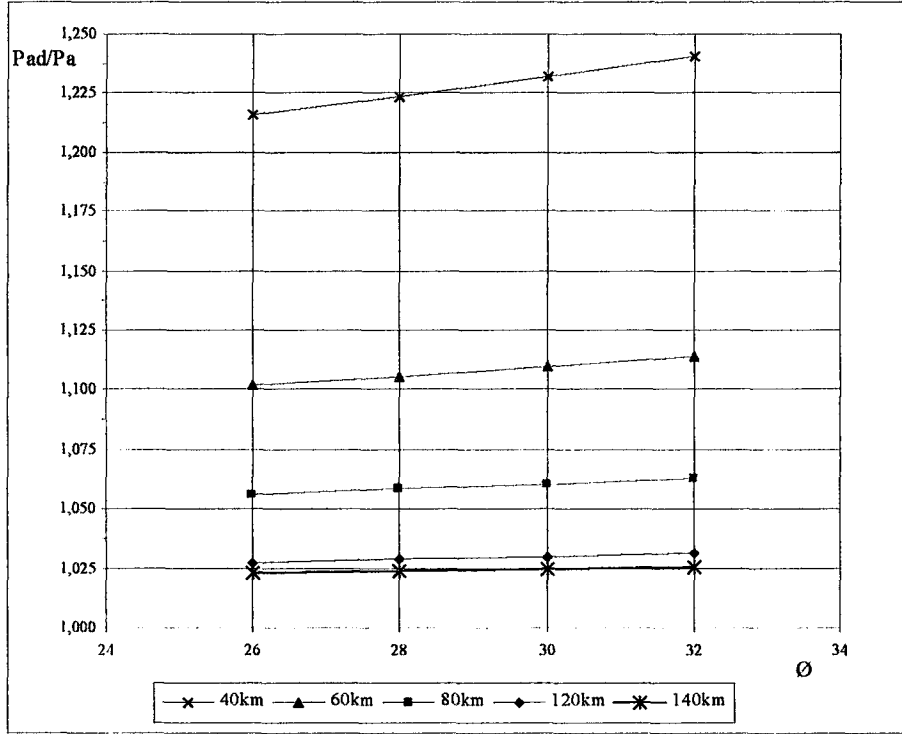
Şekil 6.11-6.14 arasındaki grafiklerle Şekil 6.15 grafiklerinin yorumları, Sonuçlar Bölümünde yapılacaktır.



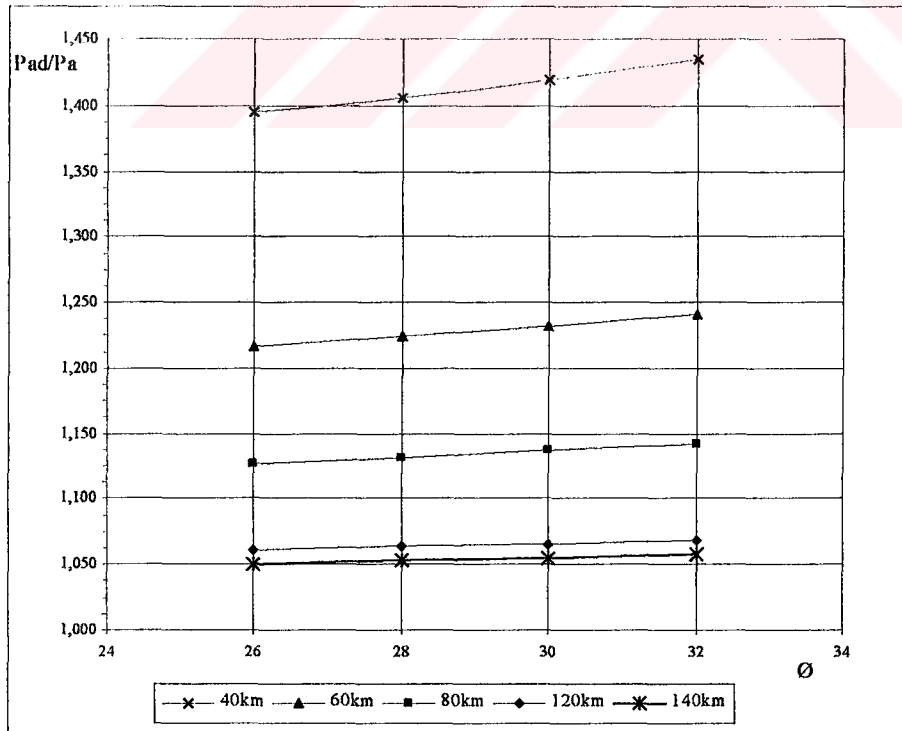
Şekil 6.15.a Toplam deprem yükü/depremsiz durumdaki yükün içsel sürtünme açısı ϕ ile değişimi (M=4.73)



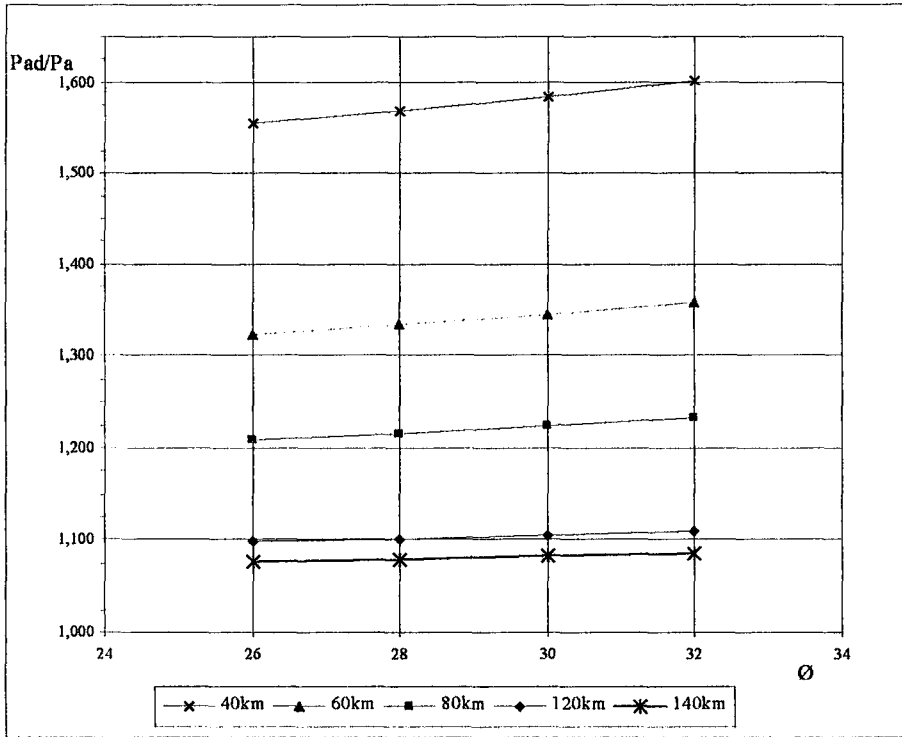
Şekil 6.15.b Toplam deprem yükü/depremsiz durumdaki yükün içsel sürtünme açısı ϕ ile değişimi (M=5.00)



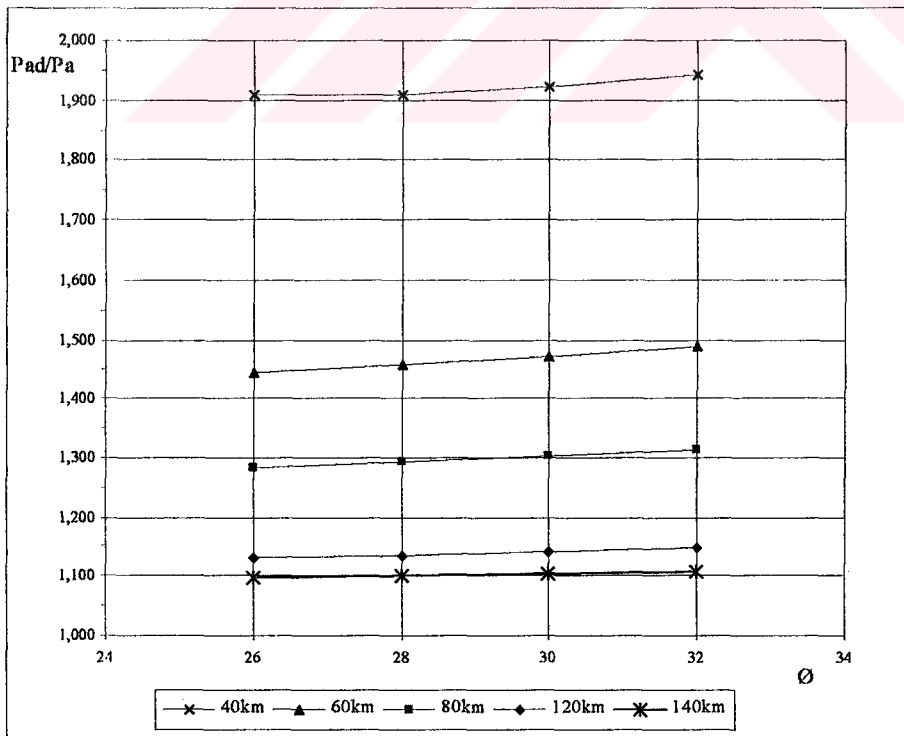
Şekil 6.15.c Toplam deprem yükü/depremsiz durumdaki yükün içsel sürtünme açısı ϕ ile değişimi (M=6.31)



Şekil 6.15.d Toplam deprem yükü/depremsiz durumdaki yükün içsel sürtünme açısı ϕ ile değişimi (M=7.16)



Şekil 6.15.e Toplam deprem yükü/depremsiz durumdaki yükün içsel sürtünme açısı ϕ ile değişimi ($M=7.84$)



Şekil 6.15.f Toplam deprem yükü/depremsiz durumdaki yükün içsel sürtünme açısı ϕ ile değişimi ($M=8.38$)

7. SONUÇLAR

7.1 Giriş

Tez çalışmasında Karadeniz Bölgesi için 39.00°N – 43.00°N enlemleri ile 30.00°E – 42.50°E boylamları arasında kalan sismotektonik yöre içinde 1901-2000 yılları arasında meydana gelmiş olan depremler için ihtimal hesapları, risk analizleri yapılmış ve bu bölgede inşa edilecek yapılar için proje kriterlerine baz teşkil edecek magnitüd ve zemin ivmesi parametreleri tahminlerinde bulunulmuştur. İhtimal hesaplarında Gumbel (1958) tarafından tavsiye edilen Yıllık Ekstrem Değerler Metodundan faydalanılmış olup, bahsi geçen bölge için tahmini yıllık maksimum deprem magnitüdü dağılımları tespit edilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucu bulunan ivme değerleri, istinat duvarlarının tasarımında yardımcı grafiklerin çizilmesinde kullanılmıştır.

7.2 Gumbel Yıllık Ekstrem Değerler Metoduna Göre Yapılan İhtimal Hesapları Sonuçları

Yapılan ihtimal hesapları sonunda;

- Yıllık maksimum magnitüdülerin ortalaması, 4,73
- En sık meydana gelen yıllık magnitüd (model maksimum), 5,00
- 100 yıl içinde meydana gelebilecek maksimum magnitüd, 8,38

olarak tahmin edilmiştir.

Sismotektonik yöredeki yapılarda yıllık risk değerleri olarak; normal yapılar için %15, A.B.D. kabullerine göre %10, önemli binalar için %5, %2 ve %1, nükleer santraller için ise %0,5 kabul edilmiştir. Bu yıllık risk değerlerine tekabül eden tahmini magnitüd değerleri şu şekilde özetlenebilir;

- Normal yapılarda; %15 risk değeri için M=6,31
 %10 risk değeri için M=6,63
- Önemli yapılarda; %5 risk değeri için M=7,16
 %2 risk değeri için M=7,84
 %1 risk değeri için M=8,34
- Nükleer santrallerde; %0,5 risk değeri için M=8,85

Yapılan karşılaştırmalarda, elde edilen magnitüd değerlerinin, bu konuda daha önce başka yıllar için yapılmış olan ve literatürde yer alan değerler ile benzer oldukları görülmüştür.

Karadeniz Bölgesi sismotektonik yöresinde inşa edilecek yapıların proje kriterlerinde baz alınacak ivme değerleri, Newmark-Rosenblueth (1971) tarafından sıkı zeminler için tavsiye edilen bağıntılar ve Schnabel ve Seed (1973) tarafından verilen kayada ivme-mesafe eğrilerinden faydalanılarak, fay hattına (veya episantra) çeşitli uzaklıklar için tahmin edilmiştir. Kabul edilen yıllık risk değerlerine tekabül eden magnitüdlere ve ayrıca ihtimal hesapları sonucunda tespit edilen yıllık maksimum magnitüdlere, en sık meydana gelen yıllık magnitüde (model maksimum) ve 100 yıl içinde meydana gelebilecek maksimum magnitüdlere karşılık gelen zemin ivme değerleri ve zemin deplasmanları değerleri tablolar halinde verilmiştir. Yumuşak zeminler için zemin ivme büyütme analizleri tavsiye edilmektedir. Yapılan hesaplara neticesinde; episantra 20 km uzaklıkta ölçülen maksimum yer değiştirme miktarının 200cm'ye, maksimum ivme değerinin 1,40g'ye yaklaşmakta olduğu; episantra 10 km uzaklıkta ise maksimum yer değiştirme miktarının 200cm'yi; maksimum ivme değerinin $M=8,85$ büyüklüğündeki deprem için 2,8g'yi aştığı görülmüştür.

Celep ve Kumbasar (1992) tarafından belirtildiği üzere, fay derinliğinin değişkenliği ve faydaki kaymanın düzgün olmaması sebebi ile episantra yakın zonlarda, zemin ivmesi tahmini yapmak zordur. Ayrıca fay hattından (veya episantrdan) uzaklaştıkça deprem enerjisinin yayıldığı hacim büyümekte ve sönümler meydana gelmekte olup, maksimum zemin ivmesi hızla düşmektedir. Bu durum, elde edilen episantr uzaklığı-zemin ivmesi eğrilerinde de açıkça görülmektedir. Özellikle episantr uzaklığı yaklaşık $R=60\text{km}$ 'ye kadar olan zonlar içinde zemin ivmeleri hızla düşüş kaydetmektedir.

Newmark-Rosenblueth (1971) tarafından da episantrda zemin ivmesine bir üst limit tespit etmenin zor olduğu belirtilmiştir. Yazarların verdiği bilgilere göre, birçok kayanın mukavemeti göz önüne alındığında, Honsner (1965), depremlerin her zaman faylardaki kaymaların sonucu olduğu kabulü ile, maksimum ivmenin 0.5g'yi geçemeyeceği sonucuna varmıştır. Newmark-Rosenblueth, bu değer, düşey ivme ölçüm değerleri göz önüne alındığında yükseltilmesi gerektiğini belirtmekte olup, ayrıca episantrdaki ivmenin magnitüde göre değişme ihtimalinden söz etmektedirler. Newmark-Rosenblueth (1971) tarafından tavsiye edilen bağıntılar kullanılarak, episantr uzaklığı 20km'de hesaplanan tahmini zemin ivmesi değerleri $M=8.85$ magnitüdünde bir deprem için yaklaşık 1,37g'ye ulaşması sebebiyle, bu çalışmada, episantr uzaklığı $R=20\text{km}$ için olan grafiklere yeterli derecede gerçekçi olamayacağı için yer verilmemiş olup, grafikler episantr uzaklığı 40km'den başlayarak elde edilmiştir.

7.3 İstinat Duvarlarında Deprem Halinde Etkiyecek Yanal Toprak Basınçları Grafiklerinin Yorumlanması

Oluşturulan tüm grafiklerin incelenmesi sonucunda; risk olasılığı azalışının, yani oluşabilecek bir depremin magnitüd değerinin büyümesinin, toplam deprem yükünü (durgun hal+deprem hali) arttırdığını, istinat duvarı yüksekliğinin artmasının toplam deprem yükü değerlerinde çok net olarak büyük artışlara neden olduğunu görmekteyiz. Bunun yanında, içsel sürtünme açısının azalmasıyla, oluşacak olan yanal toprak basıncı değerleri büyümektedir. Episantr uzaklığı da, oluşacak toprak basınçlarında çok önemli bir etkidir. Episantr uzaklığı arttıkça, meydana gelecek toprak basınçları değerleri azalmaktadır.

7.3.1 Toplam Deprem Yükü ile Yükseklik ve İçsel Sürtünme Açısı Değerlerinin Değişiminin Verildiği Grafikler

Yükseklikle, toplam deprem yükünün (P_{AD}) değişimleri Şekil 6.1-6.5 arasındaki grafiklerde; içsel sürtünme açısı ϕ ile, (P_{AD}) değişimleri de Şekil 6.6-6.10 arasındaki grafiklerde verilmiştir.

Bu grafikler ışığında;

Düşük bir deprem magnitüdü değerini ele aldığımızda; episantr uzaklığının 140km'den 40km'ye inmesi, oluşacak toplam basınç üzerinde büyük bir artışa neden olmazken, oluşabilecek daha büyük magnitüdü bir depremde ise büyük bir artışa neden olmaktadır.

Ayrıca, episantr uzaklığı arttıkça, düşük magnitüdüdeki bir deprem halinde oluşacak toplam yanal toprak basınçları değerleri ile, büyük magnitüdüdeki bir deprem halinde oluşacak toplam yanal toprak basınçları değerleri arasındaki fark azalmaktadır.

İstinat duvarı yükseklikleri de, oluşacak yanal toprak basınçlarında çok önemli bir etken olup, yüksekliğin artmasıyla, oluşacak toplam basınç değerleri çok artmaktadır.

7.3.2 Toplam Deprem Yüğü ile Deprem Magnitüdü (Risk Olasılığı) Değerlerinin Değişimlerinin Verildiği Grafikler

Risk olasılıkları %2 ($M=7.84$), %5 ($M=7.16$), %15 ($M=6.31$) ve Gumbel risk olasılığı sonucunda bulunan, yıllık maksimum magnitüd ortalaması ($M=4.73$), en sık meydana gelen yıllık magnitüd ($M=5.00$) ve 100 yıl içinde meydana gelebilecek maksimum magnitüd ($M=8.38$) değerleri ile (P_{AD}) değişimleri Şekil 6.11-6.14 arasındaki grafiklerde verilmiştir.

Bu grafikler ışığında;

Farklı magnitüd değerlerinin, $R=120$ ve 140 km gibi büyük episantr mesafelerinde, aynı içsel sürtünme açısı değerleri ve duvar yükseklikleri için inceleme yaptığımızda, oluşacak basınçlar arasında çok büyük farklar gözlemlenmemektedir. Örneğin 2 farklı duvar yüksekliği için;

$H=4$ m,	$R=140$ km,	$\phi=26^\circ$,	$M=4,73$	\Rightarrow	$P_{AD} = 55$ kN/m
$H=4$ m,	$R=140$ km,	$\phi=26^\circ$,	$M=8,38$	\Rightarrow	$P_{AD} = 60$ kN/m
$H=16$ m,	$R=140$ km,	$\phi=26^\circ$,	$M=4,73$	\Rightarrow	$P_{AD} = 878$ kN/m
$H=16$ m,	$R=140$ km,	$\phi=26^\circ$,	$M=8,38$	\Rightarrow	$P_{AD} = 959$ kN/m

olmakta iken, episantr uzaklıkları azaldıkça aradaki farklar çok belirginleşmektedir;

$H=4$ m,	$R=40$ km,	$\phi=26^\circ$,	$M=4,73$	\Rightarrow	$P_{AD} = 57$ kN/m
$H=4$ m,	$R=40$ km,	$\phi=26^\circ$,	$M=8,38$	\Rightarrow	$P_{AD} = 104$ kN/m
$H=16$ m,	$R=40$ km,	$\phi=26^\circ$,	$M=4,73$	\Rightarrow	$P_{AD} = 903$ kN/m
$H=16$ m,	$R=40$ km,	$\phi=26^\circ$,	$M=8,38$	\Rightarrow	$P_{AD} = 1.668$ kN/m

Aynı H yüksekliği değerlerinde inceleme yaptığımızda; küçük M değerlerinde ($4,73$ ve $5,00$ gibi), episantr uzaklığının etkisinin çok az olduğunu görüyoruz;

$H=16$ m,	$R=140$ km,	$\phi=26^\circ$,	$M=4,73$	\Rightarrow	$P_{AD} = 878$ kN/m
$H=16$ m,	$R= 40$ km,	$\phi=26^\circ$,	$M=4,73$	\Rightarrow	$P_{AD} = 903$ kN/m
$H=4$ m,	$R=140$ km,	$\phi=26^\circ$,	$M=4,73$	\Rightarrow	$P_{AD} = 55$ kN/m
$H=4$ m,	$R= 40$ km,	$\phi=26^\circ$,	$M=4,73$	\Rightarrow	$P_{AD} = 57$ kN/m

Ancak M değerleri büyüdükçe, episantr uzaklığı çok etkili olmaya başlıyor;

$H=16$ m,	$R=140$ km,	$\phi=26^\circ$,	$M=8,38$	\Rightarrow	$P_{AD} = 959$ kN/m
$H=16$ m,	$R= 40$ km,	$\phi=26^\circ$,	$M=8,38$	\Rightarrow	$P_{AD} = 1.668$ kN/m
$H=4$ m,	$R=140$ km,	$\phi=26^\circ$,	$M=8,38$	\Rightarrow	$P_{AD} = 60$ kN/m
$H=4$ m,	$R= 40$ km,	$\phi=26^\circ$,	$M=8,38$	\Rightarrow	$P_{AD} = 104$ kN/m

Ayrıca istinat duvarı yüksekliğinin artışıının, oluşacak yanal basınçları çok arttırdığını görmekteyiz.

7.3.3 Toplam Deprem Yüğü/Durgun Haldeki Toprak Basıncı (P_{AD}/P_A) ile İçsel Sürtünme Açısının Değerlerinin Değişimlerinin Verildiği Grafikler

Şekil 6.15 grafiklerini ele alırsak; P_{AD}/P_A değerleri;

		$\phi = 26^\circ$	$\phi = 32^\circ$
M=4,73	R= 40km	1,033	1,037
	R= 60km	1,016	1,018
	R=140km	1,003	1,004
M=6,31	R= 40km	1,216	1,241
	R= 60km	1,102	1,114
	R=140km	1,023	1,026
M=8,38	R= 40km	1,908	1,942
	R= 60km	1,445	1,488
	R=140km	1,096	1,108

Deprem magnitudü büyüdükçe, P_{AD}/P_A oranının büyüdüğü, yani deprem magnitud değerinin büyümesiyle, depremin oluşturmuş olduğu ek basınç etkisinin çok fazlalaşmış olduğu, neredeyse iki misli mertebelere kadar geldiği görülmektedir.

Ayrıca, büyük içsel sürtünme açılarında, oranın daha büyük olduğu gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Bowles, J. E., *Foundation Analysis and Design*, (1982), Peoria, Illinois.
- Celep, Z. ve Kumbasar, N., (1992), *Örneklerle Yapı Dinamiği ve Deprem Mühendisliğine Giriş*, İTÜ, İstanbul.
- Celep, Z. ve Kumbasar, N., (1993), *Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı*, İTÜ, İstanbul.
- Çetinkaya, N. N., Durgunoğlu, H. T. ve Çivi, A., (1982-1985), "Earthquake Risk Analysis for Aegean Region of Turkey", *Boğaziçi Üniversitesi Dergisi*, Vols. 10-11-12-13, İstanbul.
- Çetinkaya, N. N., Durgunoğlu, H. T., Kulaç, H. F. ve Karadayılar, T., "Ankara, İstanbul ve İzmir Bölgeleri Deprem Riski Analizi Karşılaştırmaları", İstanbul.
- Damar, N., *Toprak Dolgu Barajlara ve İstinat Duvarlarına Gelen Deprem Etkisi*, (1993), İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Dowrick, D. J., *Earthquake Resistant Design*, Second Edition, John Wiley and Sons.
- Eyidoğan, H., Utku, Z. ve Güçlü, U., (1991), *Türkiye Büyük Depremleri Makro Sismik Rehberi*, İstanbul.
- Gencoğlu, S., İlhan, E. ve Güler, H., (1990), *Türkiye'nin Deprem Tehlikesi*, TMMOB Jeofizik Mühendisleri, Ankara.
- Gumbel, E. J., *Statics of Extremes*, Columbia University Press, N.Y.
- Kanvermez, E., (1997), *Deprem Riski Analizi İle İstanbul ve Çevresinde İstinat Duvarları Tasarımı*, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kasapoğlu, K. E., (1981), "Kuzey Anadolu Fayı İçin Önerilen Çok Faylı Faylanma Mekanizması ve İlgili Depremlerin Öngörülmesi", *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, C, 24 51-56, Şubat 1981.
- Ketin, İ., (1977), *Türkiye Jeolojisine Genel Bir Bakış*, İTÜ, İstanbul.
- Kumbasar, V. ve Kip, F., (1992), *Zemin Mekaniği Problemleri*, İstanbul.
- Okamoto, S., Tabban, A. ve Tanuma, T., (1969), "Türkiye Deprem Şiddetleri Kataloğu", *Deprem Araştırma Enstitüsü Başkanlığı*, Tokyo.
- Özaydın, K., (1989), *Zemin Mekaniği*, Yıldız Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Özden, K. ve Eren, İ., (1995), *Betonarme İstinat Duvarları ve Perdeleri*, İTÜ Yapı Anabilim Dalı, İstanbul.
- Özmen, B., Nurlu, M. ve Güler, H., (1997), *Coğrafi Bilgi Sistemleri İle Deprem Bölgelerinin İncelenmesi*.
- Şengör, A.M.C., (1996), "Kuzey Anadolu Fayının Keşfi", *Tübitak-Bilim ve Teknik*, 338, Ocak 1996, 8-15.
- Tabban ve Gencoğlu, (1975), *Deprem Araştırma Bülteni*, No:11.

Tutkun, S. Z. ve Özer, M. F., (1999), "17 Ağustos 1999 Gölcük Depremini Oluşturan Aktif Yüzey Kırığının Jeolojik İncelemesi", Haber Bülteni, Ekim 1999.



ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 27.08.1975

Doğum yeri Antalya

Lise 1986-1993 Antalya Anadolu Lisesi

Lisans 1994-1998 Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik Fak.
İnşaat Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 1999-2002 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Geoteknik Programı

Çalıştığı kurumlar

1999-2000 İkibinelli Üçüzler İnşaat
2000- Ömer Işık İnşaat

