

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

128706

**YALOVA BÖLGESİ DEPREM RİSK ANALİZİ VE
DEPREM YÜKLERİ ALTINDA İSTİNAT YAPILARI
İNCELEMELERİ**

İnş. Müh. Cem SADIKER

**F.B.E İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Geoteknik Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEZ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

Tez Savunma Tarihi :
Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Nejat Nuri ÇETİNKAYA
Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Sönmez YILDIRIM
: Prof. Dr. Mete İNCECİK

İSTANBUL, 2002

128706

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖNSÖZ	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. TÜRKİYE'NİN GENEL JEOLJİK YAPISI.....	2
2.1 Türkiye Jeolojisinin Özelliği ve Yeryüzündeki Durumu.....	2
2.2 Marmara Bölgesinin Genel Jeolojisi	7
3. DEPREM HAREKETİ	11
3.1 Deprem Oluşumu ve Özellikleri.....	11
3.2 Deprem Şiddet ve Büyüklüğü.....	15
3.3 Dalga Hareketi Olarak Deprem	19
3.4 Zemin Durumunun Deprem Hareketine Etkisi.....	23
3.4.1 Zeminlerin Deprem Yükleri Altında Davranışları.....	23
3.4.2 Zemin Tabakalarında Sıvılaşma Olasılığı	25
3.4.3 Yerel Zemin Tabakalarının Etkisi	26
4. YANAL ZEMİN BASINCI.....	28
4.1 Konu Hakkında Bilgi	28
4.2 Zeminde Plastik Denge Durumları	29
4.2.1 Bölgesel Plastik Denge	29
4.3 Granüler Zeminler	35
4.3.1 Coulomb' a Göre Zemin Basınçlarının Hesabı	36
4.3.1.1 Aktif Zemin Basıncı	36
4.3.1.2 Pasif Zemin Basıncı	41
4.3.2 Rankine'e Göre Zemin Basınçlarının Hesabı.....	42
4.4 Kohezyonlu Zeminler	44
4.4.1 Kohezyon Etkisinin Hesaplanması	45
4.4.2 Toplam Aktif Zemin Basıncı	46
4.4.3 Yanal Zemin Basıncının Dağılımı	47
4.4.4 Toplam Pasif Zemin Basıncı	48
4.5 Mononobe-Okabe Denklemi	50

5.	İSTİNAT DUVARLARI	51
5.1	Genel Bilgi.....	51
5.2	İstinat Duvarlarının Ön Projelendirilmesi	55
5.2.1	Ağırlık İstinat Duvarları	55
5.2.2	Konsol İstinat Duvarları	56
5.2.3	Payandalı İstinat Duvarları	57
5.3	İstinat Duvarındaki Kuvvetler	58
5.3.1	Ağırlık İstinat Duvarları	58
5.3.2	Konsol İstinat Duvarları	59
5.3.3	Payandalı İstinat Duvarları	61
5.4	İstinat Duvarlarının Stabilitesi	64
6.	YALOVA ÇEVRESİ DEPREM RİSK ANALİZİ	67
6.1	Giriş.....	67
6.2	Gumbel "Yıllık Ekstrem Değerler" Metodu	67
6.3	Yıllık Eks. Değerler Metodu'nun Yalova Sismotektonik Yöresine Uygulanışı	68
6.4	Yalova Bölgesi İçin Maksimum İvme Önerileri	74
7.	SONUÇLARIN İSTİNAT DUVARLARINA ETKİSİ	81
7.1	Giriş.....	81
7.2	Sonuç Grafikleri.....	82
8.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER	107
	KAYNAKLAR	109
	EK- GRAFİKLERDE KULLANILAN DATALAR.....	110
	ÖZGEÇMİŞ	112

SİMGE LİSTESİ

a	Maksimum zemin ivmesi.
$\bar{a}$	Ortalama yıllık sismik aktivite indeksi. (Regresyon katsayısı)
A	Yer hareketinin genliği.
b	Sismotektonik parametre. (Regresyon katsayısı)
B	Sistemin ağırlık merkezi.
c_L	P-dalgası hızı.
c_T	S-dalgası hızı.
c	Kohezyon.
C_s	Ölçüm yapılan kaynak için düzeltme.
C_r	Zemin şartlarının etkisi için gerekli düzeltme.
d	Zemin deplasmanı.
e	Eksantirisite.
E	Elastiklik modülü.
f	Frekans.
G(M)	Bir yıl içinde magnitüdüleri M'den büyük olan depremlerin aşılma olasılığı.
h	Zemin kütesinin yüksekliği.
h	Deprem odak derinliği ile ilgili düzeltme sayısı.
H	İstinat duvarının yüksekliği.
Hc	Hayali kohezyon yüksekliği.
HT	Ön ambatman uzunluğu.
HH	Arka ambatman uzunluğu.
j	Yinelenme periyodu.
k_h	Yatay yer ivmesi/g.
k_v	Düşey yer ivmesi/g.
Ka	Aktif basınç katsayısı.
Kp	Pasif basınç katsayısı.
Ko	Sukunetteki toprak basıncı katsayısı.
K_{AD}	Aktif toprak basıncı katsayısı (deprem etkisi altında).
m	Konsol üst başlık kalınlığı.
m_b	Cisim dalgası büyüklüğü
M	Moment.
M	Deprem magnitüdü.
M_L	Richter yerel büyüklüğü.
M_s	Yüzey dalgası büyüklüğü.

M_w	Moment büyüklüğü.
$\bar{M}$	Yıllık maksimum magnitüdlerin ortalaması.
$\bar{M}_{max}$	En sık meydana gelen yıllık magnitüd (modal maksimum).
M_{max}	101 yıl içinde meydana gelebilecek maksimum magnitüd.
N	Bir yıl içinde magnitüdü M veya daha büyük olan deprem sayısı.
P_a	Toplam aktif basınç.
P_p	Toplam pasif basınç.
P_{AD}	Aktif toprak basıncından doğan deprem yatay yükü.
r	Pearson-Bravais Korelasyon katsayısı.
R	Episantr uzaklığı.
R	Düşey bileşke kuvveti.
q	Taban basıncı değeri.
Q	Kesme kuvveti.
S_x	Taban basıncı diyagramlarının eğimi.
T	Gelen deprem dalgasının büyüklüğü.
T_r	Magnitüdü belli bir depremin yıl olarak tekrar periyodu.
v	Hız.
W	Zemin kütesinin ağırlığı.
W_c	Hayali kohezyon ağırlığı.
$\bar{x}$	Düşey bileşke kuvvetinin uygulama noktası.
z	Derinlik.
α	İstinat duvarı ile yatay düzlem arasındaki açı.
β	Zeminin şev açısı.
α, β	Regresyon katsayıları.
γ	Zeminin birim hacim ağırlığı.
δ	Yatay düzlem ile fay düzlemi arasındaki açı.
δ	Duvar ile zemin arasındaki sürtünme açısı.
Δ	Ölçüm noktasının episantr uzaklığı.
Φ	Zeminin içsel sürtünme açısı.
ψ	Kayma düzleminin yatayla yaptığı açı.
σ_v	Düşey asal gerilme.
σ_h	Yatay asal gerilme.
σ_1	Büyük asal gerilme.
σ_3	Küçük asal gerilme

λ	Yerdeşiştirme vektörü ile fay düzlemi arasındaki açı.
ν	Poisson oranı.
ρ	Kütle yoğunluğu.



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Türkiye'nin Avrasya ile Afrika kıtaları arasında, tetis kuşağındaki yeri.....	2
Şekil 2.2	Basitleştirilmiş dünya tektonik haritası üzerinde farklı orojenez bölgeleri. Siyah kısımlar; Alpin orojenez kuşakları; yatay çizgili kısımlar Kaledoniyen ve Hersiniyen orojenik bölgeleri; noktalı ve rakamlı alanlar; kambriyen öncesi orojenezler geçirmiş masifleri belirtirler. (Ketin İ, Türkiye Jeolojisine Genel Bir Bakış).....	4
Şekil 2.3	Avrupa'nın başlıca orojenez bölgelerini (kaledoniyen, hersiniyen, alpin) ve kambriyen öncesi masiflerini (Baltık kalkanı, Rusya platformu, Afrika-Arabistan forlandı) gösteren genel tektonik haritası. (Ketin İ, Türkiye Jeolojisine Genel Bir Bakış).....	4
Şekil 2.4	Değişik orojenez bölgelerinin yapısal özelliklerini şematik olarak gösteren dikme kesitler.....	6
Şekil 2.5	Marmara denizi çevresinde yer alan kenet kuşakları ve Kuzey Anadolu Fayı. (Görür,1996)	7
Şekil 2.6	Türkiye'nin sismisite haritası, (ISC Kataloğu, 1964-1995).....	9
Şekil 2.7	Marmara Bölgesi'nde meydana gelmiş büyük depremlerin odak mekanizması çözümleri (17.08.1999 ve 13.09.1999 depremlerine ait olanlar Harvard GMT çözümlerinden, diğerleri Taymaz ve diğ. (1991)'den alınmıştır).....	10
Şekil 3.1	Planda deprem hareketinin oluşumu.....	12
Şekil 3.2	Fay düzleminin konumu ve kayma (yırılma) bölgesinin genişlemesi.	12
Şekil 3.3	Çeşitli fay türleri.	13
Şekil 3.4	Bir yer hareketinin planda fay civarındaki eş şiddet eğrileri.	14
Şekil 3.5	Basitleştirilmiş bir deprem hareketine ait büyüklükler.....	15
Şekil 3.6	26 Mayıs 1957 Bolu depremi eş şiddet eğrileri.	16
Şekil 3.7	Sonsuz büyük ortamda P ve S dalgaları.	19
Şekil 3.8	Derinliğe bağlı olarak dalga hızlarında ve yoğunluktaki değişim.	21
Şekil 3.9	Elastik ortamda dalga türleri ve yayılma özellikleri.	22
Şekil 4.1	a)Yarım uzayı dolduran kum kütlelerinin aktif rankine durumu, b)Pasif rankine durumu için benzer şekiller.	31
Şekil 4.2	a)Dikdörtgen kesitli kutudaki kumda meydana gelen bölgesel aktif rankine durumu, b)Aynı kutuda bölgesel rankine durumu.	32
Şekil 4.3	Aktif rankine durumunun meydana gelmesi için gerekli yer değiştirme şartının sağlanması halinde pürüzsüz düşey bir duvar gerisindeki kumun kırılması a)Duvar kesiti, b)Duvar sırtına etkiyen gerilme.	33

Şekil 4.4	Pasif durumun meydana gelmesi için gerekli yer değiştirme şartının sağlanmaması halinde pürüzsüz düşey bir duvar gerisindeki kumun kırılması a)Duvar kesiti, b)Duvar sırtına etkiyen gerilme.	34
Şekil 4.5	Mohr dairesinde gerilmeler.....	35
Şekil 4.6	Coulomb'a göre kayan üçgen kütlesi.....	39
Şekil 4.7	Aktif zemin basıncı.....	40
Şekil 4.8	Pasif zemin basıncı.	41
Şekil 4.9	Rankine'e göre zemin basıncının tarifi.....	42
Şekil 4.10	Kohezyonlu zeminde aktif zemin basıncı.....	46
Şekil 4.11	Kohezyonlu zeminde zemin üzerinde yükleme olmadığı durumda aktif zemin basıncı.	48
Şekil 4.12	Pasif zemin basıncında kuvvetler. (kohezyonlu zemin)	49
Şekil 4.13	Pasif zemin basıncı. (kohezyonlu zemin)	50
Şekil 5.1	Zeminde tabii şev açısı ve istinat duvarlarının yeri.....	51
Şekil 5.2	İstinat duvarı tipleri.....	54
Şekil 5.3	İstinat duvarını oluşturan kısımlar.....	55
Şekil 5.4	Ağırlık istinat duvarında ön boyutlandırma.....	56
Şekil 5.5	Konsol istinat duvarlarında ön boyutlandırma.	56
Şekil 5.6	Payandalı istinat duvarında ön boyutlandırma.	58
Şekil 5.7	Ağırlık istinat duvarındaki kuvvetler a)Coulomb analizi, b)Rankine analizi.....	59
Şekil 5.8	Konsol istinat duvarındaki kuvvetler a)Tüm sistemde, b)Konsolda, c)Ön ambatman, d)Arka ambatmanda.....	60
Şekil 5.9	Konsol istinat duvarında aktif zemin ve taban basıncı.	60
Şekil 5.10	Payandalı istinat duvarının analizi.....	62
Şekil 5.11	Payandalar için yatay yönde eğilme momentleri.....	63
Şekil 5.12	Huntington'a göre düşey momentlerin dağılışı.	63
Şekil 5.13	Radyede dış yapılması halinde sürtünme uzunluğunun ve pasif basıncın artışı.....	64
Şekil 5.14	Zeminin taşıma kapasitesinin aşılması durumu.....	65
Şekil 5.15	İstinat duvarının toptan göçme hali.	65
Şekil 6.1	Sismotektonik yöre sınırları ve 1900-2000 yılları arasında meydana gelen depremler. ($M \geq 4$).....	69
Şekil 6.2	Yalova çevresi sismotektonik yöresi Magnitüd – log N ilişkisi.	72
Şekil 6.3	Magnitüd – Risk ilişkisi.....	73
Şekil 6.4	Kayada ivme-mesafe eğrileri.....	75

Şekil 6.5	Yalova bölgesi zemin ivmesi - episantr uzaklığı değişimi.	78
Şekil 7.1	Basit bir istinat duvarı.....	81
Şekil 7.2	Farklı ϕ değerleri için P_{AD} - H değişimi. (legend ϕ).....	82
Şekil 7.3	Farklı ϕ değerleri için P_D - H değişimi. (legend ϕ).....	82
Şekil 7.4	Farklı H değerleri için P_{AD} - ϕ değişimi. (legend H).....	83
Şekil 7.5	Farklı H değerleri için P_D - ϕ değişimi. (legend H).....	83
Şekil 7.6	Farklı ϕ değerleri için P_{AD} - H değişimi. (legend ϕ).....	84
Şekil 7.7	Farklı ϕ değerleri için P_D - H değişimi. (legend ϕ).....	84
Şekil 7.8	Farklı H değerleri için P_{AD} - ϕ değişimi. (legend H).....	85
Şekil 7.9	Farklı H değerleri için P_D - ϕ değişimi. (legend H).....	85
Şekil 7.10	Farklı ϕ değerleri için P_{AD} - H değişimi. (legend ϕ).....	86
Şekil 7.11	Farklı ϕ değerleri için P_D - H değişimi. (legend ϕ).....	86
Şekil 7.12	Farklı H değerleri için P_{AD} - ϕ değişimi. (legend H).....	87
Şekil 7.13	Farklı H değerleri için P_D - ϕ değişimi. (legend H).....	87
Şekil 7.14	Farklı ϕ değerleri için P_{AD} - H değişimi. (legend ϕ).....	88
Şekil 7.15	Farklı ϕ değerleri için P_D - H değişimi. (legend ϕ).....	88
Şekil 7.16	Farklı H değerleri için P_{AD} - ϕ değişimi. (legend H).....	89
Şekil 7.17	Farklı H değerleri için P_D - ϕ değişimi. (legend H).....	89
Şekil 7.18	Farklı ϕ değerleri için P_{AD} - H değişimi. (legend ϕ).....	90
Şekil 7.19	Farklı ϕ değerleri için P_D - H değişimi. (legend ϕ).....	90
Şekil 7.20	Farklı H değerleri için P_{AD} - ϕ değişimi. (legend H).....	91
Şekil 7.21	Farklı H değerleri için P_D - ϕ değişimi. (legend H).....	91
Şekil 7.22	Farklı ϕ değerleri için P_{AD} - H değişimi. (legend ϕ).....	92
Şekil 7.23	Farklı ϕ değerleri için P_D - H değişimi. (legend ϕ).....	92
Şekil 7.24	Farklı H değerleri için P_{AD} - ϕ değişimi. (legend H).....	93
Şekil 7.25	Farklı H değerleri için P_D - ϕ değişimi. (legend H).....	93
Şekil 7.26	Farklı ϕ değerleri için P_{AD} - H değişimi. (legend ϕ).....	94
Şekil 7.27	Farklı ϕ değerleri için P_D - H değişimi. (legend ϕ).....	94
Şekil 7.28	Farklı H değerleri için P_{AD} - ϕ değişimi. (legend H).....	95
Şekil 7.29	Farklı H değerleri için P_D - ϕ değişimi. (legend H).....	95
Şekil 7.30	Farklı ϕ değerleri için P_{AD} - H değişimi. (legend ϕ).....	96
Şekil 7.31	Farklı ϕ değerleri için P_D - H değişimi. (legend ϕ).....	96

Şekil 7.32 Farklı H değerleri için $P_{AD} - \phi$ değişimi. (legend H).....	97
Şekil 7.33 Farklı H değerleri için $P_D - \phi$ değişimi. (legend H).....	97
Şekil 7.34 Farklı ϕ değerleri için $P_{AD} - H$ değişimi. (legend ϕ).....	98
Şekil 7.35 Farklı ϕ değerleri için $P_D - H$ değişimi. (legend ϕ).....	98
Şekil 7.36 Farklı H değerleri için $P_{AD} - \phi$ değişimi. (legend H).....	99
Şekil 7.37 Farklı H değerleri için $P_D - \phi$ değişimi. (legend H).....	99
Şekil 7.38 Farklı ϕ değerleri için $P_{AD} - H$ değişimi. (legend ϕ).....	100
Şekil 7.39 Farklı ϕ değerleri için $P_D - H$ değişimi. (legend ϕ).....	100
Şekil 7.40 Farklı H değerleri için $P_{AD} - \phi$ değişimi. (legend H).....	101
Şekil 7.41 Farklı H değerleri için $P_D - \phi$ değişimi. (legend H).....	101
Şekil 7.42 Farklı ϕ değerleri için $P_{AD} - H$ değişimi. (legend ϕ).....	102
Şekil 7.43 Farklı ϕ değerleri için $P_D - H$ değişimi. (legend ϕ).....	102
Şekil 7.44 Farklı H değerleri için $P_{AD} - \phi$ değişimi. (legend H).....	103
Şekil 7.45 Farklı H değerleri için $P_D - \phi$ değişimi. (legend H).....	103
Şekil 7.46 Farklı ϕ değerleri için $P_{AD} - H$ değişimi. (legend ϕ).....	104
Şekil 7.47 Farklı ϕ değerleri için $P_D - H$ değişimi. (legend ϕ).....	104
Şekil 7.48 Farklı H değerleri için $P_{AD} - \phi$ değişimi. (legend H).....	105
Şekil 7.49 Farklı H değerleri için $P_D - \phi$ değişimi. (legend H).....	105

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1	Değiştirilmiş Mercalli şiddet cetveli.....	17
Çizelge 3.2	Deprem büyüklükleri ve ölçüm periyotları.....	18
Çizelge 6.1	Yalova sismotektonik yöresinde 1900-2000 yılları arasında meydana gelen depremlerin yıllık maksimum magnitüd değerleri. (Richter'e göre).....	70
Çizelge 6.2	Yalova Gumbel yıllık maksimum dağılımı analizi. (deprem olmayan yıllar için $M_{min} = 4$ kabul edilmiştir).....	71
Çizelge 6.3	Yalova çevresi sismotektonik yöresi "a" ,"b" regresyon katsayıları ve Pearson-Bravais Korelasyon katsayıları.	71
Çizelge 6.4	Yıllık risk ve magnitüd değerleri.....	74
Çizelge 6.5	Yalova, Ankara, İstanbul ve İzmir böl. yıllık risk, magnitüd ve ivme değerleri.	77
Çizelge 6.6	Zemin deplasmanları.	79
Çizelge 6.7	Bölgelerin zemin deplasman analizleri.....	80



ÖNSÖZ

Önceden bir uyarı olmadan meydana gelmesi yönünden deprem, doğal afetler arasında kendine has bir özelliğe sahiptir. Deprem meydana gelmeden önce bazı ön işaretler görülebilirse de günümüzde depremin önceden tahmin edilmesi konusunda güvenilir sonuçlar henüz mevcut değildir. Bununla beraber geçmiş yıllarda meydana gelmiş olan depremlerin parametrelerinin probabilistik metotlar ile incelenmesi sonucunda, gelecekte olabilecek depremlerin karakteristikleri konusunda proje kriterleri için takribi olarak tahminler yapılabilmektedir. Bu sebeple yapıların deprem açısından projelendirilmesinde ihtimal hesapları önemli bir yer teşkil etmektedir.

Bu çalışmada, 17 Ağustos 1999 tarihinde meydana gelen depremde, ekonomik ve sosyolojik açıdan önemli derecede etkilenen Yalova ve çevresi göz önüne alınarak, deprem risk analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda bu bölgede inşa edilecek yapılar için proje kriterlerine baz teşkil edebilecek deprem magnitüdü ve zemin ivmesi tahminleri yapılmış ve istinat yapıları üzerinde incelemelerde bulunulmuştur.

Çalışmalarımda bana yön veren ve yardımlarını esirgemeyen başta sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Nejat Nuri ÇETİNKAYA olmak üzere, her an maddi ve manevi destekleriyle yanımda olan Babam ve Anneme, hiçbir fedakarlıktan kaçınmayan sevgili eşim Aylin Ebru SADIKER'e ve çalışmama katkıda bulunan diğer hocalarım ve arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Ocak 2002

İnş. Müh. Cem SADIKER

ÖZET

Depremelerin çoğu yer kabuğundaki deformasyonlardan meydana gelmektedir ve tektonik kaynaklıdır. Günümüzde, tektonik hareketlerin sebepleri en iyi şekilde Plaka Tektoniği Teorisi ile açıklanmakta olup, tektonik depremler çoğu kez jeolojik faylar boyunca yer alan kaymalar ile aktive olmaktadır. Bu davranış, tektonik hareketler sırasında biriken gerilmelerden enerji boşalması neticesinde ortaya çıkmakta olup, bazen bütün fay hattı boyunca zincirleme bir reaksiyon meydana gelmektedir.

Türkiye Alpin Kuşağı'nda yer almaktadır ve Kuzey Anadolu Sismik Zonu çok eski zamanlardan beri sismik olarak aktif olmuştur. Depremlerin önceden bilinmemesi ve belirsizliklerini koruması depreme dayanıklı yapı tasarımında ihtimal hesaplarının önemini arttırmıştır. Bu bölgede ve her yerde meydana gelebilecek depremlerin ihtimali, risk analizleri yapılarak önceden tahmin edilebilmektedir; fakat zeminlerin ve yapıların, dinamik yükler karşısındaki davranışında ve zemin-yapı etkileşiminde hala belirsizlikler mevcuttur.

Bu çalışmada sismotektonik yöre olarak, 28° - 31° doğu boyları ve 40° - $41^{\circ}.5$ kuzey enlemi arasında kalan Yalova ili ve geniş çaptaki çevresi seçilerek bu bölge için 101 senelik tarihçe (1900-2000 yılları arası) göz önüne alınmış, yapılan deprem risk analizi sonucunda değişik episantır uzaklıklarına bağlı olarak, belirlenen yıllık risk oranları için maksimum ivme ve deplasman değerleri tahmin edilmiştir.

Elde edilen bu sonuçlarla değişik zemin parametreleri için istinat duvarlarına etki eden yanal toprak basınçlarında deprem sırasında meydana gelen dinamik yükler hesaplanmış ve grafikler yardımıyla ortaya konmuştur.

ABSTRACT

Most of the earthquakes result from the deformations in the earth's crust, and their origins happen to be tectonic. Today, the reasons of the tectonic motions can best explained by way of the Plate Tectonics Theory. Tectonic earthquakes are mostly activated by shifts on geologic faults. These shifts occur due to the energy release from the stresses which accumulate during the tectonic motions. Sometimes, a chain reaction might occur along the fault line.

Turkey is in the Alpine Belt and North Anatolian Seismic Zone has been active since the ancient times. Since happening times of the earthquakes times can not be predicted before hand, the probabilistic calculations on the projects of special structures under earthquake loads has gained importance. At the region studied in this work, and also in any region, probability of the occurrence of an earthquake, by using risk analysis, can be used. But still, there are still uncertainties on the behaviour of soils and structures versus dynamic loads, and soil-structure interactions.

In this work, Yalova, which is located between 28° - 31° East Longitude and 40° - $41^{\circ}.5$ North Latitude, and its environment have been studied. For this region, the data for 101 years (1900-2000) have been investigated. As a result of the earthquake risk analyses for this region, the maximum acceleration and displacement values have been predicted for the annual risk rates depending on various epicenter distances.

From the results obtained, dynamic loads which occur during the earthquakes on the static lateral earth pressures acting on retaining walls have been analyzed. The results of the calculations have been presented using graphical charts.

1. GİRİŞ

Önceden bir uyarı olmadan meydana gelmesi yönünden deprem, doğal afetler arasında kendine has bir özelliğe sahiptir. Deprem meydana gelmeden önce bazı ön işaretler görülebilirse de günümüzde depremin önceden tahmin edilmesi konusunda güvenilir sonuçlar henüz mevcut değildir. Bununla beraber geçmiş yıllarda meydana gelmiş olan depremlerin parametrelerinin probabilistik metotlar ile incelenmesi sonucunda, gelecekte olabilecek depremlerin karakteristikleri konusunda proje kriterleri için takribi olarak tahminler yapılabilmektedir. Bu sebeple yapıların deprem açısından projelendirilmesinde ihtimal hesapları önemli bir yer teşkil etmektedir.

Bu çalışmada depremselliği açısından önemli bir konumdaki Yalova ve çevresi için probabilistik bir metot olan Gumbel “Yıllık ekstrem değerler metodu” kullanılarak söz konusu bölge için deprem risk analizi yapılmış, sonuçları istinat duvarları üzerinde değerlendirilmiştir.

İkinci bölümde, Türkiye ve Marmara bölgesinin genel jeolojik durumu anlatılmış ve özellikle Marmara Bölgesi’nin tektonik yapısı ile ilgili bilgiler verilmiştir.

Üçüncü bölümde, deprem hareketi konuyla bağlantılı olarak ana hatlarıyla anlatılmaya çalışılmış zeminlerin deprem yükleri altındaki davranışlarından yüzeysel olarak bahsedilmiştir.

Dördüncü bölümde, statik ve dinamik yanal zemin basınçlarının tahmin edilebilmesi için gerekli teorik bilgilere yer verilmiştir.

Beşinci bölümde, istinat duvarları ve çeşitleri hakkında genel bilgiler verilmiştir.

Altıncı bölümde, söz konusu yöre için deprem risk analizi yapılmış ve sonuçları daha önce farklı yöreler için yapılan çalışmalar ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

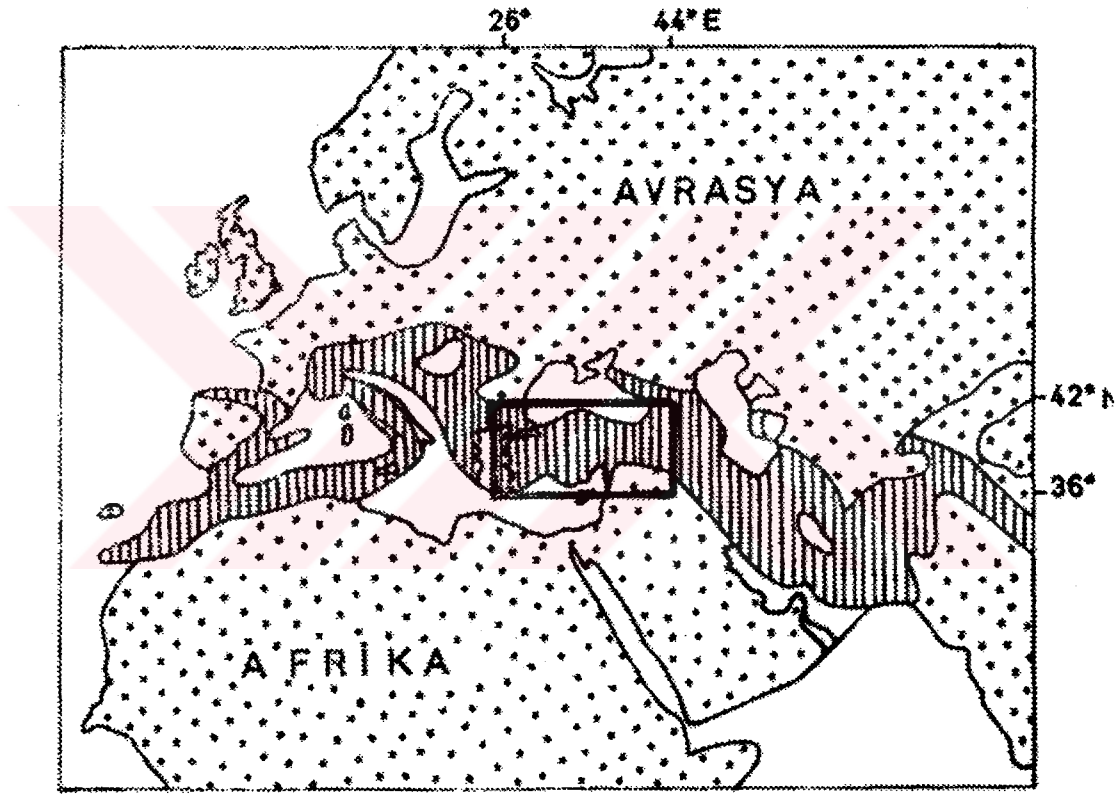
Yedinci bölümde ise Yalova Çevresi sismotektonik yöresi için yapılan deprem risk analizi sonuçları basit bir istinat duvarı üzerinde farklı zemin parametreleri ve değişik istinat duvarı yükseklikleri için hesaplanmış ve sonuçları grafikler yardımıyla özetlenmiştir.

2. TÜRKİYE’NİN GENEL JEOLJİK YAPISI

2.1 Türkiye Jeolojisinin Özelliği ve Yeryüzündeki Durumu

Alpin sıradağlar kuşağı içerisinde yer alan Türkiye, bu kuşağın genel nitelikleri yanında kendine has birtakım jeolojik özellikleri de içermektedir.

İklim şartlarının ve bitki örtüsünün de etkilediği bu özelliklerin başında, Anadolu kara parçasının coğrafik-jeolojik konumu gelmektedir. (Şekil 2.1) Kuzeyde Avrasya ve güneyde Afrika (Arabistan) kıtaları arasında bulunan ülkemizin jeolojisi, bu iki eski kıtanın sürekli hareketlerine ve bu kıtalar arasında yer almış olan Eski ve Yeni Tetis denizinin jeotektonik evrimine bağlı olarak gelişmiştir.



Şekil 2.1 Türkiye'nin Avrasya ile Afrika kıtaları arasında, tetis kuşağındaki yeri.(Ketin İ, Türkiye Jeolojisine Genel Bir Bakış)

Bu nedenle ülkemiz, Alpin sıradağlarının, özellikle Tetis kuşağının, jeolojik-tektonik gelişmesinde etken olan levha hareketlerinin ayrıntılı olarak incelenebileceği, bu hareketlerin tarihsel evriminin kesinlikle açıklığa kavuşturulabileceği, başka bir deyişle jeotektonik olayların sağlam verilere dayalı olarak yorumlanabileceği bir bölge durumundadır.

Bugünkü görünümü ile de, Afrika kıtasının Tetis okyanus havzası ile doğrudan doğruya dokanak halinde bulunduğu Güneydoğu Anadolu bindirme zonu (çakışma zonu) ve bu zon

boyunca yüzeyleyen ofiyolitli seriler (melanj), ünlü yerbilimcilerin dikkatini ve ilgisini çekmektedir.

Anadolu'nun diğer bölgelerinde geniş alanlar kaplayan ve birçokları zengin kromit yatakları içeren bazik ve ultrabazik kayaç toplulukları ile ofiyolitli karmaşık seriler de ilginç araştırma konuları arasındadır.

Kuzey Anadolu, Doğu Anadolu, Güneydoğu Anadolu fay zonları ve Batı Anadolu-Marmara graben sistemleri gibi yurdumuzun depremselliği ile de doğrudan doğruya ilişkili olan diri (aktif) faylar ise, hem tektonikçi jeologları ve hem de sismolog jeofizikçileri son derece etkilemekte, onların bilimsel araştırma tutkularını kamçulamaktadır.

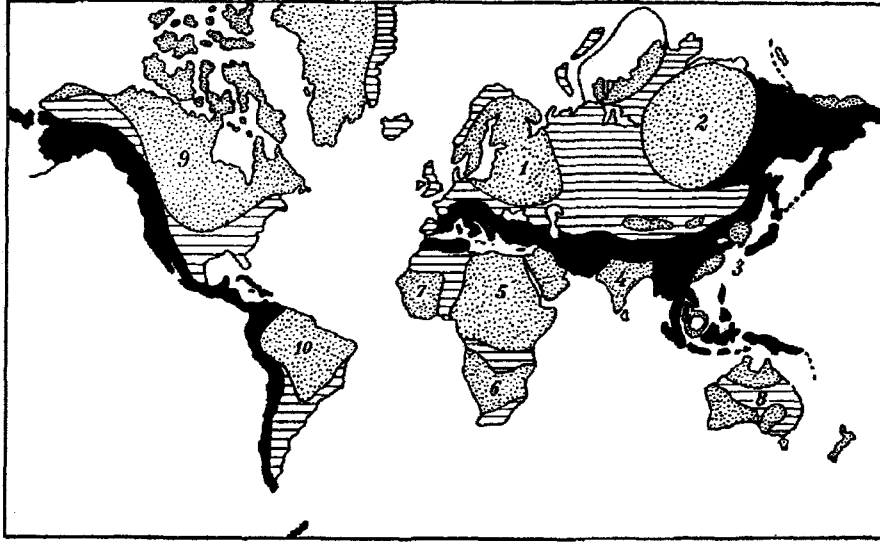
Diğer yönden, petrol ve fosfat yatakları kapsayan Güneydoğu Anadolu'nun Mesozoyik sedimentleri, linyit ve borat yatakları içeren Batı Anadolu'nun Neojen havzaları; doğal gaz ve petrol emareleri gösteren Trakya ve Adana Tersiyer havzaları; Doğu Karadeniz kıyı dağlarının bakır-çinko-kurşun cevherleşme alanları ekonomik jeoloji bakımından büyük önem taşıyan ve daha ayrıntılı, daha bilimsel inceleme-araştırma bekleyen yörelerimiz ve konularımız arasındadır.

Orta ve Doğu Anadolu'nun sönmüş yanardağları (Erciyes-Hasandağı-Ağrı-Süphan-Tendürek gibi büyük volkanlar), Nemrut Kalderası, Kula çevresinin “yanık arazisi” ve nihayet Torosların doğal çekiciliği, ilginç yapısı ve evrimi, Türkiye'yi bir “jeoloji cenneti” olarak tanımlamaya yeterli olgular ve güzelliklerdir.

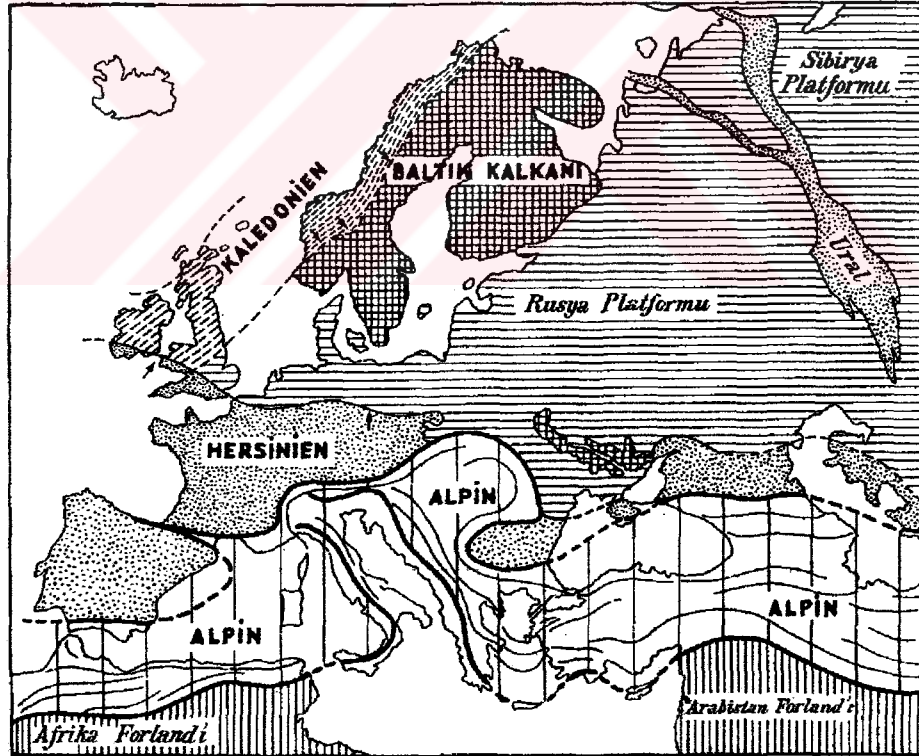
Yerkabuğunun milyarlarca yıl süren jeolojik evriminde başlıca dört büyük dağ oluşumu (orojenez) dönemi ve çok sayıda dağ oluşumu evreleri birbirini izlemiştir.

Orojenez dönemleri, eskilik sırasına göre: 1) Kambriyen öncesi (Pre-kambriyen), 2)Kaledoniyen, 3) Hersiniyen ve 4)Alpin olarak adlandırılırlar. Bu dönemlerde meydana gelen kıvrımlı dağlar ve magmatik kütleler bugün yeryüzünde rastladığımız Kambriyen öncesi masifleri, Kaledoniyen, Hersiniyen ve Alpin sıradağları bölgelerini oluşturmuşlardır. Basitleştirilmiş bir dünya tektonik haritasında (şekil 2.2) ve buna benzer bir Avrupa haritasında (şekil 2.3) bu dört farklı orojenez bölgesinin yeryüzündeki dağılımları şematik olarak belirtilmiştir.

Her iki şekilde de görüleceği gibi, Türkiye Alpin Sıradağlar kuşağında ve bu kuşağın Doğu Akdeniz (doğu tetis) kesiminde yer almıştır.



Şekil 2.2 Basitleştirilmiş dünya tektonik haritası üzerinde farklı orojenez bölgeleri. Siyah kısımlar; Alpin orojenez kuşakları; yatay çizgili kısımlar Kaledoniyen ve Hersiniyen orojenik bölgeleri; noktali ve rakamli alanlar; kambriyen öncesi orojenezler geçirmiş masifleri belirtirler. (Ketin İ, Türkiye Jeolojisine Genel Bir Bakış)



Şekil 2.3 Avrupa'nın başlıca orojenez bölgelerini (kaledoniyen, hersiniyen, alpin) ve kambriyen öncesi masiflerini (Baltık kalkanı, Rusya platformu, Afrika-Arabistan forlandı) gösteren genel tektonik haritası. (Ketin İ, Türkiye Jeolojisine Genel Bir Bakış)

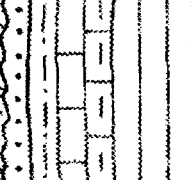
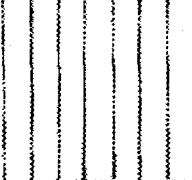
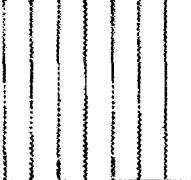
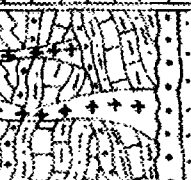
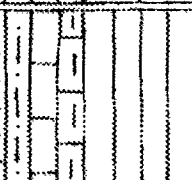
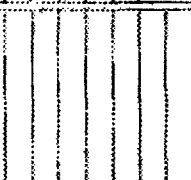
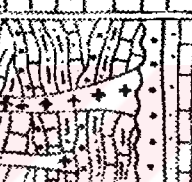
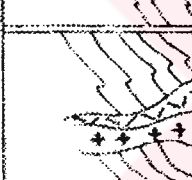
Dört büyük orojenez döneminin etkilediği bölgelerin jeolojik yapılarını, jeolojik özelliklerini yakından incelediğimizde, bunların zaman bakımından olduğu kadar, yapı ve görünimleri açısından da birbirinden oldukça farklı durumda bulundukları açıkça görülür. (şekil 2.4)

Bunlardan birinci gruba giren bölgeler Kambriyen öncesi (600 milyon yıldan daha eski) dağ oluşumlarından etkilenmiş, bu dönemde birçok kez deforme olmuş ve zamanla metamorfik-kristalin masifler haline dönüşmüş kara parçalarıdır. Bu bölgelerde Kambriyen tabakaları daha yaşlı seriler (genellikle kambriyen öncesi masifler) üzerinde yatay olarak durmakta, onlarla açılı diskordanslar oluşturmaktadırlar. (şekil 2.4) Diğer yönden buralarda tüm Paleozoyik, Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı formasyonlar ilk oluşumları sırasındaki yatay durumlarını korumuşlar o zamanlardan beri önemli deformasyonlara uğramamışlardır. (şekil 2.4)

Yaklaşık 400 milyon yıl önce Kaledoniyen orojenizi geçirmiş olan ikinci grup sıradağlar bölgesinde, Devoniyen yaşlı tabakalar daha yaşlı kayalar (özellikle Silüriyen, Ordovisiyen ve Kambriyen oluşuklar) üzerinde yatay durumda diskordans olarak dururlar. (şekil 2.4) Aynı zamanda bu bölgelerde, Devoniyenden başlayarak Kuvaterner sonuna kadar devam eden tüm stratigrafik seriler başlangıçtaki yatay durumlarını korumuşlar veya çok az deforme olmuşlar, kırılmış veya bükülmüşlerdir; fakat yeni bir orojenik deformasyon geçirmemişlerdir. (şekil 2.4)

Üçüncü grubu oluşturan ve 250-300 milyon yıl önce Hersiniyen orojenezi geçirmiş olan bölgelerde, Triyas tabakaları Paleozoyik formasyonlar üzerinde açılı diskordansla yatay olarak dururlar. (şekil 2.4) Buralarda, Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı tabaka serileri ilk oluşum zamanlarından beri önemli bir deformasyon geçirmemişler, özellikle orojenik bir değişikliğe uğramamışlardır. (şekil 2.4)

Türkiye'yi de içerisine alan dördüncü grup Alpin sıradağlar bölgesinde ise, Kuvaterner dışında kalan tüm stratigrafik seriler, Paleozoyik-Mesozoyik ve Tersiyer yaşlı formasyonlar, son 70-80 milyon yıl boyunca çeşitli orojenik evreler geçirmişler dolayısıyla birkaç kez kıvrılmış, kırılmış, ileri derecede deforme olmuşlardır. (şekil 2.4)

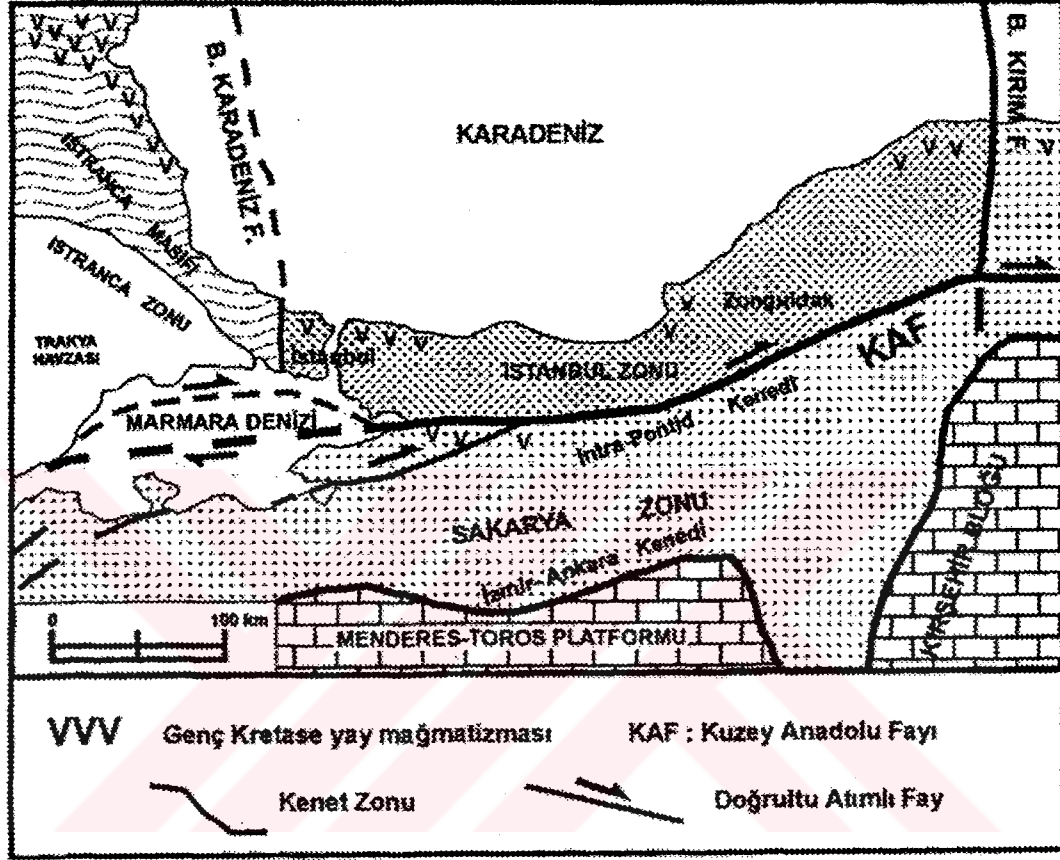
PROTERO-ZOYİK	PALEOZOYİK	MESOZOYİK	SENOZOYİK	ZAMANLAR
Kambriyen öncesi 2000	Kambriyen 570 Ordovisiyen 400 Devoniyen Silüriyen Permien Karbonifer	Triyas 230 Jura Kretase	Paleojen 65 Eosen Oligosen Neojen 20 Pliosen Miosen Pleistosen 2-3	Devirler Milyon yıl önce
				Kambriyen öncesi Orojenez Bölgeleri
				Kaledoniyen orojenez Bölgeleri
				Hersiniyen orojenez Bölgeleri
				Alpin orojenez Bölgeleri (Türkiye)
				Y. Lav. Disk. Dilav. Disk. Mağm. Disk. Dilav. Disk. Mağm. Dilav. Disk. Mağm. Dilav. Disk.

Şekil 2.4 Değişik orojenez bölgelerinin yapısal özelliklerini şematik olarak gösteren dikme kesitler.

Türkiye örneğinde: Göreli olarak daha az deforme olmuş Neojen tabakaları bile yer yer kıvrılmış, kırılmış ve faylanmışlardır; ancak yatay durumda oldukları bölgeler de vardır. Daha yaşlı formasyonlar ise, çoğu kez diskordanslı, dik tabakalı, devrik durumlu veya bindirmelidir. Plütonizma ve volkanizma şeklindeki magmatik olaylar da etkinliklerini devamlı olarak sürdürmüşlerdir.

2.2 Marmara Bölgesi'nin Genel Jeolojisi

Marmara Bölgesi, Pontidler, Sakarya kıtası ve Intra-Pontid kenet kuşağı olmak üzere paleotektonik döneme ait üç bölgeye ayrılır. (Şekil 2.5) Pontidler, Intra-Pontid kenet kuşağının kuzeyinde yer alır ve kendi içinde Istranca Masifi, İstanbul Paleozoyik istif ve Armutlu-Almacık metamorfikleri olmak üzere üçe ayrılır.



Şekil 2.5 Marmara denizi çevresinde yer alan kenet kuşakları ve Kuzey Anadolu Fayı.
(Görür,1996)

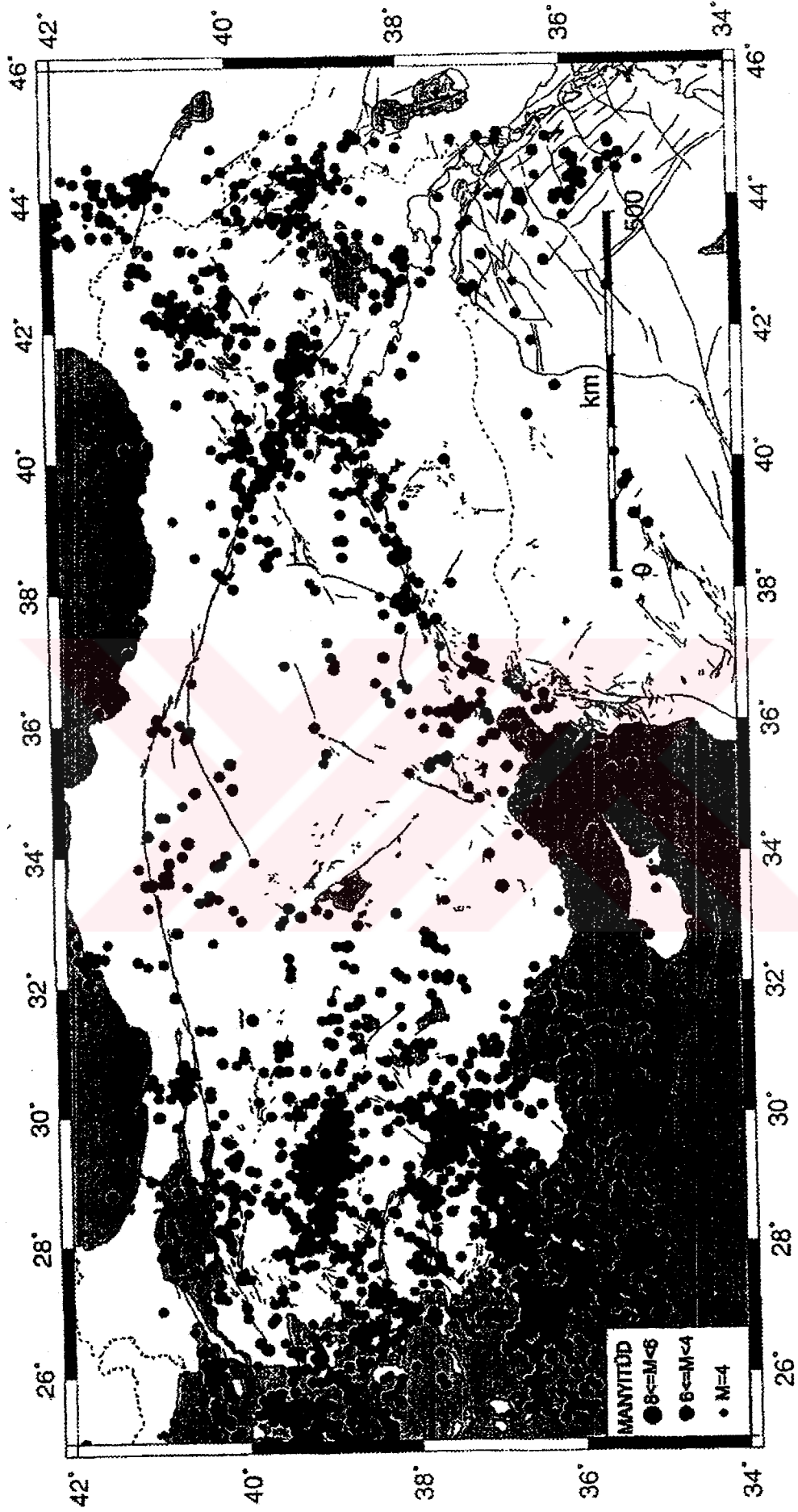
Bu kıta parçası Paleozoyik yaşlı metamorfik ve metamorfik olmayan kayalar ve Senozoyik yaşlı sedimanter ve volkanik istiflerden oluşmaktadır. Sakarya kıtası, güneyde İzmir-Ankara kenet kuşağı ile Intra-Pontid kenet kuşağı arasında yer alır. Temelde yer alan metamorfik ve metamorfik olmayan Paleozoyik yaşlı birimler, Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı birimlerle örtülmüştür. (Yılmaz,1997) Intra-Pontid kenet kuşağı Sakarya kıtası ile Pontidler arasında yer almaktadır. Bu zon metamorfik ve magmatik kayalar tarafından temsil edilmektedir.

Marmara bölgesinin tektonik rejimine bakıldığında Marmara Bölgesi'ni doğrudan etkileyen olayların KAF'ın (Kuzey Anadolu Fayı) doğrultu atımlı hareketi ve kuzey-güney açılma rejiminden kaynaklandığı görülmektedir.

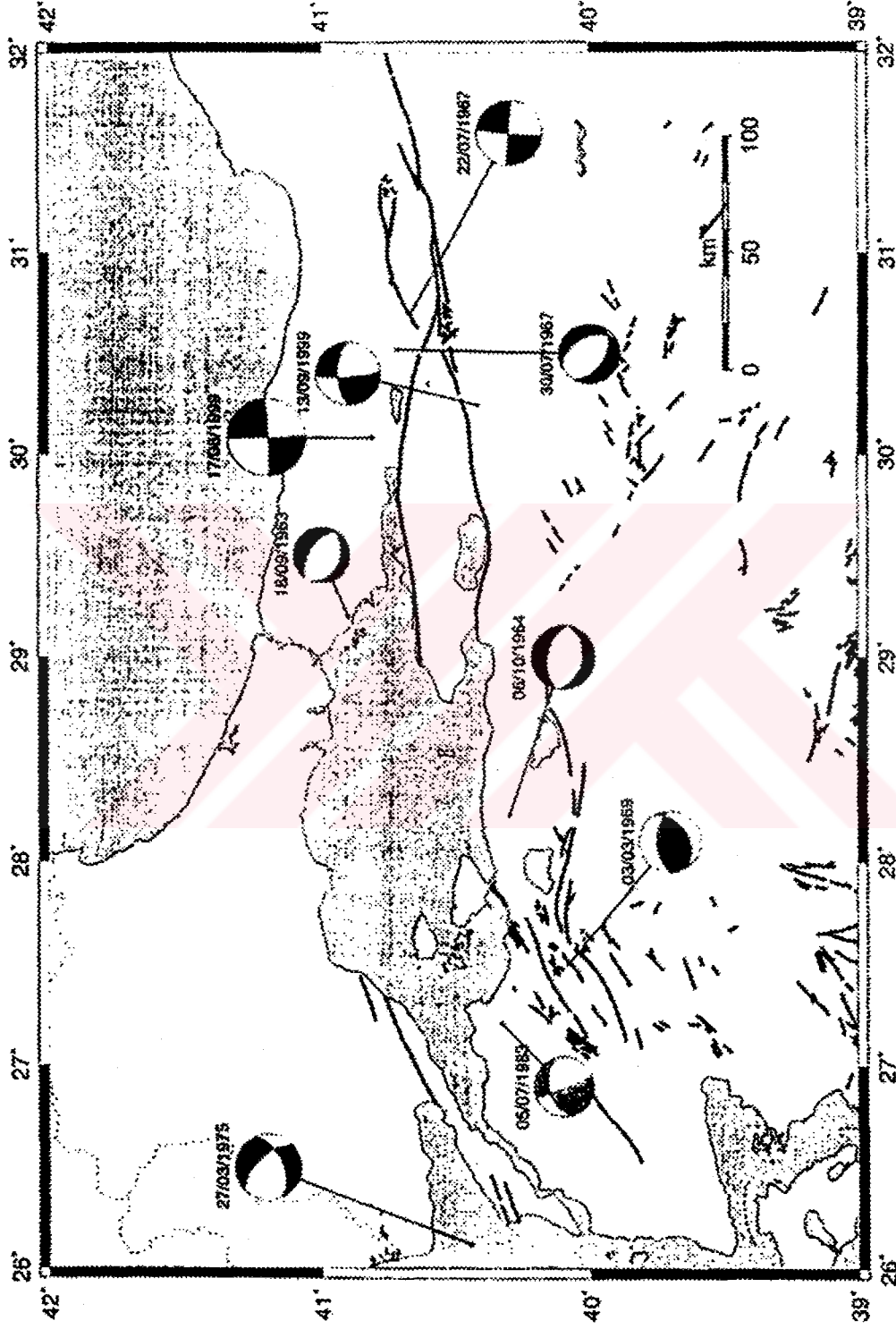
Marmara Bölgesi, 1500 km uzunluğundaki KAFZ 'nin(Kuzey Anadolu Fay Zonu) üzerinde yer almaktadır. KAFZ, sağ yanal atımlı, sismik olarak aktif bir faydır. (Ketin,1948; Şengör,1979) KAF, ilk olarak Miyosen sonları ve Pliyosen başlarında aktif hale gelmiştir. (Ketin,1976; Şengör,1979; Şengör ve diğ.,1985; Barka, 1992a) Marmara denizinin doğusunda, KAFZ üç kola ayrılır. (Şekil 2.5) Güney kolu Yenişehir ve Edremit arasında yer alır. Orta kolu, Güneydoğu Marmara kıyısını Geyve'den Bandırma'ya keserek Bayramiç'ten geçer ve Ege denizine girer. Kuzey kolu ise İzmit Körfezi'nden Marmara denizine dalar ve Saroz Körfezi'nin güney sınırına kadar devam eder. (Barka ve Kadinsky-Cade,1988)

Jeofizik verilere bakıldığında Marmara Bölgesi KAF'ın etkisi nedeniyle sismik olarak aktif bir bölgedir. Türkiye'nin 1960-1995 yılları arasındaki sismisitesinden (Şekil 2.6) Batı Anadolu'nun yoğun sismik aktiviteye sahip olduğu görülmektedir. Marmara bölgesinde meydana gelmiş büyük depremlerin fay mekanizmaları çözümleri incelendiğinde, ana fay üzerindeki büyük depremler doğrultu atım özelliği gösterirken İzmit Körfezi'nde yer alan orta büyüklükteki depremler normal fay bileşenleri içermektedir. (Şekil 2.7)





Şekil 2.6 Türkiye'nin sismisite haritası, (ISC Kataloğu, 1964-1995).



Şekil 2.7 Marmara Bölgesi'nde meydana gelmiş büyük depremlerin odak mekanizması çözümleri (17.08.1999 ve 13.09.1999 depremlerine ait olanlar Harvard GMT çözümlerinden, diğerleri Taymaz ve diğ. (1991)'den alınmıştır).

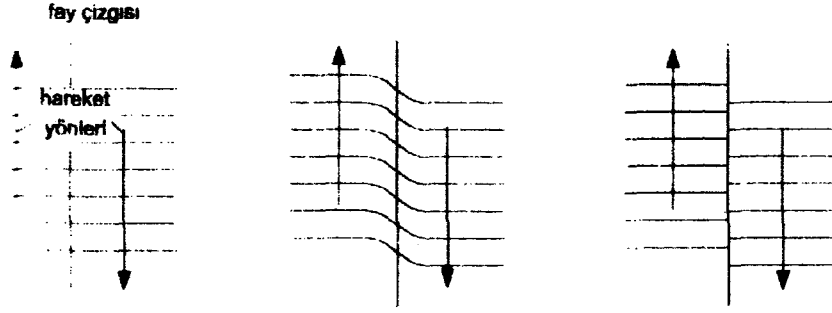
3. DEPREM HAREKETİ

3.1 Deprem Oluşumu ve Özellikleri

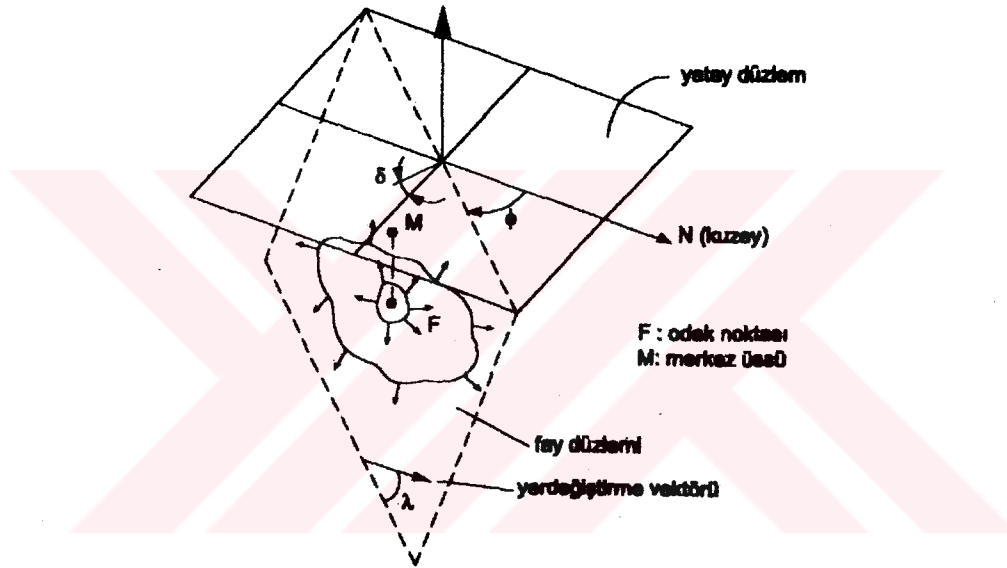
Depremlerin çok büyük bir bölümü, yerkabuğunda çeşitli etkilere meydana gelen şekil değiştirme enerjisinin ani olarak açığa çıkmasından meydana gelir. Böyle bir olay sırasında yerkabuğunu oluşturan plakalar kendisini sınırlayan çizgiler olan faylar boyunca ani olarak kayar. Bu tür tektonik depremde ortaya çıkan yer değiştirme dalgaları sönmelenerek uzaklara yayılır. Deprem yer ve şiddetine göre yerkabuğunda yeni fayları da oluşturabilir. Deprem hareketinin bu tür açıklanması Elastik Geri Sekme Teorisi olarak isimlendirilir.

Bazı depremler, volkanik hareketlere, yeraltı mağaralarının çökmesine ve hatta yer altına basılarak uzaklaştırılan kullanılmış suların ortaya çıkardığı gerilmelere bağlı olarak da oluşabilmektedir. Ancak tektonik olmayan bu depremlerin sayısı ve şiddetleri azdır.

Plaka Tektoniği olarak bilinen bilim dalı, yerkabuğunun bir kaç parçadan oluştuğunu, bu plakaların birbirine 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 yerkabuğu altında sıvı halde bulunan magmanın basıncında soğuma veya benzeri nedenlerle meydana gelen değişimler yer kabuğunda gerilmeler oluşturmaktadır. Diğer yandan kabuğun birçok yerde faylarla kesilmiş olduğu da bilinmektedir. Yerkabuğunda artan gerilmeler zayıf olan bu çizgiler üzerinde veya belirli zayıf bölgelerde yerkabuğunun taşıma gücünü aşarak ani bir kayma (yırılma) olmasına neden olur. Bu durumda harekete karşı koyan sürtünme kuvveti yenilmiş olur. Kayma hareketi depremin odak bölgesinde başlayarak fay boyunca dışarı doğru yayılır. Böylece uzun zamanda toplanan şekil değiştirme enerjisi yırılma ile deprem hareketi ve ısı enerjisi olarak ortaya çıkarak boşalır ve yerkabuğunun taşıyabileceği seviyeye 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. (Şekil 3.1)

DEPREM HAREKETİ

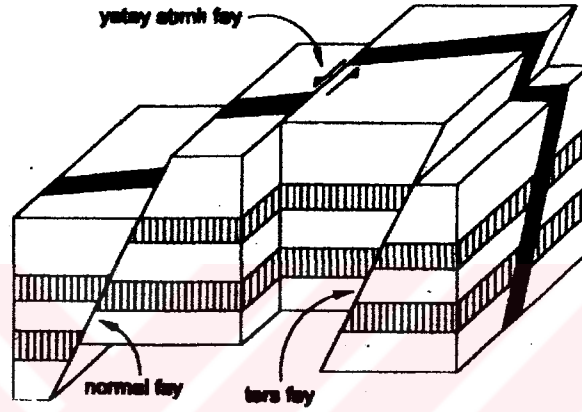
Şekil 3.1 Planda deprem hareketinin oluşumu.

DEPREM HAREKETİ

Şekil 3.2 Fay düzleminin konumu ve kayma (yırtılma) bölgesinin genişlemesi.

Faydaki hareket şekil (3.2)'de gösterildiği gibi, iki blok arasındaki kayma olarak görülebilir. Hareketin meydana geldiği düzlem kuzey – güney doğrultusundaki düşey düzlemle ve yatay düzlemle yaptığı iki açı ile tanımlanabilir. Hareketi oluşturan yer değiştirmenin yönünü gösteren vektör de bu düzlem içinde herhangi bir doğrultuda bulunabilir. Bu vektörün düzlem içindeki yönü ve büyüklüğü genellikle değişken olarak ortaya çıkar. Eğer, yer değiştirme vektörü yatay ise ($\lambda = 0^\circ, 180^\circ$), fay yüzleri arasında yatay kayma hareketi ortaya çıkar ve bu tür fay Yatay Atımlı Fay olarak adlandırılır. Bunun yanında fay yüzeyi düşeyse ($\delta = 90^\circ$) bu durum düşey düzlemde yatay kayma hareketine karşı gelir ve düşey düzlemde Yatay Atımlı Fay söz konusu olur. Eğer fay yüzünün bir tarafından diğer tarafına bakıldığında, bulunan yüz sağa ($\lambda = 0^\circ$) ve karşı yüz sola doğru hareket ediyorsa, Sol Atımlı Fay ve fay yüzünün bir

tarafından diğer tarafına bakıldığında, bulunulan yüz sola ($\lambda = 180^\circ$) ve karşı yüz sağa doğru hareket ediyorsa Sağ Atımlı Fay olarak isimlendirilir. Bunun yanında rölatif hareketin düşey olması durumunda Düşey Atımlı Fay ortaya çıkar. Karşı fay yüzünün yukarı doğru hareket etmesi durumu ($\lambda = 270^\circ$) Normal Düşey Atımlı Fay olarak ve aşağı doğru hareket etmesi durumu ise ($\lambda = 90^\circ$), Ters Düşey Atımlı Fay olarak bilinir. Ancak fay düzlemi ve yer değiştirme vektörü genellikle değişik açılarla bulunur. Bu durumda bu sıfatlar birleştirilerek uygun isimlendirme yapılır. (şekil 3.3)



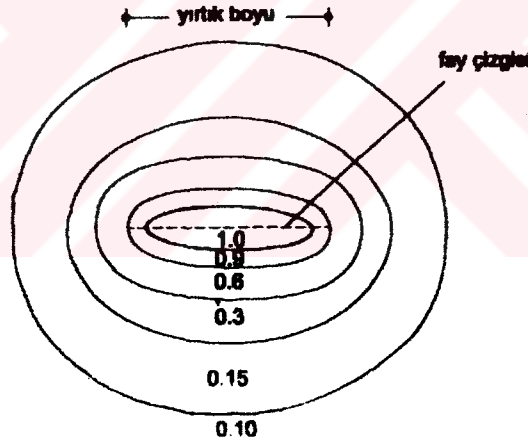
Şekil 3.3 Çeşitli fay türleri.

Depremler yerkabuğundaki faylanmanın bir sonucudur. Aktif faylar geçmişte şekil değiştirmeye uğrayan ve gelecekte de uğraması muhtemel olan fay çeşitidir. Bunlar bölgenin jeolojik ve topografik incelenmesi ve hava fotoğraflarının değerlendirilmesi sonucu tespit edilebilir. Depremler genellikle aktif fay boyunca meydana geldiği için, önemli yapıların projelendirilmesinde aktif faya uzaklık ve diğer sismolojik parametrelerin gözönünde bulundurulması gerekir. Deprem hareketi genellikle şu safhalardan geçerek oluşur. Uzun zaman içinde fay boyunca şekil değiştirme enerjisinde yığılma olur. Bu yığılma, bölge ile ilgili olan bir kritik değere ulaşır ve kayma (yırılma) sonucu bir gevşeme meydana gelir. Gevşeme sonucu ortaya çıkan enerji titreşim meydana getirerek ve sönerek uzaklara yayılır. Aktif faylardaki ortalama yer değiştirme hızı oldukça değişiktir. Örneğin, San Andreas (ABD) fayında bu hız 10 ~ 100 mm/yıl mertebesinde-dir. Bu durumda 3 m değerindeki bir kaymanın meydana geldiği bir depremin 30 ~ 100 yıl ara ile ortaya çıkması beklenir. Bazı faylarda deprem sırasında ani kayma meydana gelirken, bazılarında ise sürekli kayma nedeniyle yavaş yavaş boşalma ortaya çıkar. Ani boşalma sonucu, bazı durumlarda enerjinin tamamı da boşalmayabilir veya meydana gelen hareket sonucu değişik yerlerde tekrar enerji yığılmaları

meydana gelebilir. Bu enerjinin de kritik sınıra erişmesi sonucu yeni bazı fay hareketleri gelişebilir. Genellikle ilk depremde daha küçük olan bu tür hareketler Artçı Deprem olarak isimlendirilir. Bazı durumlarda ise ana kayma meydana gelmeden, bazı zayıf noktalardaki kaymaların meydana getirdiği Öncü Depremler de görülebilir.

Fay çizgileri, yerkabuğunda iki plaka arasındaki süreksizliğin belirttiği dar bir şerit olarak ortaya çıkar. Bazı depremlerde yeni fay çizgilerinin meydana geldiğinden söz edilirse de bunlar uzun zamandır aktif olmayan fayların tekrar faaliyete geçmesi şeklinde de görülebilir. Bazı faylar yüzeye çok yakın oldukları ve kolayca belirlenebildikleri halde, bazıları da yeraltı tabakalarında olduğundan yeryüzünden kolayca fark edilmeyebilir. Bunların varlığı ancak yer yüzündeki yer değiştirmelerin ölçülmesi sonucu belirlenebilir.

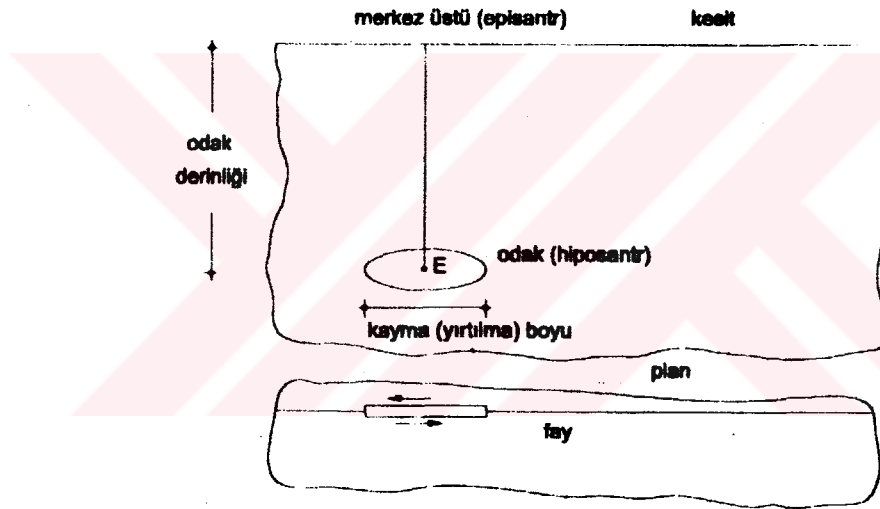
Fay yırtılmasının veya kaymasının ortak yüzeyde ne kadarlık bir alan üzerinde olduğu depremin büyüklüğünü belirleyen en önemli etkenlerden biridir. Kaymanın olduğu fay alanı büyüdükçe deprem daha geniş bir alanda hissedilir. (şekil 3.4) Örneğin fay kayma boyu 1 km den 100 km ye çıktığında, deprem büyüklüğü de yaklaşık olarak iki katına çıkar.



Şekil 3.4 Bir yer hareketinin planda fay civarındaki eş şiddet eğrileri.

Yırtılma bölgesi yeryüzüne yakın olabildiği gibi derinlerde de bulunabilir. Deprem hareketinin başladığı bu bölge, Deprem Odağı (Hiposantr) olarak adlandırılır. Odak derinliği de depremin oluşturacağı hasar konusunda önemli bir büyüklüktür. 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.

Yüzeyde, deprem odağının hemen üstüne rastlayan nokta Merkez üstü (Episantr) olarak adlandırılır. (şekil 3.5) Merkez üstü, depremin en kuvvetli hissedildiği bölgedir. Bu bölgede önemli derecede düşey titreşimler hissedilirse de, bunlar hızlı bir şekilde sönür ve yatay titreşimler daha önemli ve belirgin hale gelir. Meydana gelen titreşim dalgaları; zemindeki yansıma kırılmalar yanında, özellikle odak noktasındaki plastik şekil değiştirmeler nedeniyle sönümlenerek yayılır. Merkez üstünden uzaklaştıkça kısa periyotlu titreşimler uzun periyotlu titreşimlere göre daha çabuk sönümlenir. Odak – Merkez üstü uzaklığı (odak derinliği) depremin derinliğinin ölçüsüdür. Bu derinliğin yaklaşık 70 km den az olduğu durumlarda sığ, 70 km ~ 300 km arasında orta derinlikte ve yaklaşık 300 km den fazla ise derin depremler söz konusudur. Odak derinliği 700 km ye kadar çıkabilir. Yurdumuzdaki depremlerin odak derinliği genellikle 10 km ~ 30 km arasındadır. Depremlerin oluşum sıklığı derinlikle azalır. Yıkıcı depremler ise, daha çok sığ olanlardır.

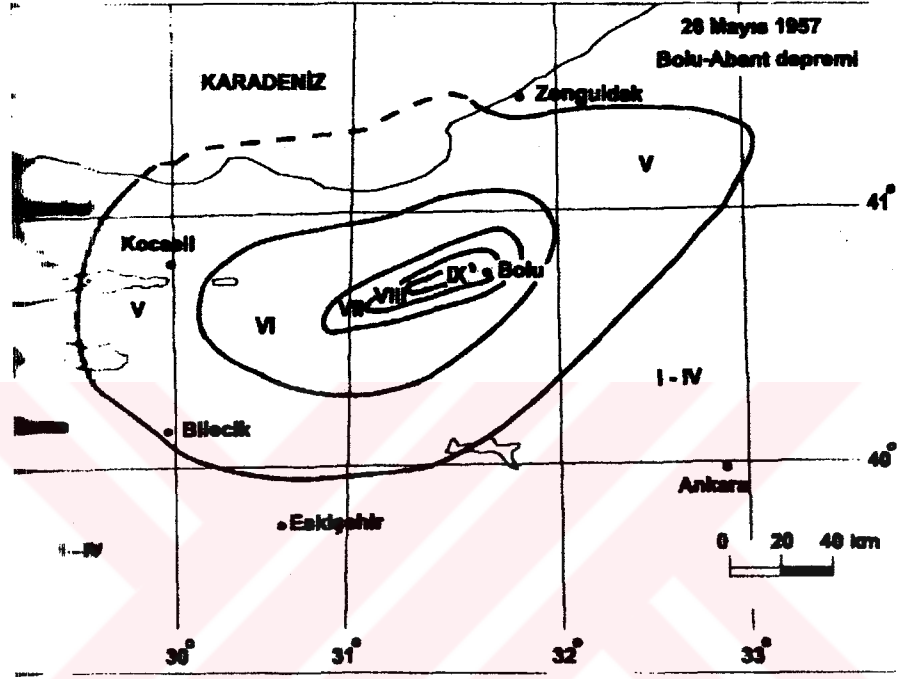


Şekil 3.5 Basitleştirilmiş bir deprem hareketine ait büyüklükler.

3.2 Depremin Şiddet ve Büyüklüğü

Bir depremin şiddeti, yeryüzünün belirli bir noktasında tanımlanır ve bu noktada yaptığı etkinin derecesi ile belirlenir. Bu konuda farklı şiddet tanımları olmakla ve farklı şiddet cetvelleri geliştirilmekle beraber en yaygın olanı Mercalli Şiddet Cetvelidir. Değiştirilmiş biçimi ile kullanılan bu cetvel Çizelge (3.1)'de verilmiştir. Bu şiddet ölçüsü yapıların hasar ve yıkılma düzeyini esas aldığından, depremin mutlak bir ölçüsü olarak alınamaz. 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

yörede ise daha şiddetli görülebilir. Ancak, yapılar için dayanımın çok fazla değişmediği kabul edilerek, bu cetvel değerlendirme kolaylığı bakımından özellikle ölçü aletlerinin gelişmediği dönemlerde kullanılmıştır. Şekil (3.6)'da 26 Mayıs 1957 de meydana gelen Bolu depreminin eşşiddet haritası verilmiştir. Çevredeki binalarda görülen hasar durumuna göre aynı şiddette olan noktaların birleştirilmesi ile elde edilen eşşiddet eğrileri haritada gösterilmiştir.



Şekil 3.6 26 Mayıs 1957 Bolu depremi eş şiddet eğrileri.

Çizelge 3.1 Değiştirilmiş Mercalli şiddet cetveli.

Şiddeti	Tanım	Zemin ivmesi (m/s ²)
I	Yalnız duyarlı aletler algılar.	~ 0.01
II	Özellikle üst katlarda, dinlenmekte olan kimseler tarafından hissedilir. Hassas bir biçimde asılı olan cisimler sallanabilir.	0.02 ~ 0.03
III	Bina içinde hissedilir, fakat deprem olup olmadığı her zaman anlaşılmaz. Duran otomobiller yanından kamyon geçmiş gibi	0.03 ~ 0.07
IV	Bina içinde çoğunluk ve dışarıda az kimse tarafından hissedilir. Gece bazı kimseler uyanır, kap – kaçak, kapı – pencere sallanır.	0.07 ~ 0.15
V	Hemen herkes hisseder. Bazı tabaklar, sıvalar, pencereler kırılır, uzun cisimler oynar.	0.15 ~ 0.30
VI	Herkes hisseder, birçoğu korkup dışarı fırlar. Bacalar, sıvalar düşer. Hafif hasarlar olur.	0.30 ~ 0.70
VII	Herkes dışarı kaçar. Yapıda sağlamlığına bağlı olarak değişen hasarlar oluşur. Otomobil sürücülerini de algılar.	0.70 ~ 1.5
VIII	Duvarlar çerçeveden ayrılıp dışarı fırlar. Anıtlar, bacalar, duvarlar devrilir. Kum ve çamur fışkırır.	1.5 ~ 3.00
IX	Yapılar temelinden ayrılır, çatlar, eğilir. Zemin ve yeraltı boruları çatlar.	3.00 ~ 7.00
X	Kargir ve çerçeve yapıların çoğu tahrip olur. Zemin çatlar, raylar eğilir. Toprak kaymaları olur.	7.00 ~ 15.00
XI	Yeni tip yapılar ayakta kalabilir. Köprüler tahrip olur. Yeraltı boruları kırılır. Toprak kayar. Raylar bükülür.	15.00 ~ 30.00
XII	Hemen her şey harap olur. Toprak yüzeyinde dalgalanma görülür. Cisimler havaya fırlar.	30.00 ~ 70.00

Bir depremin büyüklüğü hakkında bilgi verebilecek en iyi ölçü, hareket sırasında ortaya çıkan enerji miktarıdır. Ancak, bunu ölçmek veya hesaplamak güç ve hatta imkansız olduğu için daha değişik büyüklük tarifleri getirilmiştir. Deprem yerkabuğu içinde yayılan bir dalga hareketi şeklinde görülürse, bu hareketin en büyük genliği bir ölçü olarak kabul edilebilir. Ancak, en büyük genlikleri aynı olan değişik frekanstaki dalga hareketlerinin etki ve enerjileri birbirinden farklıdır. Bir deprem hareketi pek çok dalganın üst üste binmesi şeklinde ortaya

çıkar. Buna rağmen tanımının yapılmasının basitliği bakımından genliğe dayalı büyüklük kabulleri yaygın olarak kullanılır.

Yer hareketini ölçen sismometreler farklı frekans aralığına duyarlı olup, değişken yükseltme değerlerine sahiptirler. Bunun sonucu olarak aşağıda açıklanan farklı büyüklük tanımları ortaya çıkmıştır. Genellikle bütün büyüklük ölçüleri, kaynağa olan mesafeye ait bir düzeltme yaptıktan sonra logaritmik olarak belirli bir dalganın genliğini esas almışlardır. Çizelge (3.2)'de büyüklük ölçüleri ve ilgili aletlerin ölçüm periyot aralıkları verilmiştir.

Çizelge 3.2 Deprem büyüklükleri ve ölçüm periyotları.

Sembolü	Adı	Ölçüm Periyodu (s)
M_L	Richter yerel büyüklüğü	0.1 ~ 1.0
m_b	Cisim dalgası büyüklüğü	1.0 ~ 5.0
M_s	Yüzey dalgası büyüklüğü	20
M_w	Moment büyüklüğü	> 200

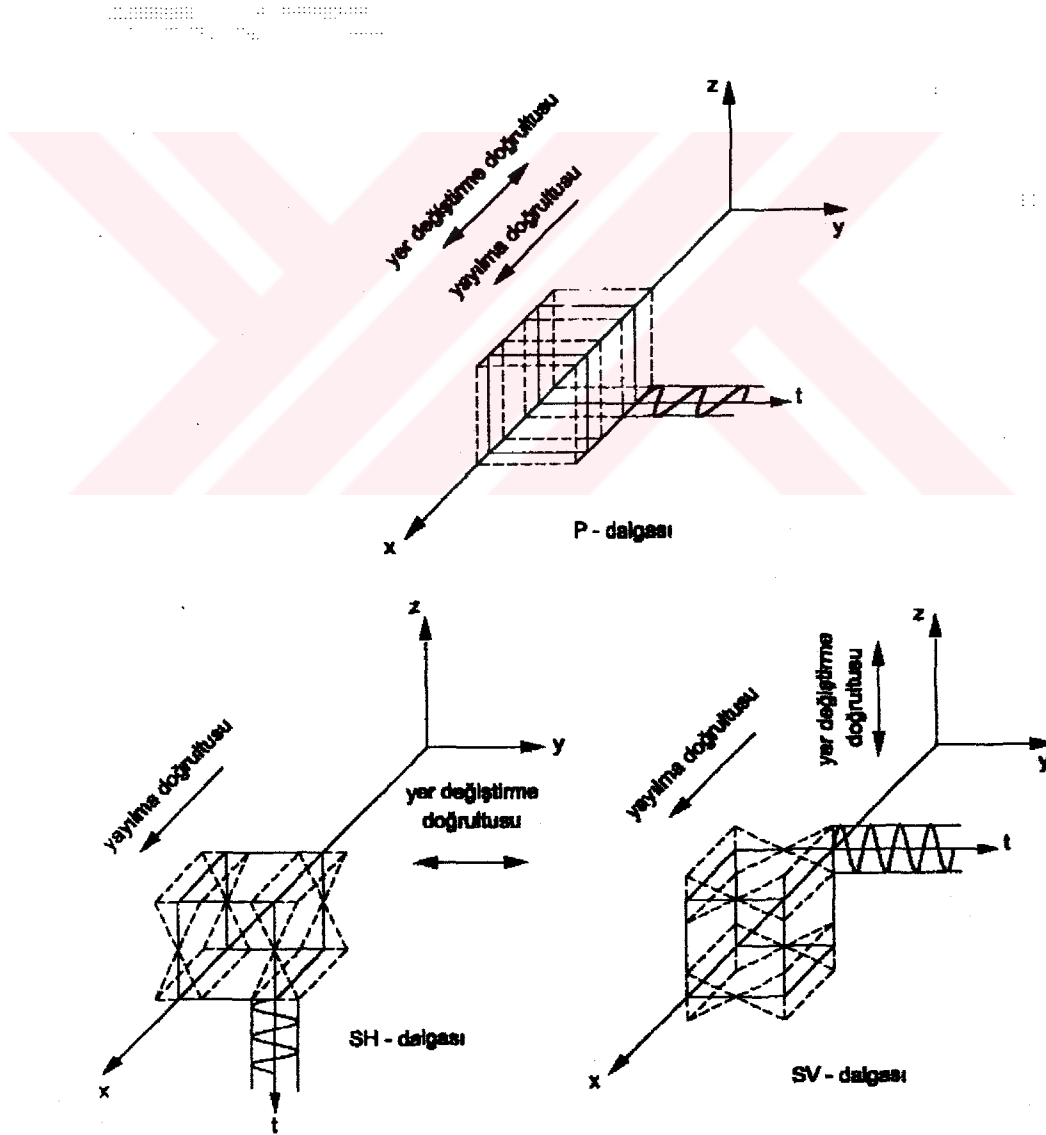
Deprem büyüklük tanımı iki basit kabule dayanır. Bunlardan birincisi büyük depremin büyük genlikli dalgalar üreteceği ve ikincisi de depremin genliğinin uzaklıkla azalmasının bilinen kurallara göre olmasıdır. Buna göre bir depremin büyüklüğü

$$M = \log(A/T) + f(\Delta, h) + C_s + C_r \quad (3.1)$$

olarak tanımlanır. Burada A yer hareketinin genliği, T gelen dalganın periyodunu ve f fonksiyonu da Δ ölçüm noktasının deprem merkez üstüne olan uzaklığını ve h depremin odak derinliği nedeniyle ortaya çıkan düzeltmeyi göstermektedir. Diğer C_s ve C_r sabitleri sıra ile ölçüm yapılan ve kaynaktaki zemin şartlarının etkisi için gerekli düzeltme terimleridir. Deprem dalgalarının genlikleri çok farklı değerlerde bulunduğu için logaritmik ölçek kullanılmıştır. Buna göre büyüklükte bir birim büyüme genlikte 10 kat büyümeye karşı gelmektedir. Ayrıca, dar bir aralıkta ortaya çıkan yüksek frekanslı (küçük periyotlu) titreşimlerin ağır hasarlara sebep olduğu bilindiği için, depremin büyüklüğü dalga hareketinin periyodu ile ters orantılı olarak ilişkilendirilmiştir. Verilen bu tanıma uygun olarak günümüzde dört büyüklük kullanılmaktadır. Bunlar Çizelge (3.2)'de verilmiştir.

3.3 Dalga Hareketi Olarak Deprem

Elastik bir ortamda dinamik bir etkinin yayılması dalga hareketi şeklinde olur. Sınırsız olarak kabul edilebilecek bir homojen ortamda iki tür dalga hareketi mümkündür. Bunlardan P – dalgası olarak isimlendirilen de, ortam zamana bağlı olarak hacimsel değişikliğe uğrarken dalga hareketi yayılır. Ana dalga veya basınç-çekme dalgası olarak da bilinen bir dalga hareketinde yayılma sırasında bu doğrultuda ve ona dik doğrultuda yer değiştirmeler ve normal gerilmeler meydana gelir. Hızı daha düşük olan ve S – dalgası olarak bilinen ikinci tür dalga hareketinde, ortamda hacim değişikliği olmadan biçim değişikliği meydana gelir. İkincil dalga veya kayma dalgası olarak da bilinen bu dalga hareketinin özel olarak yatay veya düşey düzlemde meydana gelmesi durumları yatayda kayma dalgası veya SH – dalgası ve düşeyde kayma dalgası veya SV – dalgası olarak bilinir. (şekil 3.7)



Şekil 3.7 Sonsuz büyük ortamda P ve S dalgaları.

P – dalgası ve S dalgasının hızları; elastiklik modülü E, Poisson oranı ν ve kütle yoğunluğu ρ olan bir ortamda c_L ve c_T olarak

$$c_L^2 = \frac{(1-\nu)E}{(1-2\nu)(1+\nu)\rho} \quad c_T^2 = \frac{E}{2(1+\nu)\rho} \quad (3.2)$$

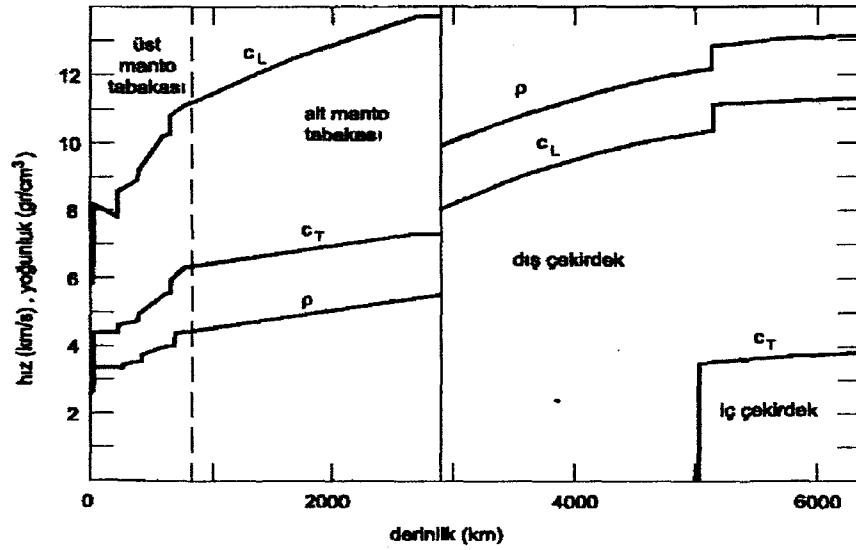
şeklinde hesaplanır. Oranları ise

$$\frac{c_L^2}{c_T^2} = \frac{2(1-\nu)}{(1-2\nu)} \quad (3.3)$$

olup, $c_L > c_T$ eşitsizliği mevcuttur. Yani boyuna dalga, kayma dalgasından daha hızlı yayılır. Bu iki dalganın yayılması ortamın sınırlarından bağımsız olarak ortam içinde meydana geldiği için, bu dalgalar cisim dalgası olarak da isimlendirilir. Yerkabuğu homojen ve elastik olmadığı için, bu dalgalar için kesin hız değerleri vermek mümkün değildir. Ancak yeryüzüne çok yakın olan dalga yayılışlarında

$$c_L \approx 6.0 \text{ km/s} \quad c_T \approx 3.5 \text{ km/s} \quad (3.4)$$

ortalama değerleri kabul edilebilir. Depremlerin ölçüm yerine geliş zamanları esas alınarak bu hızların derinlikle değişimi belirli yaklaşıklıkla hesaplanabilir. Bu tür sismolojik incelemeler bu iki hızın ve yoğunluğun derinliğe bağlı olarak şekil (3.8)'de verilen biçimde değiştiğini göstermiştir. Değişimin incelenmesinden üst kısımlarda yerkabuğundaki muhtemel tabaka değişimlerine bağlı olarak, bazı süreksizliklerin bulunduğu anlaşılmaktadır. Özellikle, Alt Manto Tabakası ile Dış Çekirdek Tabakası arasında, katıdan sıvıya geçme nedeniyle hızlarda ve yoğunlukta ani bir değişim görülmektedir. Bunun yanında sıvı olması nedeniyle Dış Çekirdek'te kayma dalgası yayılımı mevcut olmazken, İç Çekirdek'in katı olması nedeniyle bu dalga türü tekrar ortaya çıkmaktadır.

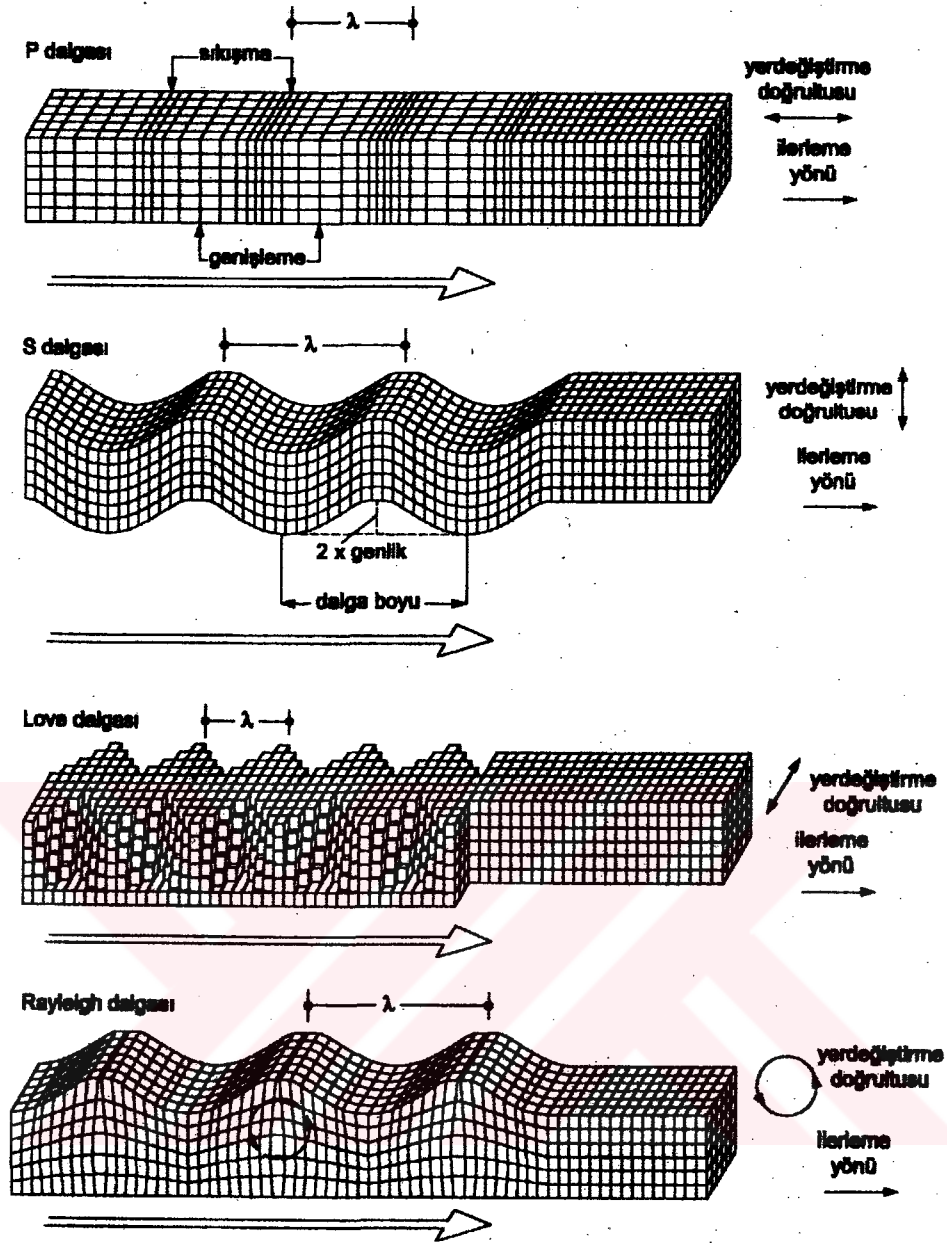


Şekil 3.8 Derinliğe bağlı olarak dalga hızlarında ve yoğunluktaki değişim.

P – dalgası ve S – dalgası yanında, yeryüzüne yakın olarak yayılan ortamın bir sınır yüzeye sahip olması nedeniyle ortaya çıkan daha başka dalga türleri de mevcuttur. Bunlar yüzey dalgaları olarak isimlendirilirler. Şekil (3.9)'da gösterilen Rayleigh ve Love Dalgaları bunlardandır. Rayleigh dalgasında yer değiştirmeler serbest yüzeyden derinlere inildikçe azalır. Yer değiştirmeler ilerleme doğrultusunu içeren düşey düzlemlerde bulunur. Yüzey noktaları elips üzerinde hareket eder. İlerleme doğrultusuna dik bir yer değiştirme bileşeni mevcut değildir. Rayleigh dalgasının hızı Poisson oranının $\nu = 0.25$ değeri için kayma dalgası hızına bağlı olarak

$$c = 0.9194c_T \quad (3.5)$$

şeklinde verilebilir. Deprem dalgalarının incelenmesinden bunların yayılma doğrultusuna dik yer değiştirme bileşenleri bulunan ve SH-Dalgası'na benzetilebilecek türden dalgaları da içerdiği görülmüştür. Yapılan araştırmalar, bu tür dalgaların, yarı sonsuz homojen ortamın üstünde bir elastik tabaka bulunması durumunda meydana gelebileceğini ortaya çıkarmıştır. Love Dalgası olarak bilinen bu tür dalgalar kayma dalgasının üstteki tabaka içine yansıması sonucu ortaya çıkar. Dalga hareketi dalga kılavuzu olarak kabul edilebilecek tabaka içinde yayılırken, dalganın enerjisi bu tabaka içinde kalır. Yukarıda incelenen cisim dalgalarının hızı ve Rayleigh dalgasının hızı dalga boyundan bağımsızdır. Love dalgasının yayılma hızı, dalga boyuna bağlı olup, değeri üst tabaka ile altta bulunan ortamın kayma dalgası hızları arasında bulunur.



Şekil 3.9 Elastik ortamda dalga türleri ve yayılma özellikleri.

3.4 Zemin Durumunun Deprem Hareketine Etkisi

Depremlerde yapıları etkileyecek deprem özellikleri önemli ölçüde bu yapıların bulundukları bölgelerdeki zemin koşullarından etkilenir. Bu nedenle yapılarda oluşabilecek hasarları tahmin etmek için yapılan çalışmalarda zemin tabakalarının etkisinin belirlenmesi önemli bir aşamadır. Zemin tabakalarının etkisi zemin tabakalarının cinsine, kalınlıklarına ve yeraltı su seviyesine bağlı olarak değişir. Bu özelliklerin belirlenebilmesi için inceleme alanı içindeki yapılmış sondaj bulgularının, sondajlardan alınmış numuneler üzerinde yapılmış deneylerden bulunan sonuçların birlikte değerlendirilerek zemin tabakalarının etkisi hesaplanabilir.

Zemin kesitinde yer alan tabakalar kalınlıklarına, cinslerine ve özelliklerine bağlı olarak farklılıklar gösterir. Aynı şekilde zemin kesitinde yer alan farklı kalınlıklarda ve özelliklerdeki zemin tabakaları, bir noktadan bir noktaya da farklı olabilir. Bu nedenle depreme dayanıklı yapı tasarımında zemin hakim periyotları ve zemin büyütmesi gibi dinamik davranış özelliklerinin bir noktadan bir noktaya nasıl değiştiği belirlenmelidir. (Ansal, 1994) Zemin tabakalarının depremler sırasında davranışlarını değerlendirebilmek amacıyla dinamik zemin özellikleri arazi ve laboratuvar deneyleri ile bulunur. Yerel zemin koşulları olarak tanımlanan zemin kesitinde yer alan zemin tabakalarının özellikleri, yeraltı su seviyesi ve ana kaya derinliği gibi bir anlamda noktasal bir anlamda bölgesel özelliklerin bulunmasında arazide yapılmış sondaj ve arazi deney sonuçlarından yararlanır.

3.4.1 Zeminlerin Deprem Yükleri Altında Davranışları

Zeminler tekrarlı kayma gerilmeleri altında cinslerine, sıklıklarına, aşırı veya normal konsolide olmalarına, statik kayma gerilmelerine ve tekrarlı yüklemenin çevrim sayısına ve etkiye süresine göre farklı davranışlar sergilerler. Deprem yol açtığı tekrarlı kayma gerilmelerinin genliğine bağlı olarak ortaya çıkan boşluk suyu basıncı artışları ve şekil değiştirmeler, kayma mukavemetinde bir azalma ve zeminde bir yumuşama meydana getirir. Kayma mukavemetinde ortaya çıkan bu azalmanın mertebesi, büyük ölçüde zeminin gerilme-şekil değiştirme özelliklerine bağlıdır. (Ansal & Erken, 1989)

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

Zemin tabakaları, içinden geçen deprem dalgalarının özelliklerini etkilediği kadar, deprem dalgaları, örneğin sıvılaşma ve şev kaymalarında gözleendiği gibi, zemin tabakalarının mukavemet ve şekil değiştirme özelliklerini de etkiler. Böyle durumlarda bu tabakalar üzerinde yer alan yapılar sadece zemin özelliklerinin değişmesi sonucu büyük hasar görebilirler.

Tekrarlı gerilmelerin etkisinde kalan bir zemin elemanında kayma mukavemeti iki şekilde ve iki aşamada tanımlanabilir. Bunlardan ilki, çoğunlukla dinamik kayma mukavemeti olarak adlandırılmakta ve birim şekil değiştirme genliklerinin hızla artmasına veya belirli bir sınır değeri aşmasına neden olan tekrarlı gerilme genliği değeri olarak tanımlanmaktadır. İkinci kayma mukavemeti tanımlanması ise tekrarlı gerilme sonrası bulunan statik kayma mukavemeti ile ilgilidir. Bu güne kadar çalışmalardan çıkan genel sonuç depremler sırasında oluşan kayma gerilmelerinin yeterli derecede büyük olması halinde, büyük deformasyonlara ve göçmelere yol açabileceğidir. İkinci sonuç ise, tekrarlı gerilme uygulamaları ile oluşan büyük şekil değiştirmelerin bir yumuşamaya ve boşluk suyu basıncı artışları ile efektif çevre gerilmelerinde bir azalmaya yol açabileceği ve dolayısıyla da kayma mukavemetinde bir azalma meydana gelebileceğidir.

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

Geçmişte yapılmış deneysel çalışmaların sonuçları zeminler için dinamik kayma mukavemeti olarak tanımlanabilecek kritik bir tekrarlı kayma gerilmesi genliğinin bulunduğunu ve bu değerin yaklaşık statik mukavemetin %50'sine eşit olduğunu göstermektedir. Bu değerden küçük genlikte yapılmış deneylerde boşluk suyu basıncı ve birim kayma genliklerindeki artımlar sınırlı kalırken, kritik değerin üzerindeki deneylerde bu değerlerde hızlı artımlar gözlenmiştir. Kritik kayma gerilmesi genliğinde küçük genliklerde deney yapılması halinde meydana gelen birim kayma genlikleri sınırlı kalırken, boşluk suyu basınçları göreceli olarak yüksek değerlere çıkabilmektedir (Ansal, Yıldırım & Erken, 1995). Bu durumun statik

mukavemeti olumsuz yönde etkileyeceği açıktır. Özellikle şevlerde ve kalıcı kayma gerilmelerinin bulunduğu durumlarda deprem sırasında oluşan artık boşluk suyu basınçları nedeniyle depremlerden bir süre sonra stabilitenin bozulduğu ve şev kaymalarının meydana geldiği görülmüştür. Bu nedenden ötürü deprem bölgelerinde şevlerde oluşabilecek boşluk suyu basınçlarını hesaba katmadan, sadece statik mukavemet parametrelerini kullanarak stabilite hesapları yapılması hasarlara yol açabilir. Kohezyonlu zeminlerin tekrarlı yükler etkisi altındaki davranışlarına etki eden faktörlerden biri de çevrim sayısı, diğer bir deyişle depremin süresidir.

Böyle bir çalışmanın ilk aşamasında kaya ve zemin tabakalaşması, bu tabakaların özellikleri detaylı bir şekilde arazi ve laboratuvar deneylerine dayanarak incelenir. Ortaya çıkan verilere dayanarak, bir deprem sırasında zemin tabakalarının ve bu tabakaların üzerine oturan yapıların, nasıl bir davranış gösterecekleri deneysel, ampirik ve matematiksel modeller yardımıyla belirlenir.

Burada, deprem esnasında yer hareketlerinin büyük bir kısmının ana kayadan yeryüzüne doğru yayılan kayma dalgalarının etkisiyle olduğu kabulüne dayanılmaktadır. Zeminlerin lineer olmayan davranışını göz önüne alan sayısal analiz yöntemlerinin gerçeğe daha yakın sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Gerilme ve deformasyon sınır şartlarına uygun sayısal analiz yönteminin seçilmesinden sonra incelenecek bölgede olması muhtemel yer hareketinin özellikleri (en büyük ivme, hakim periyot, etkime süresi) belirlenir. Bu aşamada zemin tabakalarının dinamik özellikleri (dinamik kayma modülü ve sönüm oranının birim kayma seviyesi ile değişimi ya deneysel olarak ya da deneysel bağıntılar vasıtasıyla) bulunur. Zemin tabakalarının deprem sırasında davranışının sayısal analiz yöntemleri ile incelenmesinde en önemli adım zemin tabakalarının geoteknik, jeolojik ve jeofizik özelliklerine ait gerek laboratuvar gerekse arazi deneylerinden elde edilen verilerin güvenilir olmasıdır.

3.4.2 Zemin Tabakalarında Sıvılaşma Olasılığı

Yeraltı su seviyesinin yüzeye yakın olduğu, diğer bir deyişle suya doygun, kum tabakalarında deprem sırasında boşluk suyu basınçlarının artması sıvılaşma olarak tanımlanan bir olaya yol açmaktadır. (Erken & Ansal, 1994) Böyle bir durumda kum tabakası, kısa bir süre için viskoz bir sıvı haline dönüşmekte ve bu tabakaya oturan bütün yapılarda büyük oturmalar, tabakanın içinde bulunan su ve yakıt depoları gibi yapılarda ise yüzeye doğru hareketler, şevlerde ise kaymalar meydana gelebilmektedir. Bu nedenle bu tür tabakalarda sıvılaşma olasılığının incelenmesi gerekir. Diğer yandan, daha önceleri sıvılaşmayacakları düşünülen siltli kum veya kumlu siltten oluşan, suya doygun, tabii zemin tabakalarının da deprem sırasında sıvılaşabilirliği yapılan araştırmalarda ortaya çıkmıştır. (Erken v.d., 1995) Son

yıllarda olan bazı büyük depremlerde bu tür zemin tabakalarında sıvılaşma olaylarının gözlenmiş olması ve tabiatta saf kum tabakalarına göre bu tür tabakalarda daha sık karşılaşılmaması sıvılaşma olayının daha kapsamlı bir şekilde incelenmesini gerektirmektedir.

3.4.3 Yerel Zemin Tabakalarının Etkisi

Deprem dalgaları zemin tabakaları içinden geçerken özelliklerinin değişmesi yanı sıra zemin tabakalarının özelliklerini etkilemekte, bir yumuşama ve mukavemet kaybı oluşmasına yol açabilmektedir. Bu nedenle bir bölge için deprem tasarım özellikleri tanımlanırken, en önemli adımlardan biri o bölgedeki zemin tabakalaşması ve bu tabakaları oluşturan zeminlerin tekrarlı gerilmeler altındaki özelliklerinin belirlenmesidir. (Ansal, 1998) Bu aşamada yerel zemin tabakalarının özelliklerinin arazi ve laboratuvar deneyleri yardımıyla istenen hassaslıkta bulunabilmektedir. Özellikle düşey ölçüm ağılarında alınmış kayıtlar, zemin tabakalaşmasının ve zemin tabaka özelliklerinin zemin yüzeyinde oluşan deprem hareketinin özelliklerini önemli ölçüde etkileyebileceğini ve oldukça yakın mesafelerde alınmış çok sayıda deprem kaydı, bir noktadan bir noktaya deprem özelliklerinin, deprem kaynak ve yerel geoteknik özellikler arasındaki karşılıklı etkileşim nedeniyle, önemli mertebelerde farklı olabileceğini göstermiştir. (Ansal, 1999; Field & Hough, 1997; Hartzell vd. 1997)

Depremlerde yapısal hasara etki eden faktörler üç grup altında; deprem, yerel zemin ve yapı özellikleri olarak tanımlanabilir. Zemin tabakalarının cins, kalınlık, yeraltı su seviyesi gibi özelliklerinin kısa mesafeler içinde çok değişebilmesi, farklı bölgelerde inşa edilmiş aynı tip yapılarda farklı deprem hasarlarına sebep olabilmektedir.

Yerel zemin koşullarının yapılarda hasar oluşturacak etkilerini başlıca şu şekilde sınıflandırabiliriz.

1. Zemin koşullarının deprem özelliklerine etkisi,
2. Zemin tabakalarında oturmalar,
3. Zemin tabakalarının sıvılaşması,
4. Yamaçlarda stabilitenin bozulması.

Bütün bu konuların ayrı ayrı incelenmesi ve elde olunan bulgulara göre mikrobölgeleme yapılması tercih edilir. Depremler esnasında belirli bir bölgedeki yer hareketi buna sebep olan enerji boşalmasının şekli ve oluşan dalgaların içinde yayıldığı ortamın özelliklerinden etkilenmektedir. Bölgesel jeoloji ve topografik şartlar deprem dalgalarının özelliklerini önemli derecede değiştirerek aynı sismik hareketlere maruz, birbirine yakın bölgelerde aynı tip yapılarda farklı mertebelerde hasara neden olabilmektedir. Bunun yanı sıra deprem

dalgaları zeminlerin davranış özelliklerinin değişmesine ve yine yakın mesafelerde farklı hasarların oluşmasına yol açabilir.

Son yıllarda olan depremlerde meydana gelen hasarlar ve bu konuda yapılmakta olan araştırmalardan elde edilen sonuçlar, karşılıklı etkileşim yapan bu ilk iki faktörün çok önemli olduğunu göstermiştir. (Ansal & Lav, 1995; Ansal & Siyahi, 1995). Deprem riskinin yüksek olduğu bölgelerde detaylı sismolojik, jeolojik ve geoteknik incelemelerinin yapılması ve bu çalışmalardan elde edilen sonuçların değerlendirilerek, bölgede oluşabilecek depremlerin özelliklerini ve bu özelliklerin farklı jeolojik ve zemin koşullarında nasıl olacağının belirlenebilmesi için bir kuvvetli yer hareketi kayıt ağı oluşturulması tercih edilen bir yaklaşımdır.



4 YANAL ZEMİN BASINCI

4.1 Konu Hakkında Bilgi

Bir zemin kütlesini tutan istinat duvarının maruz kalabileceği iki sınır değeri vardır.

a) İstinat duvarının, dolgudan dışarıya doğru, küçük bir hareketi neticesinde meydana gelen zeminin aktif basıncı,

b) Duvarın dolguya doğru küçük bir yer değiştirmesinden doğan pasif basınç (direnç) tır.

Aktif basınç, minimum bir değer olup, duvarın dolgudan ileri doğru hareketi ile doğan kırılma anında meydana gelir. Pasif direnç, en büyük basınç olup, zeminin kabarması sureti ile kırılma meydana gelmesinden önce duvarın maruz kaldığı basınçtır.

Aktif basıncın değeri ve bu tip basınçların istinat duvarı içindeki gerilmeler üzerine etkileri, büyük bir çalışma ve tecrübe konusu olmuştur. Özellikle Rankine ve Coulomb Teorisi olarak bilinen, iki esas metot geliştirilmiştir. Bunların her ikisi de, zemin dolgusunun, kütle içinde kırılma yüzeyleri meydana gelinceye kadar, yatay istikamette az bir miktar genişlemesi esasına dayanır.

Bir istinat duvarının, dolgu istikametindeki ufak bir hareketi ile zeminde meydana gelen pasif direnç konusu da inşaat mühendisleri için önemlidir ve aktif basınç konusunda ele alınmış metotlara benzer metotlar yardımıyla incelenir. Burada zemin, kütle içinde kırılma yüzeylerinin doğmasına sebep olacak bir sıkışmaya maruz bırakılır.

Bu konunun içine girmesi gereken diğer değişkenler zeminin özellikleri ile belirlenir. Toprak basıncının ilk incelemeleri zeminin kohezyonsuz olması kabulüne göre yapılmıştır. Kohezyona sahip zeminlerin meydana getirdiği basıncın içeriğini anlamak için başarılı çalışmalar yapılması ancak çok sonraları mümkün olmuştur.

Bu bölümde, ilk olarak hem kohezyonsuz hem de kohezyonlu zeminlerin aktif basıncı göz önüne alınmıştır. Bunu pasif direncin incelenmesi izlemektedir.

4.2 Zeminde Plastik Denge Durumları

Her noktası, akma haline ulaşmak üzere bulunan bir zemin kütlesi, plastik denge durumundadır. Sonsuz yarım uzayı dolduran ve yerçekiminden başka bir kuvvetin tesiri altında bulunmayan zemin kütlelerinin her noktasında, aynı anda plastik denge durumlarını meydana getiren gerilme şartları incelenmiştir. Rankine tarafından incelenen plastik denge durumlarına, Rankine plastik denge durumları denir. Sonsuz yarım uzay için söz konusu olan Rankine durumlarının anlaşılması için bir başlangıç teşkil eder.

Rankine durumları Şekil (4.1)' de görülmektedir. Bu şekilde, AB sonsuz yarım uzaydaki birim hacim ağırlığı olan kohezyonsuz zeminin yatay olan yüzünü E ise birim kesit alanı, z derinliğindeki kum elemanını göstermektedir. Eleman düşey bir düzleme göre simetrik olduğundan, eleman tabanına etkiyen normal gerilme,

$$\sigma_v = \gamma \cdot z \quad (4,1)$$

bir asal gerilmedir. Bunun sonucu olarak elemanın düşey kenarlarına etkiyen σ_h normal gerilmeleri de asal gerilmelerdir. (Şekil 4.1)

Aktif ve pasif Rankine durumları kumun iki sınır denge durumunu gösterir. Sükunet hali de dahil olmak üzere bütün ara durumlarda kum elastik denge durumundadır.

4.2.1 Bölgesel Plastik Denge

Şekil (4.1)'de gösterilen Rankine durumları, yarı sonsuz uzayı dolduran kum kütlelerinin her noktasının üniform olarak genişletilmesi veya sıkıştırılması ile elde edilir. Bunlara genel plastik denge durumları denir. Bununla beraber, kum tabakası altındaki kayanın bütününde ortaya çıkan tektonik kuvvetlerin yatay sıkıştırmaya sebep olması gibi jeolojik olaylar dışında, kum tabakalarında genel plastik denge durumu meydana gelmez. Bir istinat duvarının göçmesi gibi bölgesel plastik denge durumunda dikkate değer bir değişikliğe sebep olmaz. Kum kütlelerinin geri kalan kısmı elastik denge durumundadır.

Bölgesel plastik denge durumları, çok farklı yer değiştirmeler sonucu ortaya çıkar. Plastik bölgedeki nihai gerilme durumu ve bu bölgenin şekli, büyük ölçüde yer değiştirmelerin cinsine, zemin ile zemini tutan yapı arasındaki yüzeyin sürtünme oranına bağlıdır. Bu faktörler, yer değiştirme (deformasyon) ve sınır şartlarını teşkil eder. Bu şartların pratik sonuçları Şekil (4.2) ve Şekil (4.3)'de görülmektedir.

Uzunluğu, Şekil (4.1)' deki ab ve cd düşey kesitleri arasındaki l uzunluğuna eşit bir prizmatik kutunun düşey kesiti, Şekil (4.2a)'da görülmektedir. Kum, kutuya Şekil (4.1)'de gösterilen yarı sonsuz kum kütesinin oluşumundaki gibi yerleştirilmişse her iki kütledeki gerilme durumları özdeşdir. Bunlar elastik dengi durumlarını temsil ederler.

Şekil (4.1a)'daki, yarı sonsuz kum kütesinin durumu sükunet durumunda aktif Rankine durumuna geçerken ab düşey kesiti de d_1 kadar hareket etmiştir.

Kohezyonsuz zeminler için en büyük ve en küçük asal gerilmeler arasındaki oranın (denklem 4.8) K_p değerini aşmayacağı görülür. Şekil (4.1) de kum kütesindeki düşey asal gerilme σ_v , en büyük veya en küçük asal gerilme olabileceği için σ_h / σ_v ' nin oranı, K_a ve K_p (denklem 4.5) değerleri arasında herhangi bir değeri olabilir. Burada K_a değeri aktif basınç, K_p değeri ise pasif basınç katsayısı olup K_a değeri $1/K_p$ değerine eşittir.

Bir kum kütesi tabii veya suni bir yol ile çöktürülmüşse σ_h / σ_v , K_a ile K_p arasında bir K_0 değerine sahip olur ve dolayısıyla;

$$\sigma_h = K_0 \cdot \sigma_v \quad (4.2)$$

yazılır. K_0 ampirik bir katsayıdır ve sükunetteki toprak basınç katsayısı olarak adlandırılır. Değeri kumun izafi sıkılığına ve kum kütesinin oluşum şekline bağlıdır. Kum kütesi darbe ile sıkıştırılarak oluşturulmuşsa, K_0 gevşek kumda 0.40, sıkı kumda 0.50 arasında değişir. Kum, tabakalar halinde sıkıştırılmışsa bu değer 0,80'e kadar çıkabilir.

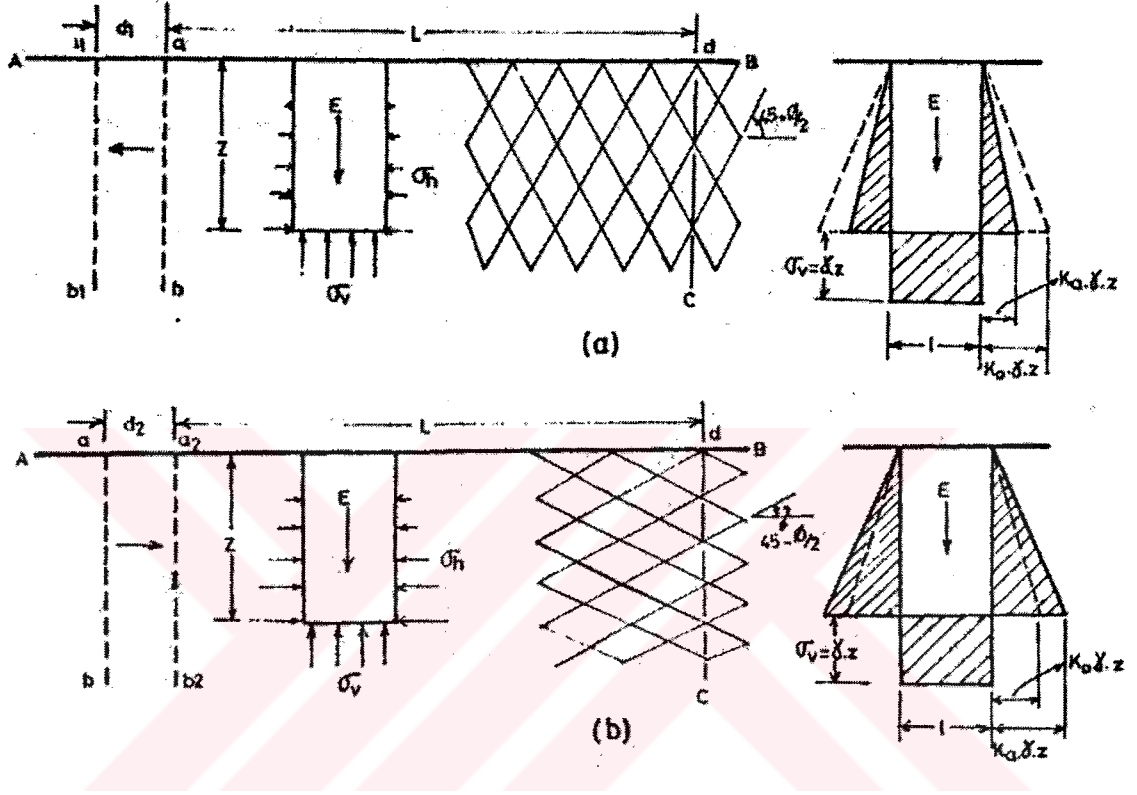
Bir kum kütesinin K değerinin sükunetteki K_0 değerinde başka bir değer olması için bütün kütlelerin yatay doğrultuda sıkışması veya genişlemesi imkanı sağlanmalıdır. Herhangi bir yatay kesitin üstündeki kumun ağırlığı değişmediği için düşey basıncı sabittir. Yatay gerilme $\sigma_h = K \cdot \sigma_v$ olmakla beraber kütle genişleyecek olursa azalır, sıkışır artar.

Kütle genişlerken ab ve cd gibi iki düşey düzlem birbirinden ayrılır ve σ_h / σ_v değeri, denklem (4.5)' deki K_a değerine eşit oluncaya kadar küçültülür. Bundan sonra kum, artık aktif Rankine durumundadır. Bu durumda iken z gibi bir derinlikteki yatay gerilmenin şiddeti;

$$\sigma_h = K_a \cdot \sigma_v = K_a \cdot \gamma \cdot z = \gamma \cdot z \cdot \frac{1}{K_p} \quad (4.3)$$

olarak verilir ve K_a ' ya aktif zemin basınç katsayısı denir. E elemanının yanlarında ve tabanındaki gerilme dağılışı şekil (4.1a)'da görülmektedir. Kütlelerin daha fazla genişletilmesi

ile (4.3) denklemi ile verilen σ_h değeri değişmeyecek, fakat şekil (4.1a)'nın sağ tarafında gösterildiği gibi iki takım düzlem üzerinde kayma olacaktır. Bu düzlemlerin küçük asal gerilme doğrultusu ile $45^\circ + \Phi/2$ açısı kapadığı söylenebilir. Aktif Rankine durumunda küçük asal gerilme yatay olduğu için kayma düzlemlerin yatay ile $45^\circ + \Phi/2$ açısı kapadığı sonucu çıkar. Kütlenin genişletilme doğrultusuna paralel düşey bir kesitle kayma düzlemlerinin sıralanış şekli bir kayma örgütü meydana getirir.



Şekil 4.1 a)Yarım uzayı dolduran kum kütlesinin aktif rankine durumu, b)Pasif rankine durumu için benzer şekiller.

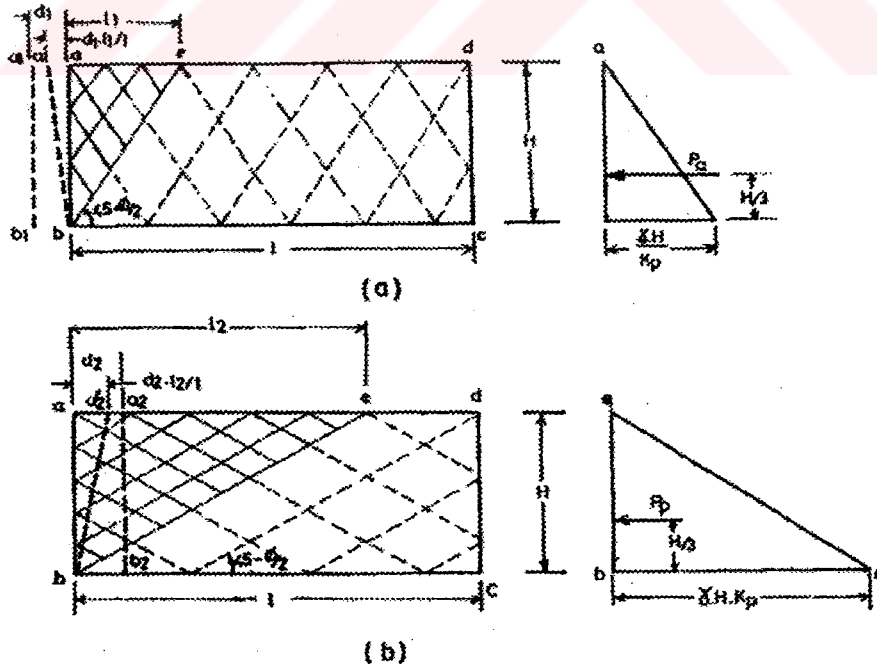
Bu kum kütlesinin sıkıştırılması ab'nin şekil (4.1b)'de görüldüğü gibi cd'ye doğru hareketine sebep olur. Böylece, σ_h / σ_v oranı büyür. σ_h / σ_v , denklem (4.8)'in verdiği K_p değerine ulaşıncaya pasif Rankine durumundadır denir. Herhangi bir z derinliğinde yatay gerilme,

$$\sigma_h = K_p \cdot \sigma_v = K_p \cdot \gamma \cdot z \quad (4.4)$$

olur. K_p 'ye pasif zemin basıncı denir. Pasif Rankine durumunda küçük asal gerilme düşey olduğu için kayma düzlemleri yatay ile $45^\circ - \Phi/2$ 'lik bir açı yapar. Şekil (4.2a)'daki kutuda bulunan bütün kum kütlelerinin aktif Rankine durumuna getirebilmesi için ab duvarı da aynı miktarda hareket ettirilmelidir. Bu yer değiştirme şartıdır. Şekil (4.2a)'daki ab duvarı dışarı doğru hareket ederken kum kütlesinin yüksekliği azalır, uzunluğu artar. Bu hareketler, kumun

değdiği kutu cephesi ve kum arasında yer değiştirmeler meydana gelmesine sebep olur. Eğer kutunun iç yüzleri pürüzlü ise düşey ve yatay düzlemlerde kayma gerilmeleri meydana gelir. Aktif Rankine durumunda ise bu düzlemlerde kayma olmadığı varsayılır. Bu yüzden kutuda aktif Rankine durumunun meydana gelebilmesi için kutu iç yüzünün cilalı olması gerekir. Bu sınırlama, kutudaki kumun aktif Rankine durumuna geçebilmesi için sınır şartını teşkil eder. Bu şart sağlanırsa ab duvarı, a_1b_1 konumuna gelir gelmez kum aktif Rankine durumuna gelir. Bu anda kum kütlelerinin birim uzaması d_1/l olur. Duvarın daha fazla hareketi gerilme durumunda bir değişiklik meydana getirmez. Şekil (4.3a)' da noktalı çizgilerle gösterilen iki takım kayma yüzeyi boyunca kayma olur.

Eğer kutunun ab duvarı cilalı, tabanı pürüzlü ise, ab duvarı ile be potansiyel kayma yüzeyi arasındaki kum, kutu tabanının cilalı olması halinde olduğu gibi yer değiştirecektir. Buna karşılık, kutu tabanının sürtünmesi geri kalan kum kütlelerinin yer değiştirmesine engel olduğu için burada gerileme dengesi bozulmaz. Böylece, ab duvarının dışarı hareketi, yalnız kama biçimindeki abe bölgesine aktif Rankine durumu geçerlidir. Kamanın genişliği, alt köşede sıfırdan tepede l_1 'e kadar değiştiği için aktif Rankine durumuna varılması için gereken d_1/l birim yer değiştirmesi kamanın sol sınırının ab den a_1b ye (şekil 4.3a) gelmesi ile elde edilmiş olur. Bu kamada aktif duruma ulaşıncaya, kama yatayla $45^\circ + \Phi/2$ açısı yapan bir be kayma düzlemi boyunca dışarı ve aşağıya doğru kayar.

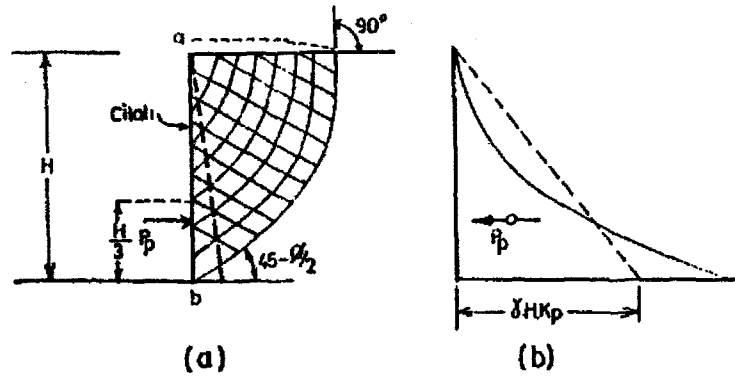


Şekil 4.2 a) Dikdörtgen kesitli kutudaki kumda meydana gelen bölgesel aktif rankine durumu, b) Aynı kutuda bölgesel rankine durumu.

Eğer ab duvarı kuma doğru itilirse, kutunun duvarları ve tabanı tamamen cilalı olmak şartı ile, duvar ilk durumundan d_2 'ye geldiği an şekil (4.2b)' de görüldüğü gibi Pasif Rankine durumu ortaya çıkar. Kayma düzlemi yatayla $45^\circ - \Phi/2$ açısı yapar. Eğer ab duvarı tamamen cilalı, fakat kutu tabanı pürüzlü ise pasif Rankine durumu yalnızca abe kaması içinde meydana gelir. Elastik durumdan plastik hale geçirebilmesi için ab'nin a_2b durumuna veya daha ileriye gitmesi gerekir.

Eğer, Şekil (4.3)'de gösterildiği gibi, kutunun alt ucu dışarı doğru hareket eder üst ucu yer değiştirmezse, hareket fark edilir edilmez kum, bir kayma yüzeyi boyunca kayar; çünkü elastik denge durumu ile bağdaştırılabilecek yer değiştirmeler çok küçüktür. Bununla beraber, kayma halinde bile duvar ile kayma düzlemi arasındaki kum aktif Rankine durumuna geçmez; çünkü duvarın üst ucunun hareketinin engellenmiş olması kayan kuma içinde Rankine yer değiştirme şartını sağlamasına elvermektedir.

Yan yüzün üst ucu etrafında dönmesi ile meydana gelen kayma tipi üzerinde yapılan teorik ve deneysel çalışmalar kayma yüzeyinin şekil (4.3a)'da b ile gösterilen noktadan yatayla $45^0 + \Phi/2$ açısı kapayarak başladığını gittikçe daha dikleşerek zemin yüzüne dik olarak sona erdiğini göstermektedir. Kayma kamasının üst kısmı, kamanın alt kısmı tamamen plastik denge durumuna gelene kadar elastik durumdadır. Yan yüze etkiyen gerilme dağılışı, şekil (4.1b)'de olduğu gibi üçgen şeklinde olacağı yerde, şekil (4.3b)'deki gibi paraboliktir.



Şekil 4.4 Pasif durumun meydana gelmesi için gerekli yer değiştirme şartının sağlanmaması halinde pürüzsüz düşey bir duvar gerisindeki kumun kırılması a) Duvar kesiti, b) Duvar sırtına etkiyen gerilme.

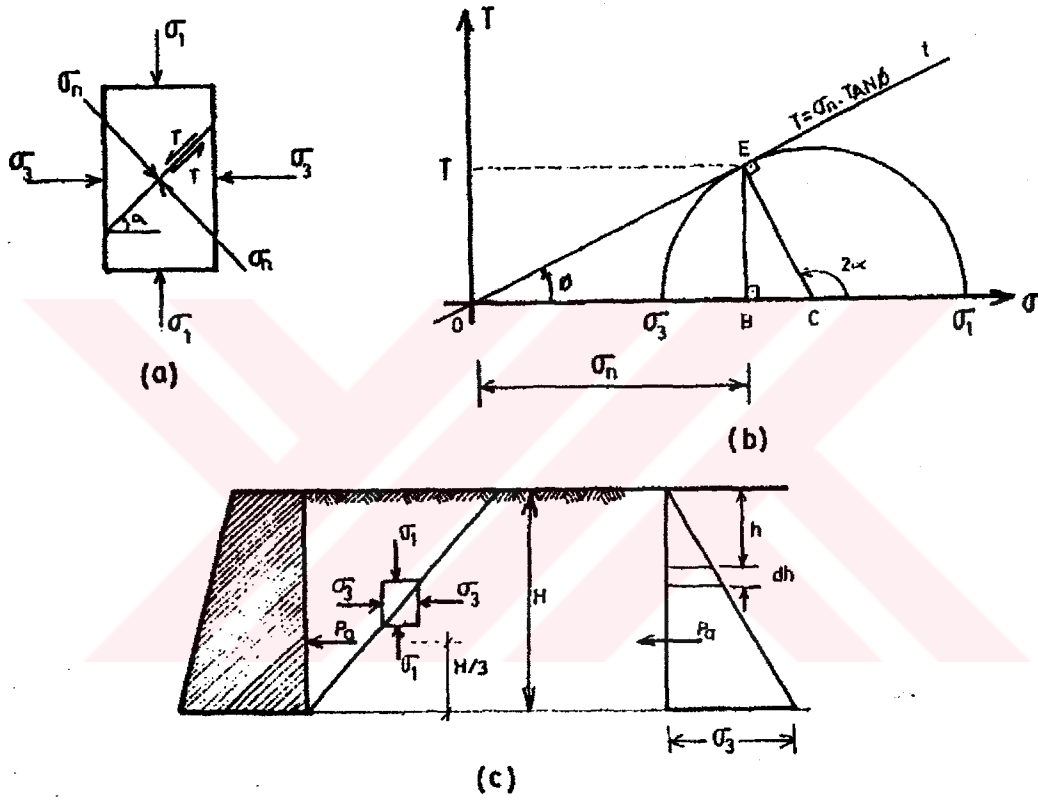
Yan yüzün alt ucunun zemine doğru itilmesi ile yapılan benzer araştırmalar, kayma yüzeyinin b' den (şekil 4.4a), yatayla $45^\circ - \Phi/2$ açısı kapayacak bir eğimle başladığını ve zemin yüzünü dik açıyla kestiğini göstermektedir. Bu durumda meydana gelen basınç dağılışı şekil (4.4b)'de görülmektedir.

4.3 Granüler Zeminler

Yatay olarak duvara etkiyen aktif zemin basınç, P_a , Mohr basınç diyagramı ile ifade edilebilir. (şekil 4.5)

Mohr dairesine göre aşağıdaki ifade bulunabilir.

$$\frac{\sigma_3}{\sigma_1} = \tan^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right) = K_a \quad (4.5)$$



Şekil 4.5 Mohr dairesinde gerilmeler.

Burada ;

σ_3 ; Küçük asal gerilme,

σ_1 ; Büyük asal gerilme,

γ ; Zeminin birim hacim ağırlığı,

H ; İstinat duvarlarının yüksekliği,

ϕ ; Zeminin içsel sürtünme açısı,

K_a ; Aktif basınç katsayısıdır.

Yatay zemin yüzeyi ve arka yüzü düşey normalle açısı olan bir istinat duvarı için aktif basınç:

$$\sigma_z = \gamma \cdot \tan^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right) \cdot H \quad (4.6)$$

$$\begin{aligned} P_a &= \int_0^H \sigma_z \cdot dh = \int_0^H \gamma \cdot \tan^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right) H \cdot dh = \gamma \cdot \tan^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right) \int_0^H H dh \\ &= \gamma \tan^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right) \frac{H^2}{2} = \frac{1}{2} \gamma \tan^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right) H^2 = \frac{1}{2} \gamma \cdot H^2 K_a \end{aligned} \quad (4.7)$$

Pasif zemin basınç ise;

$$K_p = \tan^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right) \quad (4.8)$$

$$P_p = \frac{1}{2} \gamma \cdot H^2 \tan^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right) \quad (4.9)$$

4.3.1 Coulomb'a Göre Zemin Basınçlarının Hesabı

Eğer zeminin birim hacim ağırlığı (γ), içsel sürtünme açısı (ϕ), duvar ile zemin arasındaki sürtünme açısı (δ), istinat duvarı sistemi ve kırılma yüzeyi biliniyorsa Coulomb teorisine göre zemin basınçlarını hesaplayabiliriz.

4.3.1.1 Aktif Zemin Basıncı

Üçgen zemin kütlelerini (şekil 4.2) birbirini takip eden üç kuvvet ile ifade edebiliriz. Bu kuvvetler; a) ağırlığı (W), b) kırılma yüzeyinde R kuvveti, c) duvar tarafından uygulanan (P_a) aktif basınç. Eğer bu üç kuvvetin dengesi bozulursa göçme olacaktır. Denge şartı için W , P_a ve R kuvvetleri genel bir noktada birleşmelidirler, dolayısıyla bu üç kuvvet kapalı bir poligon oluştururlar.

İstinat duvarının arka yüzü düz ise (düşey normalle yaptığı açı sıfır ise) üç kuvvetin kesişme noktası kırılma düzlemi olur. Böylece Pa aktif basınç zemin seviyesine paralel olur. ($\delta = \beta$). Burada β zeminin şev açısıdır. Eğer zemin seviyesi yataysa ($\beta = 0$) δ açısı sıfır olacaktır ve bu üç kuvvet genel bir noktada birleşirler.

Şekil (4.6)'da görülen AC kırılma düzlem uzunluğu genellikle yatayla yaptığı açı olan β 'nın bir fonksiyonudur.

$$AC = f(\beta)$$

İstinat duvarı iç yüzü AB ise;

$$AB = \frac{H}{\cos \alpha}$$

Üçgen zemin kütesinin yüksekliği h ise;

$$h = \frac{H}{\cos \alpha} \cos(\beta - \alpha)$$

Üçgen zeminin ağırlığı W ise;

$$W = \gamma \cdot \Delta(ABC) = f(\beta) \quad (4.10)$$

$\Delta(ABC)$ üçgenin alanı $\frac{1}{2} \cdot (BC) \cdot h$ olarak ifade edilir. Sinüs teoreminden yararlanılarak ;

$$AC = AB \frac{\sin(90^\circ + \beta - \alpha)}{\sin(\psi - \beta)} = AB \frac{\cos(\beta - \alpha)}{\sin(\psi - \beta)} = \frac{H}{\cos \alpha} \frac{\cos(\beta - \alpha)}{\sin(\psi - \beta)}$$

ve

$$BC = AC \frac{\sin(90 + \alpha + \psi)}{\sin(90 + \beta - \alpha)} = \frac{H}{\cos \alpha} \cdot \frac{\cos(\beta - \alpha) \cdot \cos(\psi - \alpha)}{\sin(\psi - \beta) \cdot \cos(\beta - \alpha)}$$

$$A(ABC) = \frac{1}{2} \frac{H}{\cos \alpha} \cdot \frac{\cos(\beta - \alpha)}{\sin(\psi - \beta)} \cdot \frac{H \cos(\beta - \alpha)}{\cos \alpha} = \frac{1}{2} \frac{H^2}{\cos^2 \alpha} \cdot \frac{\cos(\beta - \alpha) \cos(\psi - \alpha)}{\sin(\psi - \beta)} \quad (4.11)$$

Üçgen zemin kütlesi ağırlığı:

$$W = \frac{1}{2} \gamma \cdot H^2 \frac{\cos(\beta - \alpha) \cos(\psi - \alpha)}{\cos^2 \alpha \cdot \sin(\psi - \beta)} \quad (4.12)$$

Burada görüldüğü gibi W ağırlığı β açısının bir fonksiyonu durumundadır. Şekil (4.7)'deki üçgen poligonuna sinüs teoremini uygularsak;

$$\frac{Pa}{\sin(\psi - \phi)} = \frac{W}{\sin[180 - (\rho + \psi - \phi)]}$$

$\sin [180-(\rho-\psi-\phi)] = \sin (\rho-\psi-\phi)$ olduğundan,

$$Pa = W \cdot \frac{\sin(\psi - \phi)}{\sin(\psi + \rho - \phi)} \quad (4.13)$$

bulunur.

R reaksiyonu ise;

$$R = W \cdot \frac{\sin \rho}{\sin(\rho + \psi - \phi)} = Pa \cdot \frac{\sin \rho}{\sin(\psi - \phi)} \quad (4.14)$$

bulunur.

Pa ve R'i hesaplayan formüllerde Pa, R ve ψ olmak üzere 3 bilinmeyen vardır. Fakat yalnızca iki eşitlik vardır. Ağırlık (W) kırılma açısından bağımsızdır.

Dolayısıyla ;

$$\frac{dPa}{d\psi} = 0 \text{ olarak ifade edilir.}$$

Her ψ açı değeri için ayrı ayrı deneme yüzeyleri vardır. Üçgen zemin kitlesinin her yeni bir (ψ) açı değeri için yeni bir aktif basınç değeri vardır. ψ açısı kesin kritik değere ulaştığında yanal toprak basıncıda en büyük değerine ulaşmaktadır.

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi - \alpha)}{\cos^2 \alpha \cos(\alpha + \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \beta)}{\cos(\alpha + \delta) \cos(\alpha - \beta)}} \right]^2} \quad (4.16)$$

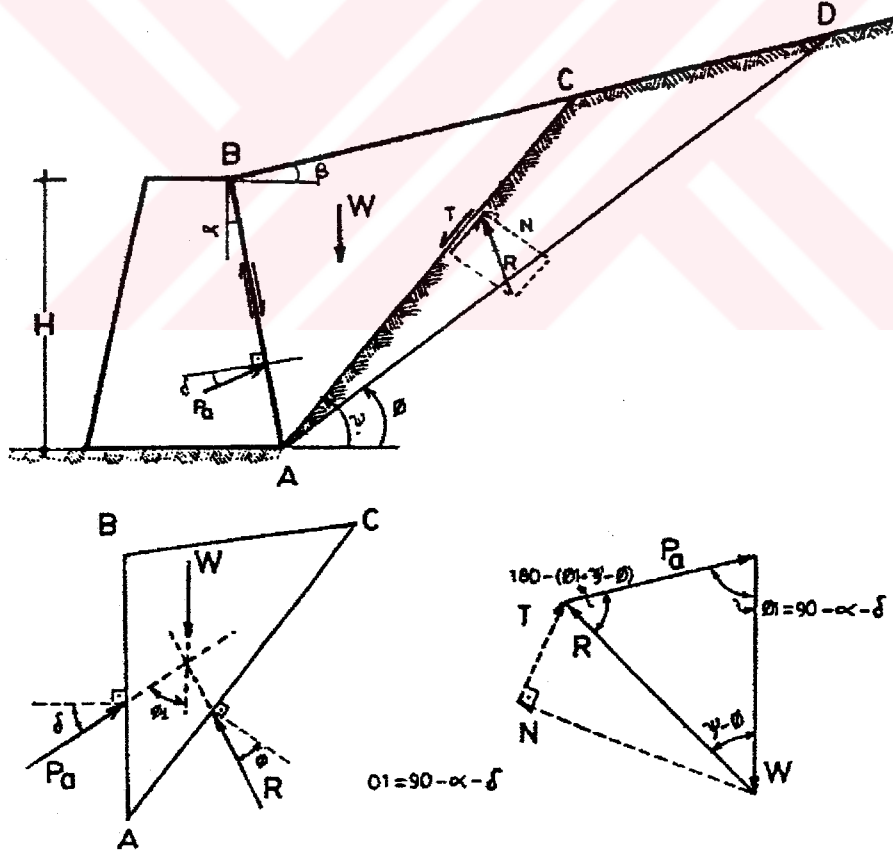
bulunur.

Eğer $\beta=0$, $\delta=0$ ve $\alpha=0$ olursa,

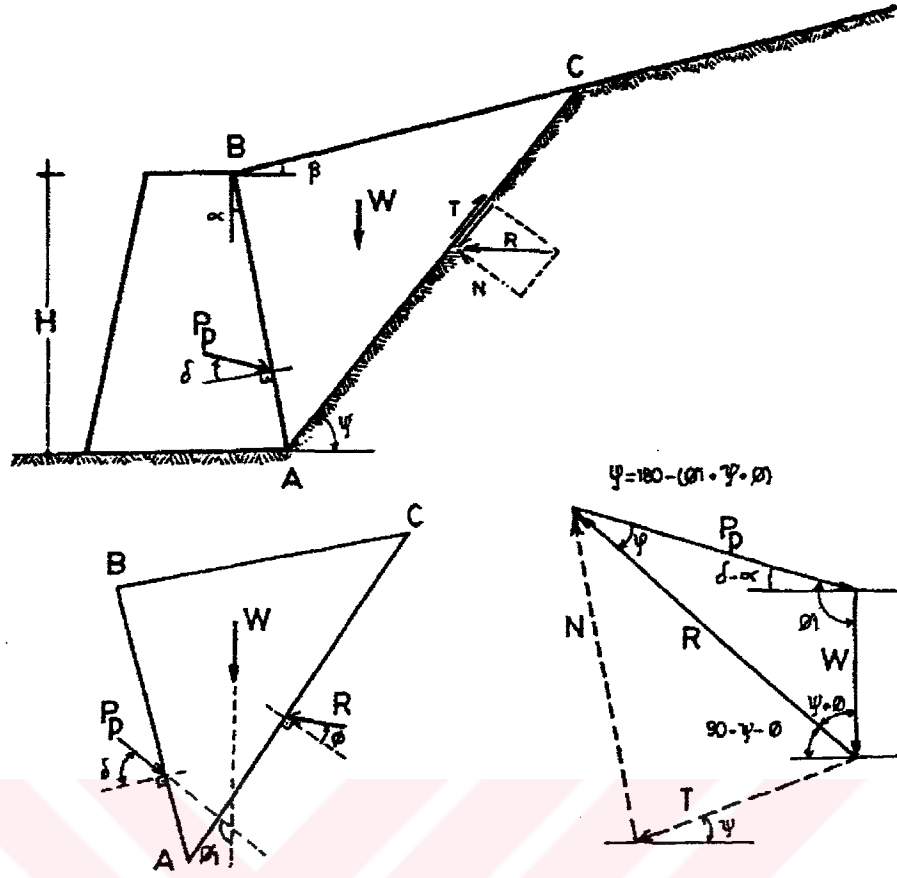
$$K_a = \frac{\cos^2 \phi}{(1 + \sqrt{\sin \phi \cdot \sin \phi})^2} = \frac{\cos^2 \phi}{(1 + \sin \phi)^2} = \frac{1 - \sin^2 \phi}{(1 + \sin \phi)^2} = \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2} \right)$$

$$K_a = \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2} \right) \quad (4.17)$$

bulunur.



Şekil 4.7 Aktif zemin basıncı.



Şekil 4.8 Pasif zemin basıncı.

4.3.1.2 Pasif Zemin Basıncı

Pasif zemin basıncını hesaplamak için aktif zemin basıncının hesaplanmasındaki aynı yol izlenir. Fakat açıların yönleri değişir ve pasif zemin basıncını bulmak için aşağıdaki sınır şartları uygulanır.

$$a) P_P = \left[W \cdot \frac{\sin(\psi + \phi)}{\sin(\phi_1 + \psi + \phi)} \right]_{Min}$$

$$b) \frac{dP_P}{d\psi} = 0$$

Burada ; $\phi_1 = 90^\circ - \alpha + \delta$ 'dur. Aktif basınç katsayısı bulunurken yapılan işlemler tekrarlanırsa;

$$P_p = \frac{1}{2} \gamma \cdot H_1^2 \frac{\cos^2(\phi + \alpha)}{\cos^2 \alpha \cdot \cos(\alpha - \delta) \cdot \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi + \beta)}{\cos(\alpha - \delta) \cos(\alpha - \beta)}} \right]^2} \quad (4.18)$$

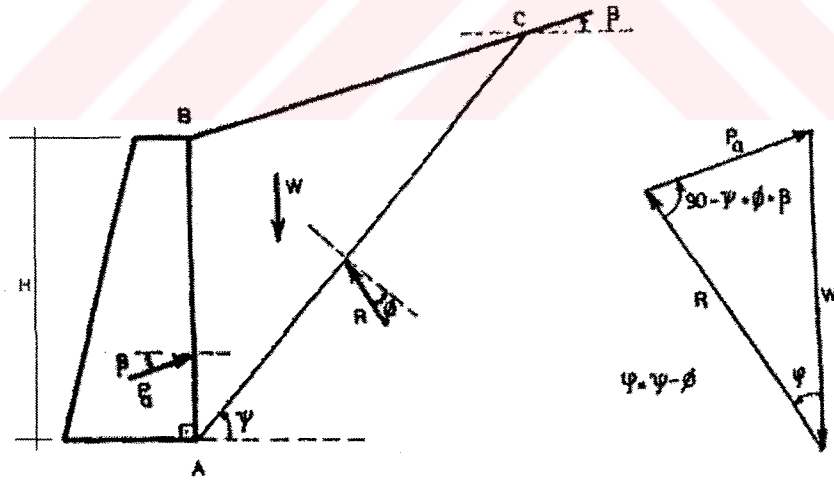
bulunur. Dolayısıyla K_p pasif zemin basınç katsayısı ;

$$K_p = \frac{\cos^2(\phi + \alpha)}{\cos^2 \alpha \cos(\alpha - \delta) \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi + \beta)}{\cos(\alpha - \delta) \cos(\alpha - \beta)}} \right]^2} \quad (4.19)$$

olarak bulunur.

4.3.2 Rankine'e Göre Zemin Basınçlarının Hesabı

Rankine zemini plastik dengede incelemiştir. Fakat Rankine'ni Coulomb'tan ayıran görüş, duvar sürtünmesinin ihmal edilmesidir. Bu da problemi en basite indirgemıştır. Rankine göre zemin basıncının hesabı şekil (4.9)'da ve takibi verilen denklem takımlarıyla gösterilmiştir.



Şekil 4.9 Rankine'e göre zemin basıncının tarifi.

$$W = \frac{\gamma \cdot H^2}{2} \frac{\cos \psi \cdot \cos \beta}{\sin(\psi - \beta)} \quad (4.20)$$

$$Pa = \frac{W \cdot \sin(\psi - \phi)}{\sin(90 - \psi + \phi + \beta)} \quad (4.21)$$

Denklem (4.20), (4.21)'de yerine konursa ;

$$\frac{dPa}{d\psi} = 0 \text{ şartından dolayı aktif zemin basınç değeri ;}$$

$$Pa = \frac{H^2 \gamma}{2} \cos \beta \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}} \quad (4.22)$$

$$Pa = \frac{1}{2} \gamma \cdot H^2 K_a \text{ olduğundan dolayı,}$$

$$K_a = \cos \beta \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}} \quad (4.23)$$

Zemin yüzeyi yatayla sıfır açı ($\beta = 0$) yapıyorsa aktif zemin basıncı ;

$$Pa = \frac{\gamma \cdot H^2}{2} \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \text{ olmaktadır.}$$

Rankine'e göre (P_a) aktif zemin basıncı, zemin yüzeyinin yatayla yaptığı β açısına bağlıdır. β açısı sıfır olduğundan (P_a) aktif basıncı istinat duvarına dik olarak etkiyecektir.

Rankine pasif zemin basıncını şu şekilde ifade etmiştir.

$$P_p = \frac{1}{2} \gamma \cdot H^2 \cos \beta \frac{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}} \quad (4.24)$$

$$P_p = \frac{1}{2} \gamma \cdot H^2 \cdot K_p \text{ olduğundan dolayı,}$$

$$K_p = \cos \beta \frac{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}} \quad (4.25)$$

olarak bulunmaktadır.

4.4 Kohezyonlu Zeminler

Yanal zemin basıncının kohezyonlu zeminde bölüm 4.3'te anlatılan düzende hesaplanmasında bazı tutarsızlıkların olduğu bir gerçektir. Çünkü istinatlanmamış bazı zemin yığınları serbest olarak vaziyetlerini korumaktadırlar. Bunu gerçekleştiren yalnızca zeminin sahip olduğu kohezyondur.

Bundan dolayı zemin mühendisliği sık sık zeminin kohezyonuyla dolayısıyla sürtünme üzerinde çalışmak zorunda kalmıştır. Yanal zemin basıncı üzerindeki çalışmalar sürtünmeli zemin üzerinde toplanmış ve kırılma yüzeyi sürtünme açısıyla belirlenmiştir.

Yanal zemin basıncı daha önce üzerinde durulan K_a , K_p , α , δ , Φ , β gibi zemin parametreleri, açı değerleri ve sabitlere bağlı olarak çözülür. Kohezyonlu zeminde bir noktadaki gerilme durumu kırılma yüzeyini etkilemez. Böylece kohezyonlu zemindeki zemin basıncını, yaklaşık olarak granüler zeminde zemin basıncını hesapladığımız yöntemle inceleyebiliriz. Fakat zemin kütlesinin stabilitesi üzerinde kohezyonun etkisi ayrı olarak incelenmelidir.

Kohezyonun kırılma yüzeyindeki etkisi üniform ve sabit olarak kabul edilmiştir. Öyle ki zemindeki kohezyon yanal zemin basıncını azaltıcı rol oynamakla beraber duvar arkası zemin yüzeyi düz olduğunda aktif zemin basıncının normalle yaptığı açı sıfır olur. Bu da kohezyonlu zeminde çalışırken büyük bir çelişki yaratmaktadır.

Kohezyonlu zeminde, üçgen zemin kütlesinin kayma direnci, zeminin içsel sürtünme açısına ve kohezyonuna bağlıdır.(şekil 2.10) Kırılma yüzeyindeki toplam kohezyon ;

$$c = \frac{cH}{\sin \psi} \quad (4.26)$$

olarak bulunur. Burada c , birim alana düşen kohezyon kuvvetidir.

Şekil (4.10b)'de kaymaya hazır üçgen zemin kütlesinde etkili kuvvetler abcea kapalı poligonunda görülmektedir. abd poligonunda henüz kohezyonun etkisi görülmemektedir. Zeminimiz kohezyonlu olmasaydı gerçek poligon abd poligonu olacaktı. Fakat şekil (4.10b)'den de görüldüğü gibi ce kohezyon etkisi poligon alanı daraltmaktadır. Öyleyse kohezyonlu bir zeminde gerçek aktif basınç ;

$$P_a = P_a - \Delta P_a \quad (4.27)$$

ifadesiyle bulunur. Burada genel aktif zemin basıncı ;

$$PA = \frac{1}{2} \gamma \cdot H^2 \cdot \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) = \frac{1}{2} \cdot H^2 K_a$$

olarak bulunur. Denklem (4.27)'deki ΔPa terimi kohezyonun aktif zemin basıncı üzerindeki etkisini göstermektedir. Eğer zemin kohezyona sahip değilse ($c=0$) denklem (4.27) $Pa=PA$ şekline girmektedir.

4.4.1 Kohezyon Etkisinin Hesaplanması

Aktif zemin basıncı üzerinde kohezyon etkisi (ΔPa) denklem (4.27)'de ifade edilmiştir. ΔPa terimi aktif zemin basıncı üzerinde azaltıcı faktördür. Bu şekil (4.10)'da gerçek abd alanının ced alanı kadar küçüldüğünü göstermektedir. ΔPa kohezyon faktörü Dr. E.K. Jacoby tarafından şu şekilde ifade edilmiştir.

$$\Delta Pa = C \frac{\sin(90 - \phi)}{\sin 90 - (\psi - \phi)} = \frac{C \cos \phi}{\cos(\psi - \phi)} = C \frac{H}{\sin \psi} \frac{\cos \phi}{\cos(\psi - \phi)} \quad (4.28)$$

Dolayısıyla ;

$$\Delta Pa = Wc \frac{\sin(\psi - \phi)}{\cos(\psi - \phi)} = \frac{1}{2} \gamma \cdot Hc^2 \tan(\psi - \phi) \quad (4.29)$$

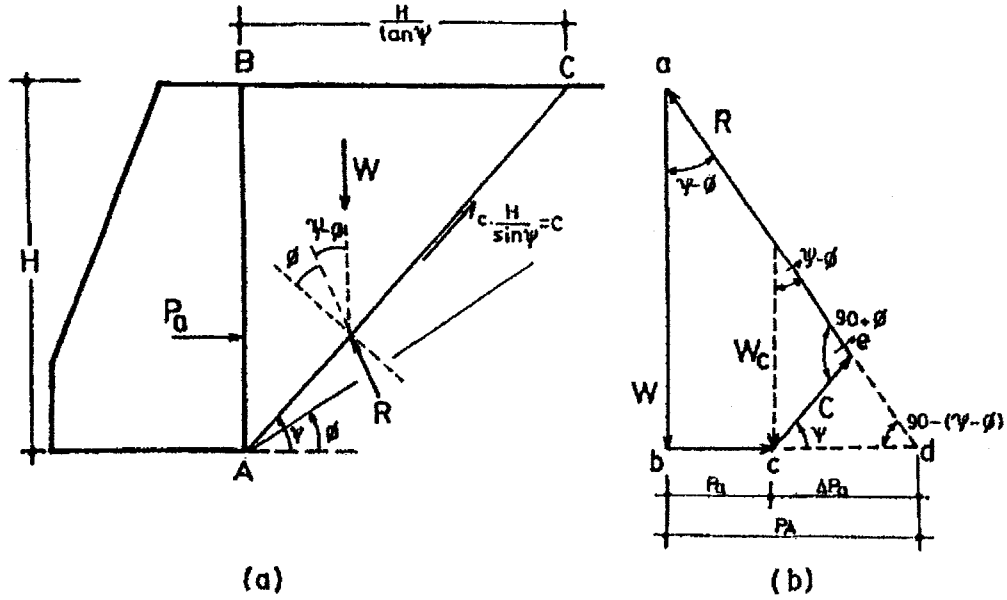
Burada Wc ve Hc terimleri hayali kohezyon ağırlığı ve yüksekliği olup şekil (4.10b)'de gösterilmiştir. Eğer $f(\psi) = \sin(\psi) \cdot \cos(\psi - \phi)$ fonksiyonu en küçük değere ulaşırsa ΔPa değeri en büyük değere ulaşır. $f(\psi)$ fonksiyonun türevi sifıra eşit olur ve ψ açısının değeri elde edilir.

$$\tan(\psi - \phi) = \tan(90 - \psi)$$

$$2\psi = 90 + \phi$$

$$\psi = \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad (4.30)$$

Burada $f(\Psi)$ fonksiyonu $\Psi = 45^\circ + \phi/2$ olduğu zaman en küçük değerine ulaşmaktadır. Denklem (4.30) zemindeki kritik kayma yüzeyinin açısını belirtmektedir.



Şekil 4.10 Kohezyonlu zeminde aktif zemin basıncı.

ΔPa ifadesinin en büyük değerini veren $\Psi = 45^\circ + \Phi/2$ ifadesi denklem (4.28)'de yerine konduğunda gerçek (PA) aktif zemin basıncını (granüler zemin gibi hesaplanan aktif basınç) kohezyondan dolayı azaltacak ifade ;

$$\Delta Pa = \frac{cH \cdot \cos \phi}{\cos^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right)} = 2cH \cdot \tan \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) = 2 \cdot cH \cdot \sqrt{Ka} \quad (4.31)$$

olarak bulunur.

4.4.2 Toplam Aktif Zemin Basıncı

Kohezyonlu zeminde birim metresine etkiyen toplam aktif zemin basıncı ;

$$Pa = PA - \Delta Pa = \frac{1}{2} \gamma \cdot H^2 \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) - 2cH \cdot \tan \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \quad (4.32)$$

$$Pa = PA - \Delta Pa = \frac{1}{2} \gamma \cdot H^2 Ka - 2cH \sqrt{Ka} = \frac{1}{2} \gamma \cdot H^2 Ka \left(1 - \frac{4c}{H \cdot \gamma \sqrt{Ka}} \right) \quad (4.33)$$

olarak bulunur. (Coulomb, 1773) Granüler zeminde bulunan aktif zemin basıncı, şekil (4.10a)'da görülen AC kırılma yüzeyi boyunca üniform olarak dağılan çifte kohezyon tarafından azaltılır.(denklem 4.33)

4.4.3 Yanal Zemin Basıncının Dağılımı

Denklem (4.27)'de gösterilen (P_a) aktif zemin basıncı belli bir derinlikte sıfır değerine ulaşır. O zaman ;

$$P_a = P_A - \Delta P_a = 0$$

$$P_A = \Delta P_a \quad (4.34)$$

ifadesi bulunur. Veya,

$$\frac{1}{2} \gamma \cdot H^2 K_a = 2cH \sqrt{K_a} \quad (4.35)$$

yazılır. Eğer denklem (4.35)'teki (H) yükseklik terimi çekilirse ;

$$H = H_c = \frac{4C}{\sqrt{K_a} \cdot \gamma} \quad (4.36)$$

ifadesi bulunur. Burada bulunan yükseklik kriterine kritik yükseklik (H_c) adı verilir. Kritik yükseklik kohezyonlu zeminin fiziksel özelliklerine yani birim hacim ağırlığına , içsel sürtünme açısına , kohezyonuna ve istinat duvarının geometrik açılara bağlıdır. (Şekil 4.11)

$$P = \frac{dP_a}{dy} = \frac{d\left(\frac{1}{2} \gamma \cdot y^2 K_a - 2cy \sqrt{K_a}\right)}{dy} = \gamma \cdot y \cdot K_a - 2 \cdot c \sqrt{K_a} \quad (4.37)$$

denklem (4.37)'deki birinci terim lineer, ikinci terim ise sabittir. Denklemdeki y ile gösterilen terim sıfırdan H yüksekliğine kadar değişir. Bu durum şekil (4.11)'de açıkça görülmektedir. $y = H$ olduğundan aktif zemin basıncı ;

$$P = \gamma \cdot H \cdot K_a - 2c \sqrt{K_a} \quad (4.38)$$

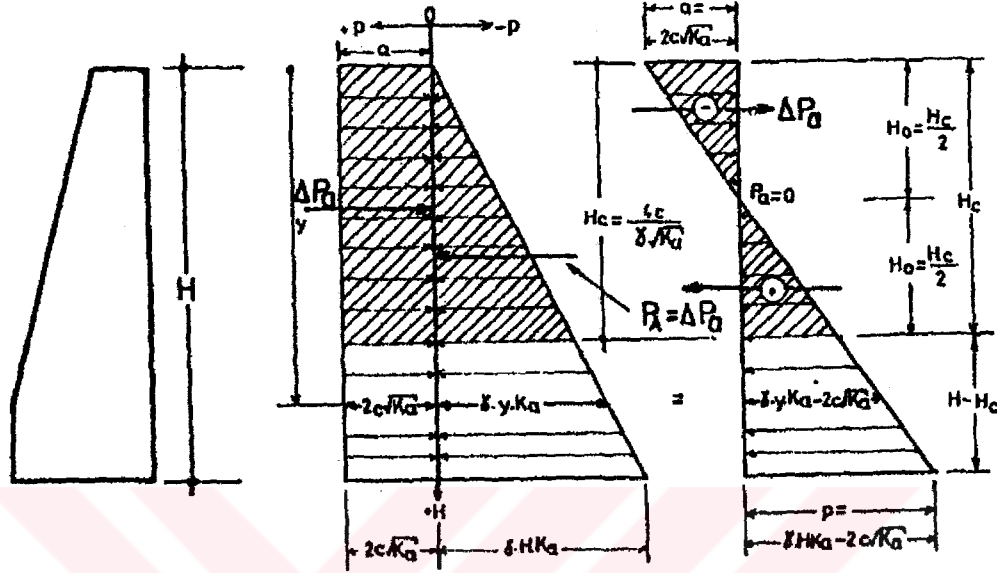
olarak bulunur.

Eğer zemin yüzeyinde üniform bir p_0 yüklemesi varsa , aktif zemin basıncı ;

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma \cdot H^2 K_a - 2c \cdot H \sqrt{K_a} + p_0 \cdot H K_a$$

$$Pa = \frac{1}{2} \left(\gamma + \frac{2p_0}{H} \right) \cdot H^2 \cdot Ka - 2c \cdot H \sqrt{Ka} \quad (4.39)$$

denklemini ile bulunur.



Şekil 4.11 Kohezyonlu zeminde zemin üzerinde yükleme olmadığı durumda aktif zemin basıncı.

4.4.4 Toplam Pasif Zemin Basıncı

Aktif zemin basıncı bulunmasındaki aynı amaçlar doğrultusunda toplam pasif zemin basıncı;

$$Pp = Pp + \Delta Pp \quad (4.40)$$

şeklinde ifade edilir. Şekil (4.12) pasif zemin basıncında kırılma açısı;

$$\psi = 45 - \frac{\phi}{2} \quad (4.41)$$

Kohezyonlu zeminde gerilme çatlakları olmadan denklem (4.40)'ın bilinen terimleri yerine konursa gerçek toplam pasif zemin basıncı elde edilir.

$$Pp = Pp + \Delta Pp = \frac{1}{2} \gamma \cdot H^2 \cdot \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) + 2c \cdot H \cdot \tan \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)$$

$$Pp = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot Kp + 2c \cdot H \cdot \sqrt{Kp} \quad (4.42)$$

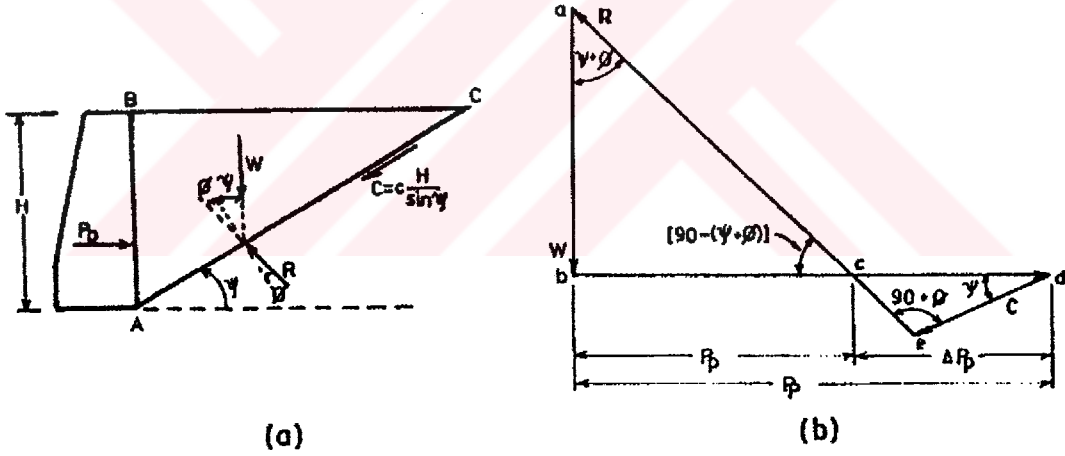
Pasif zemin basıncı şekil (4.13)'den de görüldüğü gibi (zemin üzeri yükleme yok) trapez bir basınç alanına sahiptir. Öyleyse herhangi bir y derinliğinde pasif zemin basıncı şöyle ifade edilir.

$$P = \frac{dPp}{dy} = \gamma \cdot y \cdot Kp + 2c \cdot \sqrt{Kp} \quad (4.43)$$

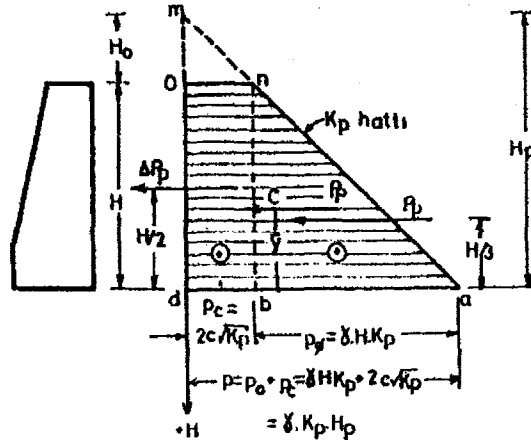
Eğer zemin üzerinde yükleme varsa (p_0), pasif zemin basıncı şu şekilde bulunur.

$$Pp = \frac{1}{2} \gamma \cdot H^2 \cdot Kp + 2c \cdot H \cdot \sqrt{Kp} + p_0 \cdot H \cdot Kp$$

$$Pp = \frac{1}{2} \left(\gamma + \frac{2p_0}{H} \right) \cdot H^2 \cdot Kp + 2c \cdot H \cdot \sqrt{Kp} \quad (4.44)$$



Şekil 4.12 Pasif zemin basıncında kuvvetler. (kohezyonlu zemin)



Şekil 4.13 Pasif zemin basıncı. (kohezyonlu zemin)

4.5 Mononobe – Okabe Denklemi

Yanal toprak basınçlarının hesabında dinamik etkinin de hesaplanabilmesi için Mononobe ve Matsuo (1929) ve Okabe (1926) tarafından Coulomb teorisine benzer şekilde elde edilen denklemden yararlanılmaktadır. Buna göre aktif toprak basıncından doğan deprem yatay yükü,

$$P_{AD} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 (1 - k_v) \cdot K_{AD} \quad (4.45)$$

$$K_{AD} = \frac{\cos^2(\phi - \theta - \psi)}{\cos \theta \cos^2 \psi \cos(\delta + \psi + \theta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \theta - \beta)}{\cos(\delta + \psi + \theta) \cos(\beta - \psi)}} \right]^2} \quad (4.46)$$

olarak verilmektedir. Burada $\beta, \phi, \gamma, \delta, H$ Coulomb formülündeki değerlerdir. ψ açısı duvar arka yüzünün düşeyle kapadığı açı olup $\psi = 90 - \alpha$ dır.

$$\theta = \arctg \frac{k_h}{1 - k_v} \quad (4.47)$$

bağıntısı ile verilmektedir. Burada,

k_h = yatay yer ivmesi/g

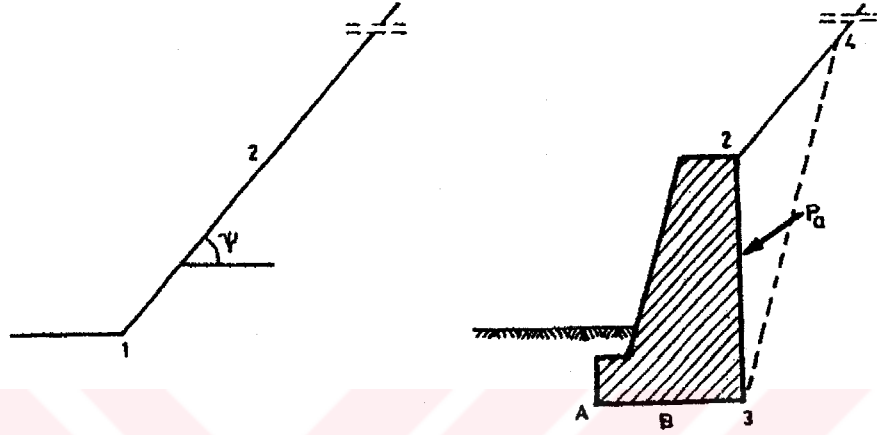
k_v = düşey yer ivmesi/g

dir. Pratik problemler için, çok küçük olması nedeniyle $k_v = 0$ alınabilir.

5 İSTİNAT DUVARLARI

5.1 Genel Bilgi

Zeminin veya bir dolgu malzemesinin yüzde seviyeleri farklı iki nokta arasında, sathın düşey olmadığı ve yatayla o malzemenin tabii şev açısı denilen bir ψ açısı yaptığı kesindir. (Şekil 5.1)



Şekil 5.1 Zeminde tabii şev açısı ve istinat duvarlarının yeri.

Yüksekte olan 2 noktasından itibaren aşağıya doğru zemin (veya dolgu malzemesi) sathının düşey olması istendiğinde, bir kısım zeminin (veya dolgu malzemelerinin) tabii şev açısını meydana getirmek üzere yapacağı yatay harekete mani olacak bir tesisin 2 noktasında yapılması gereklidir. Bu yapıya istinat duvarı denir.

Şekil (5.1)'de gösterilen böyle bir duvar P_a ile gösterilen bir zemin basıncına sahiptir. Duvarın bu basıncı emniyetli bir şekilde zemine nakletmesi gerekir. Bunun içinde duvarın, kritik durum denen ve fonksiyonunu yapmasına mani,

- Kendi bünyesinde meydana gelebilecek olan büyük çatlak, kırılma gibi durumlarla,
- Devrilme,
- Kayma,
- Tabanda zemin göçmesi,

gibi durumlara karşı gereken emniyete sahip olması gerekmektedir. (d)'de ifade edilen kritik duruma karşı gereken emniyetin olması için, tabanda en büyük zemin gerilmesi, zeminin taşıma gücünü aşmamalıdır. En büyük gerilmenin emniyet gerilmesinden büyük olması halinde (bu A noktasında olacaktır) eğer zemin kaya ise A'da bir ezilme sonucu duvar A noktası etrafında döner, eğer zemin kaya değilse A noktası ve çevresinde büyük göçmeler olur, duvar A'nın sağında bir B noktası etrafında döner.

İstinat duvarları, zeminlerin doğal stabilitelerini korumak için inşa edilen sanat yapıları olduğu gibi kömür, çelik boruların ve suyun stoklanması içinde kullanılmaktadırlar. İstinat duvarlarını dört ana grupta toplayabiliriz.

- 1) Ağırlık istinat duvarları,
- 2) Konsol istinat duvarları,
- 3) Payandalı istinat duvarları,
- 4) Kutu istinat duvarları.

Ağırlık istinat duvarları denilen kargir veya betondan yapılmış istinat duvarlarının sözü geçen kritik durumlara karşı gereken emniyete sahip olması hususunda Pa aktif zemin basıncına karşı olarak kullanılabilecek tek unsur duvarın W ağırlığıdır. Duvar yüksekliği artınca Pa aktif basıncı büyüyeceğinden W'nin de ona göre artması gerekmektedir. Bu ise büyük bir malzeme sarfiyatını ve büyük bir taban genişliğini gerektirir. Bu sebeplerle 4 – 4.5 metre yüksekliğinden fazla özel durum yoksa kullanılmazlar. Özel duruma en iyi örnek, üzerinde evler ve tesisler bulunan bir yamacın alt ucunda bir istinat duvarının inşasıdır. İnşaat esnasında küçük uzunluklarda ve kalıp alma süresi olmayan kargir bir duvar inşasının önemi büyüktür.

Ağırlık istinat duvarlarının projelendirilmesinde (beton istinat duvarının) kritik bölgelerinde (gövdenin radyeye birleştiği noktalarda v.s) yapılan çekme kuvveti tahkikinın sağlanmaması durumunda aşırı miktardaki çekme kuvvetini karşılaması için sözü geçen kritik bölgelere donatı konur. Bu tür ağırlık istinat duvarlarına da yarı ağırlık istinat duvarı adı verilir.

Yukarıda 2 ve 3 ana grupta toplanan betonarme istinat duvarları, genellikle düşey bir perde ve bir taban plağından ibarettir. Betonarme istinat duvarlarında sözü geçen kritik durumların karşı emniyet, duvara uygun bir form verebilmesi ile sağlanabilir. Bu sebeple duvar yüksekliğinin 4

– 4.5 metreyi geçmesi halinde betonarme istinat duvarları ekonomik olmaktadır. Düşey perdenin (konsolun) taban plağı üzerindeki yeri, ekonomik bir çözüm elde etmek için düşey perdenin önünde veya arkasında taban plağı yapılıp yapılmaması, (arsa sınırı, nehir kenar v.b sebeplerle) duvarın arkasındaki zeminin kohezyonunun mertebesi gibi şartlara bağlıdır.

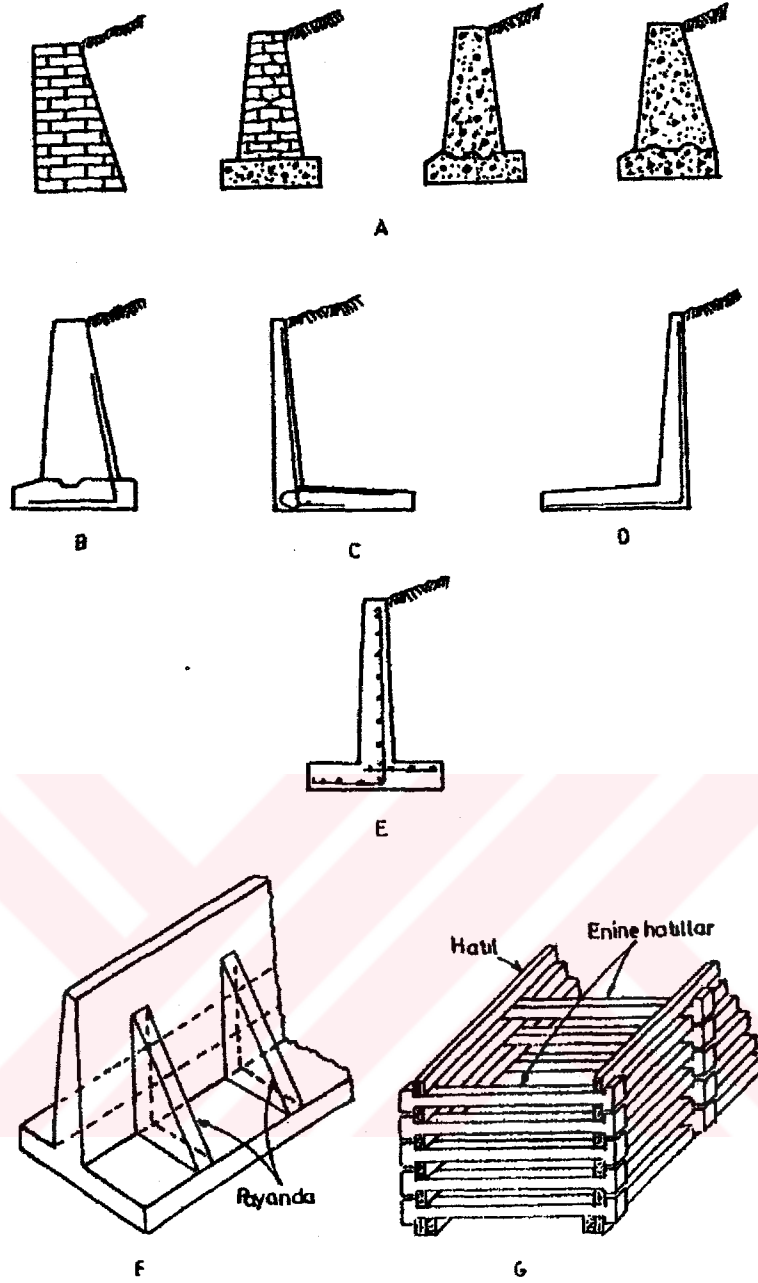
Şekil (5.2)' de gösterilen E tipinde temel plağı ön ve arka ambatmanlardan (tırnak ve topuk) meydana gelmiştir. Topuk üzerindeki zemin ağırlığı duvarın kayması konusunda önemli rol oynar, yine bu ağırlık sayesinde Pa zemin basıncı ve duvar ağırlığı ve bu zemin ağırlığının R bileşkesinin taban plağı ortasına yaklaşmak uygun olur. R, tam radye genişliğinin ortasında zemine etki ettirilebilirse gerilme yayılımı üniform olur. Böylece hem zemin gerilmesi küçülür hem de oturma ihtimali olan zeminlerde radyenin topuk ve tırnak uçlarındaki farklı oturma sonucu duvarın dönmesi önlenmiş olur. Bu durum yani üniform taban basıncı ve üniform oturma genellikle yumuşak ve killi zeminler için yapılan en uygun çözüm yoludur.

Şekil (5.2)'de gösterilen C tipi, arsa sınırı, nehir kenarı veya başka nedenlerle tırnak yapılmayan hallerde inşa edilir ve A noktasındaki zemin gerilmeleri çok büyük olabilir.

Aynı şekilde D ile gösterilen tipin ölü ağırlığı azdır. Bu sebeple (H) duvar yüksekliğinin büyük olması halinde bunun kaymasını önlemek zordur. Bu tip, duvar kohezyonu çok fazla zeminlerde kullanılabilir. Topuk için yapılacak kazının çok pahalı olması veya imkan bulunmaması halinde uygun bir tiptir.

Konsol istinat duvarının özel bir durum olmaması halinde kullanılan tipi şekil (5.2)'de gösterilen E tipidir. Bununla beraber konsolun yüksek olması veya (Pa) aktif zemin basıncının yüksek değerlere ulaşması halinde radye ile konsolu bağlayan betonarme payandalara ihtiyaç vardır. Payandalar eğilme momentlerinin ve kesme kuvvetlerinin azaltılmasında büyük rol oynarlar. Bu tip istinat duvarlarına payandalı istinat duvarları denir. Payandalı istinat duvarlarını payandanın tırnakta ve topukta imal edilmesine göre ikiye ayırabiliriz. Payandanın imal edilmesi durumunda payanda çekme gerilmelerini karşılamaya çalışacaktır. Eğer tırnakta imal edilirlse basınca çalışacaktır. Bu tür istinat duvarları yüksekliğin 6 – 7 metreye eşit ve daha fazla yükseklikler için ekonomik olmaktadır (şekil 5.2F).

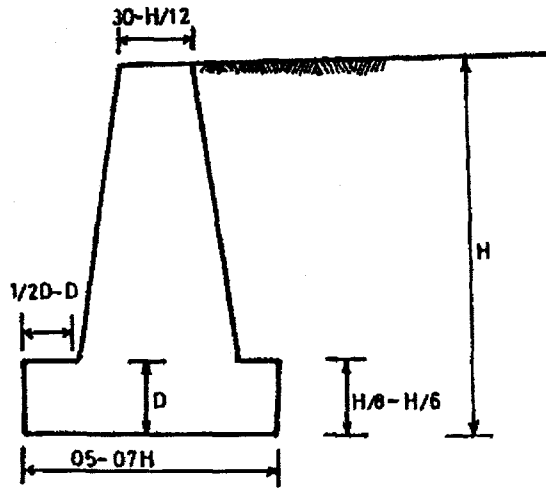
İstinat duvarı sınıflandırmasının 4. grubunu oluşturan kutu istinat duvarları prefabrik beton elemanlardan, metal elemanlardan veya ahşap elemanlardan yararlanılarak imal edilirler. Bu tip istinat duvarları, sözü geçen elemanların yardımıyla duvar ön yüzü gerisinde oluşturulan hücrelerin içine doldurulan stabilize zemin kütlesi ile Pa aktif zemin basıncına karşı direnç sağlarlar. (şekil 5.2G)



Şekil 5.2 İstinat duvarı tipleri.

Bu bölümde istinat duvarlarının üç ana grubu üzerinde durulacaktır. Betondan imal edilmiş ağırlık duvarları, konsol istinat duvarları ve payandalı istinat duvarlarıdır.

Genel olarak bir istinat duvarı, tırnak (ön ambatman), topuk (arka ambatman), radye, diş v.s. elemanlardan meydana gelmiştir (şekil 5.3).

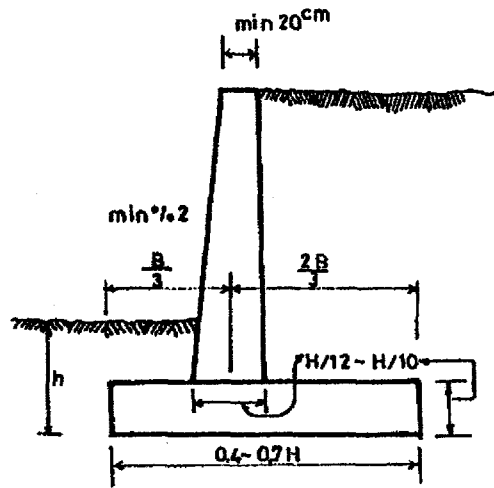


Şekil 5.4 Ağırık istinat duvarında ön boyutlandırma.

5.2.2 Konsol İstinat Duvarları

İstinat duvarının boyutları, inşa edilecek yerin yüksekliğine göre yapı stabilitesini sağlayan değerlerdir. Bu değerlere ulaşabilmek için sözü edildiği gibi ön boyutlandırmadan başlanmalıdır. Şekil (5.5) konsol istinat duvarı için ön boyutlandırmayı göstermektedir.

Konsol istinat duvarında konsol üst başlık kısmının en küçük değeri 20 cm' dir. Bu kısım özellikle gerekli tahkiklerin kolayca sağlanabilmesi için, kütle'nin ağırlığının ve dolayısıyla konsolun direncinin gerçek güvenlik sınırı içinde kalması için 30 cm alınması uygun olmaktadır.



Şekil 5.5 Konsol istinat duvarlarında ön boyutlandırma.

Konsol ön yüzü eğiminin en küçük değeri %2 olmalıdır. Ön yüz ve arka yüzünün (α) eğiminin artırılması sistemin stabilitesi ve projelendirecek mühendisin görüş açısına bağlıdır. Arka ve ön ambatmanın genişlikleri şekil (5.5)'te belirtildiği üzere $B/3$ ve $2B/3$ olmaktadır. Elbette bunlar stabilitenin sağlanması için azalmakta veya çoğalmaktadır. Bununla ilgili olarak Bowler şu denklemi geliştirmiştir.

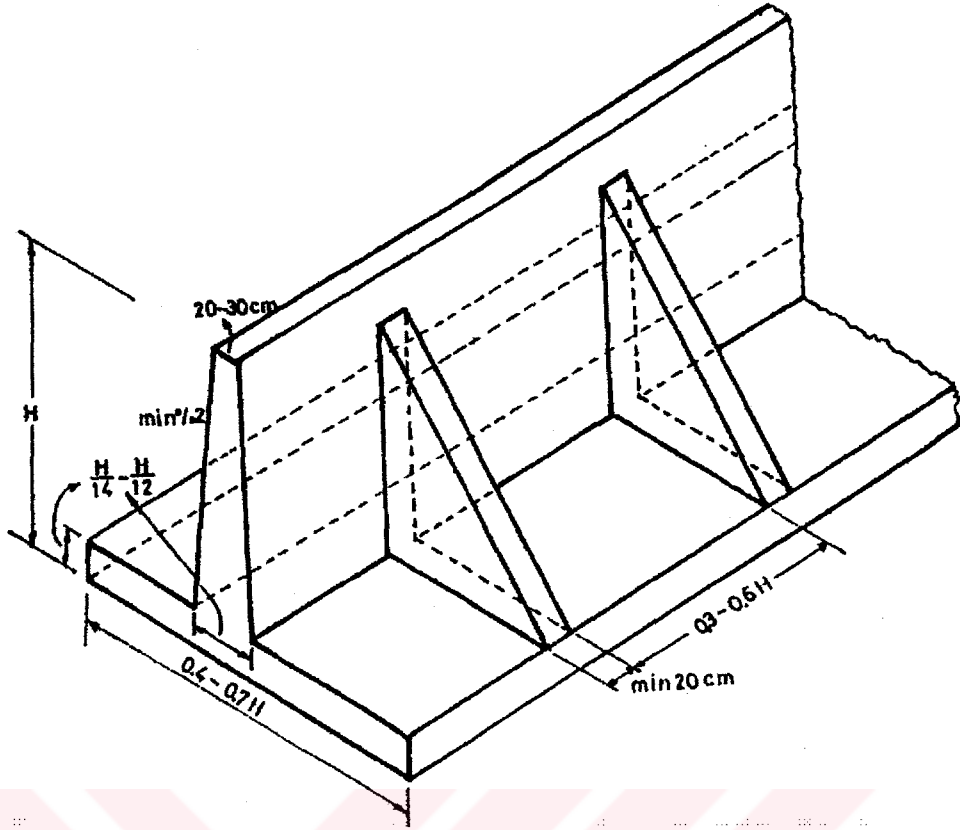
$$HT = \frac{H^2 Ka}{4(m + HH)} + \frac{HH}{2} - \frac{3}{4} \cdot \frac{HH^2}{(m + HH)} \quad (5.1)$$

Burada m konsol üst başlık kalınlığını, HT ön ambatman, HH ise arka ambatman uzunluğunu göstermektedir. Bu denklem deneme yanılma (Newton – Rabson) yöntemiyle çözülebilmektedir.

5.2.3 Payandalı İstinat Duvarları

Tipik bir payandalı istinat duvarı ve ön proje boyutları şekil (5.6)'da gösterilmiştir. Bu boyut yalnızca rehber olabilecek niteliktedir. Konsol üst kısmının kalınlığının en küçük değerinin 20~30 cm olmasına rağmen İngiltere'de 10~15 cm yapılan örneklerini görmek mümkündür.

Payandalı istinat duvarları, yüksekliğin 6~7 metreyi geçmesi halinde ekonomik olmaktadır. Payanda araları ise 0,3~0,6 H arasında değişmektedir. Fakat en ekonomik mesafe yüksekliğin yarısı veya üçte biri olmaktadır. Payandalar duvarın başlangıcından itibaren veya şekil (5.11) ifade edilen biçimde konulurlar. Buradaki amaç; eğilme momentinin, normal payanda aralığında oluşan eğilme momenti ile aynı değere ulaşmasıdır.



Şekil 5.6 Payandalı istinat duvarında ön boyutlandırma.

Bazen bu tip istinat duvarları ön ambatman olmaksızın da imal edilebilirler. Elbette kayma ve dönme tahkiklerinin sağlanması durumunda bu tip uygulamaya gidilmelidir.

5.3 İstinat Duvarındaki Kuvvetler

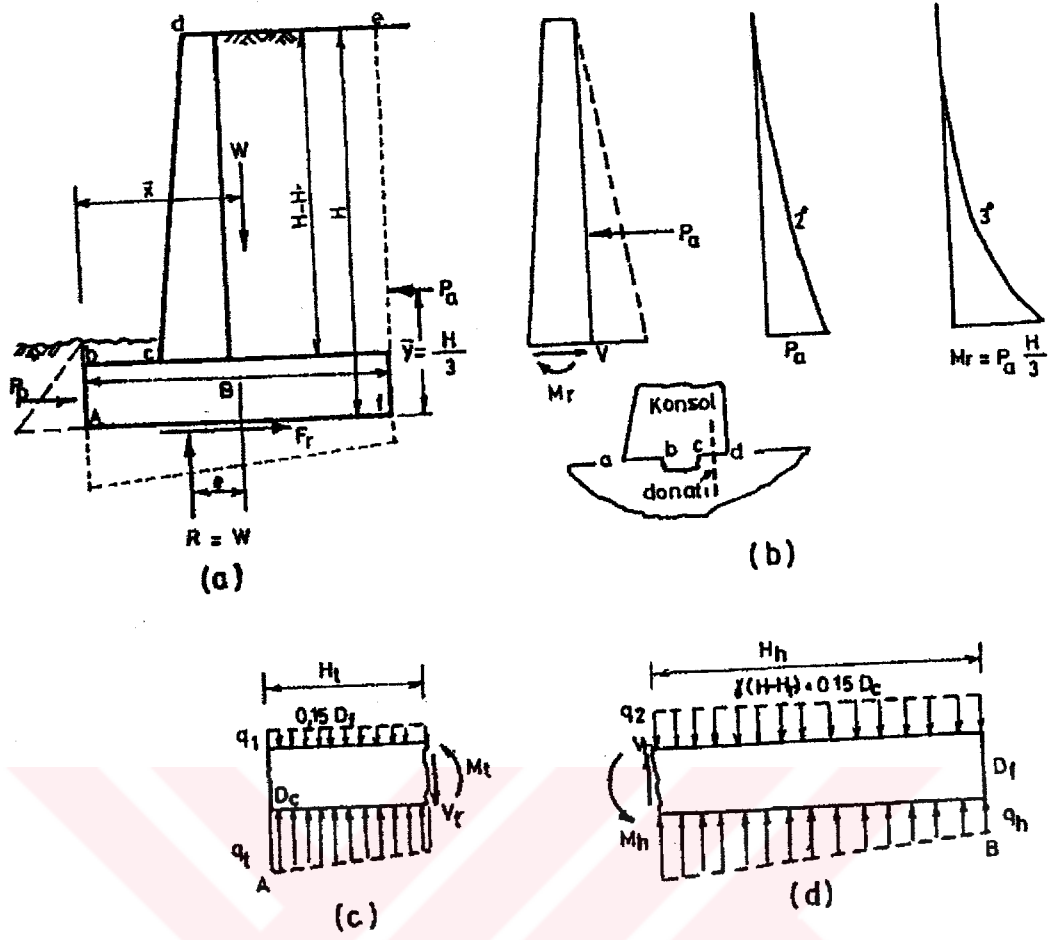
Tüm istinat duvarlarındaki kuvvetler istinat duvarının bir metre uzunluğu esas alınarak hesaplanır. Fakat payandalı istinat duvarlarında hesap uzunluğu iki birleşim yeri veya bir payandayı içeren şekilde simetrik bir parçadır.

5.3.1 Ağırlık İstinat Duvarları

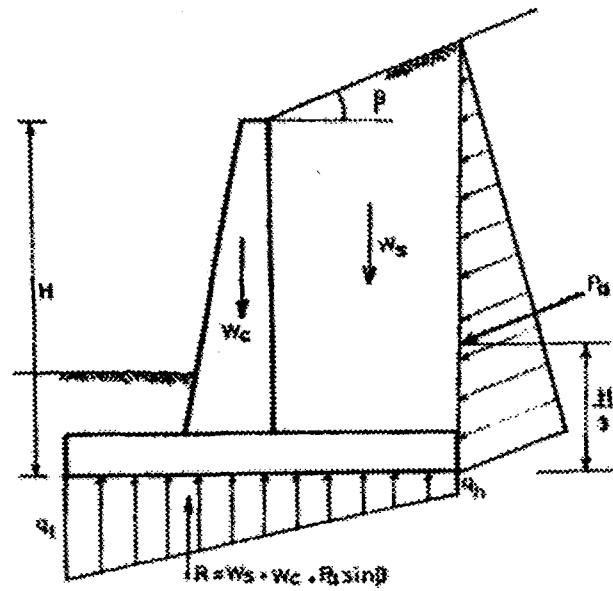
Ağırlık istinat duvarına gelen yükler şekil (5.7)'de gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere aktif zemin basıncı Rankine veya Coulomb'a göre hesaplanmaktadır. Eğer Coulomb'a göre hesap metodu izlenirse duvar arkasında henüz kaymaya hazır bir zemin kütesinin varlığı ve duvar ile normal arasındaki sürtünme açısının varlığı kabul edilir. Rankine'e göre ise aktif zemin basıncının normal ile yaptığı açı, zemin yüzünün yatayla yaptığı açı β 'dir. Düşey kuvvet R ise radye üzerindeki tüm düşey kuvvetlerin toplamıdır. Bu R düşey bileşke

kuvvetinin uygulama noktasının sistemin ekseninden olan uzaklığına dış merkezlilik (eksantirisite) denir ve

$$B = \text{düşey yüklerin meydana getirdiği momentler (net)} / R \quad (5.2)$$



Şekil 5.8 Konsol istinat duvarındaki kuvvetler a)Tüm sistemde, b)Konsolda, c)Ön ambatmanda, d)Arka ambatmanda.



Şekil 5.9 Konsol istinat duvarında aktif zemin ve taban basıncı.

Şekil (5.8) ve şekil (5.9)'da ön ambatman üzerinde bulunan zeminden dolayı meydana gelen pasif basınç genellikle hesaplara dahil edilmez. Kuşkusuz kaymaya karşı büyük bir direnç yaratır, fakat herhangi bir inşa sebebiyle veya başka bir sebeple bu zemin uzaklaştırıldığı takdirde duvar stabilitesi bozulacaktır.

Şekil (5.8)'de radyede ve konsoldaki kuvvetler gösterilmektedir. Aynı şekilde b'de gösterilen kesme kuvveti diyagramı 2^0 parabol, moment diyagramı ise 3^0 parabol olmaktadır. Bu diyagramları bulmak için denklem (5.4) ve (5.5) diferansiyel eşitlikleri kullanılır.

$$q = \gamma \cdot H \cdot Ka$$

$$Q = \int_0^H q \cdot dh \quad (5.4)$$

$$M = \int_0^H Q \cdot dh \quad (5.5)$$

Eksantirisite denklem (5.2) ve (5.3) kullanılarak bulunur. Ön ve arka ambatmanda meydana gelen herhangi bir x mesafesindeki taban basıncını şekil (5.8c,d)'de gösterilen A ve B noktaları orijin kabul edilerek istenilen değer bulunabilir. (denklem 5.6) Bulunan bu q taban basıncı değeri, denklem (5.4) ve (5.5) benzer şekilde hesap edilebilir.

$$q = qt - Sx - q_1$$

$$q = qh - Sx - q_2$$

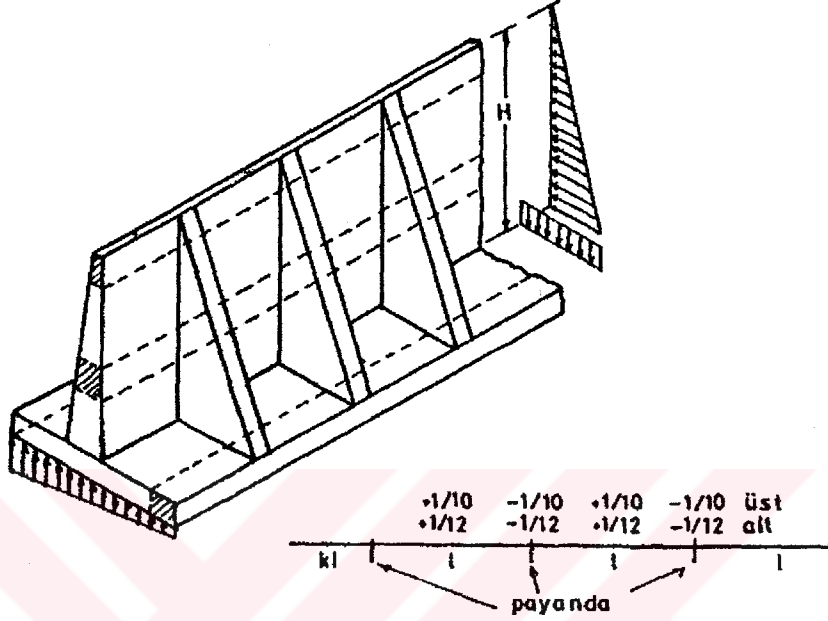
$$Q = \int_0^x q \cdot dx, M = \int_0^x Q \cdot dx \quad (5.6)$$

burada ifade edilen Sx ön ve arka ambatmanda meydana gelen taban basınç diyagramlarının eğimidir.

5.3.3 Payandalı İstinat Duvarları

Payandalı istinat duvarları tam olarak analiz edilememiştir. Fakat bu tür istinat duvarları plak teorisi kullanılarak çözülebilir. Çözüm esnasında payandaların ağırlığı ihmal edilir.

Şekil (5.10) payandalı istinat duvarı çözümü için duvarın maruz kaldığı kuvvetleri göstermektedir. Aynı şekilde çeşitli parçaların (konsolun üstünde, ortasında ve radyede) alındığı görülmektedir. Çözüm yöntemi bu parçaları kiriş olarak kabul eder. Buradaki basınç diyagramı üçgendir ve sözü edildiği gibi her parçanın eşdeğer kiriş olduğu esas alınarak elde edilen moment dağılımından eğilme momentleri hesap edilir.



Şekil 5.10 Payandalı istinat duvarının analizi.

Sözü geçen parçacıklar için kullanılacak momentler şekil (5.10)'da gösterilmiş olup daha açık olarak aşağıda izah edilmiştir.

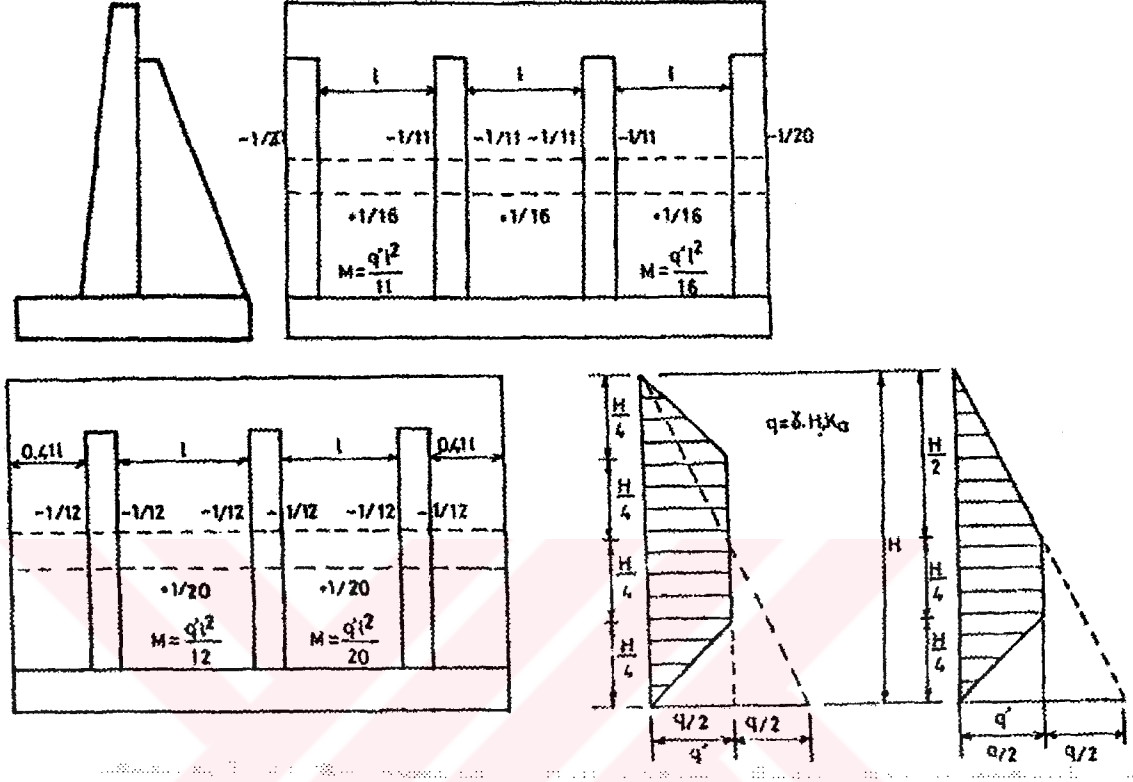
$$M = \frac{qL^2}{10} = \text{Konsolun üst kısımlarında kullanılır.}$$

$$M = \frac{qL^2}{12} = \text{Konsolun radyeye yakın yerlerinde kullanılır. Çünkü bu kısım rijitlik gösterir.}$$

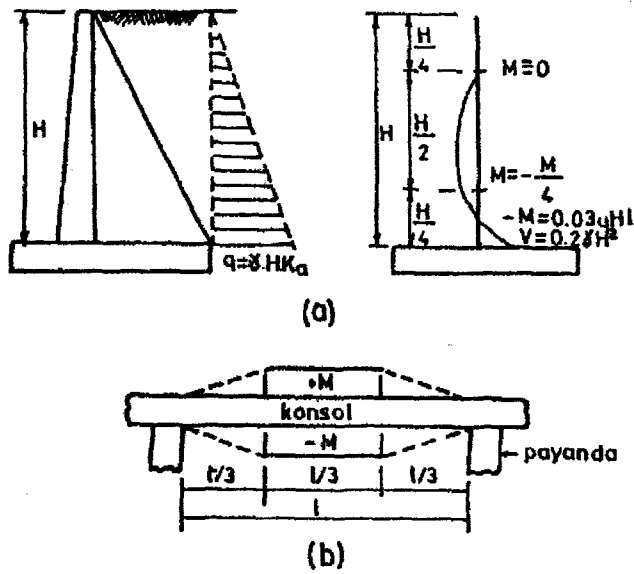
$$M = \frac{qL^2}{10} = \text{Arka ambatmanın bütün birim parçalarında kullanılır.}$$

Bu tür istinat duvarında ön ambatman bir konsol kiriş gibi, arka ambatman ise sürekli bir kiriş gibi davranır. Payandalar ise bir T kirişi gibi davranırlar. Fakat kirişlerin zati ağırlıkları yüksek değerlere ulaşmakla beraber beton gerilmeleri de o derece küçüktür. Bu yüzden analiz

edilmeye gerek duyulmazlar. Çekme donatısına yalnız radyede ihtiyaç duyulmaktadır. Payandalar momente mukavemet ederler ve yalnız basınca bir kiriş gibi davranırlar. Gerilme donatısı da yatay olarak uzanarak konsol ile payandayı da birlikte birbirine sıkıca bağlar. Payandanın eğimi gerilmelerin gerektirdiği donatıya göre belirlenir.



Şekil 5.11 Payandalar için yatay yönde eğilme momentleri.

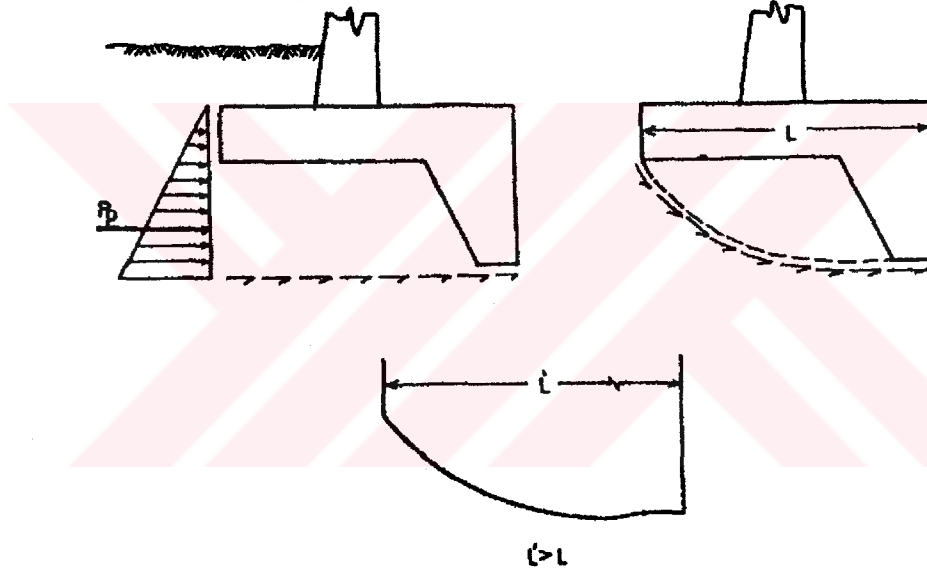


Şekil 5.12 Huntington'a göre düşey momentlerin dağılışı.

5.4 İstinat Duvarlarının Stabilitesi

İstinat duvarının kaymaya karşı yeterli stabiliteyi sağlaması gerekir. Genellikle stabilite analizinde kayma tahkiki yaparken duvarın ön ambatman üzerindeki ve önündeki zemin göz önüne alınmaz. Öyle ki göz önüne alınmayan zemin, pasif zemin basıncı oluşturarak duvarın kaymaya karşı direnci arttıracaktır. Bu etki göz önüne alınıp projelendirilen istinat duvarı, ön ambatman üzerindeki zemin ileri bir zaman içinde herhangi bir nedenle kazılırsa (bina yapımı, yol yapımı vb.) istinat duvarının stabilitesinde bozulma olacaktır.

İstinat duvarının kaymaya karşı stabilitesini arttırmak için başvurulan çarelerden birisi radye altına diş yapmaktır. Burada amaç sürtünme kuvvetini arttırmak dolayısıyla sürtünme yüzeyinin uzunluğunu arttırmaktır. (şekil 5.13)



Şekil 5.13 Radyede diş yapılması halinde sürtünme uzunluğunun ve pasif basıncın artışı.

Bu tür çözümün sıkı kaya zeminlerde kullanılması bir ayrıcalıktır. Fakat böyle bir çözümün dezavantajı ise aktif zemin basıncını arttırmasıdır.

Bir istinat duvarında meydana gelen kuvvetleri iki kısımda toplayabiliriz.

1) Kaymaya karşı koyan kuvvetler

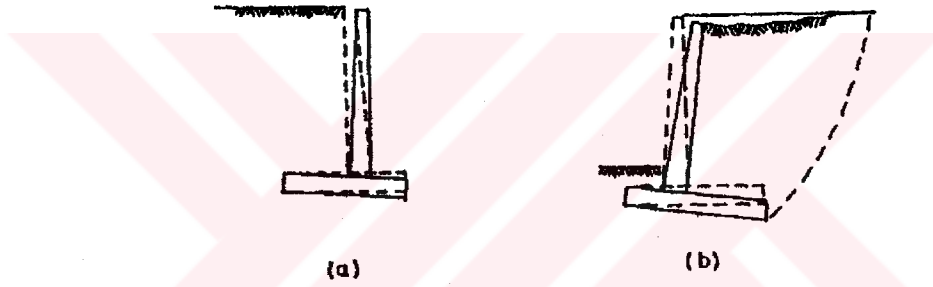
- a) İstinat duvarı ağırlığı
- b) Topuk üzerindeki zemin ağırlığı

- c) Aktif zemin basıncının düşey bileşeni
- d) Sürtünme kuvveti
- e) Göz önüne alınırsa ön ambatmanda oluşan pasif basınç

2) Kaydırmaya çalışan kuvvetler

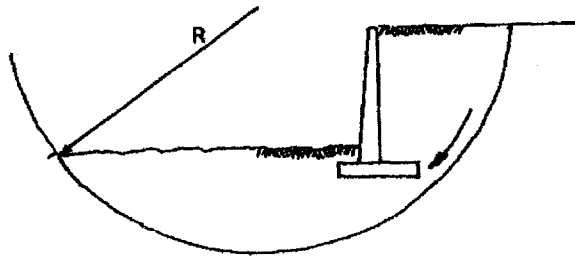
- a) Aktif zemin basıncının yatay bileşeni

Bu kuvvetler dikkate alınarak istinat duvarının stabilite analizleri yapılmalıdır. Bunun dışında istinat duvarlarının temel zeminin taşıma kapasitesi de incelenmelidir. Şekil (5.14)'de temel zeminin taşıma kapasitesi aşılması durumuna ilişkin oluşabilecek göçme mekanizmaları gösterilmiştir.



Şekil 5.14 Zeminin taşıma kapasitesinin aşılması durumu.

İstinat yapılarının toptan göçmesi de incelenmesi gereken bir husustur. Burada şevin göçmesi ve istinat yapısının da şevin göçme mekanizması içinde kaldığı durum meydana gelir. (şekil 5.15)



Şekil 5.15 İstinat duvarının toptan göçme hali.

İstinat duvarlarının stabilitesini etkileyen en önemli konulardan birisi de drenaj sistemidir. Drenaj sistemi, alınacak suyun miktarına ve duvar arkasındaki dolgu malzemesine bağlıdır. İyi yapılmayan bir drenaj sisteminde duvar arkasındaki mevcudiyetini arttıran suyun meydana getireceği basınç doğrudan doğruya aktif zemin basıncının artmasına sebebiyet vereceğinden belirtildiği üzere stabilitenin bozulmasında rol oynayacaktır.

Barbakan olarak adlandırılan 10 cm veya daha büyük çapta delikler duvarın konsolu üzerinde suyun dışarı atılması için bırakılırlar. İkinci bir drenaj sistemi ise arka ambatman üzerinde sisteme gereken eğim verilerek drenaj büzlerinin döşenmesi ile yapılır.

Geçirimli dolgularda su, 3~5 metre aralıklı 15 cm çapında barbakanlarla alınabilir. Yarı geçirimli zeminlerde yine her iki sistem kullanılabilir. Ancak sızma deliği ve drenin üzerinde en az 30 cm kalınlıkta, geçirimli malzemeden yapılmış bir filtre tabakası meydana getirilmelidir. Killi dolgularda sadece boyuna dren kullanılır. Burada suyu duvar üstünden alıp önce duvar arkasından uzaklaştıran ve sonra boyuna drene getiren dirsek şeklinde bir filtre tabakası mecburidir.



6. YALOVA ÇEVRESİ DEPREM RİSK ANALİZİ

6.1 Giriş

Deprem, Dowrick (1987) tarafından “Dünyanın litosferindeki ani enerji boşalması sonucu meydana gelen bir yer sarsıntısı spazmı” olarak tarif edilmiştir. Levha Tektoniği Teorisine göre, yeryüzünde yer alan levhaların hareketi sonucunda kayalarda meydana gelen gerilmeler depremlere neden olmaktadır. Gelecekte meydana gelecek depremler belirsizlikler ihtiva etmektedir; bununla beraber geçmiş yıllarda meydana gelmiş olan depremlerin parametrelerinin probabilistik metotlar ile incelenmesi sonucunda, gelecekte yer alabilecek depremlerin karakteristikleri konusunda proje kriterleri için takribi olarak tahminler yapılabilmektedir. Bu sebeple yapıların deprem açısından projelendirilmesinde ihtimal hesapları önemli bir yer teşkil etmektedir.

6.2 Gumbel “Yıllık Ekstrem Değerler” Metodu

Gumbel (1958) tarafından tavsiye edilen Yıllık Ekstrem Değerler Metoduna göre, yıllık maksimum deprem magnitüdüleri dağılımı aşağıdaki şekilde ifade edilebilmektedir.

$$G(M) = e^{-\alpha \exp(-\beta M)} \quad (6.1)$$

Bu ifade de,

M = Deprem magnitüdü

α, β = Regresyon katsayıları

$G(M)$ = Bir yıl içinde magnitüdüleri M’den büyük olan depremlerin aşılma olasılığı şeklindedir.

Diğer taraftan magnitüd-frekans ilişkisi için Gutenberg-Richter (1942), deprem magnitüdünü bir yıl içinde meydana gelen toplam deprem sayısına bağlayan şu ifadeyi tavsiye etmişlerdir:

$$\log N = a - bM \quad (6.2)$$

Bu ifade de,

a,b = Regresyon katsayıları

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

Sipahioğlu (1984) tarafından bildirildiği üzere, Mogi (1962) ve Miyamura (1962) “b” katsayısının bölgelerin tektonik özellikleri ile 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 bağıntılar mevcuttur:

$$\dot{\alpha} = 10^a, a = \log \alpha \quad (6.3)$$

$$\beta = \frac{b}{\log e}, b = \beta \cdot \log e \quad (6.4)$$

$$N = \alpha \cdot e^{-\beta M} = -\ln G \quad (6.5)$$

Sismik aktivitenin zaman içinde üniform dağıldığı kabulü ile aşağıdaki ifadeler yazılabilir:

$$N = \alpha \cdot T_r \cdot e^{-\beta M} \quad (6.6)$$

$$N = -\ln G = -\ln(e^{-\alpha T_r} \exp(-\beta M)) \quad (6.7)$$

Bu ifadelerde T_r magnitüdü belli bir depremin yıl olarak tekrar periyodu olarak tanımlanmaktadır.

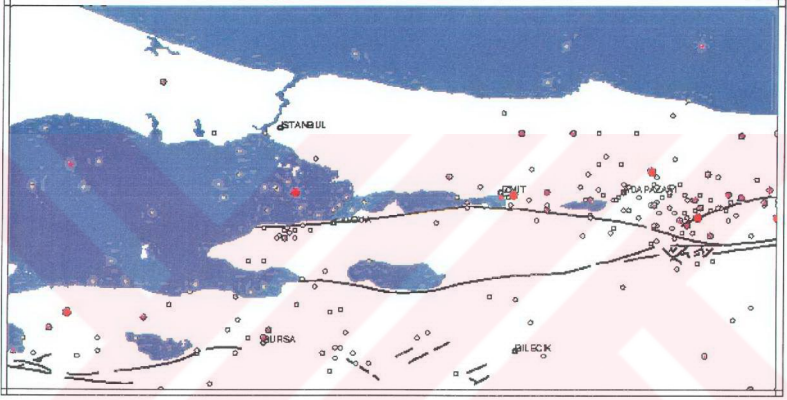
6.3 Yıllık Ekstrem Değerler Metodu’nun Yalova Sismotektonik Yöresine Uygulanışı

Bu çalışmada sismotektonik yöre olarak sınırları 28° - 31° doğu boylamı ve 40° - $41^{\circ}.5$ kuzey enlemi içinde kalan bölge (Yalova ve çevresi) seçilmiştir. (şekil 6.1) Seçilen sismotektonik yöre yurdumuzda yıkıcı depremlerin sıkça meydana geldiği Kuzey Anadolu Fay Zonu içinde bulunmaktadır.

Seçilen bu sismotektonik yörede 1900 - 2000 yılları arasında meydana gelmiş depremlerde rastlanan maksimum magnitüd değerleri bulunmuş ve Gumbel “Yıllık Ekstrem Değerler Metodu” uygulanarak çizelgelerdeki sonuçlar elde edilmiştir. Çizelgelerdeki sonuçlar diğer sismotektonik yörelerde (Ankara, İstanbul, İzmir) yapılan araştırmaların sonuçlarıyla karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Yalova çevresi sismotektonik yöresi olarak kabul edilen sınırlar içinde 1900-2000 yılları arasında kaydedilen yıllık maksimum deprem magnitüdleri Çizelge (6.1)'de verilmekte olup, bu çizelgenin hazırlanışında Kandilli Rasathanesi Türkiye Deprem Katalogu'ndan faydalanılmıştır.

Yalova çevresi sismotektonik yöresi için 1900-2000 yılları arasında meydana gelen depremler göz önüne alınarak "a" ve "b" regresyon katsayılarının tespit edilebilmesi için Çizelge (6.2) hazırlanmıştır. Bu çizelgede "j" yenilenme periyotlarını, "f" ise frekansları temsil etmekte olup, Kümülatif Gumbel Dağılımları ve ayrıca Pearson-Bravais Korelasyon katsayısı (r) hesaplanmıştır.



Şekil 6.1 Sismotektonik yöre sınırları ve 1900-2000 yılları arasında meydana gelen depremler. ($M \geq 4$)

Çizelge 6.1 Yalova sismotektonik yöresinde 1900-2000 yılları arasında meydana gelen depremlerin yıllık maksimum magnitüd değerleri. (Richter'e göre)

SENE	ENLEM N	BOYLAM E	M	SENE	ENLEM N	BOYLAM E	M
1900			4,00	1952	41,02	28,14	4,90
1901			4,00	1953	40,28	28,53	5,30
1902			4,00	1954			4,00
1903			4,00	1955			4,00
1904			4,00	1956	41,00	30,20	5,00
1905	40,20	29,00	5,60	1957	40,67	31,00	7,10
1906			4,00	1958	40,49	30,69	4,40
1907	40,70	30,10	5,50	1959	40,50	29,41	4,60
1908			4,00	1960			4,00
1909			4,00	1961			4,00
1910			4,00	1962	40,75	28,84	4,30
1911			4,00	1963	40,77	29,12	6,30
1912			4,00	1964	40,30	28,23	7,00
1913			4,00	1965			4,00
1914			4,00	1966	40,74	30,74	4,20
1915			4,00	1967	40,67	30,69	7,20
1916			4,00	1968	40,83	30,53	4,50
1917			4,00	1969	40,50	28,40	4,30
1918			4,00	1970	40,00	30,90	5,00
1919	41,50	28,00	4,50	1971			4,00
1920			4,00	1972	40,41	28,73	4,30
1921			4,00	1973	40,36	29,88	4,20
1922			4,00	1974	40,50	28,94	4,30
1923	41,00	30,00	5,50	1975			4,00
1924	40,90	29,20	4,30	1976	40,36	28,89	4,00
1925	40,88	30,39	4,60	1977			4,00
1926	40,13	30,72	5,70	1978	40,20	29,60	4,30
1927			4,00	1979	40,30	29,26	4,30
1928	40,99	30,86	5,30	1980	40,27	30,83	4,20
1929			4,00	1981	40,15	28,74	4,90
1930			4,00	1982	40,14	28,89	4,40
1931			4,00	1983	40,14	29,35	4,90
1932	40,90	30,60	4,50	1984	40,67	30,27	4,00
1933			4,00	1985	40,70	29,01	4,20
1934			4,00	1986	40,89	28,35	4,10
1935			4,00	1987	40,42	28,46	4,40
1936			4,00	1988	40,88	28,24	5,00
1937			4,00	1989	40,43	29,15	4,10
1938			4,00	1990	41,31	29,35	4,00
1939			4,00	1991	40,80	28,82	4,80
1940	41,34	30,17	4,60	1992	40,20	28,35	4,90
1941	40,13	28,27	4,60	1993			4,00
1942			4,00	1994	40,35	29,98	4,00
1943	40,85	30,51	6,50	1995	40,22	29,64	4,20
1944			4,00	1996			4,00
1945			4,00	1997	40,70	30,42	4,10
1946			4,00	1998			4,00
1947			4,00	1999	40,76	29,97	7,40
1948	40,23	29,02	5,60	2000	40,79	30,23	4,50
1949	40,60	30,90	4,70				
1950			4,00				
1951	40,15	28,02	5,00				

Çizelge 6.2 Yalova Gumbel yıllık maksimum dağılımı analizi. (deprem olmayan yıllar için

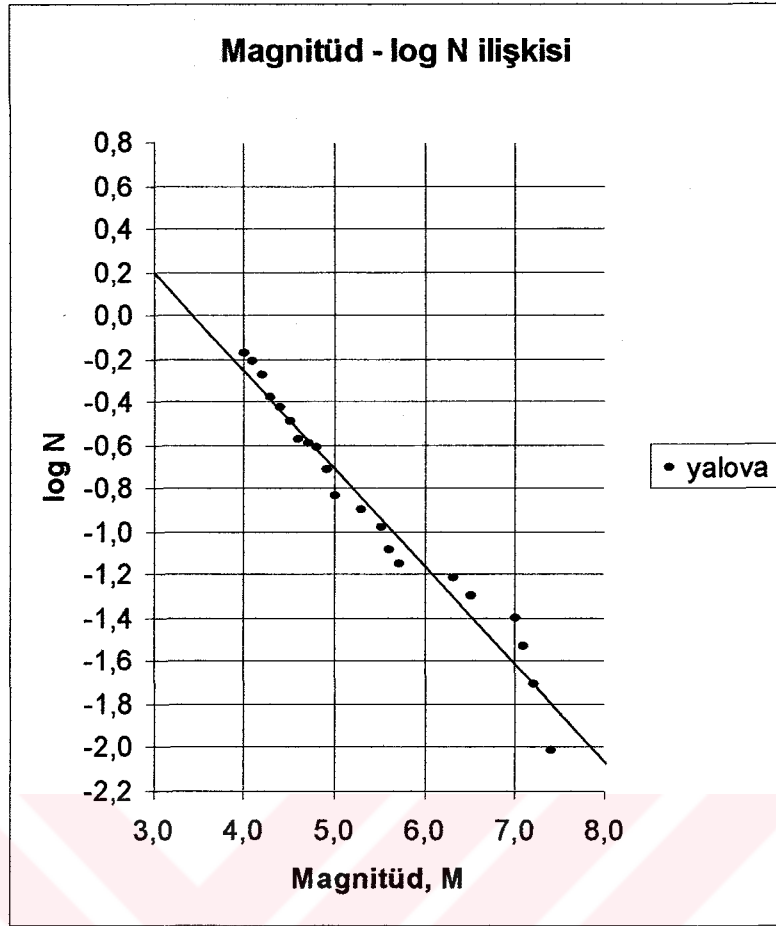
 $M_{\min} = 4$ kabul edilmiştir)

M	j	f = j/n+1	G(M)	N = -lnG	logN
4,00	52	0,51	0,51	0,673345	-0,17176
4,10	3	0,03	0,54	0,617276	-0,20952
4,20	5	0,05	0,59	0,530295	-0,27548
4,30	7	0,07	0,66	0,419982	-0,37677
4,40	3	0,03	0,69	0,376192	-0,42459
4,50	4	0,04	0,73	0,320637	-0,49399
4,60	4	0,04	0,76	0,268008	-0,57185
4,70	1	0,01	0,77	0,255272	-0,593
4,80	1	0,01	0,78	0,242696	-0,61494
4,90	4	0,04	0,82	0,193918	-0,71238
5,00	4	0,04	0,86	0,147409	-0,83148
5,30	2	0,02	0,88	0,124941	-0,9033
5,50	2	0,02	0,90	0,102967	-0,9873
5,60	2	0,02	0,92	0,081465	-1,08903
5,70	1	0,01	0,93	0,070885	-1,14944
6,30	1	0,01	0,94	0,060416	-1,21885
6,50	1	0,01	0,95	0,050056	-1,30055
7,00	1	0,01	0,96	0,039801	-1,4001
7,10	1	0,01	0,97	0,029651	-1,52796
7,20	1	0,01	0,98	0,019603	-1,70769
7,40	1	0,01	0,99	0,009654	-2,01528

Sonuçlar, daha önceki çalışmalar ile karşılaştırmalı olarak Çizelge (6.3)'de sunulmakta olup, Yalova çevresi sismotektonik yöresi için magnitüd-logN bağıntısı şekil (6.2)'de verilmektedir.

Çizelge 6.3 Yalova çevresi sismotektonik yöresi "a", "b" regresyon katsayıları ve Pearson-Bravais Korelasyon katsayıları.

SİSMOTEKTONİK YÖRE	a	b	r (%)
ANKARA	1,412	0,438	-0,98
İSTANBUL	2,133	0,521	-0,99
İZMİR	2,626	0,573	-0,98
YALOVA	1,552	0,452	-0,98



Şekil 6.2 Yalova çevresi sismotektonik yöresi Magnitüd – log N ilişkisi.

Yalova çevresi sismotektonik yöresi için probabilitate hesapları aşağıdaki adımlar izlenerek yapılmıştır.

- 1) Yıllık maksimum magnitüdlerin ortalaması.

$$\bar{M} = M_{\min} + (1/\beta) \quad (6.8)$$

- 2) En sık meydana gelen yıllık magnitüd. (Modal maksimum)

$$\bar{M}_{\max} = (\ln \alpha) / \beta \quad (T_r = 1) \quad (6.9)$$

- 3) İncelenen sismik tarihçe 101 senedir. $T_r = 101$ olan yani 101 sene içinde meydana gelebilecek maksimum magnitüd şu ifade ile hesaplanabilir. ($N=1$, $T_r=101$)

$$\log N = a - bM + \log T_r \quad (6.10)$$

$$M_{\max} = (a + \log T_r) / b$$

- 4) R (yıllık risk), seçilen "M" magnitüdünde veya daha büyük bir depremin 1 yıl içinde aşılabilme ihtimalidir. Bu değer, Gumbel dağılımının 1'den farkı olup,

$$R = 1 - G = 1 - e^{-\alpha \exp(-\beta M)} \quad (6.11)$$

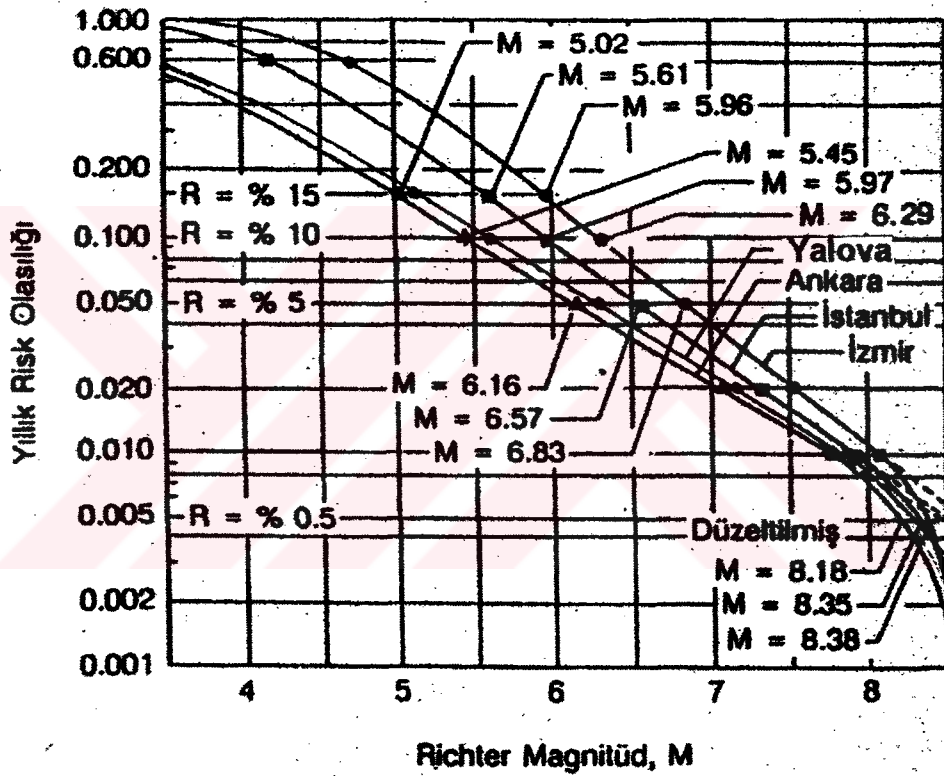
şeklinde ifade edilebilmektedir. Diğer taraftan, T_r -tekrarlama periyodu yıllık riskin tersi olup,

$$T_r = 1/R \quad (6.12)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Yıllık risk (R) değeri bilindiği takdirde, bu riske tekabül eden M (magnitüd değeri),

$$M = (1/\beta) \ln[\alpha / -\ln(1 - R)] \quad (6.13)$$

denklemleri ile ifade edilebilmektedir. Yalova ve diğer bölgeler için yıllık risk ve magnitüd değerleri şekil (6.3)'te karşılaştırmalı olarak sunulmaktadır.



Şekil 6.3 Magnitüd – Risk ilişkisi.

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 0.005 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 magnitüdlere karşılaştırmalı olarak Çizelge (6.4)'te verilmektedir.

Çizelge 6.4 Yıllık risk ve magnitüd değerleri.

YAPI CİNSLERİ	R	ANKARA BÖLGESİ	İSTANBUL BÖLGESİ	İZMİR BÖLGESİ	YALOVA BÖLGESİ
NORMAL YAPILAR	0,15	5,02	5,61	5,96	5,18
	0,1	5,45	5,97	6,29	5,60
ÖNEMLİ YAPILAR	0,05	6,16	6,57	6,83	6,29
	0,02	7,08	7,34	7,54	7,19
	0,01	7,77	7,93	8,07	7,86
NÜKLEER SANTRAL	0,005	8,18	8,35	8,38	8,53

6.4 Yalova Bölgesi İçin Maksimum İvme Önerileri

Tezcan (1988) tarafından açıklandığı üzere, 100 yıllık bir yapı ömrü içinde % 72 olasılıkla beklenen $M = 6.6$ 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 bağıntılar ile tahmin edilebilmektedir:

$$a = 1230 \cdot e^{0.8M} (R + 13)^{-2} \quad (6.14)$$

$$v = 15 \cdot e^M (R + 0.17 \cdot e^{0.59M})^{-1.7} \quad (6.15)$$

$$d = 15v^2 / a \quad (6.16)$$

Burada,

M = Deprem magnitüdü (Richter'e göre)

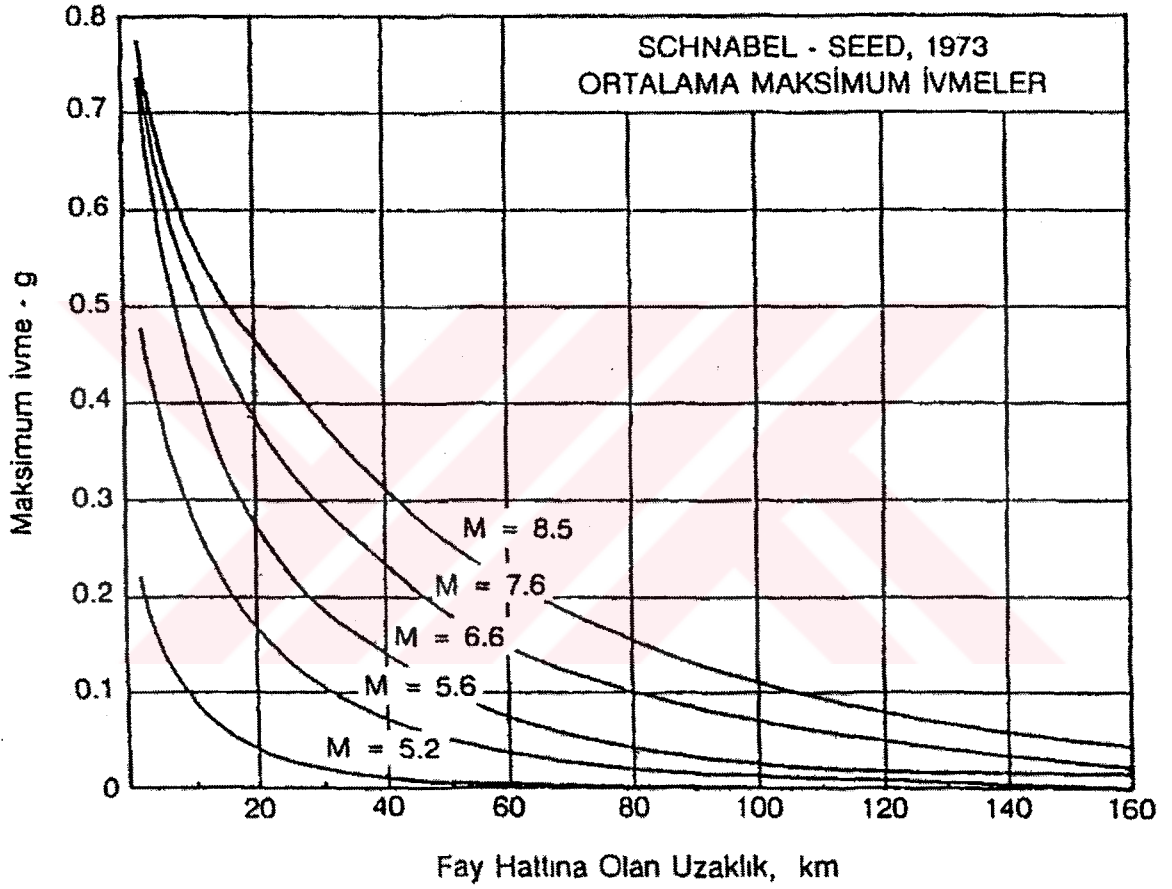
R = Episantr uzaklığı (km)

Şeklinde ifade edilmektedir.

Diğer taraftan, Schnabel ve Seed (1973) tarafından tavsiye edilen kayada ivme – mesafe eğrileri şekil (6.4)'de sunulmaktadır. Bu ivmeler kayma dalgası 700 m/sn ' den büyük zeminler için geçerlidir.

Bu bağıntılar vasıtasıyla Yalova çevresi sismotektonik yöresi için hesaplanan maksimum yer ivmeleri (1- Newmark-Rosenblueth, 2- Schnabel ve Seed), Çizelge 6.5a, 6.5b, 6.5c, 6.5d, 6.5e ve 6.5f' de farklı episantr uzaklıkları için diğer bölgelerle karşılaştırmalı olarak özetlenmiştir. Bu hesaplarda $g = 980.7 \text{ cm/sn}^2$ olarak kabul edilmiştir. Diğer taraftan, Yalova çevresi sismotektonik yöresi için maksimum yer ivmesinin episantr uzaklığı ile değişimi şekil (6.5)'de sunulmaktadır. Yumuşak zeminler için ivme büyültme analizleri tavsiye edilmektedir.

Newmark ve Rosenblueth (1971) tarafından açıklandığı üzere depremlerin birçoğu için ve pratik olarak zemin deplasmanları denklem (6.16)'da olduğu şekliyle 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 $ad/v^2=15$ şeklinde kabul edilmiş olup Çizelge (6.5)'de özetlenen magnitüd değerleri için hesaplanan zemin deplasman değerleri Çizelge 6.6a, 6.6b, 6.6c ve 6.6d'de sunulmaktadır. Aynı konuda 10 km'lik episantr mesafesi (R) için yapılan deplasman analizlerinde Yalova çevresi sismotektonik yöresinde $d > 200$ cm zemin deplasmanı değerleri tespit edilmiştir.



Şekil 6.4 Kayada ivme-mesafe eğrileri.

Diğer taraftan Yalova çevresi sismotektonik yöresi için hesaplanan,

- Yıllık maksimum magnitüdlerin ortalaması, $\bar{M}$
- En sık meydana gelen yıllık magnitüd (modal maksimum), $\bar{M}_{\max}$
- 101 yıl içinde meydana gelebilecek maksimum magnitüd, $M_{\max}$

değerleri ile yapılan analizler sonucunda bu magnitüd değerlerine tekabül eden zemin ivmesi ve zemin deplasmanı değerleri diğer bölgelerle karşılaştırmalı olarak Çizelge 6.7a, 6.7b, 6.7c ve 6.7d’de özetlenmiştir.



Çizelge 6.5 Yalova, Ankara, İstanbul ve İzmir bölgeleri yıllık risk, magnitüd ve ivme değerleri.

ÇİZELGE 6.5a		EPİSANTR UZAKLIĞI 20 KM											
YAPI CİNSLERİ	R	ANKARA BÖLGESİ			İSTANBUL BÖLGESİ			İZMİR BÖLGESİ			YALOVA BÖLGESİ		
		M	ZEMİN İVMESİ		M	ZEMİN İVMESİ		M	ZEMİN İVMESİ		M	ZEMİN İVMESİ	
			1	2		1	2		1	2		1	2
NORMAL YAPILAR	15	5,02	0,06 g	0,04 g	5,61	0,10 g	0,17 g	5,96	0,14 g	0,22 g	5,18	0,07 g	0,04 g
	10	5,45	0,09 g	0,11 g	5,97	0,14 g	0,22 g	6,29	0,18 g	0,25 g	5,60	0,10 g	0,17 g
ÖNEMLİ YAPILAR	5	6,16	0,16 g	0,23 g	6,57	0,22 g	0,27 g	6,83	0,27 g	0,30 g	6,29	0,18 g	0,24 g
	2	7,08	0,33 g	0,33 g	7,34	0,41 g	0,36 g	7,54	0,48 g	0,38 g	7,19	0,36 g	0,37 g
	1	7,77	0,58 g	0,41 g	7,93	0,66 g	0,42 g	8,07	0,73 g	0,42 g	7,86	0,62 g	0,42 g
NÜKLEER SANTRALLER	0,5	8,18	0,80 g	0,45 g	8,35	0,92 g	0,46 g	8,38	0,94 g	0,46 g	8,53	1,06 g	0,47 g

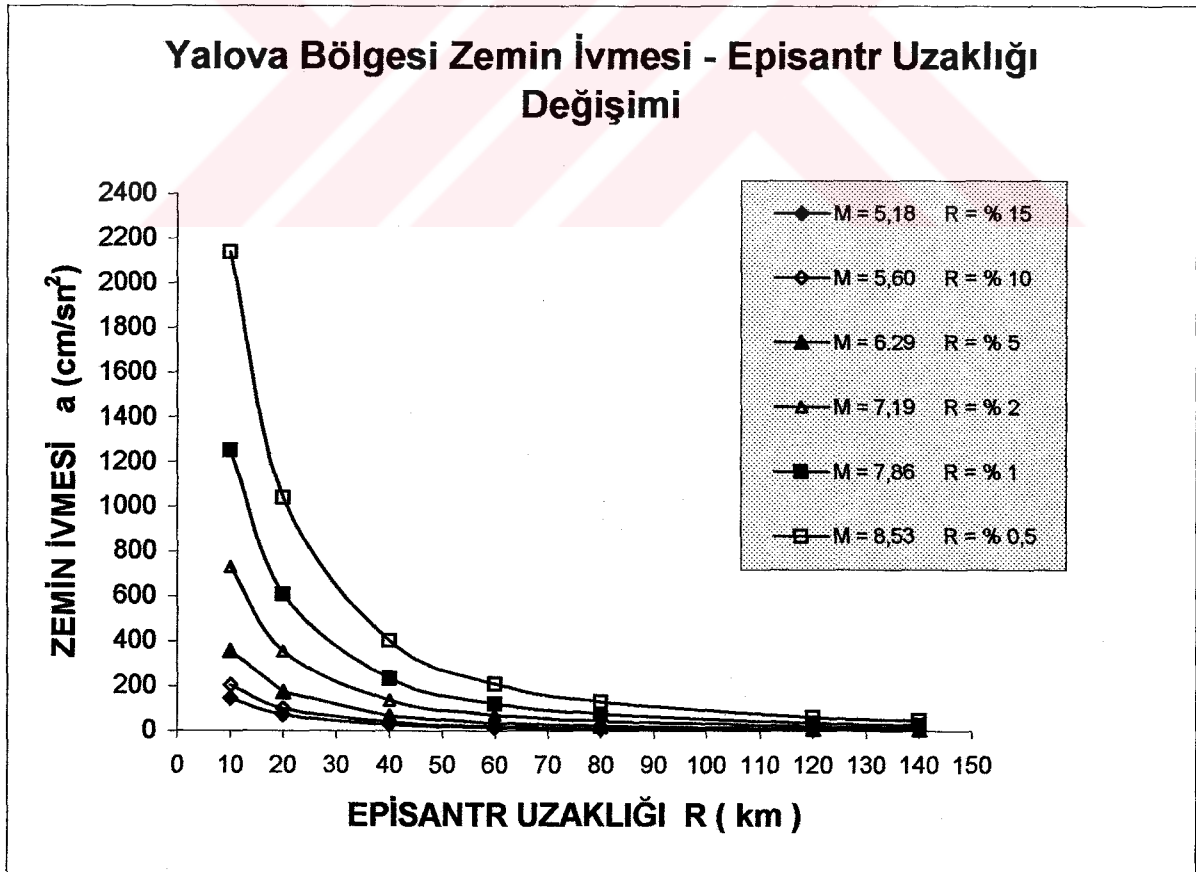
ÇİZELGE 6.5b		EPİSANTR UZAKLIĞI 40 KM											
YAPI CİNSLERİ	R	ANKARA BÖLGESİ			İSTANBUL BÖLGESİ			İZMİR BÖLGESİ			YALOVA BÖLGESİ		
		M	ZEMİN İVMESİ		M	ZEMİN İVMESİ		M	ZEMİN İVMESİ		M	ZEMİN İVMESİ	
			1	2		1	2		1	2		1	2
NORMAL YAPILAR	15	5,02	0,03 g	0,01 g	5,61	0,04 g	0,08 g	5,96	0,05 g	0,10 g	5,18	0,03 g	0,02 g
	10	5,45	0,04 g	0,05 g	5,97	0,05 g	0,10 g	6,29	0,07 g	0,12 g	5,60	0,04 g	0,08 g
ÖNEMLİ YAPILAR	5	6,16	0,06 g	0,12 g	6,57	0,09 g	0,14 g	6,83	0,11 g	0,17 g	6,29	0,07 g	0,13 g
	2	7,08	0,13 g	0,18 g	7,34	0,16 g	0,21 g	7,54	0,19 g	0,22 g	7,19	0,14 g	0,20 g
	1	7,77	0,22 g	0,25 g	7,93	0,25 g	0,27 g	8,07	0,28 g	0,28 g	7,86	0,24 g	0,26 g
NÜKLEER SANTRALLER	0,5	8,18	0,31 g	0,28 g	8,35	0,35 g	0,30 g	8,38	0,36 g	0,30 g	8,53	0,41 g	0,32 g

ÇİZELGE 6.5c		EPİSANTR UZAKLIĞI 60 KM												
YAPI CİNSLERİ	R	ANKARA BÖLGESİ				İSTANBUL BÖLGESİ			İZMİR BÖLGESİ			YALOVA BÖLGESİ		
		M	ZEMİN İVMESİ		M	ZEMİN İVMESİ		M	ZEMİN İVMESİ		M	ZEMİN İVMESİ		
			1	2		1	2		1	2		1	2	
NORMAL YAPILAR	15	5,02	0,01 g	0,01 g	5,61	0,02 g	0,04 g	5,96	0,03 g	0,05 g	5,18	0,01 g	0,01 g	
	10	5,45	0,02 g	0,02 g	5,97	0,03 g	0,05 g	6,29	0,04 g	0,07 g	5,60	0,02 g	0,04 g	
ÖNEMLİ YAPILAR	5	6,16	0,03 g	0,06 g	6,57	0,05 g	0,08 g	6,83	0,06 g	0,10 g	6,29	0,04 g	0,07 g	
	2	7,08	0,07 g	0,11 g	7,34	0,08 g	0,12 g	7,54	0,10 g	0,14 g	7,19	0,07 g	0,12 g	
	1	7,77	0,12 g	0,16 g	7,93	0,13 g	0,18 g	8,07	0,15 g	0,20 g	7,86	0,13 g	0,17 g	
NÜKLEER SANTRALLER	0,5	8,18	0,16 g	0,20 g	8,35	0,18 g	0,21 g	8,38	0,19 g	0,21 g	8,53	0,22 g	0,22 g	

ÇİZELGE 6.5d		EPİSANTR UZAKLIĞI 80 KM											
YAPI CİNSLERİ	R	ANKARA BÖLGESİ			İSTANBUL BÖLGESİ			İZMİR BÖLGESİ			YALOVA BÖLGESİ		
		M	ZEMİN İVMESİ		M	ZEMİN İVMESİ		M	ZEMİN İVMESİ		M	ZEMİN İVMESİ	
			1	2		1	2		1	2		1	2
NORMAL YAPILAR	15	5,02	0,008 g	0,004 g	5,61	0,012 g	0,025 g	5,96	0,017 g	0,030 g	5,18	0,009 g	0,005 g
	10	5,45	0,011 g	0,010 g	5,97	0,017 g	0,030 g	6,29	0,022 g	0,035 g	5,60	0,013 g	0,029 g
ÖNEMLİ YAPILAR	5	6,16	0,020 g	0,032 g	6,57	0,028 g	0,040 g	6,83	0,034 g	0,070 g	6,29	0,032 g	0,038 g
	2	7,08	0,042 g	0,075 g	7,34	0,051 g	0,090 g	7,54	0,060 g	0,095 g	7,19	0,046 g	0,077 g
	1	7,77	0,073 g	0,120 g	7,93	0,083 g	0,125 g	8,07	0,092 g	0,135 g	7,86	0,078 g	0,122 g
NÜKLEER SANTRALLER	0,5	8,18	0,100 g	0,135 g	8,35	0,115 g	0,150 g	8,38	0,118 g	0,155 g	8,53	0,133 g	0,165 g

ÇİZELGE 6.5e		EPİSANTR UZAKLIĞI 120 KM											
YAPI CİNSLERİ	R	ANKARA BÖLGESİ			İSTANBUL BÖLGESİ			İZMİR BÖLGESİ			YALOVA BÖLGESİ		
		M	ZEMİN İVMESİ		M	ZEMİN İVMESİ		M	ZEMİN İVMESİ		M	ZEMİN İVMESİ	
			1	2		1	2		1	2		1	2
NORMAL YAPILAR	15	5,02	0,004 g	0,001 g	5,61	0,006 g	0,023 g	5,96	0,008 g	0,025 g	5,18	0,004 g	0,002 g
	10	5,45	0,006 g	0,010 g	5,97	0,008 g	0,025 g	6,29	0,011 g	0,026 g	5,60	0,006 g	0,015 g
ÖNEMLİ YAPILAR	5	6,16	0,010 g	0,026 g	6,57	0,014 g	0,027 g	6,83	0,017 g	0,035 g	6,29	0,011 g	0,026 g
	2	7,08	0,020 g	0,037 g	7,34	0,025 g	0,047 g	7,54	0,030 g	0,050 g	7,19	0,022 g	0,040 g
	1	7,77	0,036 g	0,060 g	7,93	0,040 g	0,072 g	8,07	0,045 g	0,075 g	7,86	0,038 g	0,071 g
NÜKLEER SANTRALLER	0,5	8,18	0,049 g	0,075 g	8,35	0,056 g	0,080 g	8,38	0,058 g	0,085 g	8,53	0,065 g	0,088 g

ÇİZELGE 6.5f		EPİSANTR UZAKLIĞI 140 KM											
YAPI CİNSLERİ	R	ANKARA BÖLGESİ			İSTANBUL BÖLGESİ			İZMİR BÖLGESİ			YALOVA BÖLGESİ		
		M	ZEMİN İVMESİ		M	ZEMİN İVMESİ		M	ZEMİN İVMESİ		M	ZEMİN İVMESİ	
			1	2		1	2		1	2		1	2
NORMAL YAPILAR	15	5,02	0,003 g	0,000 g	5,61	0,005 g	0,010 g	5,96	0,006 g	0,023 g	5,18	0,003 g	0,000 g
	10	5,45	0,004 g	0,002 g	5,97	0,006 g	0,023 g	6,29	0,008 g	0,025 g	5,60	0,005 g	0,002 g
ÖNEMLİ YAPILAR	5	6,16	0,007 g	0,025 g	6,57	0,010 g	0,025 g	6,83	0,012 g	0,030 g	6,29	0,008 g	0,025 g
	2	7,08	0,015 g	0,035 g	7,34	0,019 g	0,040 g	7,54	0,022 g	0,048 g	7,19	0,017 g	0,037 g
	1	7,77	0,027 g	0,050 g	7,93	0,030 g	0,050 g	8,07	0,034 g	0,055 g	7,86	0,029 g	0,050 g
NÜKLEER SANTRALLER	0,5	8,18	0,037 g	0,057 g	8,35	0,043 g	0,059 g	8,38	0,044 g	0,065 g	8,53	0,049 g	0,070 g



Şekil 6.5 Yalova bölgesi zemin ivmesi - episantr uzaklığı değişimi.

Çizelge 6.6 Zemin deplasmanları.

Çizelge 6.6a Zemin Deplasmanları (yıllık risk R = % 15)							
SİSMO TEKTONİK YÖRE	M	ZEMİN DEPLASMANI, d (cm)					
		EPİSANTR UZAKLIĞI (YILLIK RİSK R = % 15)					
		20 km	40 km	60 km	80 km	120 km	140 km
ANKARA	5,02	27,8	8,7	4,5	2,9	1,6	1,2
İSTANBUL	5,61	46,4	15,9	8,6	5,6	3	2,4
İZMİR	5,96	61,3	22,4	13,8	8,1	4,5	3,6
YALOVA	5,18	31,8	10,3	5,4	3,5	1,9	1,5

Çizelge 6.6b Zemin Deplasmanları (yıllık risk R = % 10)							
SİSMO TEKTONİK YÖRE	M	ZEMİN DEPLASMANI, d (cm)					
		EPİSANTR UZAKLIĞI (YILLIK RİSK R = % 10)					
		20 km	40 km	60 km	80 km	120 km	140 km
ANKARA	5,45	40,6	13,5	7,2	4,7	2,5	2,1
İSTANBUL	5,97	61,6	22,5	12,4	8,2	4,5	3,6
İZMİR	6,29	77,5	30,1	17,2	11,4	6,5	5,2
YALOVA	5,60	46	15,7	8,5	5,5	3	2,4

Çizelge 6.6c Zemin Deplasmanları (yıllık risk R = % 5)							
SİSMO TEKTONİK YÖRE	M	ZEMİN DEPLASMANI, d (cm)					
		EPİSANTR UZAKLIĞI (YILLIK RİSK R = % 5)					
		20 km	40 km	60 km	80 km	120 km	140 km
ANKARA	6,16	70,6	26,8	15,1	10	5,6	4,5
İSTANBUL	6,57	92,8	38,6	22,7	15,3	8,8	7,1
İZMİR	6,83	108,3	48,1	28,6	19,8	11,6	9,5
YALOVA	6,29	77,5	30,3	17,2	11,5	6,5	5,2

Çizelge 6.6d Zemin Deplasmanları (yıllık risk R = % 0,5)							
SİSMO TEKTONİK YÖRE	M	ZEMİN DEPLASMANI, d (cm)					
		EPİSANTR UZAKLIĞI (YILLIK RİSK R = % 0,5)					
		20 km	40 km	60 km	80 km	120 km	140 km
ANKARA	8,18	176,8	118,8	86,2	66,3	43,6	36,8
İSTANBUL	8,35	181,1	129	96,4	75,4	50,8	43,4
İZMİR	8,38	181,9	130,8	98,1	77	51,8	43,9
YALOVA	8,53	184,2	139,4	107,6	85,8	59,2	50,6

Çizelge 6.7 Bölgelerin zemin deplasman analizleri.

Çizelge 6.7a Yalova Bölgesi Zemin Deplasman Analizleri						
EPİSANTR UZAKLIĞI, R	$\bar{M} = 4,96$		$\bar{M}_{\max} = 3,43$		Mmax = 7,87	
	A	d (cm)	a	d (cm)	a	d (cm)
20	0,061 g	26,3	0,018 g	5,6	0,625 g	165,5
40	0,024 g	8,2	0,007 g	1,5	0,242 g	100,3
60	0,012 g	4,2	0,004 g	0,8	0,128 g	69,1
80	0,008 g	2,7	0,002 g	0,5	0,079 g	51,5
120	0,004 g	1,5	0,0011 g	0,24	0,038 g	32,8
140	0,003 g	1,2	0,0008 g	0,19	0,029 g	27,3

Çizelge 6.7b İstanbul Bölgesi Zemin Deplasman Analizleri						
EPİSANTR UZAKLIĞI, R	$\bar{M} = 4,83$		$\bar{M}_{\max} = 4,09$		Mmax = 7,92	
	A	d (cm)	a	d (cm)	a	d (cm)
20	0,055 g	23,3	0,030 g	11,2	0,650 g	167,5
40	0,021 g	7,1	0,012 g	2,4	0,280 g	93,3
60	0,011 g	3,7	0,006 g	1,6	0,133 g	71,9
80	0,007 g	2,3	0,004 g	1	0,082 g	54
120	0,003 g	1,3	0,002 g	0,5	0,040 g	34,4
140	0,002 g	1	0,001 g	0,4	0,030 g	28,6

Çizelge 6.7c Ankara Bölgesi Zemin Deplasman Analizleri						
EPİSANTR UZAKLIĞI, R	$\bar{M} = 4,49$		$\bar{M}_{\max} = 3,22$		Mmax = 7,78	
	A	d (cm)	a	d (cm)	a	d (cm)
20	0,042 g	16,8	0,015 g	4,5	0,581 g	161,3
40	0,016 g	4,9	0,006 g	1,2	0,225 g	94,9
60	0,009 g	2,5	0,003 g	0,6	0,119 g	64,6
80	0,005 g	1,6	0,002 g	0,4	0,073 g	47,6
120	0,003 g	0,8	0,001 g	0,2	0,036 g	30,2
140	0,002 g	0,7	0,001 g	0,1	0,027 g	25

Çizelge 6.7d İzmir Bölgesi Zemin Deplasman Analizleri						
EPİSANTR UZAKLIĞI, R	$\bar{M} = 4,76$		$\bar{M}_{\max} = 4,58$		Mmax = 8,07	
	A	d (cm)	a	d (cm)	a	d (cm)
20	0,052 g	21,8	0,045 g	18,2	0,733 g	173,3
40	0,020 g	6,6	0,017 g	5,4	0,284 g	112,3
60	0,011 g	3,4	0,009 g	2,8	0,150 g	80,1
80	0,007 g	2,2	0,006 g	1,8	0,092 g	60,5
120	0,003 g	1,2	0,003 g	0,9	0,045 g	39,5
140	0,002 g	1	0,002 g	0,8	0,034 g	33,2

7. SONUÇLARIN İSTİNAT DUVARLARINA ETKİSİ

7.1 Giriş

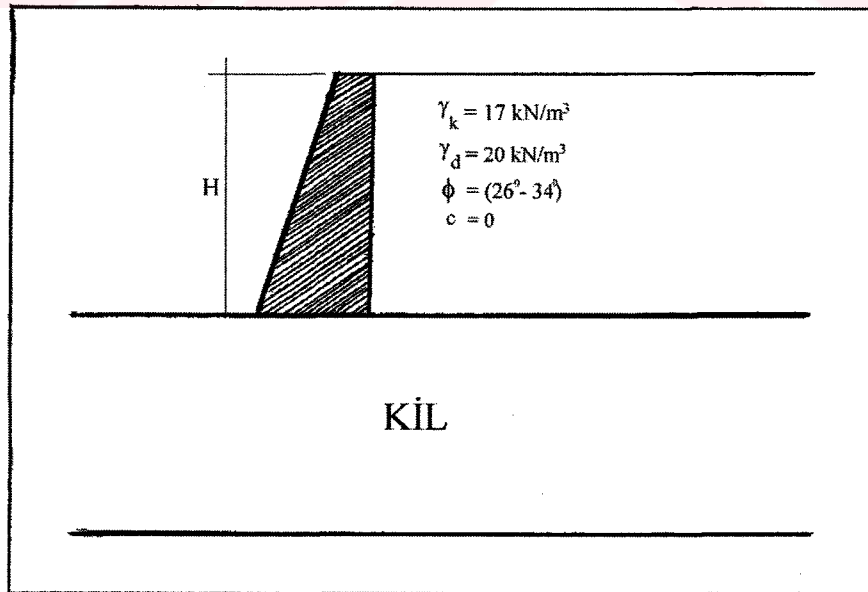
Bu bölümde Yalova sismotektonik yöresinde yapılan deprem risk analizi sonuçları, yapılan araştırmaya ışık tutması ve sonuçlarının gözlenebilmesi açısından basit bir istinat duvarı uygulaması üzerinde irdelenecektir.

Uygulama için şekil (7.1)'de görülen basit bir istinat duvarı seçilmiş ve hesaplamaların yapılabilmesi için gerekli zemin parametreleri yine aynı şekil üzerinde verilmiştir.

Hesaplamalarda istinat duvarı ile duvar arkasındaki zemin arasında sürtünmenin olmadığı, duvar altındaki kilin geçirimsiz olduğu ve drenajın olmadığı kabulleri yapılmış, statik etkinin yanı sıra dinamik etkiyi de göz önüne alan Mononobe-Okabe denklemi kullanılmıştır. Mononobe-Okabe denkleminde, Yalova Bölgesi için yapılan deprem risk analizi sonucunda değişik episantr uzaklıkları ve farklı yıllık risk (R) oranları için hesaplanan maksimum ivme değerleri kullanılmıştır.

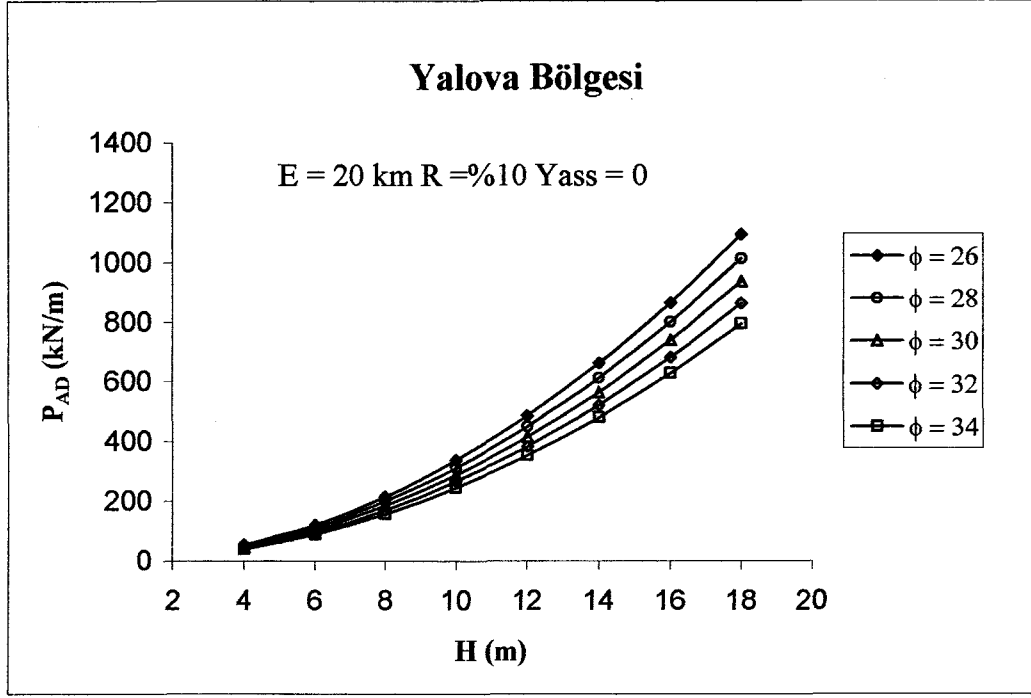
Bu hesaplamalar sonucunda istinat duvarına değişik parametreler altında etki eden aktif zemin basıncı P_{AD} (deprem + statik) ve deprem sonucu gelen ek basınç P_D (deprem) değerleri bulunmuştur.

Bölüm 7.2'de ise yapılan hesaplamaların sonuçları, değişik Φ açısı (içsel sürtünme açısı) ve farklı H (istinat duvarının yüksekliği) yükseklikleri için grafiklerle yardımıyla özetlenmiştir.

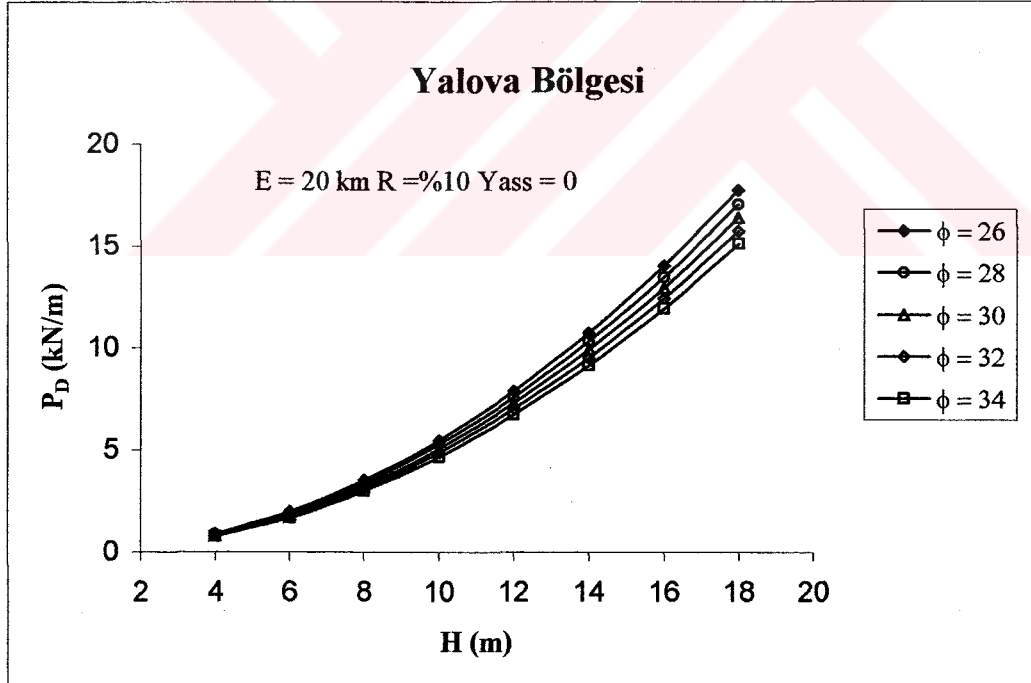


Şekil 7.1 Basit bir istinat duvarı.

7.2 Sonuç Grafikleri

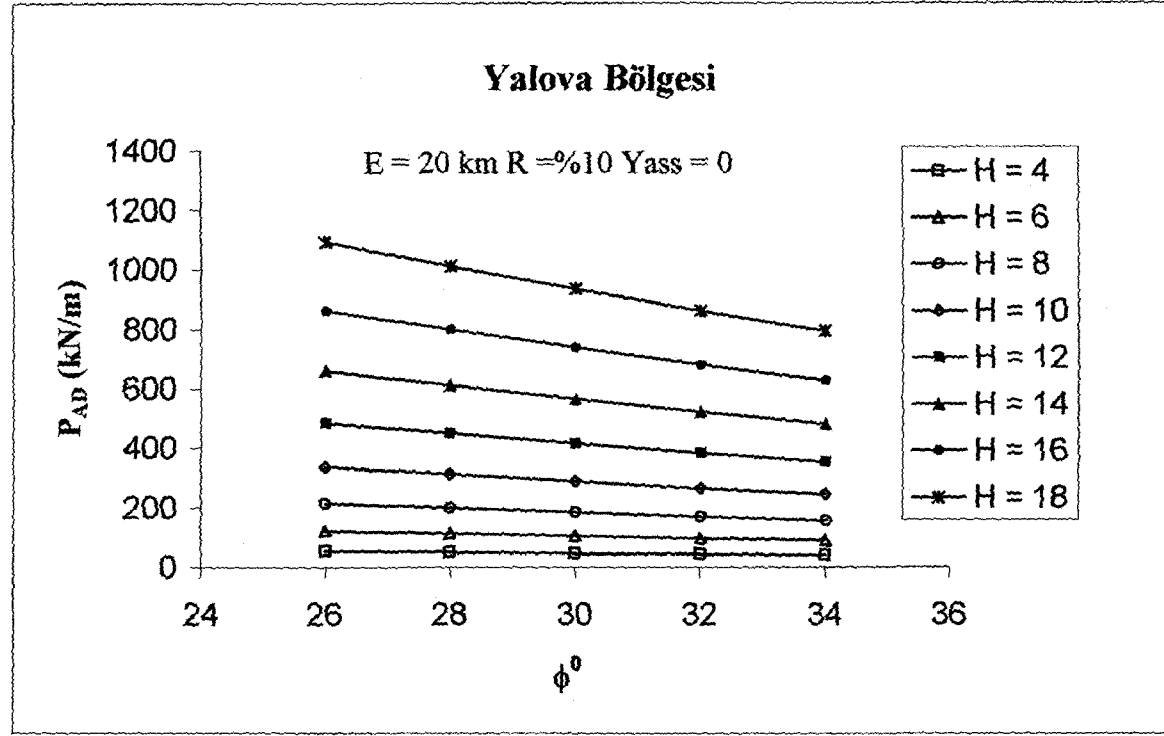
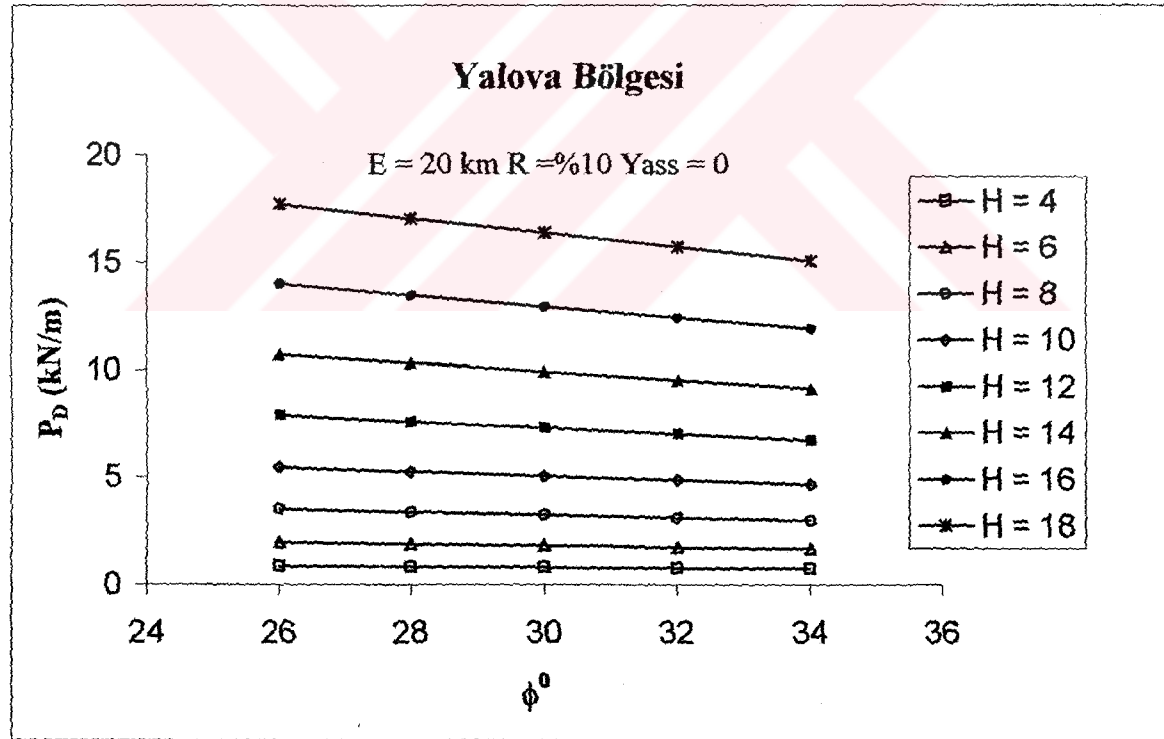


Şekil 7.2 Farklı ϕ değerleri için P_{AD} - H değişimi. (legend ϕ)

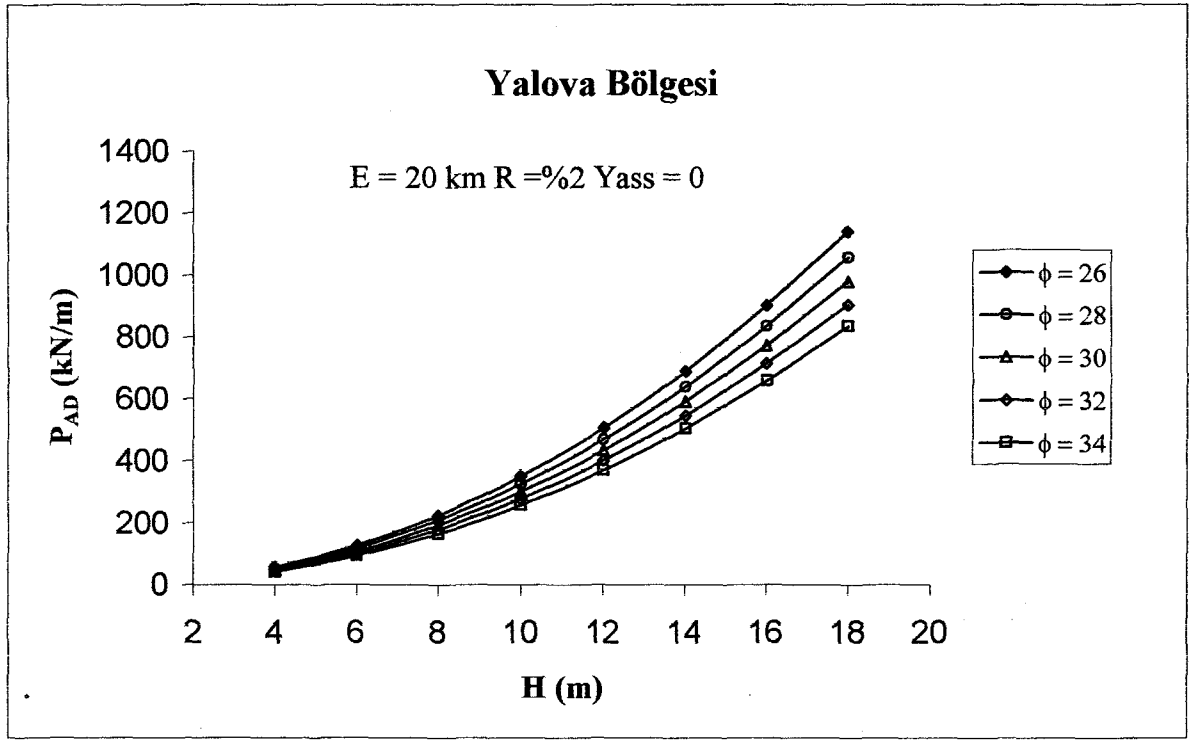


Şekil 7.3 Farklı ϕ değerleri için P_D - H değişimi. (legend ϕ)

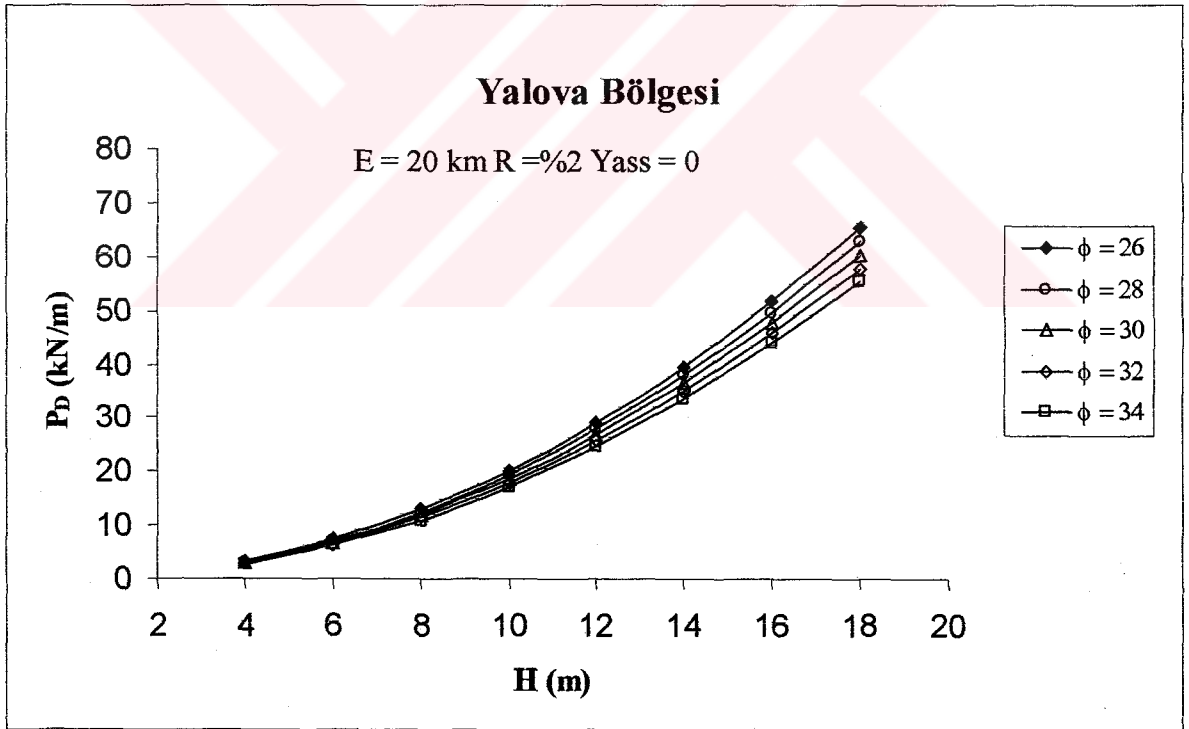
Yukarıdaki şekillerde zeminin kuru olduğu durumda, yıllık risk oranı $R = \%10$ (normal yapılar) için olası bir depremin episantr uzaklığının 20 km olması halinde, istinat duvarına gelen aktif zemin basıncı P_{AD} (statik + deprem) ve deprem yükü P_D 'nin H istinat duvarının yüksekliği ile değişimi farklı ϕ açıları için verilmiştir. (Şekil 7.2 ve 7.3)

Şekil 7.4 Farklı H değerleri için $P_{AD} - \phi$ değişimi. (legend H)Şekil 7.5 Farklı H değerleri için $P_D - \phi$ değişimi. (legend H)

Yukarıdaki şekillerde zeminin kuru olduğu durumda, yıllık risk oranı $R = \%10$ (normal yapılar) için olası bir depremin episantr uzaklığının 20 km olması halinde, istinat duvarına gelen aktif zemin basıncı P_{AD} (statik + deprem) ve deprem yükü P_D 'nin zeminin ϕ içsel sürtünme açısı ile ilişkisi farklı H yükseklikleri için verilmiştir. (Şekil 7.4 ve 7.5)

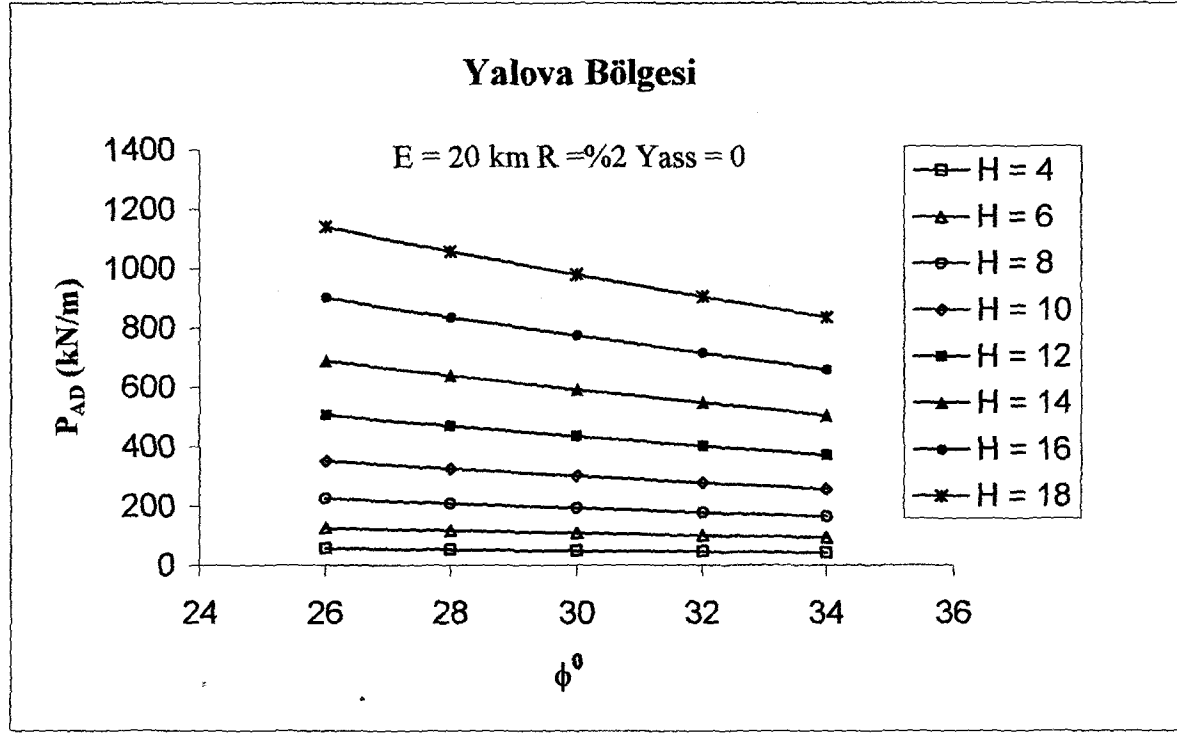


Şekil 7.6 Farklı ϕ değerleri için P_{AD} - H değişimi. (legend ϕ)

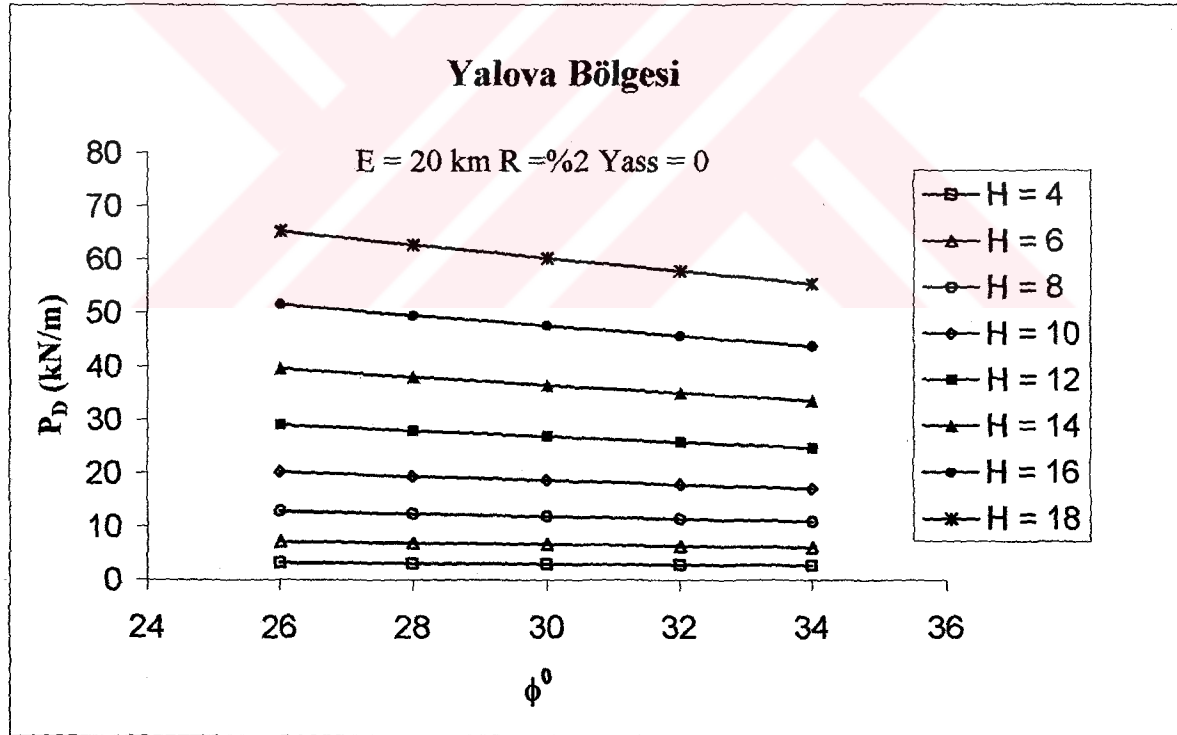


Şekil 7.7 Farklı ϕ değerleri için P_D - H değişimi. (legend ϕ)

Yukarıdaki şekillerde zeminin kuru olduğu durumda, yıllık risk oranı $R = \%2$ (önemli yapılar) için olası bir depremin episantr uzaklığının 20 km olması halinde, istinat duvarına gelen aktif zemin basıncı P_{AD} (statik + deprem) ve deprem yükü P_D 'nin H istinat duvarının yüksekliği ile değişimi farklı ϕ açıları için verilmiştir. (Şekil 7.6 ve 7.7)

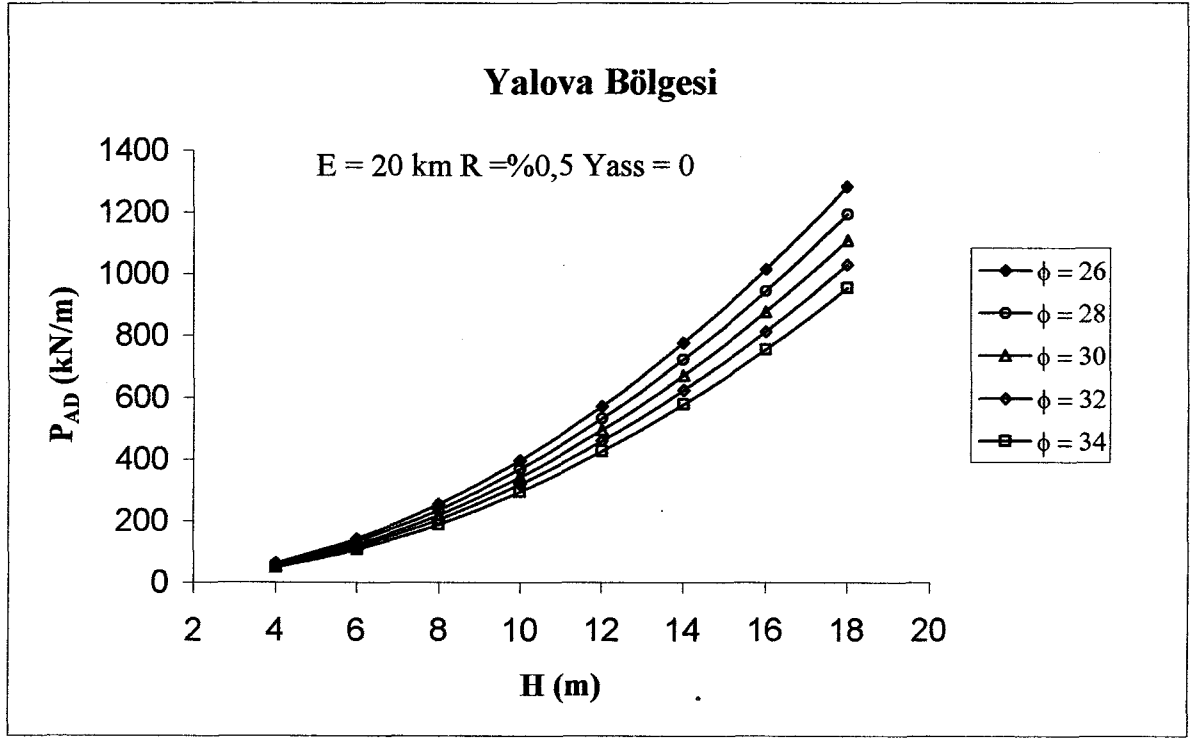


Şekil 7.8 Farklı H değerleri için $P_{AD} - \phi$ değişimi. (legend H)

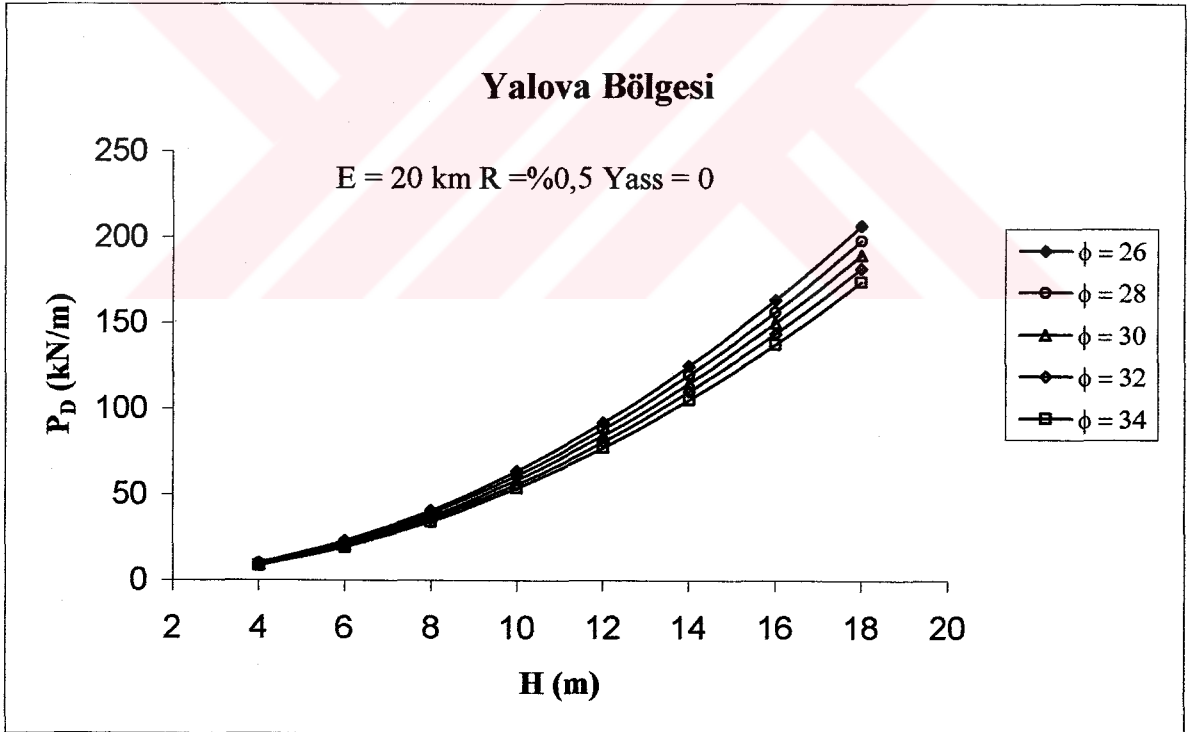


Şekil 7.9 Farklı H değerleri için $P_D - \phi$ değişimi. (legend H)

Yukarıdaki şekillerde zeminin kuru olduğu durumda, yıllık risk oranı $R = \%2$ (önemli yapılar) için olası bir depremin episantr uzaklığının 20 km olması halinde, istinat duvarına gelen aktif zemin basıncı P_{AD} (statik + deprem) ve deprem yükü P_D 'nin zeminin ϕ içsel sürtünme açısı ile ilişkisi farklı H yükseklikleri için verilmiştir. (Şekil 7.8 ve 7.9)

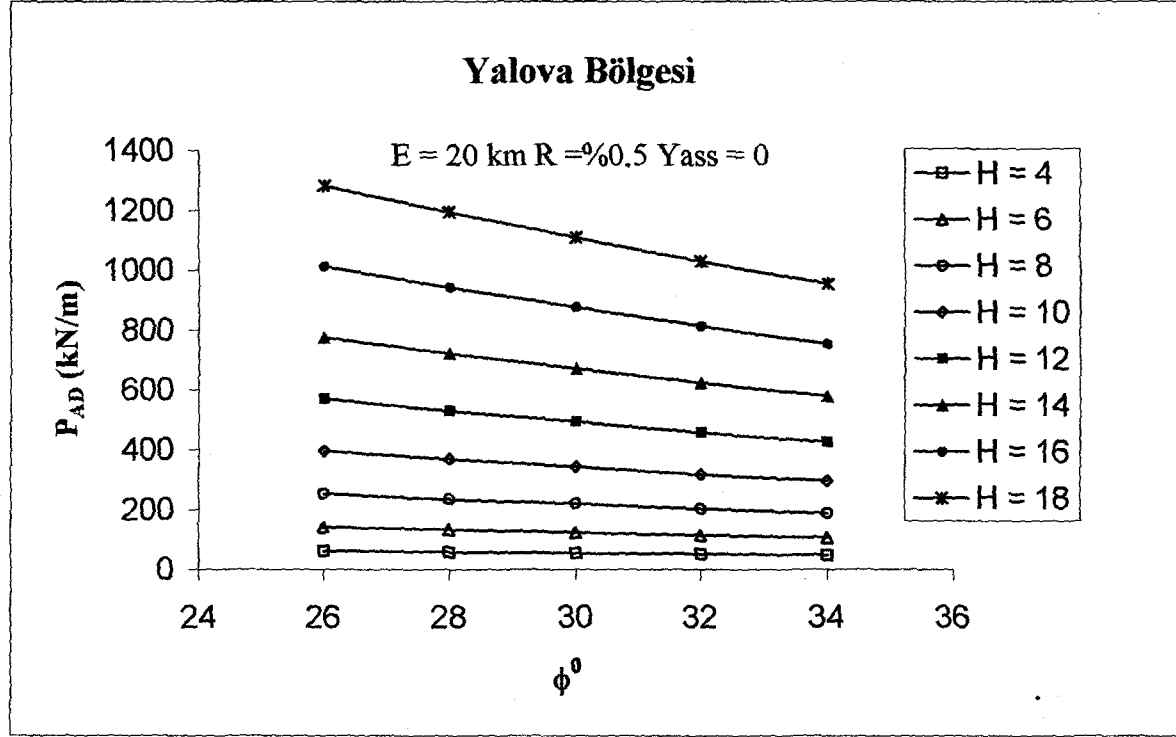


Şekil 7.10 Farklı ϕ değerleri için P_{AD} - H değişimi. (legend ϕ)

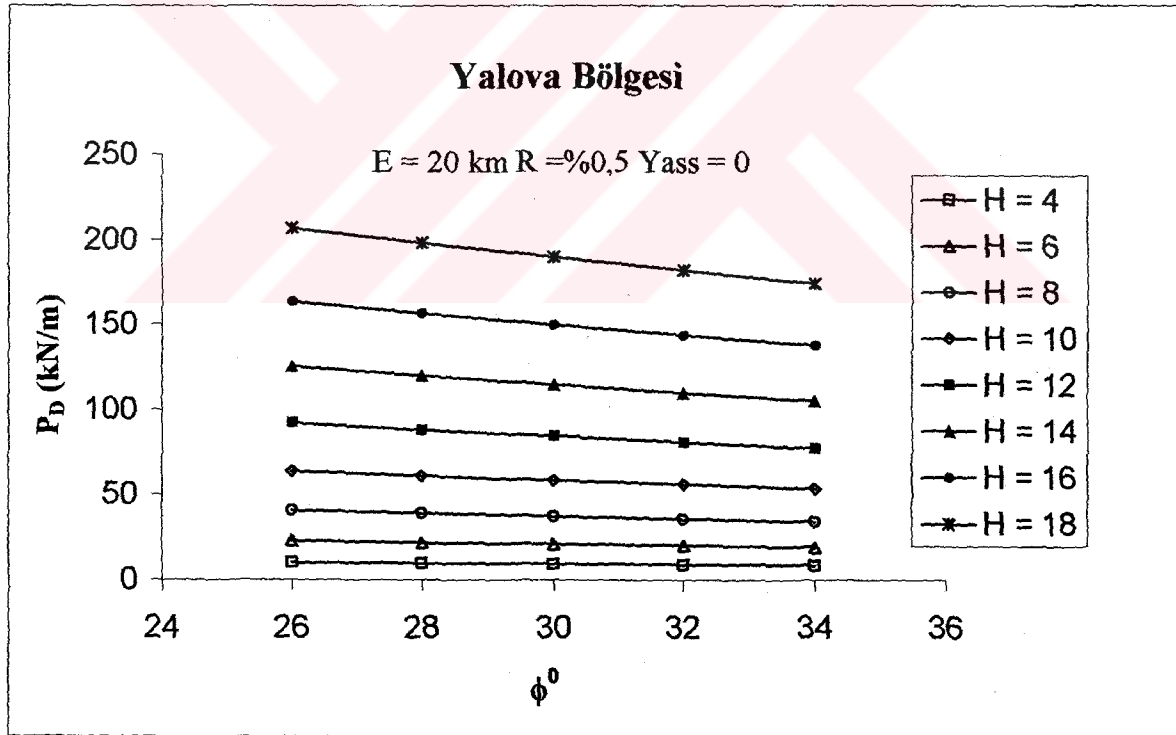


Şekil 7.11 Farklı ϕ değerleri için P_D - H değişimi. (legend ϕ)

Yukarıdaki şekillerde zeminin kuru olduğu durumda, yıllık risk oranı $R = \%0,5$ (nükleer santraller) için olası bir depremin episantr uzaklığının 20 km olması halinde, istinat duvarına gelen aktif zemin basıncı P_{AD} (statik + deprem) ve deprem yükü P_D 'nin H istinat duvarının yüksekliği ile değişimi farklı ϕ açıları için verilmiştir. (Şekil 7.10 ve 7.11)

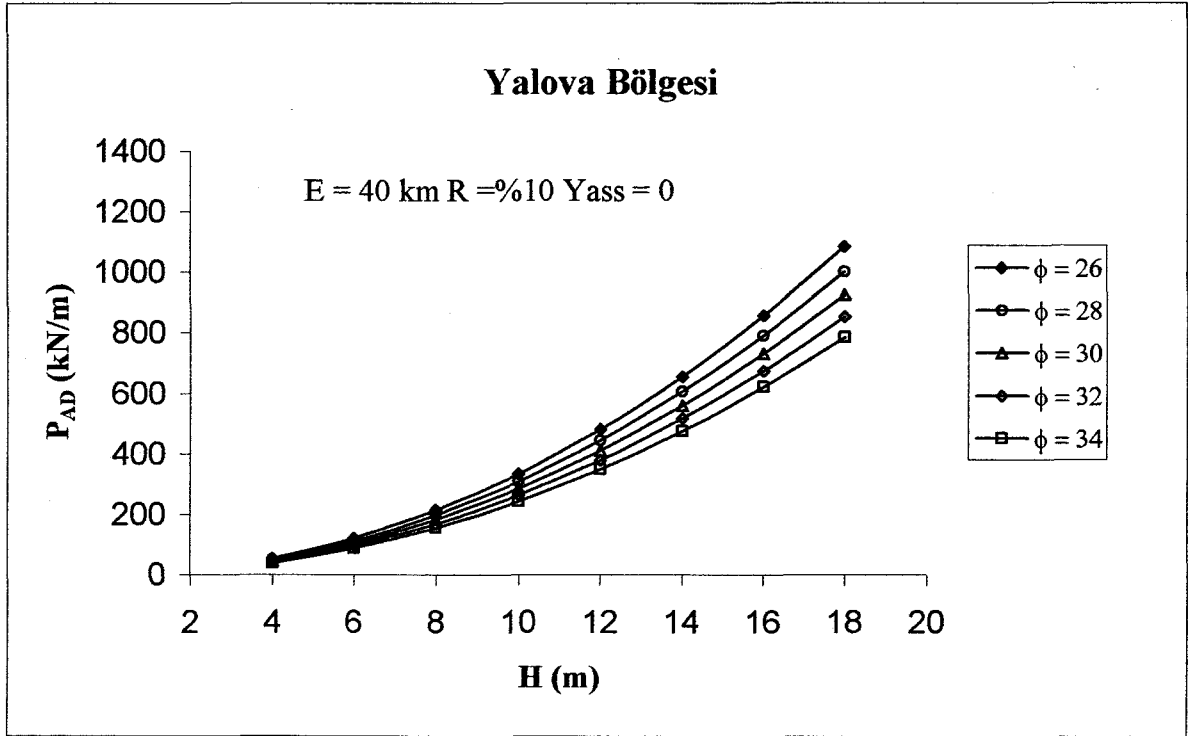


Şekil 7.12 Farklı H değerleri için $P_{AD} - \phi$ değişimi. (legend H)

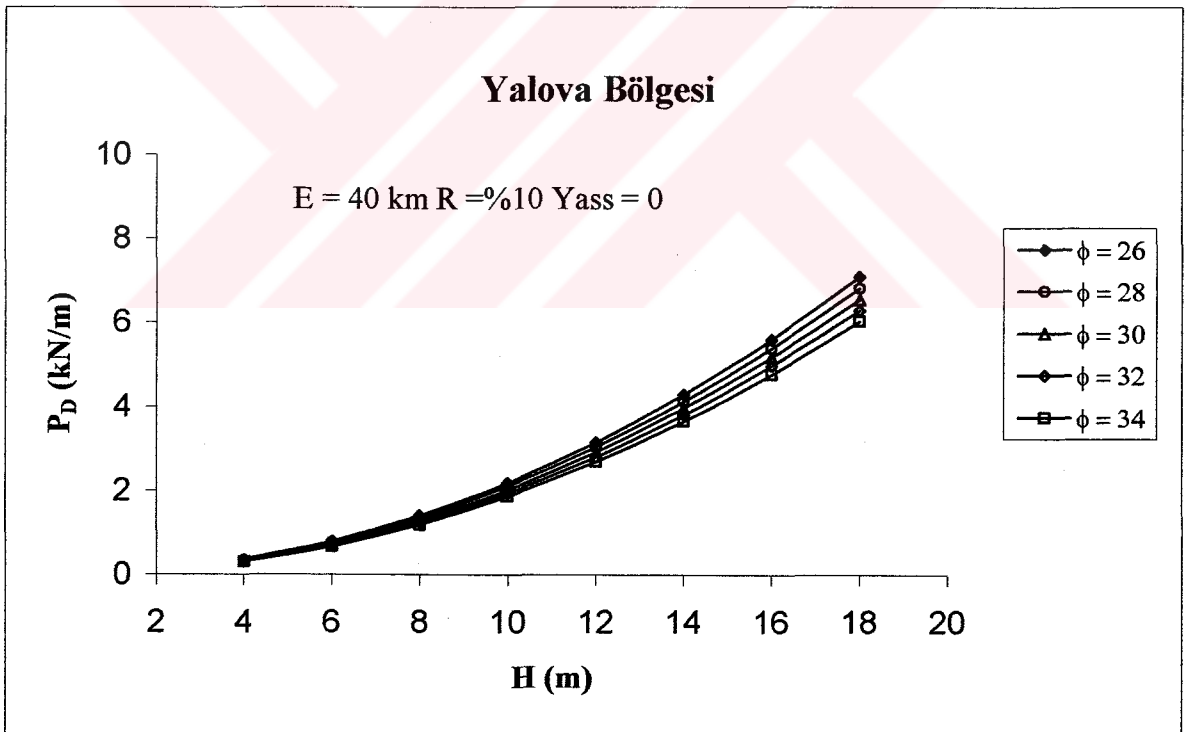


Şekil 7.13 Farklı H değerleri için $P_D - \phi$ değişimi. (legend H)

Yukarıdaki şekillerde zeminin kuru olduğu durumda, yıllık risk oranı $R = \%0,5$ (nükleer santraller) için olası bir depremin episantr uzaklığının 20 km olması halinde, istinat duvarına gelen aktif zemin basıncı P_{AD} (statik + deprem) ve deprem yükü P_D 'nin zeminin ϕ içsel sürtünme açısı ile ilişkisi farklı H yükseklikleri için verilmiştir. (Şekil 7.12 ve 7.13)

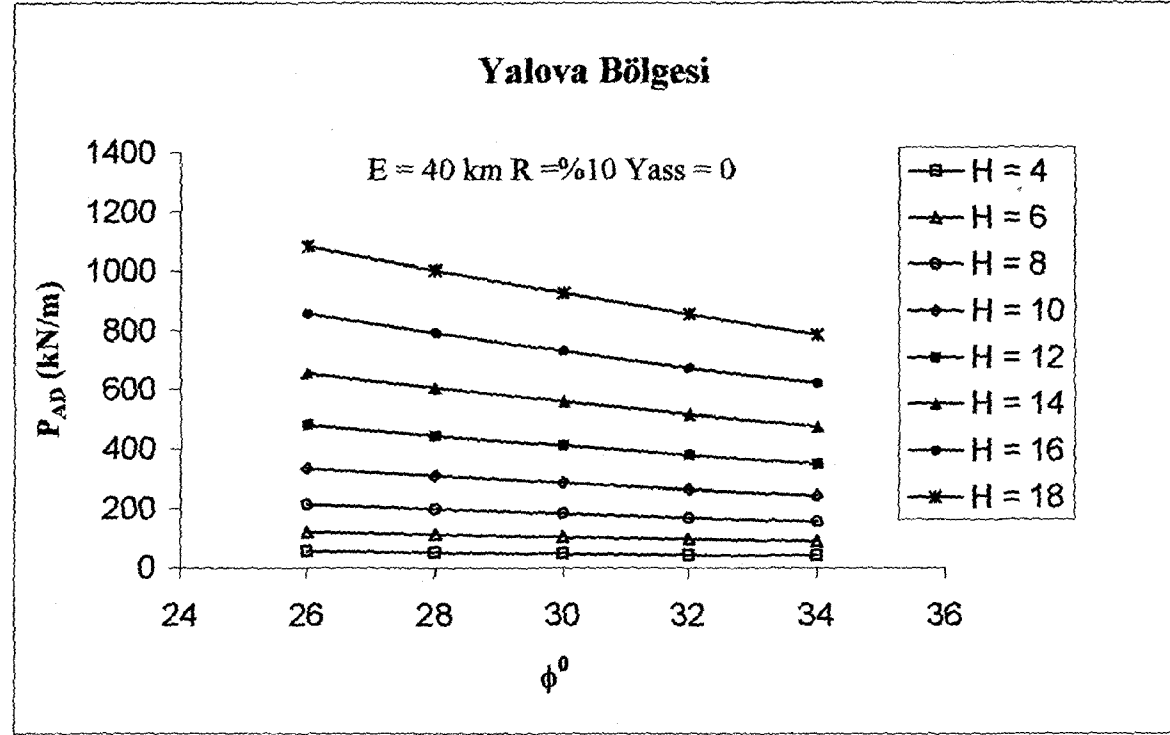
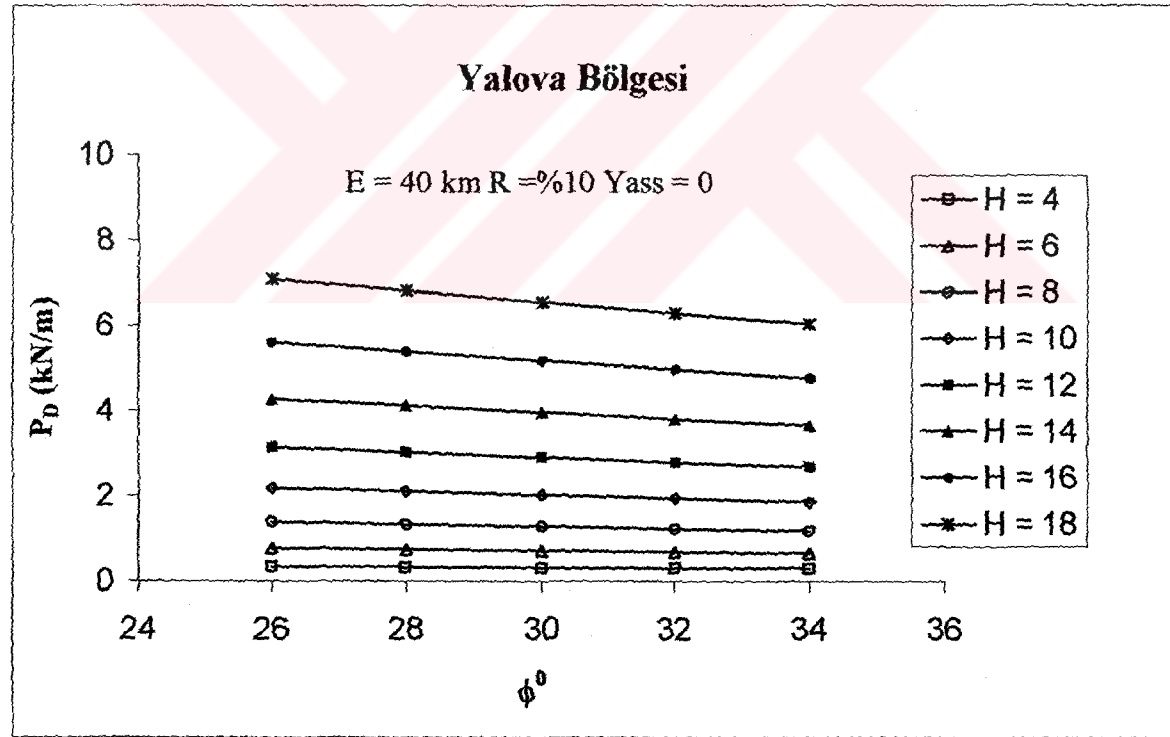


Şekil 7.14 Farklı ϕ değerleri için P_{AD} - H değişimi. (legend ϕ)

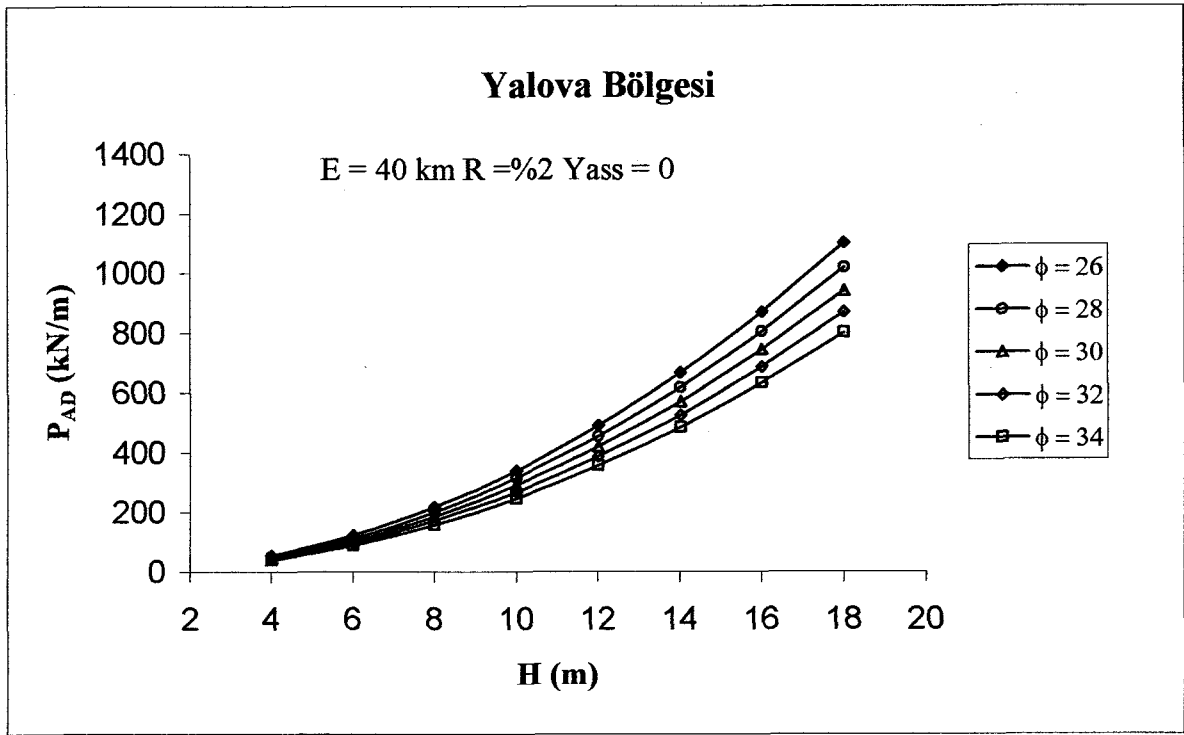


Şekil 7.15 Farklı ϕ değerleri için P_D - H değişimi. (legend ϕ)

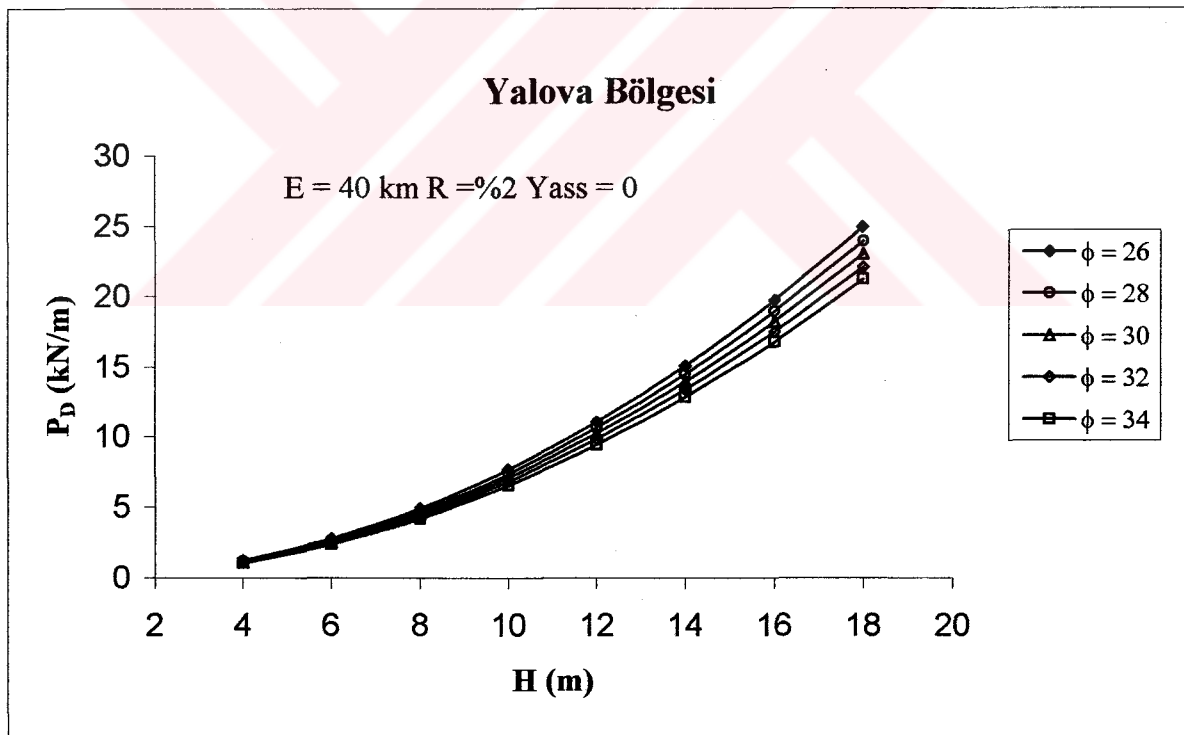
Yukarıdaki şekillerde zeminin kuru olduğu durumda, yıllık risk oranı $R = \%10$ (normal yapılar) için olası bir depremin episantr uzaklığının 40 km olması halinde, istinat duvarına gelen aktif zemin basıncı P_{AD} (statik + deprem) ve deprem yükü P_D 'nin H istinat duvarının yüksekliği ile değişimi farklı ϕ açıları için verilmiştir. (Şekil 7.14 ve 7.15)

Şekil 7.16 Farklı H değerleri için P_{AD} - ϕ değişimi. (legend H)Şekil 7.17 Farklı H değerleri için P_D - ϕ değişimi. (legend H)

Yukarıdaki şekillerde zeminin kuru olduğu durumda, yıllık risk oranı $R \approx \%10$ (normal yapılar) için olası bir depremin episentr uzaklığının 40 km olması halinde, istinat duvarına gelen aktif zemin basıncı P_{AD} (statik + deprem) ve deprem yükü P_D 'nin zeminin ϕ içsel sürtünme açısı ile ilişkisi farklı H yükseklikleri için verilmiştir. (Şekil 7.16 ve 7.17)

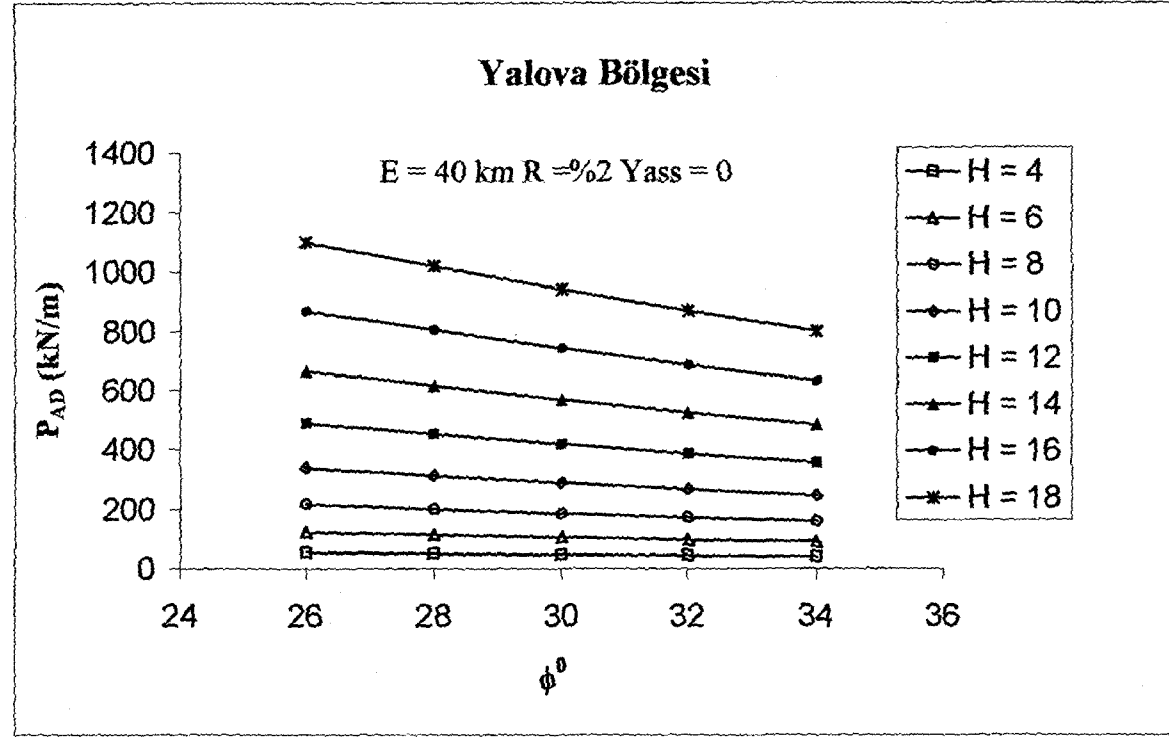
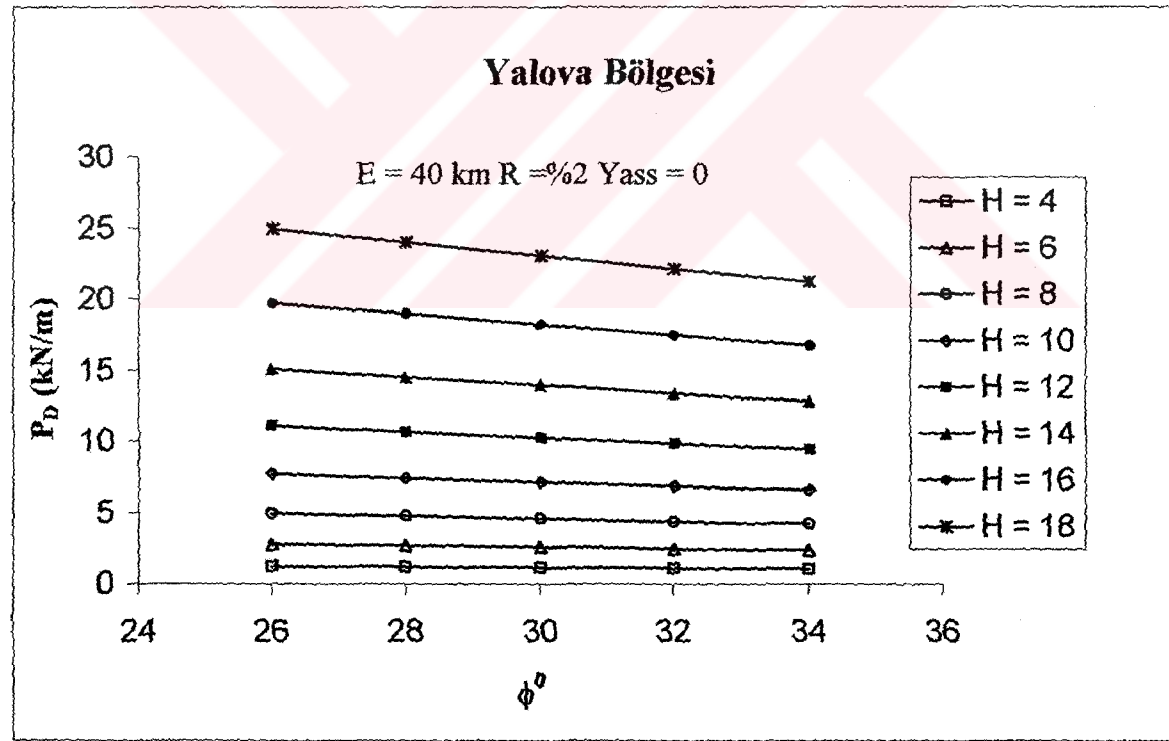


Şekil 7.18 Farklı ϕ değerleri için P_{AD} - H değişimi. (legend ϕ)

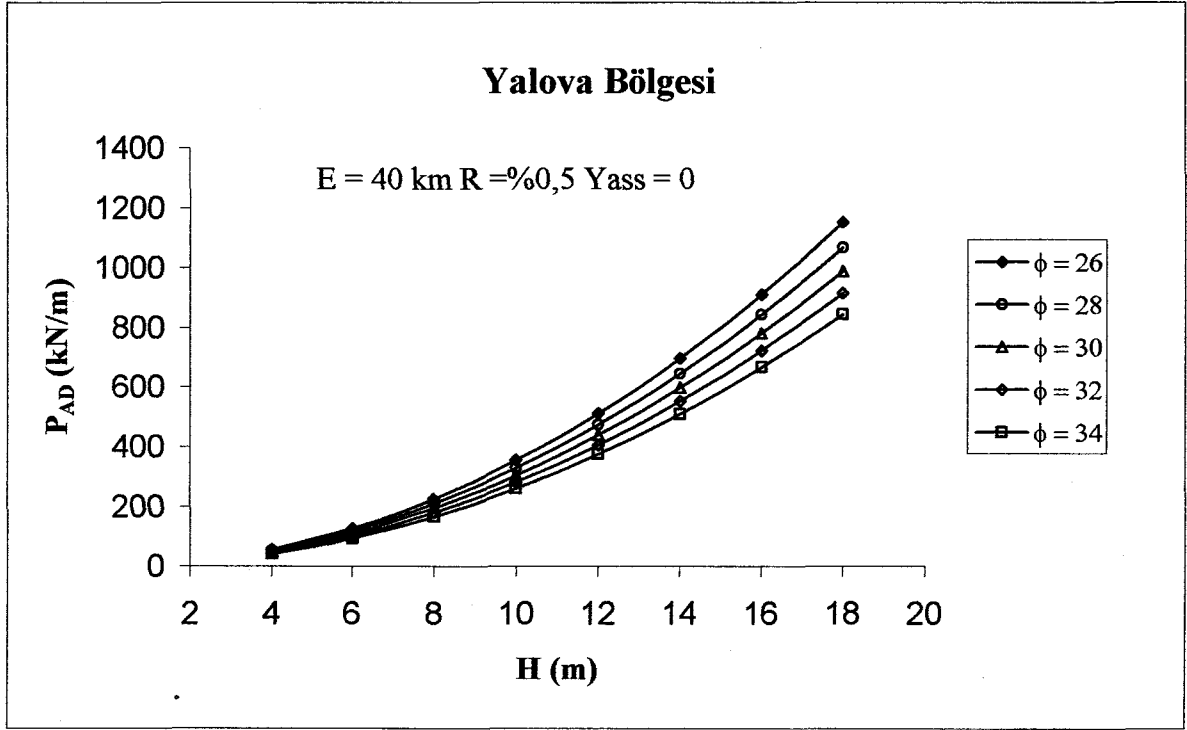


Şekil 7.19 Farklı ϕ değerleri için P_D - H değişimi. (legend ϕ)

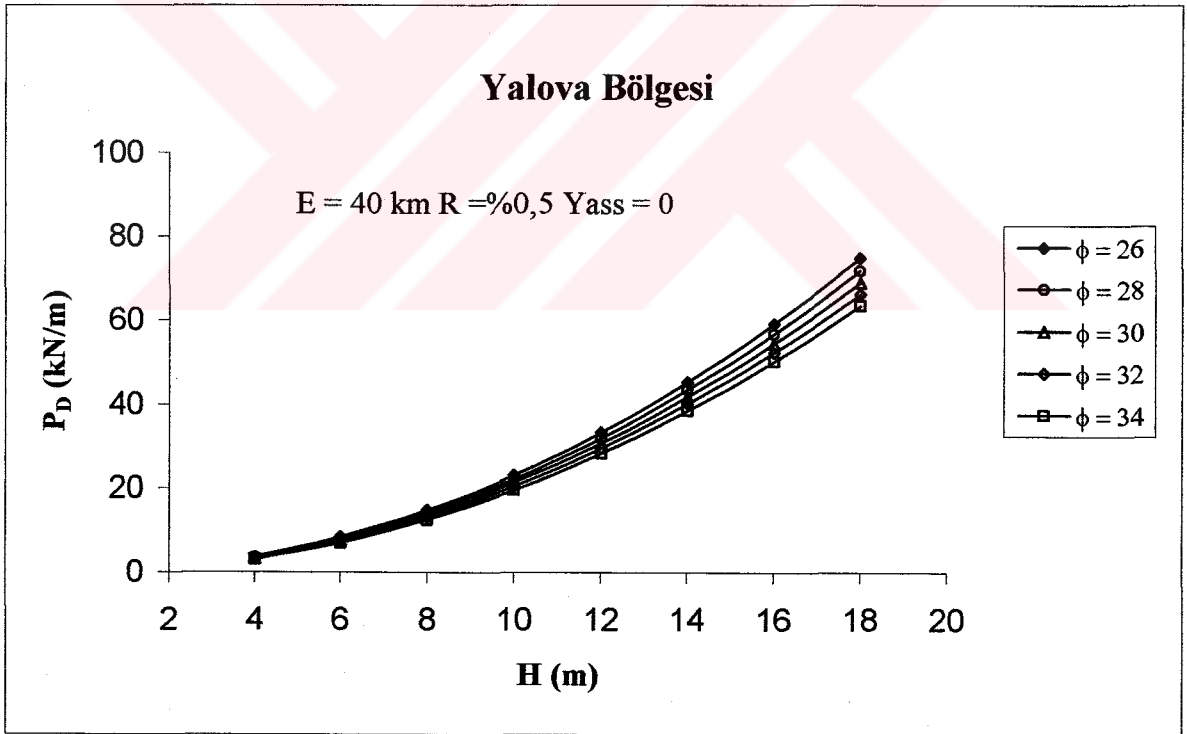
Yukarıdaki şekillerde zeminin kuru olduğu durumda, yıllık risk oranı $R = \%2$ (önemli yapılar) için olası bir depremin episantr uzaklığının 40 km olması halinde, istinat duvarına gelen aktif zemin basıncı P_{AD} (statik + deprem) ve deprem yükü P_D 'nin H istinat duvarının yüksekliği ile değişimi farklı ϕ açıları için verilmiştir. (Şekil 7.18 ve 7.19)

Şekil 7.20 Farklı H değerleri için $P_{AD} - \phi$ değişimi. (legend H)Şekil 7.21 Farklı H değerleri için $P_D - \phi$ değişimi. (legend H)

Yukarıdaki şekillerde zeminin kuru olduğu durumda, yıllık risk oranı $R = \%2$ (önemli yapılar) için olası bir depremin episantr uzaklığının 40 km olması halinde, istinat duvarına gelen aktif zemin basıncı P_{AD} (statik + deprem) ve deprem yükü P_D 'nin zeminin ϕ içsel sürtünme açısı ile ilişkisi farklı H yükseklikleri için verilmiştir. (Şekil 7.20 ve 7.21)

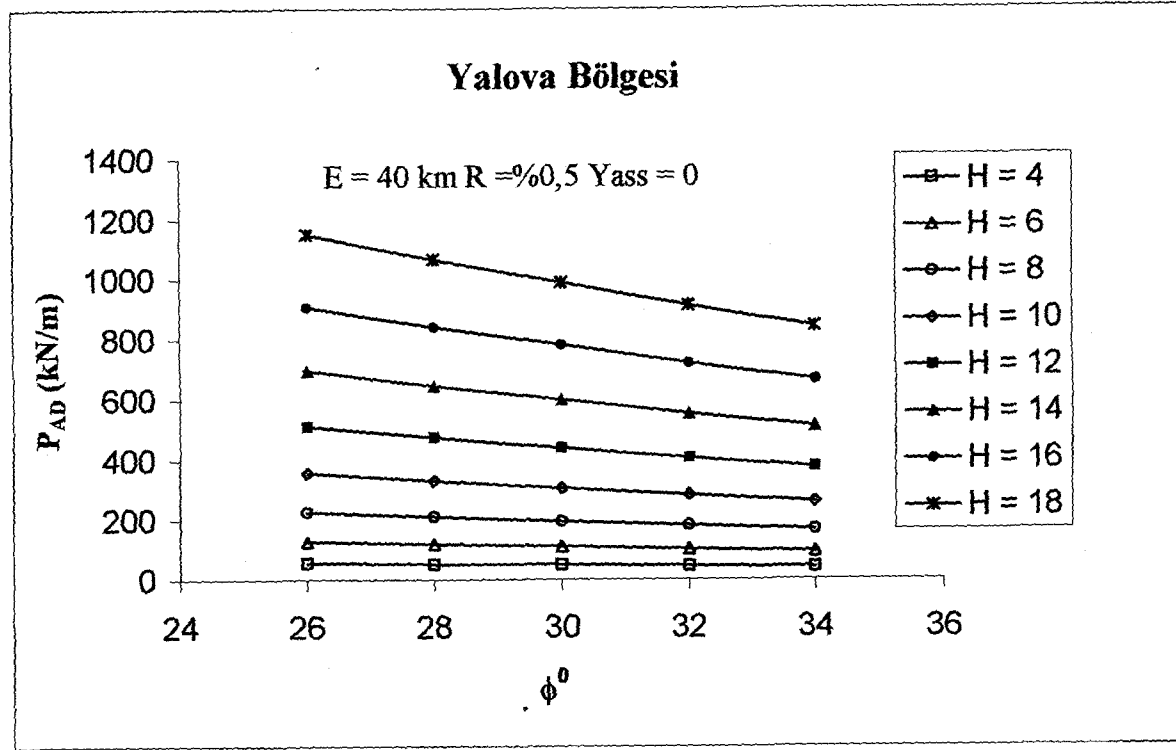


Şekil 7.22 Farklı ϕ değerleri için P_{AD} - H değişimi. (legend ϕ)

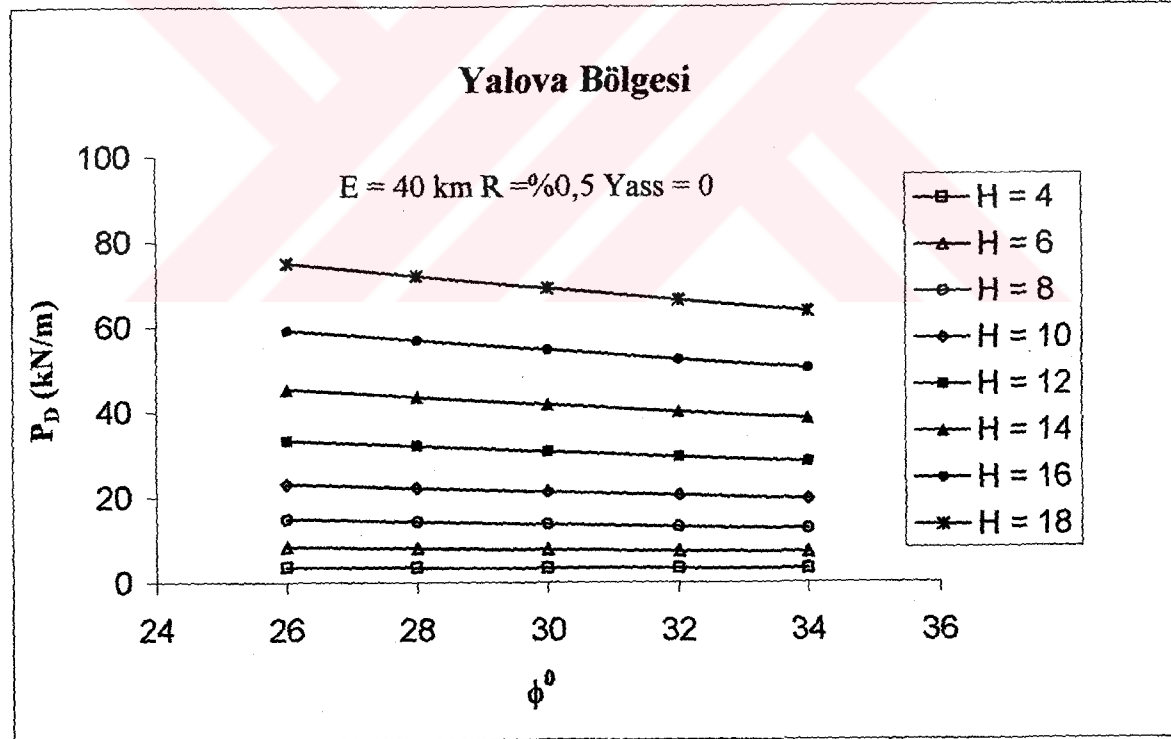


Şekil 7.23 Farklı ϕ değerleri için P_D - H değişimi. (legend ϕ)

Yukarıdaki şekillerde zeminin kuru olduğu durumda, yıllık risk oranı $R = \%0,5$ (nükleer santraller) için olası bir depremin episantr uzaklığının 40 km olması halinde, istinat duvarına gelen aktif zemin basıncı P_{AD} (statik + deprem) ve deprem yükü P_D 'nin H istinat duvarının yüksekliği ile değişimi farklı ϕ açıları için verilmiştir. (Şekil 7.22 ve 7.23)

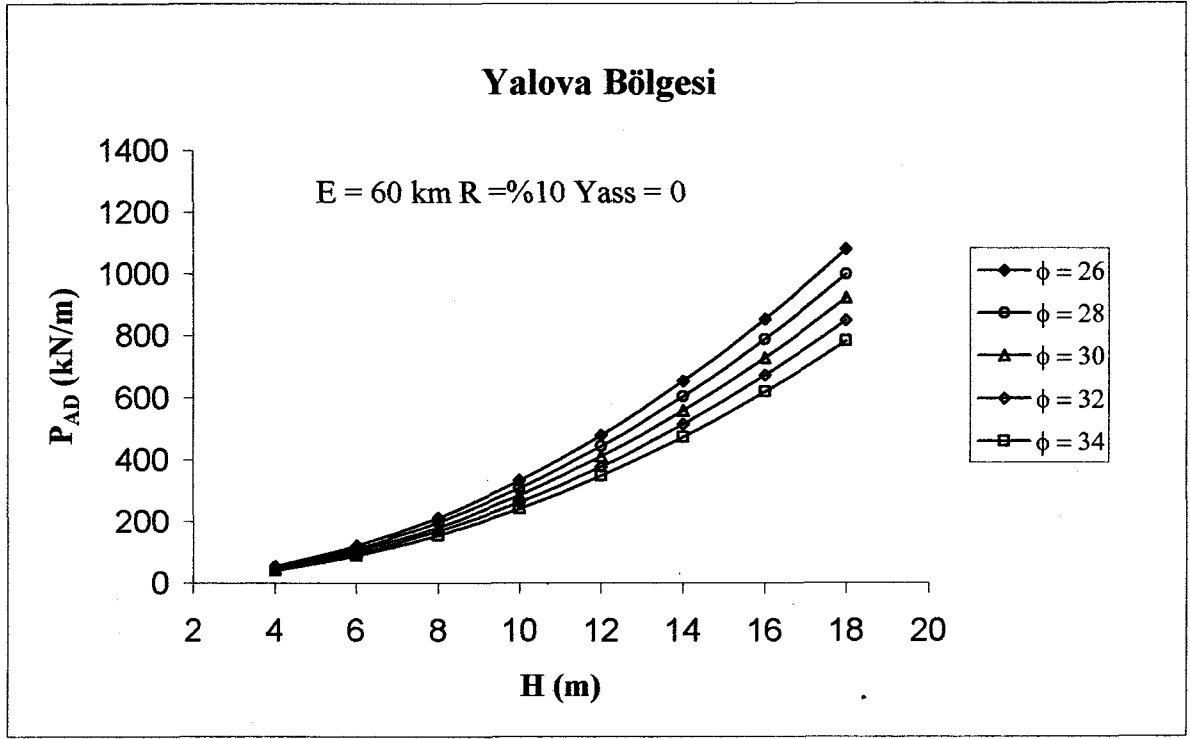


Şekil 7.24 Farklı H değerleri için $P_{AD} - \phi$ değişimi. (legend H)

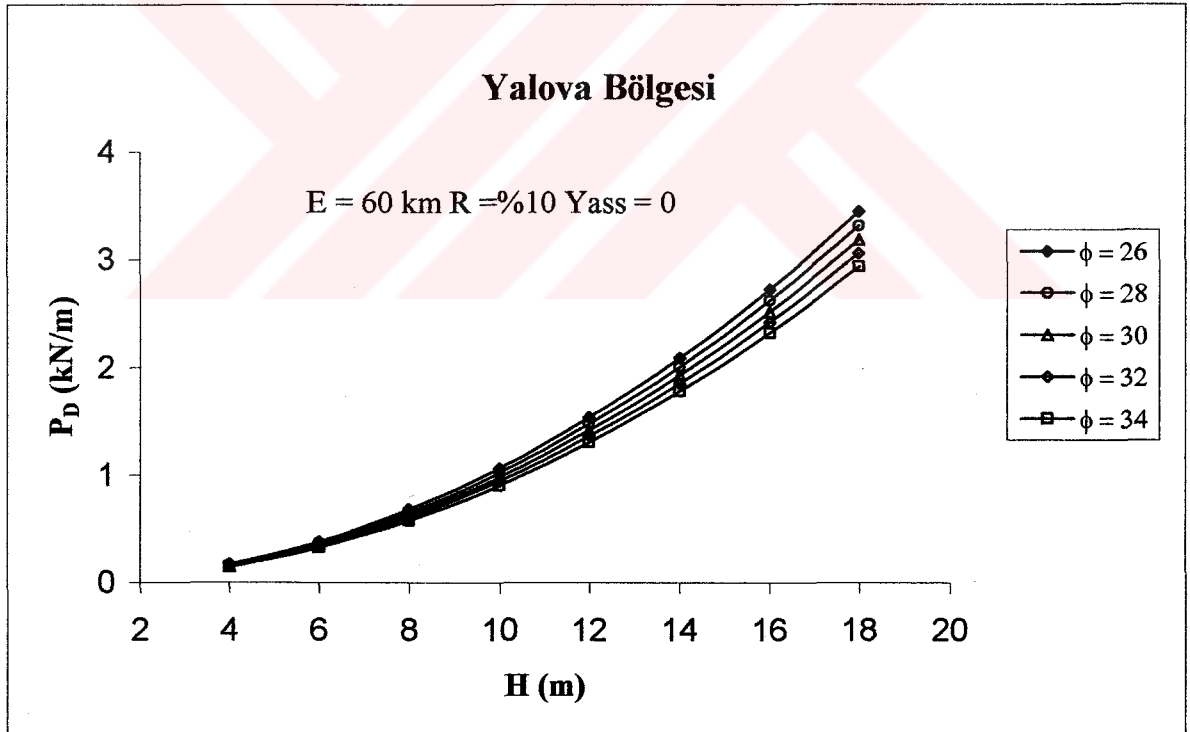


Şekil 7.25 Farklı H değerleri için $P_D - \phi$ değişimi. (legend H)

Yukarıdaki şekillerde zeminin kuru olduğu durumda, yıllık risk oranı $R = \%0,5$ (nükleer santraller) için olası bir depremin episantr uzaklığının 40 km olması halinde, istinat duvarına gelen aktif zemin basıncı P_{AD} (statik + deprem) ve deprem yükü P_D 'nin zeminin ϕ içsel sürtünme açısı ile ilişkisi farklı H yükseklikleri için verilmiştir. (Şekil 7.24 ve 7.25)

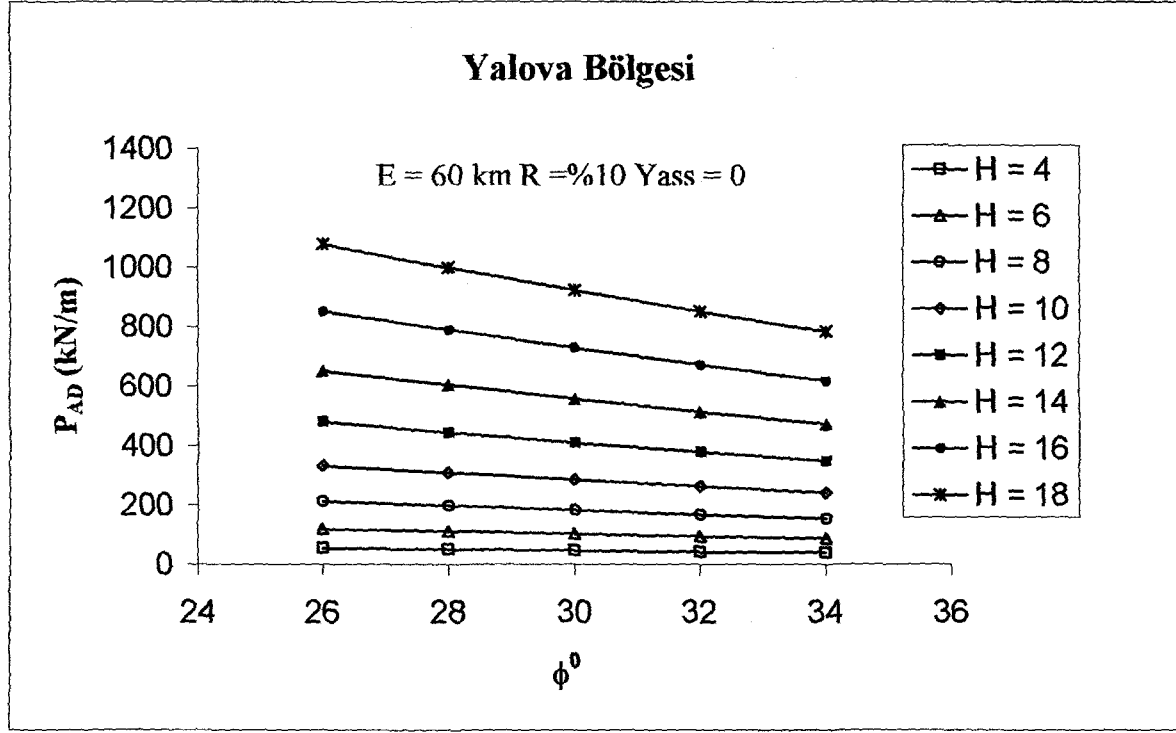


Şekil 7.26 Farklı ϕ değerleri için P_{AD} - H değişimi. (legend ϕ)

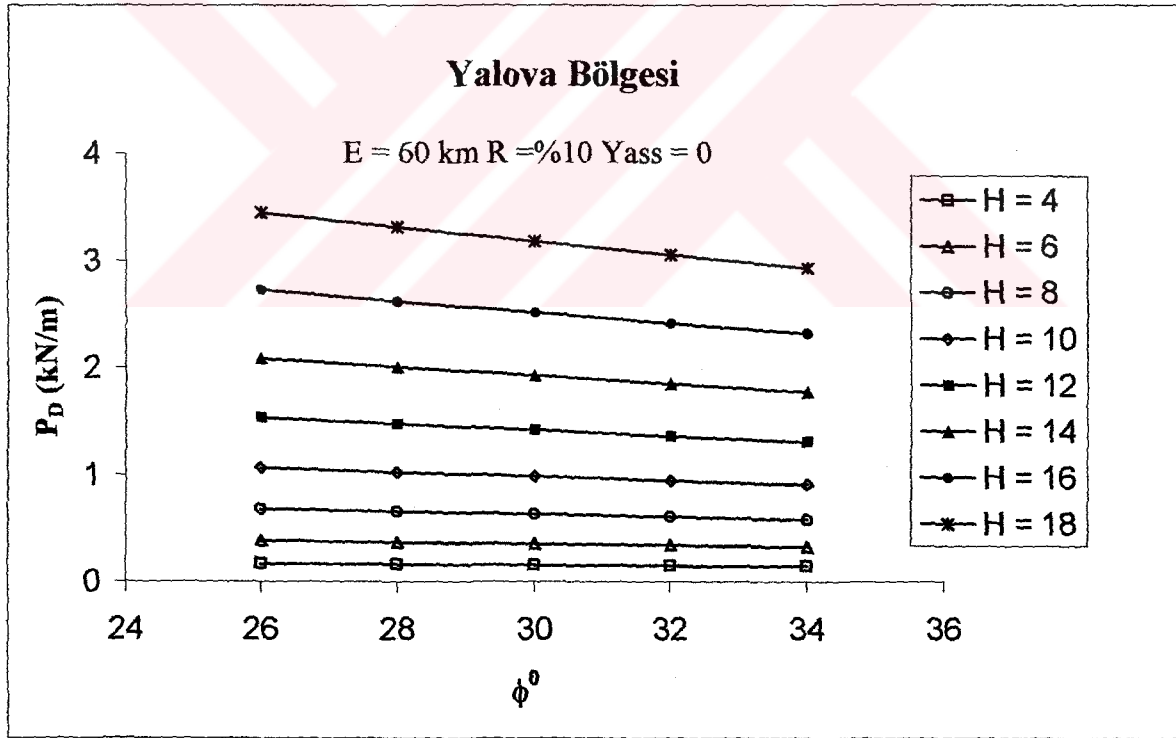


Şekil 7.27 Farklı ϕ değerleri için P_D - H değişimi. (legend ϕ)

Yukarıdaki şekillerde zeminin kuru olduğu durumda, yıllık risk oranı $R = \%10$ (normal yapılar) için olası bir depremin episantr uzaklığının 60 km olması halinde, istinat duvarına gelen aktif zemin basıncı P_{AD} (statik + deprem) ve deprem yükü P_D 'nin H istinat duvarının yüksekliği ile değişimi farklı ϕ açıları için verilmiştir. (Şekil 7.26 ve 7.27)

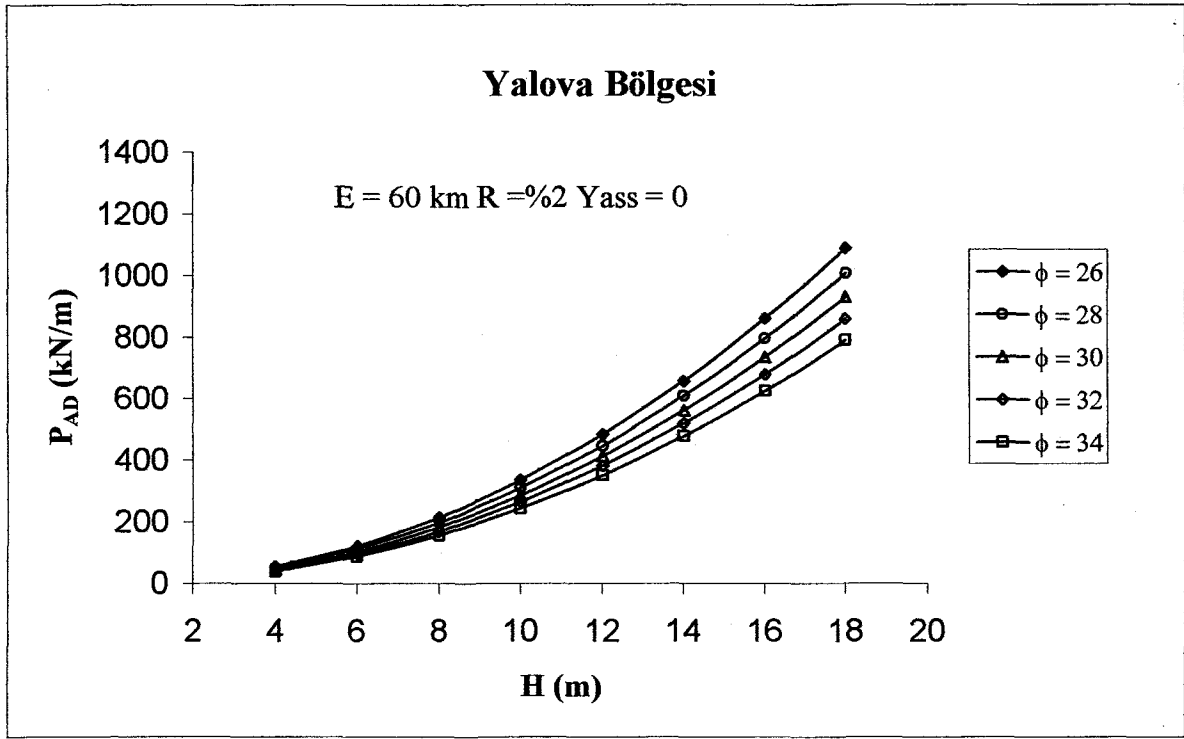


Şekil 7.28 Farklı H değerleri için P_{AD} - ϕ değişimi. (legend H)

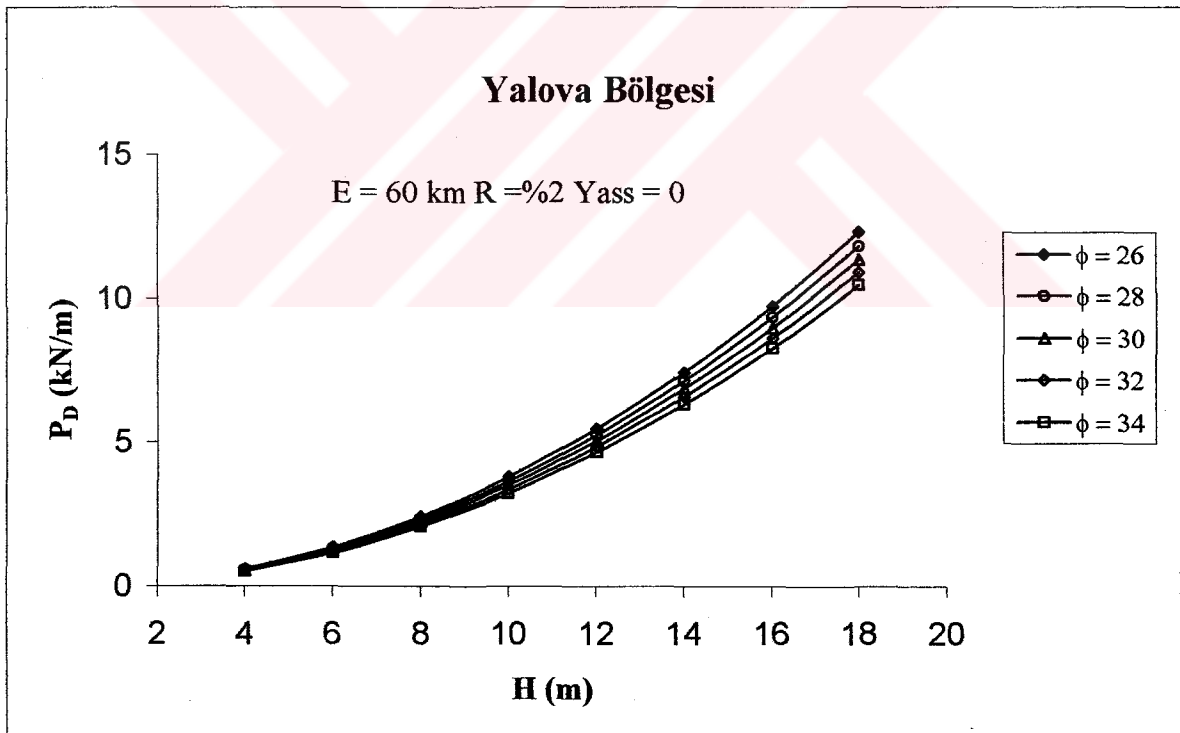


Şekil 7.29 Farklı H değerleri için P_D - ϕ değişimi. (legend H)

Yukarıdaki şekillerde zeminin kuru olduğu durumda, yıllık risk oranı $R = \%10$ (normal yapılar) için olası bir depremin episantr uzaklığının 60 km olması halinde, istinat duvarına gelen aktif zemin basıncı P_{AD} (statik + deprem) ve deprem yükü P_D 'nin zeminin ϕ içsel sürtünme açısı ile ilişkisi farklı H yükseklikleri için verilmiştir. (Şekil 7.28 ve 7.29)

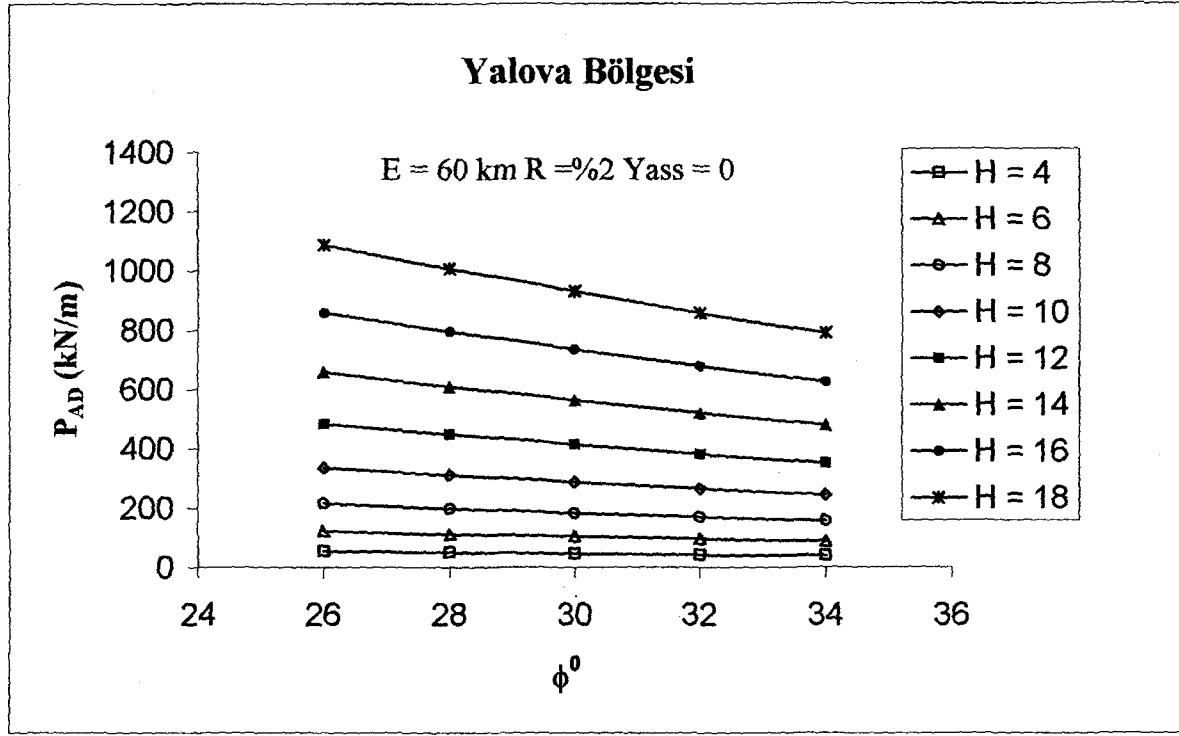


Şekil 7.30 Farklı ϕ değerleri için P_{AD} - H değişimi. (legend ϕ)

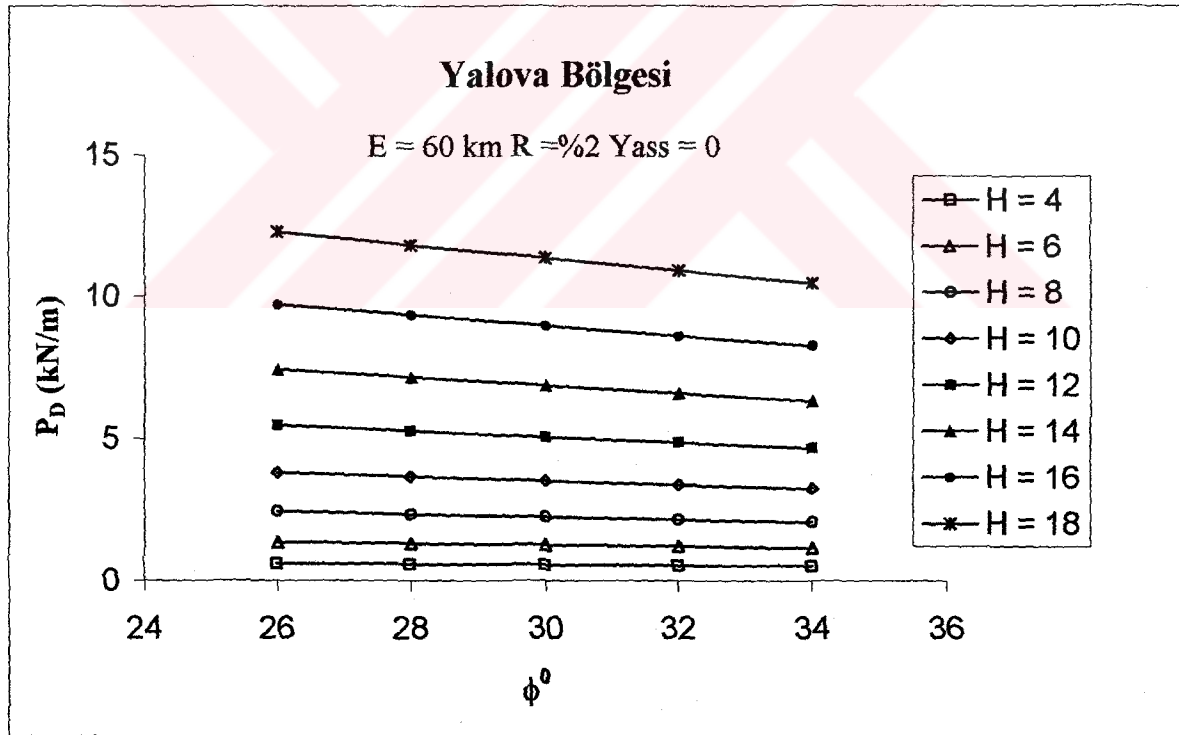


Şekil 7.31 Farklı ϕ değerleri için P_D - H değişimi. (legend ϕ)

Yukarıdaki şekillerde zeminin kuru olduğu durumda, yıllık risk oranı $R = \%2$ (önemli yapılar) için olası bir depremin episantr uzaklığının 60 km olması halinde, istinat duvarına gelen aktif zemin basıncı P_{AD} (statik + deprem) ve deprem yükü P_D 'nin H istinat duvarının yüksekliği ile değişimi farklı ϕ açıları için verilmiştir. (Şekil 7.30 ve 7.31)

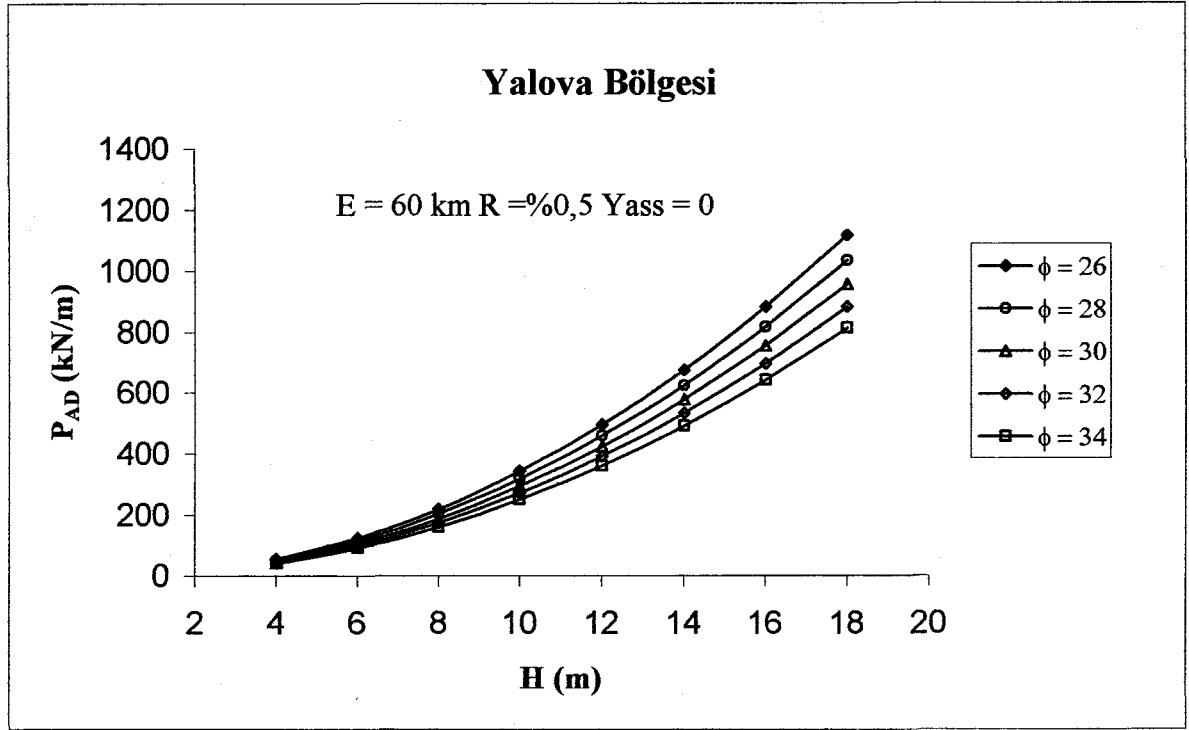


Şekil 7.32 Farklı H değerleri için $P_{AD} - \phi$ değişimi. (legend H)

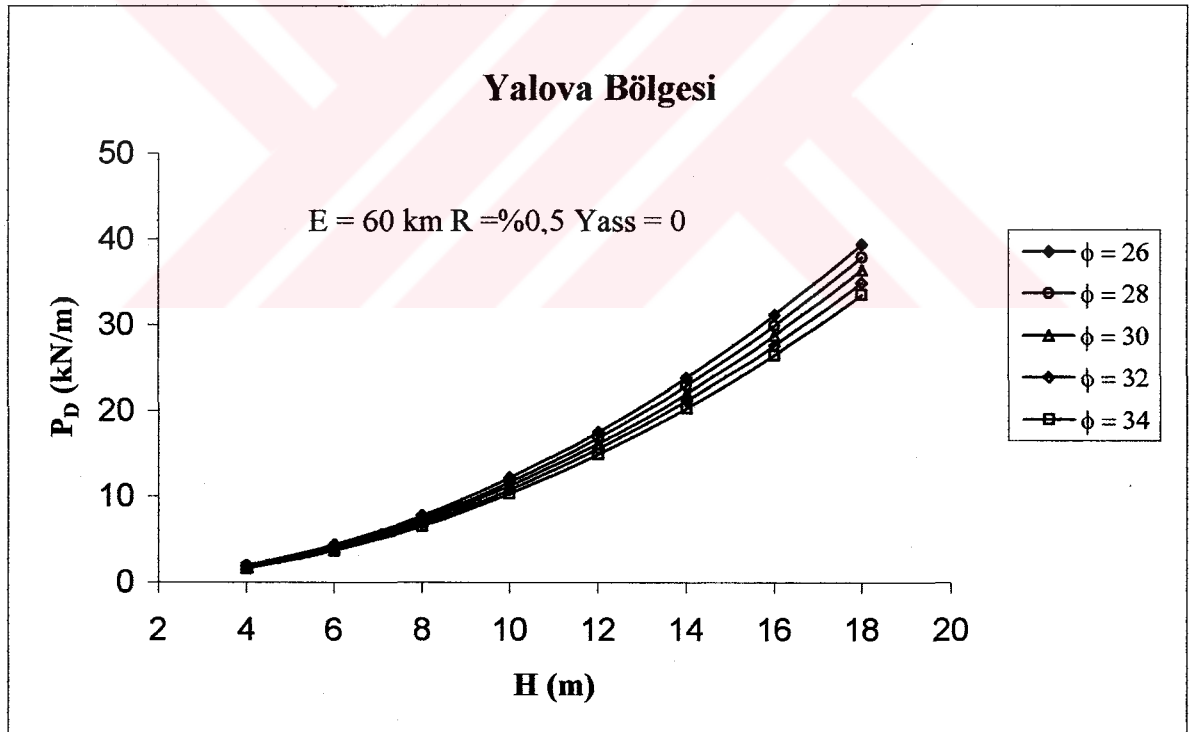


Şekil 7.33 Farklı H değerleri için $P_D - \phi$ değişimi. (legend H)

Yukarıdaki şekillerde zeminin kuru olduğu durumda, yıllık risk oranı $R = \%2$ (önemli yapılar) için olası bir depremin episantr uzaklığının 60 km olması halinde, istinat duvarına gelen aktif zemin basıncı P_{AD} (statik + deprem) ve deprem yükü P_D 'nin zeminin ϕ içsel sürtünme açısı ile ilişkisi farklı H yükseklikleri için verilmiştir. (Şekil 7.32 ve 7.33)

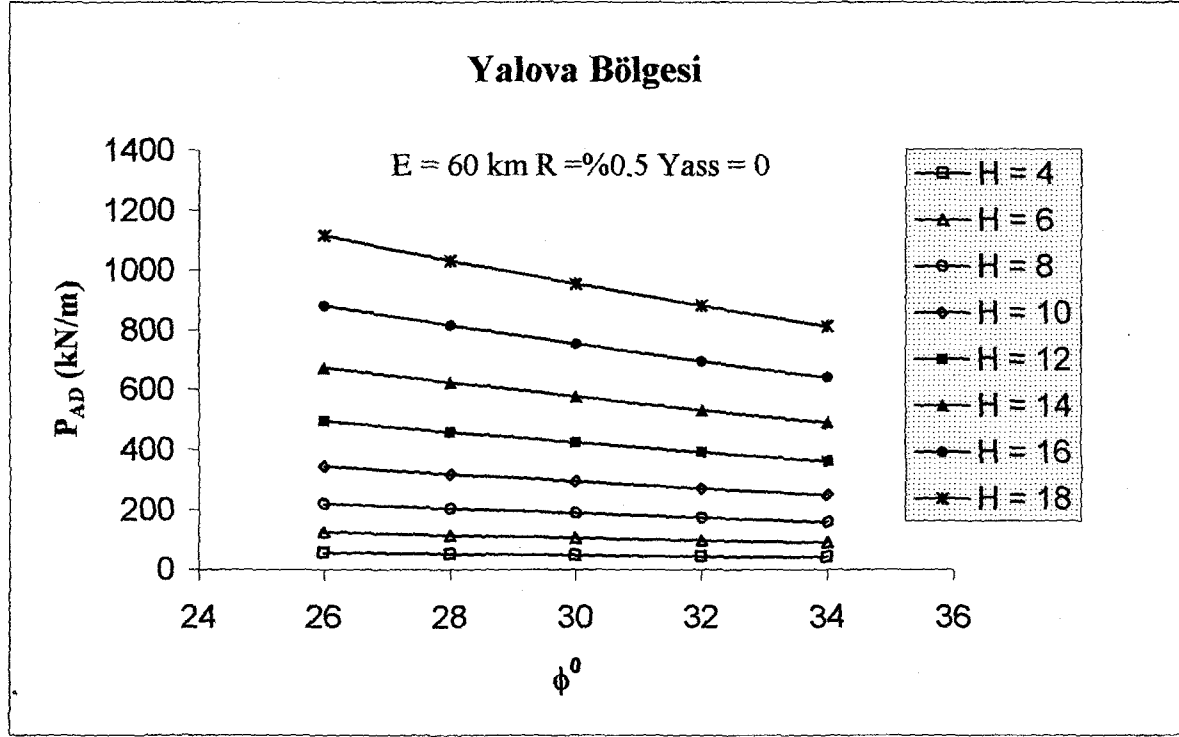


Şekil 7.34 Farklı ϕ değerleri için P_{AD} - H değişimi. (legend ϕ)

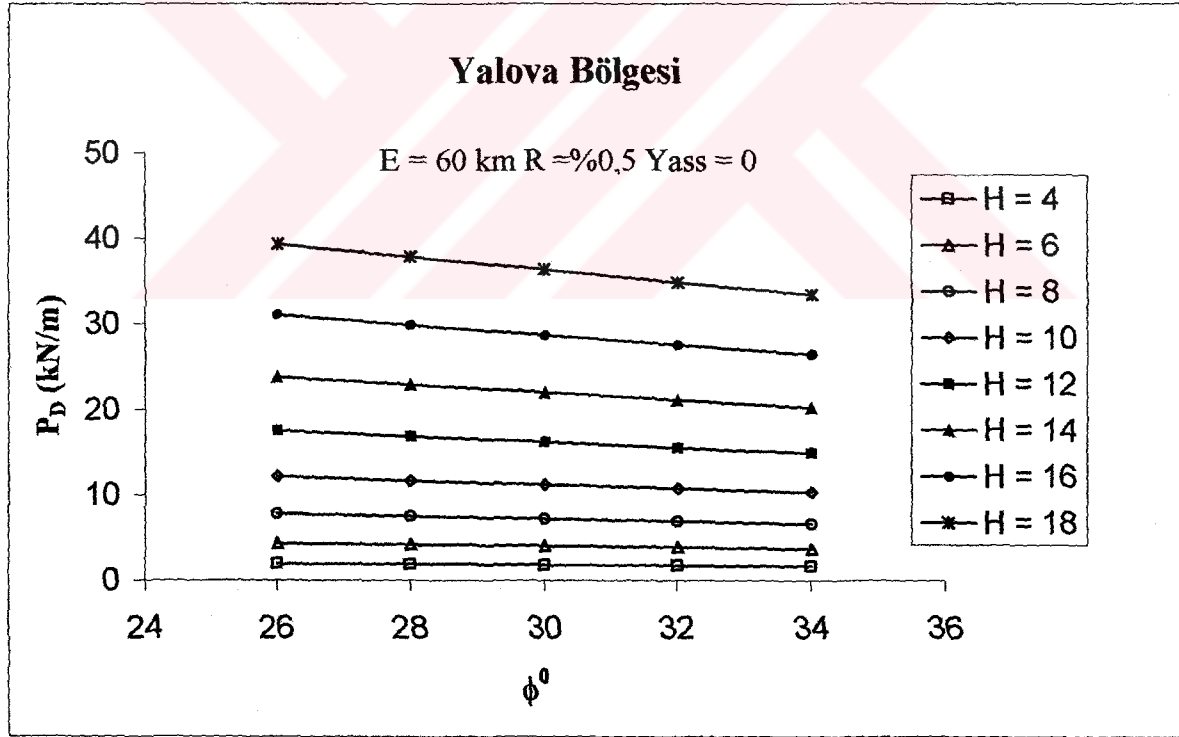


Şekil 7.35 Farklı ϕ değerleri için P_D - H değişimi. (legend ϕ)

Yukarıdaki şekillerde zeminin kuru olduğu durumda, yıllık risk oranı $R = \%0,5$ (nükleer santraller) için olası bir depremin episantr uzaklığının 60 km olması halinde, istinat duvarına gelen aktif zemin basıncı P_{AD} (statik + deprem) ve deprem yükü P_D 'nin H istinat duvarının yüksekliği ile değişimi farklı ϕ açıları için verilmiştir. (Şekil 7.34 ve 7.35)

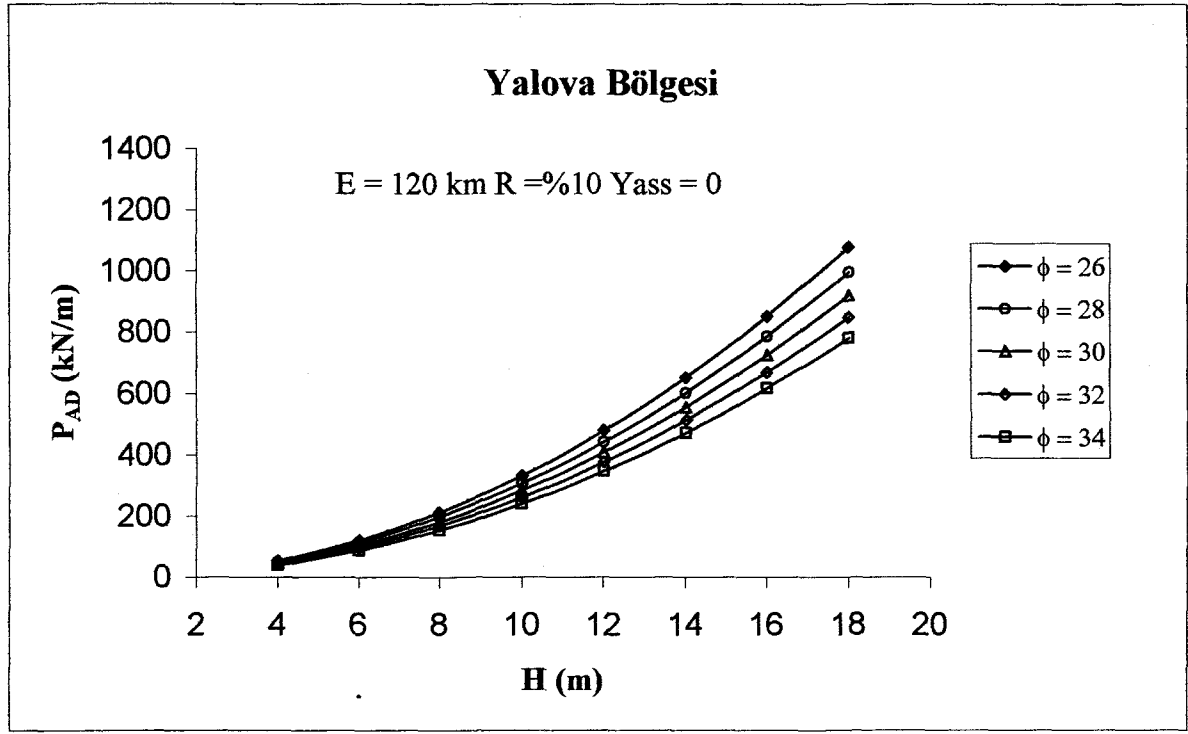


Şekil 7.36 Farklı H değerleri için $P_{AD} - \phi$ değişimi. (legend H)

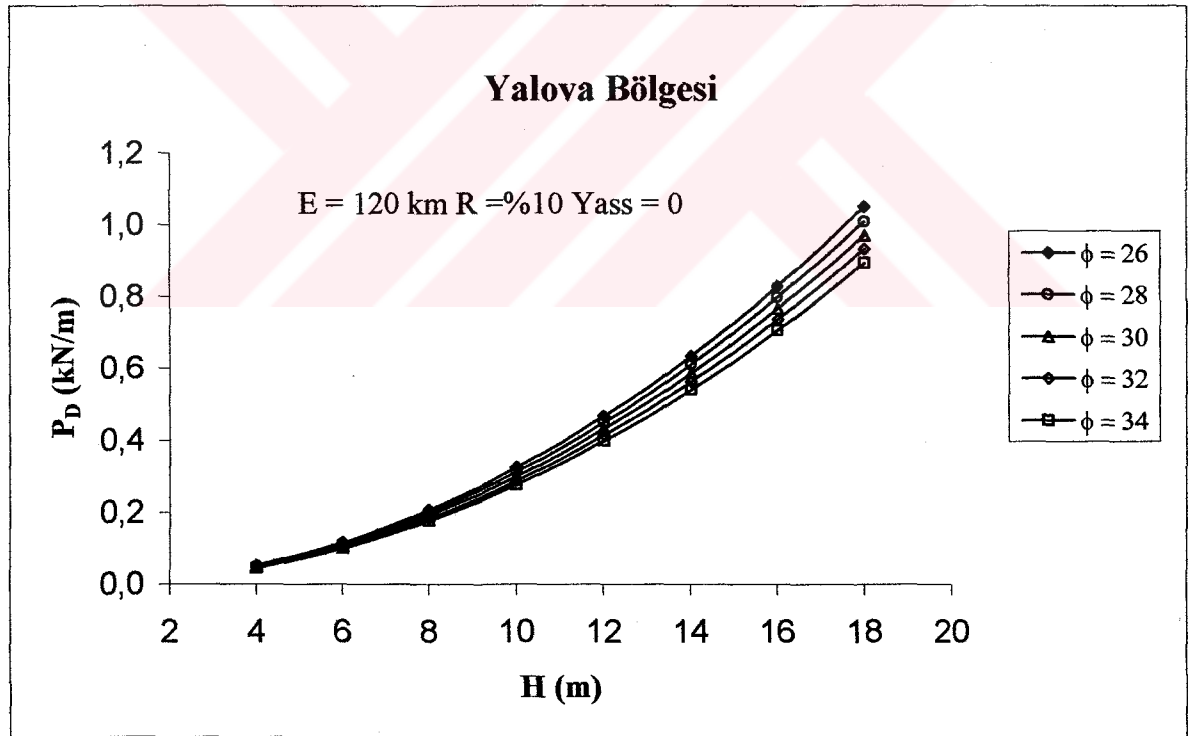


Şekil 7.37 Farklı H değerleri için $P_D - \phi$ değişimi. (legend H)

Yukarıdaki şekillerde zeminin kuru olduğu durumda, yıllık risk oranı $R = \%0.5$ (nükleer santraller) için olası bir depremin episantr uzaklığının 60 km olması halinde, istinat duvarına gelen aktif zemin basıncı P_{AD} (statik + deprem) ve deprem yükü P_D 'nin zeminin ϕ içsel sürtünme açısı ile ilişkisi farklı H yükseklikleri için verilmiştir. (Şekil 7.36 ve 7.37)

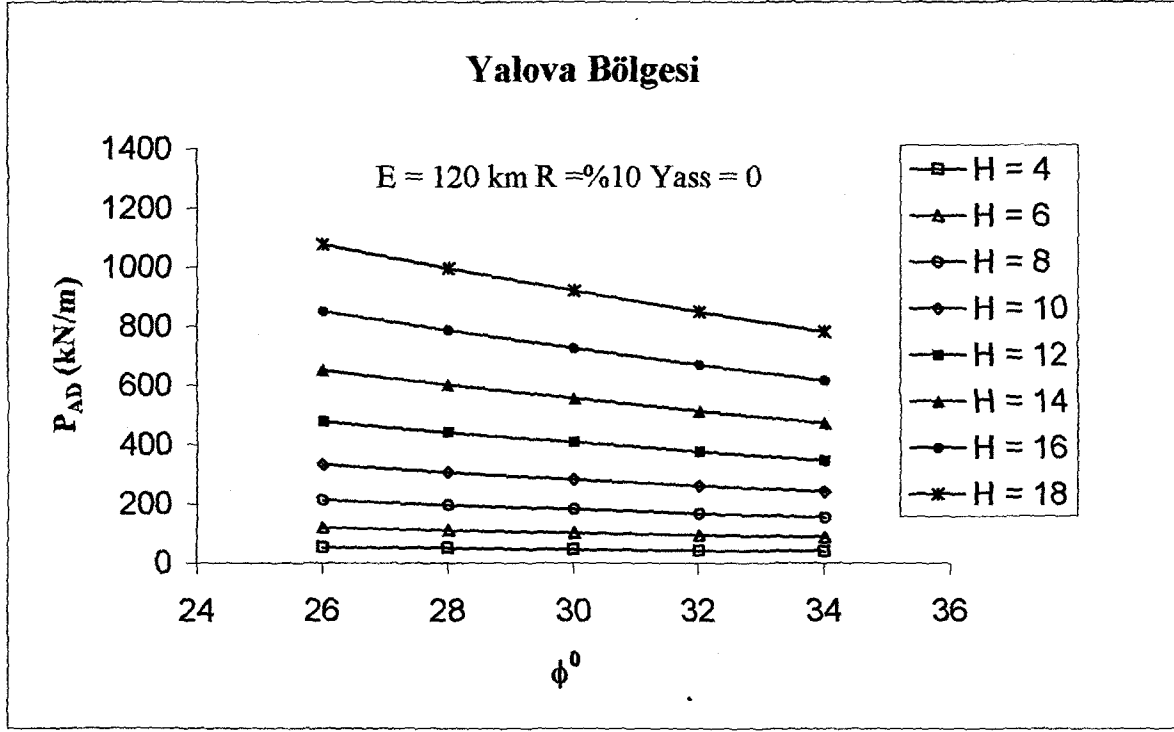


Şekil 7.38 Farklı ϕ değerleri için P_{AD} - H değişimi. (legend ϕ)

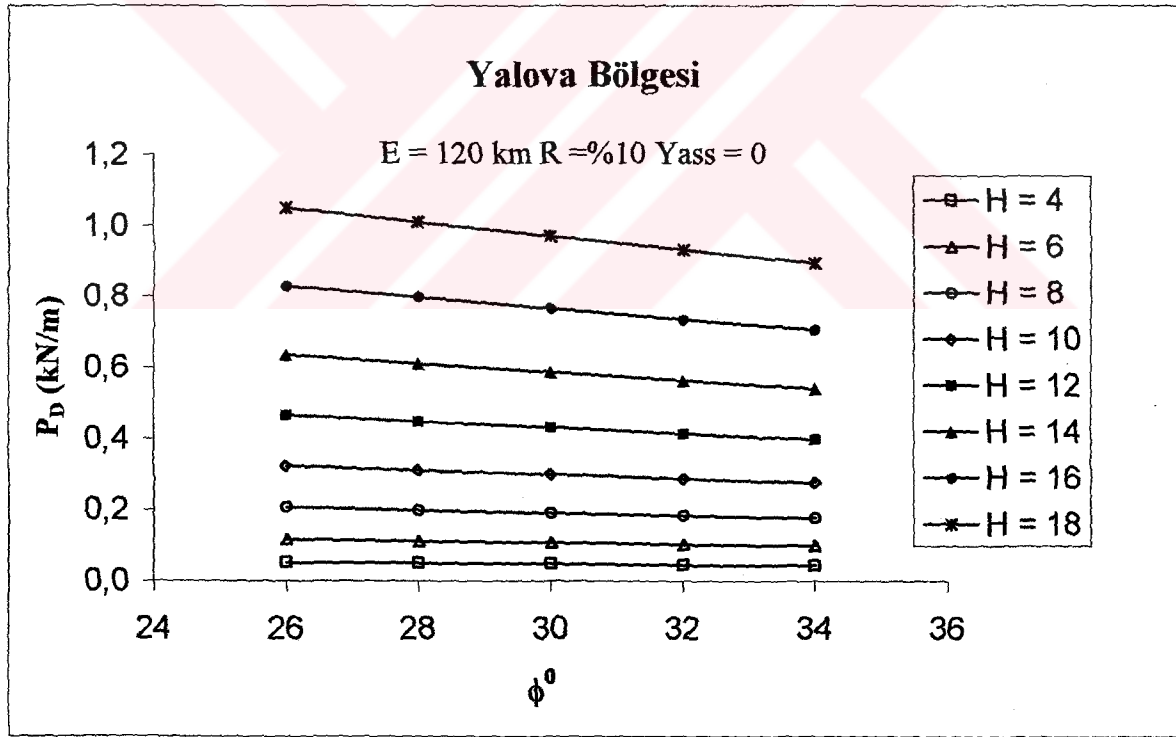


Şekil 7.39 Farklı ϕ değerleri için P_D - H değişimi. (legend ϕ)

Yukarıdaki şekillerde zeminin kuru olduğu durumda, yıllık risk oranı $R = \%10$ (normal yapılar) için olası bir depremin episantr uzaklığının 120 km olması halinde, istinat duvarına gelen aktif zemin basıncı P_{AD} (statik + deprem) ve deprem yükü P_D 'nin H istinat duvarının yüksekliği ile değişimi farklı ϕ açıları için verilmiştir. (Şekil 7.38 ve 7.39)

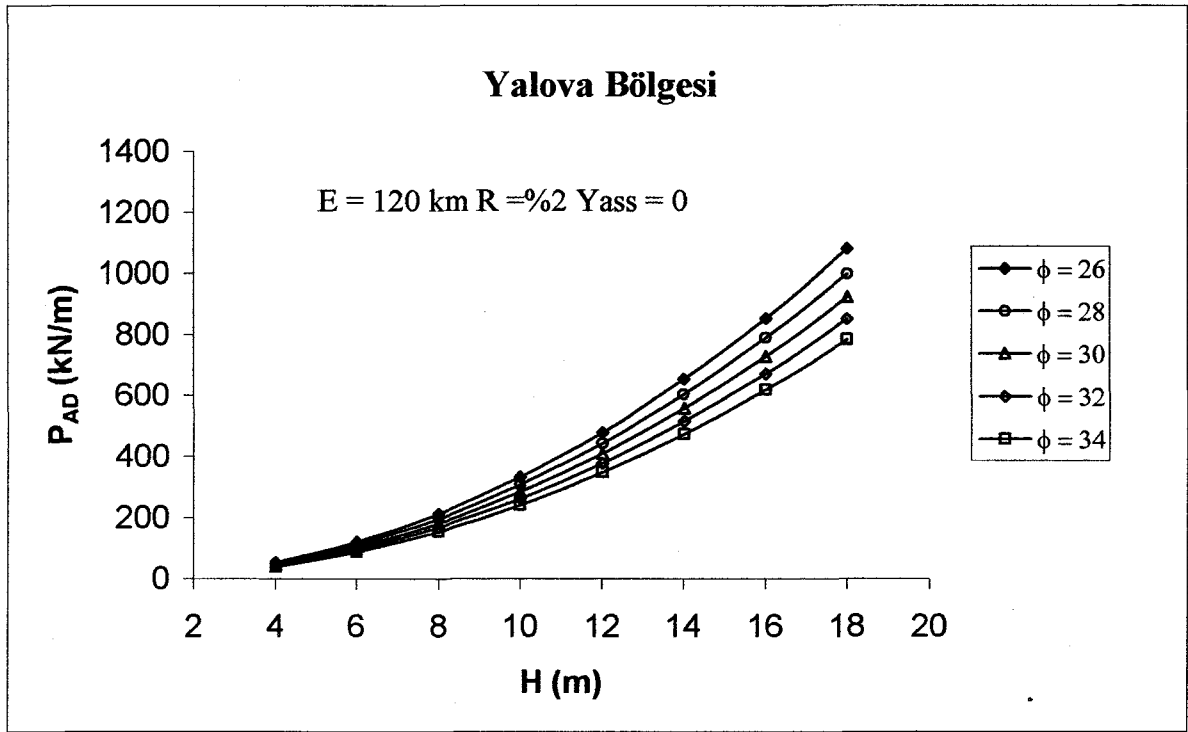


Şekil 7.40 Farklı H değerleri için $P_{AD} - \phi$ değişimi. (legend H)

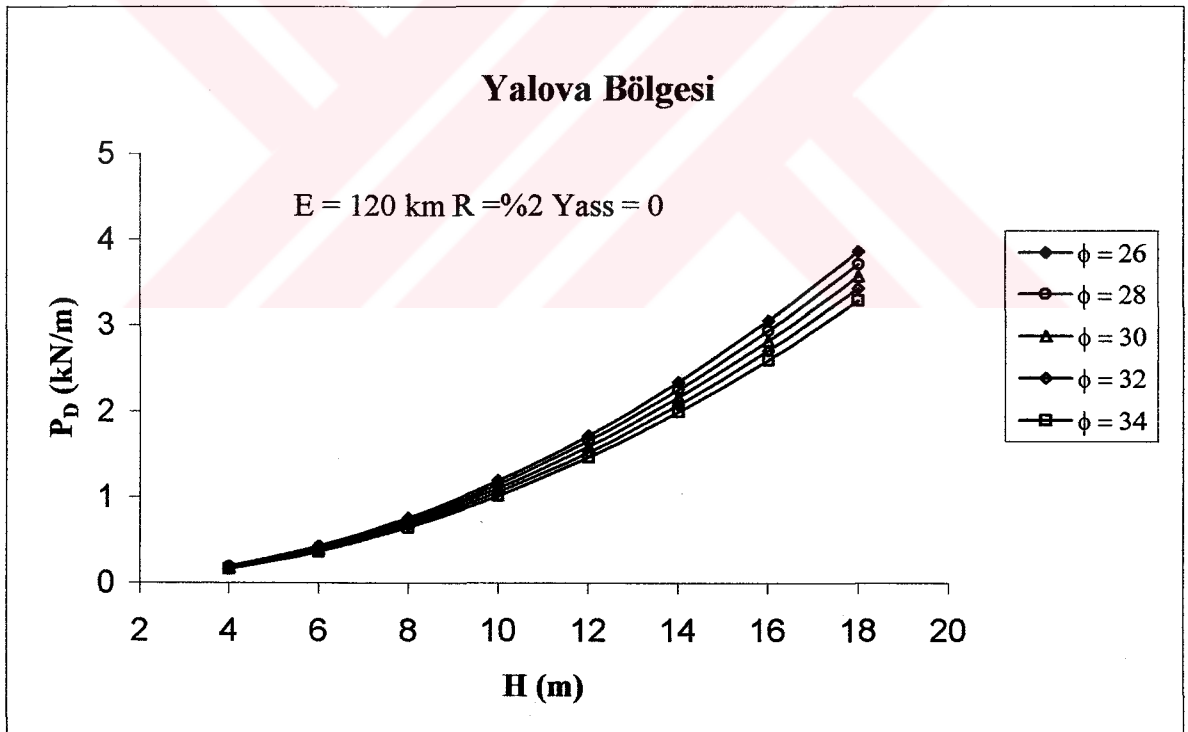


Şekil 7.41 Farklı H değerleri için $P_D - \phi$ değişimi. (legend H)

Yukarıdaki şekillerde zeminin kuru olduğu durumda, yıllık risk oranı $R \approx \%10$ (normal yapılar) için olası bir depremin episantr uzaklığının 120 km olması halinde, istinat duvarına gelen aktif zemin basıncı P_{AD} (statik + deprem) ve deprem yükü P_D 'nin zeminin ϕ içsel sürtünme açısı ile ilişkisi farklı H yükseklikleri için verilmiştir. (Şekil 7.40 ve 7.41)

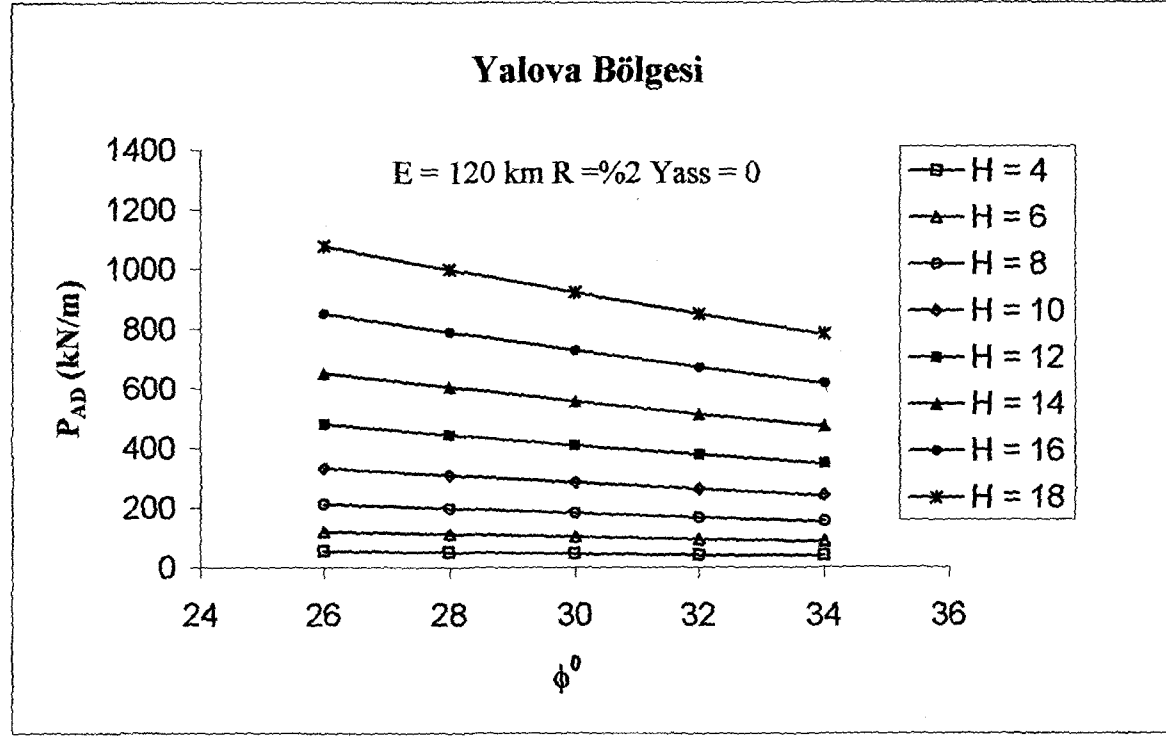


Şekil 7.42 Farklı ϕ değerleri için P_{AD} - H değişimi. (legend ϕ)

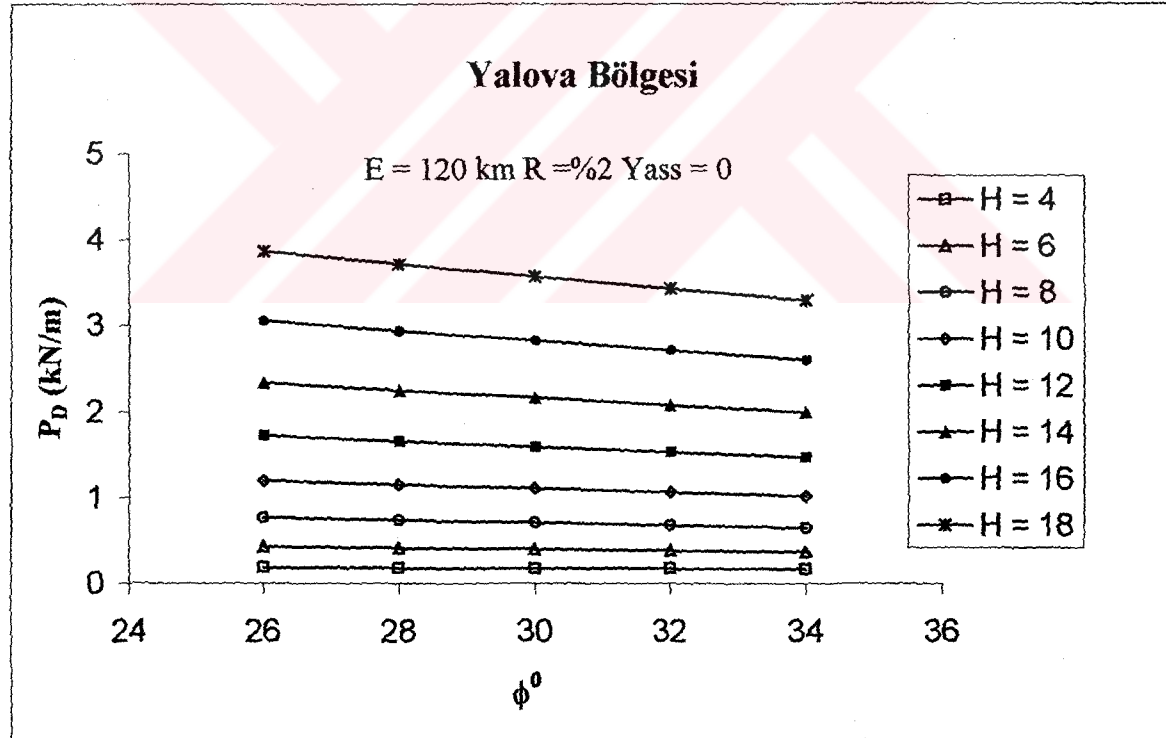


Şekil 7.43 Farklı ϕ değerleri için P_D - H değişimi. (legend ϕ)

Yukarıdaki şekillerde zeminin kuru olduğu durumda, yıllık risk oranı $R = \%2$ (önemli yapılar) için olası bir depremin episantr uzaklığının 120 km olması halinde, istinat duvarına gelen aktif zemin basıncı P_{AD} (statik + deprem) ve deprem yükü P_D 'nin H istinat duvarının yüksekliği ile değişimi farklı ϕ açıları için verilmiştir. (Şekil 7.42 ve 7.43)

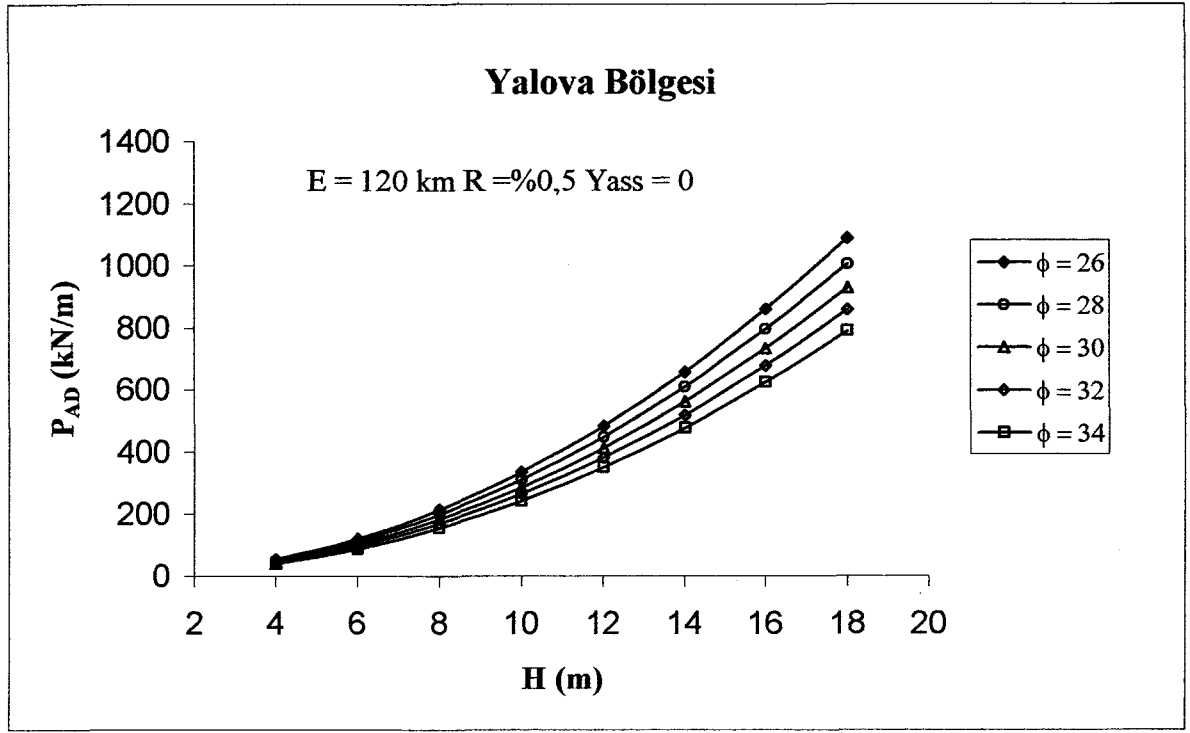


Şekil 7.44 Farklı H değerleri için $P_{AD} - \phi$ değişimi. (legend H)

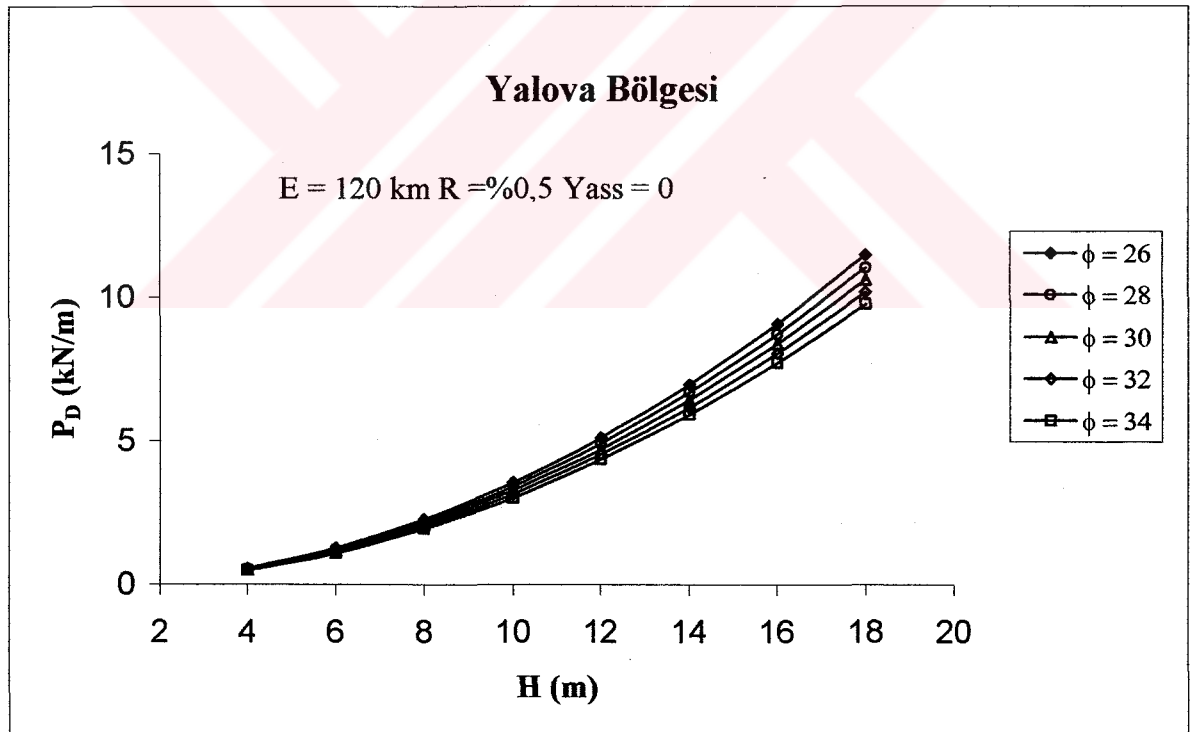


Şekil 7.45 Farklı H değerleri için $P_D - \phi$ değişimi. (legend H)

Yukarıdaki şekillerde zeminin kuru olduğu durumda, yıllık risk oranı $R = \%2$ (önemli yapılar) için olası bir depremin episantr uzaklığının 120 km olması halinde, istinat duvarına gelen aktif zemin basıncı P_{AD} (statik + deprem) ve deprem yükü P_D 'nin zeminin ϕ içsel sürtünme açısı ile ilişkisi farklı H yükseklikleri için verilmiştir. (Şekil 7.44 ve 7.45)

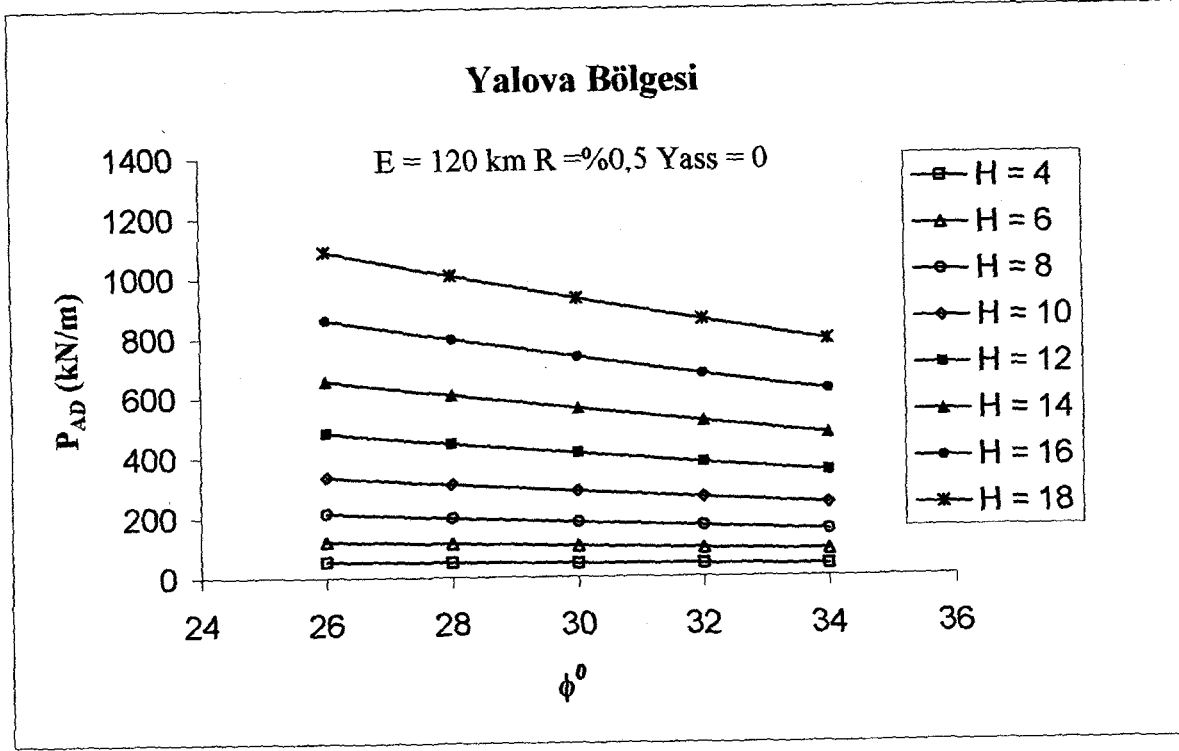


Şekil 7.46 Farklı ϕ değerleri için P_{AD} - H değişimi. (legend ϕ)

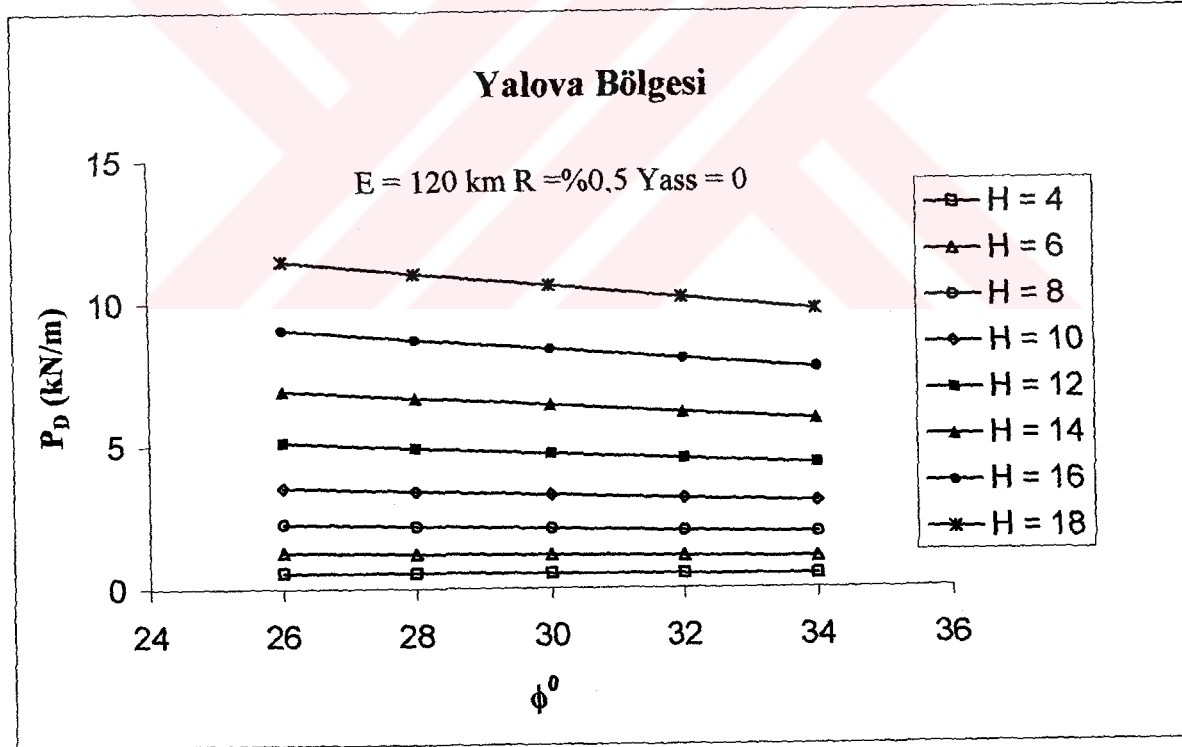


Şekil 7.47 Farklı ϕ değerleri için P_D - H değişimi. (legend ϕ)

Yukarıdaki şekillerde zeminin kuru olduğu durumda, yıllık risk oranı $R = \%0,5$ (nükleer santraller) için olası bir depremin episantr uzaklığının 120 km olması halinde, istinat duvarına gelen aktif zemin basıncı P_{AD} (statik + deprem) ve deprem yükü P_D 'nin H istinat duvarının yüksekliği ile değişimi farklı ϕ açıları için verilmiştir. (Şekil 7.46 ve 7.47)



Şekil 7.48 Farklı H değerleri için $P_{AD} - \phi$ değişimi. (legend H)



Şekil 7.49 Farklı H değerleri için $P_D - \phi$ değişimi. (legend H)

Yukarıdaki şekillerde zeminin kuru olduğu durumda, yıllık risk oranı $R = \%0,5$ (nükleer santraller) için olası bir depremin episantr uzaklığının 120 km olması halinde, istinat duvarına gelen aktif zemin basıncı P_{AD} (statik + deprem) ve deprem yükü P_D 'nin zeminin ϕ içsel sürtünme açısı ile ilişkisi farklı H yükseklikleri için verilmiştir. (Şekil 7.48 ve 7.49)

İlk grup grafiklerde (şekil 7.2 – şekil 7.49) zeminin kuru olduğu kabul edilmiş ve sırasıyla $E = 20 \text{ km}$, 40 km , 60 km ve 120 km 'lik episantr uzaklıkları için, 6. bölümdeki tablolarda Yalova Bölgesi için tahmin edilen ivme değerleri kullanılarak, seçilen $R = \%10$ (normal yapılar), $\%2$ (önemli yapılar) ve $\%0,5$ (nükleer santraller) yıllık risk oranları için şekil (7.1)'de gösterilen istinat duvarına gelebilecek yanal zemin basınçlarının değişimi farklı parametreler altında grafiklerde gösterilmiştir.

Grafiklerden de anlaşılacağı üzere düşük yıllık risk oranı değerlerinde, başka bir deyişle depremin magnitudü arttıkça (veya maksimum ivme arttıkça) deprem sırasında oluşan yanal zemin basıncı da artmaktadır. Bunun yanı sıra bilindiği üzere episantr uzaklığı arttıkça deprem etkisinin azaldığı sonuç grafiklerinden görülmektedir.

Yine aynı grafiklerde, istinat duvar yüksekliği arttırıldığında duvar arkasındaki zeminin yüksekliğinin artmasına bağlı olarak efektif gerilme artmakta ve dolayısıyla duvara gelen yanal zemin basıncı da artmaktadır.

Zeminin içsel sürtünme açısının etkisine bakıldığında grafiklerde görüldüğü üzere açının değeri küçüldükçe yanal zemin basıncının arttığı anlaşılmaktadır.

8. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, seçilen sismotektonik yöre için (Yalova çevresi sismotektonik yöresi) 1900 – 2000 yılları arasında 101 senelik bir tarihçede meydana gelmiş depremler için ihtimal hesapları ve 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 söz konusu bölge için tahmini yıllık maksimum deprem magnitüdüleri dağılımları tespit edilmiştir.

Yalova çevresi sismotektonik yöresinde inşa edilecek yapıların proje kriterlerine baz teşkil edecek zemin ivme değerleri, Newmark-Rosenblueth (1971) tarafından sıkı zeminler için tavsiye edilen bağıntılardan faydalanılarak fay hattına çeşitli uzaklıklar için tahmin edilmiştir. Tahminlerde faydalanılan bağıntılar sıkı zeminler için önerildiğinden yumuşak zeminler için ivme büyütme analizleri tavsiye edilmektedir.

Analiz sonucu bulunan maksimum ivme değerleri kullanılarak, olası bir deprem sırasında istinat duvarlarına etki edebilecek aktif yanal toprak basınçları tahmin edilmeye çalışılmış ve grafikler yardımıyla özetlenmiştir.

Hesaplamalarda şekil (7.1) de görüldüğü üzere basit bir istinat duvarı düşünülmüş ve şekil üzerinde verilen zemin parametrelerinin yanı sıra $\phi = 26^0$ ile 34^0 arasında değişen içsel sürtünme açılarına sahip zeminler ve $H = 4\text{m}$ ile 18m arasında değişen istinat duvarı yükseklikleri için istinat duvarına olası bir deprem sırasında gelebilecek yanal zemin basınçları P_{AD} (deprem + statik), P_D (deprem) hesaplanarak, sonuçlar gruplar halinde grafikler ile özetlenmiştir. Grafiklerde kullanılan datalar tezin Ek bölümünde verilmektedir.

İlk grup grafiklerde (şekil 7.2 – şekil 7.49) zeminin kuru olduğu kabul edilmiş ve sırasıyla $E = 20\text{ km}$, 40 km , 60 km ve 120 km 'lik episantr uzaklıkları için, 6. bölümdeki tablolarda Yalova Bölgesi için tahmin edilen ivme değerleri kullanılarak, seçilen $R = \%10$ (normal yapılar), $\%2$ (önemli yapılar) ve $\%0,5$ (nükleer santraller) yıllık risk oranları için şekil (7.1)'de gösterilen istinat duvarına gelebilecek yanal zemin basınçlarının değişimi farklı parametreler altında grafiklerde gösterilmiştir.

Grafiklerden de anlaşılabacağı üzere düşük yıllık risk oranı değerlerinde, başka bir deyişle depremin magnitüdü arttıkça (ivme arttıkça) deprem sırasında oluşan yanal zemin basıncı da artmaktadır. Bunun yanı sıra bilindiği üzere episantr uzaklığı arttıkça deprem etkisinin azaldığı sonuç grafiklerinden görülmektedir.

Yine aynı grafiklerde, istinat duvar yüksekliği arttırıldığında duvar arkasındaki zeminin yüksekliğinin artmasına bağlı olarak efektif gerilme artmakta ve dolayısıyla duvara gelen yanal zemin basıncı artmaktadır.

Zeminin içsel sürtünme açısının etkisine bakıldığında grafiklerde görüldüğü üzere açının değeri küçüldükçe yanal zemin basıncının arttığı anlaşılmaktadır.

Grafiklerden elde edilen sonuçlara genel olarak bakıldığında anlaşılaçağı üzere deprem sırasında istinat yapısına gelebilecek yanal zemin basınçları, depremin episantr uzaklığına, magnitüdüne ve zemin özelliklerine bağlı olarak önemli mertebelere çıkmaktadır. Dolayısıyla istinat duvarlarının tasarımında deprem etkisi mutlaka göz önüne alınmalı ve diğer stabilite koşulları da değerlendirildikten sonra boyutlandırmaya gidilmelidir.



KAYNAKLAR

- Celep Z, Kumbasar N, (2000), “Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanaklı Yapı Tasarımı”, Beta dağıtım, (İstanbul).
- Capper P L, Cassie W F, (1984) “İnşaat Mühendisliğinde Zemin Mekaniği”, Çeviri :Kumbasar V, Kip F, İ.T.Ü. Merkez Kütüphanesi, (İstanbul).
- Çetinkaya N N, Durgunoğlu H T, Karadayılar T, Kulaç H F, (1993), Ankara, İstanbul ve İzmir Bölgeleri Deprem Riski Analizi Karşılaştırmaları, II. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı (İstanbul).
- Das B M, (1998) “Principles Of Geotechnical Engineering” , Fourth Edition.
- İlhan E, (1976), “Türkiye Jeolojisi”, Nuray Matbaası, (Ankara).
- İzmir Büyükşehir Belediyesi Deprem Master Planı, Bölüm 5 “Geoteknik Değerlendirme”, (1999).
- Ketin İ, (1983), “Türkiye Jeolojisine Genel Bir Bakış”, İTÜ Matbaası, (İstanbul).
- Kumbasar V, Kip F, (1992), “Zemin Mekaniği Problemleri”, Çağlayan Kitabevi, (İstanbul).
- Küçüktiryaki M A, (Temmuz 1988) “Yanal Zemin Basıncı ve İstinat Duvarları”, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Merkez Kütüphanesi (İstanbul).
- Şahin A, (Ocak 1994), “Deprem Yükleri Altındaki Kargir ve Betonarme İstinat Duvarlarının Risk ve Maliyet Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Merkez Kütüphanesi (İstanbul).
- Özcan – Kaşlılar A, (Ekim 1999), “Marmara Bölgesinde Soğurulma Yapısının İncelenmesi”, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Merkez Kütüphanesi (İstanbul).
- Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü Deprem Katalogu, (2001).

EK - GRAFİKLERDE KULLANILAN DATALAR

E = 20 km Yass = 0											
R = %10				R = %2				R = %0,5			
Legend Φ		Legend H		Legend Φ		Legend H		Legend Φ		Legend H	
H	P_{90} (kN/m)	P_0 (kN/m)	P_0 (kN/m)	H	P_{90} (kN/m)	P_0 (kN/m)	P_0 (kN/m)	H	P_{90} (kN/m)	P_0 (kN/m)	P_0 (kN/m)
4	26,00	53,98	0,87	4	26,00	56,33	3,23	4	26,00	63,31	10,21
6	26,00	121,45	1,97	6	26,00	126,74	7,26	6	26,00	142,45	22,97
8	26,00	215,91	3,50	8	26,00	225,32	12,91	8	26,00	253,25	40,84
10	26,00	337,36	5,47	10	26,00	352,06	20,17	10	26,00	395,70	63,81
12	26,00	485,80	7,87	12	26,00	506,97	29,05	12	26,00	569,81	91,89
14	26,00	661,23	10,72	14	26,00	690,05	39,54	14	26,00	775,58	125,07
16	26,00	863,64	14,00	16	26,00	901,28	51,64	16	26,00	1013,00	163,36
18	26,00	1093,05	17,72	18	26,00	1140,69	65,36	18	26,00	1282,08	206,75
H	P_{90} (kN/m) <td>P_0 (kN/m)</td> <td>P_0 (kN/m)</td> <td>H</td> <td>P_{90} (kN/m)<td>P_0 (kN/m)</td><td>P_0 (kN/m)</td><td>H</td><td>P_{90} (kN/m)<td>P_0 (kN/m)</td><td>P_0 (kN/m)</td></td></td>	P_0 (kN/m)	P_0 (kN/m)	H	P_{90} (kN/m) <td>P_0 (kN/m)</td> <td>P_0 (kN/m)</td> <td>H</td> <td>P_{90} (kN/m)<td>P_0 (kN/m)</td><td>P_0 (kN/m)</td></td>	P_0 (kN/m)	P_0 (kN/m)	H	P_{90} (kN/m) <td>P_0 (kN/m)</td> <td>P_0 (kN/m)</td>	P_0 (kN/m)	P_0 (kN/m)
4	28,00	49,94	0,84	4	28,00	52,20	3,10	4	28,00	58,88	9,78
6	28,00	112,37	1,89	6	28,00	117,45	6,98	6	28,00	132,48	22,00
8	28,00	196,77	3,36	8	28,00	208,80	12,40	8	28,00	235,52	39,11
10	28,00	312,14	5,26	10	28,00	326,25	19,38	10	28,00	368,00	61,12
12	28,00	449,48	7,57	12	28,00	469,81	27,90	12	28,00	529,91	88,01
14	28,00	611,79	10,30	14	28,00	638,46	37,98	14	28,00	721,27	119,79
16	28,00	799,07	13,46	16	28,00	835,21	49,60	16	28,00	942,07	156,46
18	28,00	1011,32	17,03	18	28,00	1057,06	62,78	18	28,00	1192,30	198,02
H	P_{90} (kN/m) <td>P_0 (kN/m)</td> <td>P_0 (kN/m)</td> <td>H</td> <td>P_{90} (kN/m)<td>P_0 (kN/m)</td><td>P_0 (kN/m)</td><td>H</td><td>P_{90} (kN/m)<td>P_0 (kN/m)</td><td>P_0 (kN/m)</td></td></td>	P_0 (kN/m)	P_0 (kN/m)	H	P_{90} (kN/m) <td>P_0 (kN/m)</td> <td>P_0 (kN/m)</td> <td>H</td> <td>P_{90} (kN/m)<td>P_0 (kN/m)</td><td>P_0 (kN/m)</td></td>	P_0 (kN/m)	P_0 (kN/m)	H	P_{90} (kN/m) <td>P_0 (kN/m)</td> <td>P_0 (kN/m)</td>	P_0 (kN/m)	P_0 (kN/m)
4	30,00	46,14	0,81	4	30,00	48,31	2,98	4	30,00	54,70	9,37
6	30,00	103,82	1,82	6	30,00	108,70	6,70	6	30,00	123,08	21,08
8	30,00	184,57	3,23	8	30,00	193,24	11,91	8	30,00	218,80	37,47
10	30,00	288,38	5,05	10	30,00	301,94	18,60	10	30,00	341,88	58,54
12	30,00	415,27	7,27	12	30,00	434,79	26,79	12	30,00	492,30	84,30
14	30,00	565,23	9,90	14	30,00	591,79	36,48	14	30,00	670,08	114,75
16	30,00	738,26	12,93	16	30,00	772,95	47,62	16	30,00	875,21	149,87
18	30,00	934,36	16,36	18	30,00	978,27	60,27	18	30,00	1107,68	189,69
H	P_{90} (kN/m) <td>P_0 (kN/m)</td> <td>P_0 (kN/m)</td> <td>H</td> <td>P_{90} (kN/m)<td>P_0 (kN/m)</td><td>P_0 (kN/m)</td><td>H</td><td>P_{90} (kN/m)<td>P_0 (kN/m)</td><td>P_0 (kN/m)</td></td></td>	P_0 (kN/m)	P_0 (kN/m)	H	P_{90} (kN/m) <td>P_0 (kN/m)</td> <td>P_0 (kN/m)</td> <td>H</td> <td>P_{90} (kN/m)<td>P_0 (kN/m)</td><td>P_0 (kN/m)</td></td>	P_0 (kN/m)	P_0 (kN/m)	H	P_{90} (kN/m) <td>P_0 (kN/m)</td> <td>P_0 (kN/m)</td>	P_0 (kN/m)	P_0 (kN/m)
4	32,00	42,56	0,78	4	32,00	44,64	2,86	4	32,00	50,76	8,97
6	32,00	95,77	1,75	6	32,00	100,45	6,43	6	32,00	114,21	20,19
8	32,00	170,25	3,10	8	32,00	178,57	11,42	8	32,00	203,04	35,89
10	32,00	266,02	4,85	10	32,00	279,02	17,85	10	32,00	317,24	56,07
12	32,00	383,07	6,98	12	32,00	401,79	25,70	12	32,00	462,30	83,69
14	32,00	521,39	9,50	14	32,00	546,88	34,98	14	32,00	621,80	109,90
16	32,00	681,01	12,41	16	32,00	714,29	45,69	16	32,00	812,14	143,55
18	32,00	861,90	15,71	18	32,00	904,02	57,83	18	32,00	1027,87	181,68
H	P_{90} (kN/m) <td>P_0 (kN/m)</td> <td>P_0 (kN/m)</td> <td>H</td> <td>P_{90} (kN/m)<td>P_0 (kN/m)</td><td>P_0 (kN/m)</td><td>H</td><td>P_{90} (kN/m)<td>P_0 (kN/m)</td><td>P_0 (kN/m)</td></td></td>	P_0 (kN/m)	P_0 (kN/m)	H	P_{90} (kN/m) <td>P_0 (kN/m)</td> <td>P_0 (kN/m)</td> <td>H</td> <td>P_{90} (kN/m)<td>P_0 (kN/m)</td><td>P_0 (kN/m)</td></td>	P_0 (kN/m)	P_0 (kN/m)	H	P_{90} (kN/m) <td>P_0 (kN/m)</td> <td>P_0 (kN/m)</td>	P_0 (kN/m)	P_0 (kN/m)
4	34,00	39,19	0,74	4	34,00	41,19	2,74	4	34,00	47,04	8,59
6	34,00	88,18	1,67	6	34,00	92,67	6,16	6	34,00	105,84	19,33
8	34,00	156,77	2,98	8	34,00	164,75	10,95	8	34,00	188,16	34,36
10	34,00	244,96	4,65	10	34,00	257,42	17,11	10	34,00	294,00	53,69
12	34,00	352,74	6,70	12	34,00	370,89	24,64	12	34,00	423,36	77,32
14	34,00	480,12	9,11	14	34,00	504,54	33,54	14	34,00	576,24	105,24
16	34,00	627,09	11,90	16	34,00	659,00	43,81	16	34,00	752,64	137,45
18	34,00	793,66	15,07	18	34,00	834,04	55,45	18	34,00	952,56	173,96

E = 40 km Yass = 0											
R = %10				R = %2				R = %0,5			
Legend Φ		Legend H		Legend Φ		Legend H		Legend Φ		Legend H	
H	P_{90} (kN/m)	P_0 (kN/m)	P_0 (kN/m)	H	P_{90} (kN/m)	P_0 (kN/m)	P_0 (kN/m)	H	P_{90} (kN/m)	P_0 (kN/m)	P_0 (kN/m)
4	26,00	53,45	0,35	4	26,00	54,33	1,23	4	26,00	56,80	3,69
6	26,00	120,27	0,79	6	26,00	122,25	2,77	6	26,00	127,79	8,31
8	26,00	213,81	1,40	8	26,00	217,34	4,93	8	26,00	227,19	14,78
10	26,00	334,08	2,19	10	26,00	339,59	7,70	10	26,00	354,98	23,09
12	26,00	481,07	3,15	12	26,00	489,01	11,08	12	26,00	511,17	33,25
14	26,00	654,79	4,28	14	26,00	665,59	15,08	14	26,00	695,76	45,25
16	26,00	855,24	5,60	16	26,00	869,35	19,70	16	26,00	908,75	59,10
18	26,00	1082,41	7,08	18	26,00	1100,27	24,93	18	26,00	1150,13	74,80
H	P_{90} (kN/m) <td>P_0 (kN/m)</td> <td>P_0 (kN/m)</td> <td>H</td> <td>P_{90} (kN/m)<td>P_0 (kN/m)</td><td>P_0 (kN/m)</td><td>H</td><td>P_{90} (kN/m)<td>P_0 (kN/m)</td><td>P_0 (kN/m)</td></td></td>	P_0 (kN/m)	P_0 (kN/m)	H	P_{90} (kN/m) <td>P_0 (kN/m)</td> <td>P_0 (kN/m)</td> <td>H</td> <td>P_{90} (kN/m)<td>P_0 (kN/m)</td><td>P_0 (kN/m)</td></td>	P_0 (kN/m)	P_0 (kN/m)	H	P_{90} (kN/m) <td>P_0 (kN/m)</td> <td>P_0 (kN/m)</td>	P_0 (kN/m)	P_0 (kN/m)
4	28,00	49,44	0,34	4	28,00	50,28	1,18	4	28,00	52,65	3,55
6	28,00	111,23	0,76	6	28,00	113,14	2,66	6	28,00	118,46	7,98
8	28,00	197,75	1,35	8	28,00	201,14	4,73	8	28,00	210,59	14,19
10	28,00	308,98	2,10	10	28,00	314,28	7,40	10	28,00	329,05	22,17
12	28,00	444,93	3,03	12	28,00	452,56	10,65	12	28,00	473,83	31,93
14	28,00	605,60	4,12	14	28,00	615,98	14,50	14	28,00	644,94	43,46
16	28,00	790,99	5,38	16	28,00	804,55	18,94	16	28,00	842,37	56,78
18	28,00	1001,10	6,81	18	28,00	1018,25	23,97	18	28,00	1066,12	71,84
H	P_{90} (kN/m) <td>P_0 (kN/m)</td> <td>P_0 (kN/m)</td> <td>H</td> <td>P_{90} (kN/m)<td>P_0 (kN/m)</td><td>P_0 (kN/m)</td><td>H</td><td>P_{90} (kN/m)<td>P_0 (kN/m)</td><td>P_0 (kN/m)</td></td></td>	P_0 (kN/m)	P_0 (kN/m)	H	P_{90} (kN/m) <td>P_0 (kN/m)</td> <td>P_0 (kN/m)</td> <td>H</td> <td>P_{90} (kN/m)<td>P_0 (kN/m)</td><td>P_0 (kN/m)</td></td>	P_0 (kN/m)	P_0 (kN/m)	H	P_{90} (kN/m) <td>P_0 (kN/m)</td> <td>P_0 (kN/m)</td>	P_0 (kN/m)	P_0 (kN/m)
4	30,00	45,06	0,32	4	30,00	46,47	1,14	4	30,00	48,74	3,41
6	30,00	102,73	0,73	6	30,00	104,56	2,56	6	30,00	109,66	7,66
8	30,00	182,83	1,29	8	30,00	185,88	4,55	8	30,00	194,96	13,62
10	30,00	285,35	2,02	10	30,00	290,44	7,11	10	30,00	304,62	21,28
12	30,00	410,91	2,91	12	30,00	418,23	10,23	12	30,00	438,05	30,65
14	30,00	559,29	3,98	14	30,00	569,26	13,93	14	30,00	597,05	40,02
16	30,00	730,50	5,17	16	30,00	743,52	18,19	16	30,00	779,82	54,49
18	30,00	924,54	6,54	18	30,00	941,02	23,02	18	30,00	986,96	68,96
H	P_{90} (kN/m) <td>P_0 (kN/m)</td> <td>P_0 (kN/m)</td> <td>H</td> <td>P_{90} (kN/m)<td>P_0 (kN/m)</td><td>P_0 (kN/m)</td><td>H</td><td>P_{90} (kN/m)<td>P_0 (kN/m)</td><td>P_0 (kN/m)</td></td></td>	P_0 (kN/m)	P_0 (kN/m)	H	P_{90} (kN/m) <td>P_0 (kN/m)</td> <td>P_0 (kN/m)</td> <td>H</td> <td>P_{90} (kN/m)<td>P_0 (kN/m)</td><td>P_0 (kN/m)</td></td>	P_0 (kN/m)	P_0 (kN/m)	H	P_{90} (kN/m) <td>P_0 (kN/m)</td> <td>P_0 (kN/m)</td>	P_0 (kN/m)	P_0 (kN/m)
4	32,00	42,10	0,31	4	32,00	42,88	1,09	4	32,00	45,05	3,27
6	32,00	94,72	0,70	6	32,00	96,48	2,46	6	32,00	101,37	7,35
8	32,00	168,39	1,24	8	32,00	171,51	4,37	8	32,00	180,22	13,07
10	32,00	263,11	1,94	10	32,00	267,99	6,82	10	32,00	281,59	20,42
12	32,00	378,88	2,79	12	32,00	385,91	9,82	12	32,00	405,49	29,40
14	32,00	515,69	3,80	14	32,00	525,26	13,37	14	32,00	551,92	40,02
16	32,00	673,56	4,96	16	32,00	688,06	17,46	16	32,00	720,87	52,27
18	32,00	852,47	6,28	18	32,00	868,29	22,10	18	32,00	912,35	66,16
H	P_{90} (kN/m) <td>P_0 (kN/m)</td> <td>P_0 (kN/m)</td> <td>H</td> <td>P_{90} (kN/m)<td>P_0 (kN/m)</td><td>P_0 (kN/m)</td><td>H</td><td>P_{90} (kN/m)<td>P_0 (kN/m)</td><td>P_0 (kN/m)</td></td></td>	P_0 (kN/m)	P_0 (kN/m)	H	P_{90} (kN/m) <td>P_0 (kN/m)</td> <td>P_0 (kN/m)</td> <td>H</td> <td>P_{90} (kN/m)<td>P_0 (kN/m)</td><td>P_0 (kN/m)</td></td>	P_0 (kN/m)	P_0 (kN/m)	H	P_{90} (kN/m) <td>P_0 (kN/m)</td> <td>P_0 (kN/m)</td>	P_0 (kN/m)	P_0 (kN/m)
4	34,00	38,75	0,30	4	34,00	39,50	1,05	4	34,00	41,58	3,13
6	34,00	87,18	0,67	6	34,00	88,67	2,35	6	34,00	93,56	7,05
8	34,00	154,99	1,19	8	34,00	157,98	4,19	8	34,00	166,33	12,53
10	34,00	242,17	1,88	10	34,00	246,85	6,54	10	34,00	259,88	19,58
12	34,00	348,72	2,68	12	34,00	355,46	9,42	12	34,00	374,23	28,19
14	34,00	474,65	3,64	14	34,00	483,82	12,82	14	34,00	509,37	38,37
16	34,00	619,95	4,76	16	34,00	631,93	16,75	16	34,00	665,30	50,12
18	34,00	784,62	6,02	18	34,00	799,79	21,19	18	34,00	842,03	63,43

E = 60 km Yass = 0											
R = %10				R = %2				R = %0,5			
Legend Φ		Legend H		Legend Φ		Legend H		Legend Φ		Legend H	
H	Φ	P_{90} (kN/m)	P_0 (kN/m)	H	Φ	P_{90} (kN/m)	P_0 (kN/m)	H	Φ	P_{90} (kN/m)	P_0 (kN/m)
4	26,00	53,27	0,17	4	26,00	53,71	0,61	4	26,00	55,05	1,94
6	26,00	119,86	0,38	6	26,00	120,85	1,37	6	26,00	123,85	4,37
8	26,00	213,09	0,68	8	26,00	214,84	2,43	8	26,00	220,18	7,77
10	26,00	332,96	1,06	10	26,00	336,69	3,40	10	26,00	344,04	12,15
12	26,00	479,46	1,53	12	26,00	483,39	5,47	12	26,00	495,42	17,49
14	26,00	652,60	2,09	14	26,00	657,95	7,44	14	26,00	674,32	23,81
16	26,00	852,37	2,72	16	26,00	859,36	9,72	16	26,00	880,74	31,10
18	26,00	1078,78	3,45	18	26,00	1087,63	12,30	18	26,00	1114,69	39,35
H Φ P_{90} (kN/m) P_0 (kN/m)				H Φ P_{90} (kN/m) P_0 (kN/m)				H Φ P_{90} (kN/m) P_0 (kN/m)			
4	28,00	49,26	0,16	4	28,00	49,68	0,58	4	28,00	50,97	1,87
6	28,00	110,84	0,37	6	28,00	111,79	1,31	6	28,00	114,68	4,20
8	28,00	197,08	0,65	8	28,00	198,74	2,34	8	28,00	203,87	7,47
10	28,00	307,90	1,02	10	28,00	310,53	3,65	10	28,00	318,55	11,67
12	28,00	443,38	1,47	12	28,00	447,16	5,25	12	28,00	458,71	16,81
14	28,00	603,49	2,01	14	28,00	608,63	7,15	14	28,00	624,36	22,88
16	28,00	788,23	2,62	16	28,00	794,95	9,34	16	28,00	815,49	29,88
18	28,00	997,60	3,32	18	28,00	1008,11	11,82	18	28,00	1032,10	37,82
H Φ P_{90} (kN/m) P_0 (kN/m)				H Φ P_{90} (kN/m) P_0 (kN/m)				H Φ P_{90} (kN/m) P_0 (kN/m)			
4	30,00	45,49	0,16	4	30,00	45,89	0,56	4	30,00	47,13	1,79
6	30,00	102,35	0,35	6	30,00	103,26	1,28	6	30,00	106,04	4,04
8	30,00	181,96	0,63	8	30,00	183,58	2,24	8	30,00	188,51	7,17
10	30,00	284,32	0,98	10	30,00	286,84	3,51	10	30,00	294,54	11,21
12	30,00	409,42	1,42	12	30,00	413,05	5,05	12	30,00	424,14	16,14
14	30,00	557,26	1,93	14	30,00	562,20	6,87	14	30,00	577,31	21,97
16	30,00	727,85	2,52	16	30,00	734,31	8,98	16	30,00	754,03	28,70
18	30,00	921,19	3,19	18	30,00	929,36	11,36	18	30,00	954,32	36,32
H Φ P_{90} (kN/m) P_0 (kN/m)				H Φ P_{90} (kN/m) P_0 (kN/m)				H Φ P_{90} (kN/m) P_0 (kN/m)			
4	32,00	41,94	0,15	4	32,00	42,33	0,54	4	32,00	43,51	1,72
6	32,00	94,36	0,34	6	32,00	95,23	1,21	6	32,00	97,89	3,87
8	32,00	167,75	0,60	8	32,00	169,30	2,15	8	32,00	174,03	6,89
10	32,00	262,11	0,94	10	32,00	264,54	3,37	10	32,00	271,93	10,76
12	32,00	377,44	1,36	12	32,00	380,93	4,85	12	32,00	391,58	15,49
14	32,00	513,74	1,85	14	32,00	518,49	6,60	14	32,00	532,98	21,09
16	32,00	671,01	2,42	16	32,00	677,21	8,82	16	32,00	696,14	27,54
18	32,00	849,25	3,06	18	32,00	857,09	10,90	18	32,00	881,05	34,86
H Φ P_{90} (kN/m) P_0 (kN/m)				H Φ P_{90} (kN/m) P_0 (kN/m)				H Φ P_{90} (kN/m) P_0 (kN/m)			
4	34,00	38,59	0,14	4	34,00	38,97	0,52	4	34,00	40,10	1,65
6	34,00	86,84	0,33	6	34,00	87,67	1,16	6	34,00	90,23	3,71
8	34,00	154,38	0,58	8	34,00	155,86	2,07	8	34,00	158,99	4,04
10	34,00	241,21	0,91	10	34,00	243,54	3,23	10	34,00	250,63	6,69
12	34,00	347,35	1,30	12	34,00	350,69	4,65	12	34,00	360,90	10,48
14	34,00	472,78	1,77	14	34,00	477,33	6,33	14	34,00	491,23	14,86
16	34,00	617,51	2,32	16	34,00	623,45	8,26	16	34,00	641,60	20,22
18	34,00	781,53	2,93	18	34,00	789,06	10,46	18	34,00	812,03	33,43

E = 120 km Yass = 0											
R = %10				R = %2				R = %0,5			
Legend Φ		Legend H		Legend Φ		Legend H		Legend Φ		Legend H	
H	Φ	P_{90} (kN/m)	P_0 (kN/m)	H	Φ	P_{90} (kN/m)	P_0 (kN/m)	H	Φ	P_{90} (kN/m)	P_0 (kN/m)
4	26,00	53,15	0,05	4	26,00	53,29	0,19	4	26,00	53,67	0,57
6	26,00	119,80	0,12	6	26,00	119,91	0,43	6	26,00	120,76	1,28
8	26,00	212,62	0,21	8	26,00	213,17	0,76	8	26,00	214,68	2,27
10	26,00	332,22	0,32	10	26,00	333,08	1,19	10	26,00	335,44	3,54
12	26,00	478,39	0,47	12	26,00	479,64	1,72	12	26,00	483,03	5,10
14	26,00	651,14	0,64	14	26,00	652,85	2,34	14	26,00	657,45	6,94
16	26,00	850,47	0,83	16	26,00	852,70	3,05	16	26,00	858,71	9,07
18	26,00	1076,38	1,05	18	26,00	1079,19	3,86	18	26,00	1086,81	11,48
H Φ P_{90} (kN/m) P_0 (kN/m)				H Φ P_{90} (kN/m) P_0 (kN/m)				H Φ P_{90} (kN/m) P_0 (kN/m)			
4	28,00	49,15	0,05	4	28,00	49,28	0,18	4	28,00	49,65	0,54
6	28,00	110,59	0,11	6	28,00	110,89	0,41	6	28,00	111,70	1,23
8	28,00	196,60	0,20	8	28,00	197,14	0,73	8	28,00	198,58	2,18
10	28,00	307,19	0,31	10	28,00	308,02	1,15	10	28,00	310,28	3,41
12	28,00	442,35	0,45	12	28,00	443,56	1,85	12	28,00	446,81	4,90
14	28,00	602,09	0,61	14	28,00	603,73	2,25	14	28,00	608,16	6,68
16	28,00	786,41	0,80	16	28,00	788,54	2,93	16	28,00	794,33	8,72
18	28,00	995,30	1,01	18	28,00	998,00	3,71	18	28,00	1005,32	11,04
H Φ P_{90} (kN/m) P_0 (kN/m)				H Φ P_{90} (kN/m) P_0 (kN/m)				H Φ P_{90} (kN/m) P_0 (kN/m)			
4	30,00	45,38	0,05	4	30,00	45,51	0,18	4	30,00	45,88	0,52
6	30,00	102,11	0,11	6	30,00	102,40	0,40	6	30,00	103,18	1,18
8	30,00	181,53	0,19	8	30,00	182,04	0,70	8	30,00	183,43	2,09
10	30,00	283,63	0,30	10	30,00	284,43	1,10	10	30,00	286,61	3,27
12	30,00	408,43	0,43	12	30,00	409,59	1,59	12	30,00	412,71	4,71
14	30,00	556,92	0,59	14	30,00	557,49	2,16	14	30,00	561,75	6,41
16	30,00	726,10	0,77	16	30,00	728,15	2,82	16	30,00	733,71	8,38
18	30,00	918,97	0,97	18	30,00	921,57	3,57	18	30,00	928,60	10,60
H Φ P_{90} (kN/m) P_0 (kN/m)				H Φ P_{90} (kN/m) P_0 (kN/m)				H Φ P_{90} (kN/m) P_0 (kN/m)			
4	32,00	41,83	0,05	4	32,00	41,96	0,17	4	32,00	42,29	0,50
6	32,00	94,12	0,10	6	32,00	94,40	0,38	6	32,00	95,15	1,13
8	32,00	167,33	0,18	8	32,00	167,83	0,68	8	32,00	169,16	2,01
10	32,00	261,46	0,29	10	32,00	262,23	1,06	10	32,00	264,31	3,14
12	32,00	376,50	0,41	12	32,00	377,61	1,52	12	32,00	380,61	4,52
14	32,00	512,46	0,56	14	32,00	513,97	2,07	14	32,00	518,05	6,16
16	32,00	669,33	0,74	16	32,00	671,30	2,71	16	32,00	676,64	8,04
18	32,00	847,12	0,93	18	32,00	849,62	3,43	18	32,00	856,37	10,18
H Φ P_{90} (kN/m) P_0 (kN/m)				H Φ P_{90} (kN/m) P_0 (kN/m)				H Φ P_{90} (kN/m) P_0 (kN/m)			
4	34,00	38,49	0,04	4	34,00	38,61	0,16	4	34,00	38,93	0,48
6	34,00	86,11	0,10	6	34,00	86,38	0,37	6	34,00	87,60	1,08
8	34,00	153,97	0,18	8	34,00	154,45	0,65	8	34,00	155,73	1,93
10	34,00	240,58	0,28	10	34,00	241,32	1,01	10	34,00	243,32	3,01
12	34,00	346,44	0,40	12	34,00	347,50	1,46	12	34,00	350,38	4,34
14	34,00	471,54	0,54	14	34,00	472,99	1,99	14	34,00	476,91	5,91
16	34,00	615,89	0,71	16	34,00	617,78	2,60	16	34,00	622,90	7,71
18	34,00	779,49	0,89	18	34,00	781,88	3,29	18	34,00	788,36	9,76

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	15.06.1977	
Doğum yeri	İstanbul	
İlköğretim	1983-1991	Gazi Abdurrahman İlköğretim Okulu
Lise	1991-1994	Yalova Lisesi
Lisans	1994-1998	İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fak. İnşaat Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1999-2002	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Geoteknik Programı

Çalıştığı kurum(lar)

1997	STFA Temel Kazıkları A.Ş.
------	---------------------------

