

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**GRANÜLER ZEMİNLERDE DEPLASMAN BAZLI İÇTEN  
DESTEKLİ İKSA SİSTEMİ TASARIMI**

**BÜNYAMİN ODABAŞI**

**KOCAELİ 2020**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**GRANÜLER ZEMİNLERDE DEPLASMAN BAZLI İÇTEN**  
**DESTEKLİ İKSA SİSTEMİ TASARIMI**

**BÜNYAMİN ODABAŞI**

**Prof.Dr. Sami ARSOY**  
**Danışman, Kocaeli Üniv.**

**Prof.Dr. Semih KÜÇÜKARSLAN**  
**Jüri Üyesi, İstanbul Teknik Üniv.**

**Doç.Dr. Fuad OKAY**  
**Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.**



**Tezin Savunulduğu Tarih: 06.01.2020**

## **ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR**

Günümüzde en sık karşılaşılan geoteknik uygulamaların başında içten destekli iksa sistemleri gelmekte olup söz konusu yapıların güvenli ve ekonomik bir şekilde tasarımı önem arz etmektedir. Gerek şehir merkezlerinde gerçekleştirilen altyapı çalışmalarında gerekse derin temel kazılarında kullanılan içten destekli iksa sistemlerinin tasarımına ilişkin deneysel çalışmalarla elde edilen görünür toprak basıncı dağılımlarından farklı olarak çalışma kapsamında teorik bir bakış açısıyla yeni bir yöntem önerilip kullanılabilirliği irdelenmiştir.

Zemindeki yanal toprak basınçlarının hesaplanması bakımından geliştirilmeye açık olan bu konuda bana çalışma fırsatı veren değerli hocam Prof.Dr. Sami Arsoy'a teşekkür ederim. Ayrıca hayatım boyunca beni destekleyen aileme de sonsuz minnet duygularımı sunarım.

Ocak – 2020

Bünyamin ODABAŞI

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
TABLolar DİZİNİ .....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xi
ÖZET.....	xiii
ABSTRACT .....	xiv
GİRİŞ .....	1
1. YANAL TOPRAK BASINCI.....	4
1.1. Sükûnetteki Yanal Toprak Basıncı.....	4
1.1.1. Sükûnetteki toprak basıncı katsayısının arazi deneyleri ile belirlenmesi .....	5
1.1.2. Sükûnetteki toprak basıncı katsayısının ampirik bağıntılar ile belirlenmesi .....	5
1.2. Aktif Durumdaki Yanal Toprak Basıncı .....	6
1.3. Pasif Durumdaki Yanal Toprak Basıncı.....	7
1.4. Toprak Basıncı Teorileri .....	9
1.4.1. Rankine toprak basıncı teorisi .....	9
1.4.1.1. Rankine aktif toprak basıncı.....	9
1.4.1.2. Rankine pasif toprak basıncı .....	11
1.4.2. Coloumb kama teorisi.....	13
1.4.2.1. Coloumb aktif durum toprak basıncı.....	13
1.4.2.2. Coloumb pasif durum toprak basıncı .....	16
2. İÇTEN DESTEKLİ İKSA SİSTEMLERİNİN TASARIMI .....	18
2.1. Giriş.....	18
2.2. Destekli Kazı Sistemleri.....	18
2.3. Destekli Kazı Sistemi İmalatı.....	19
2.4. Destekli Kazı Sistemlerine Etki Eden Yanal Toprak Basınçları.....	20
2.5. Görünür Toprak Basıncı.....	20
2.5.1. Terzaghi & Peck görünür toprak basıncı dağılımları .....	21
2.5.2. Tschebotarioff görünür toprak basıncı dağılımı .....	23
2.5.3. Lehmann görünür toprak basıncı dağılımı .....	24
2.5.4. FHWA tarafından önerilen görünür toprak basıncı dağılımı .....	24
2.5.5. Düşey iksa elemanında yük hücresi okumalarına istinaden sunulan görünür toprak basıncı diyagramları.....	25
2.5.6. Bowles görünür toprak basıncı önerisi .....	27
2.6. Destek Elemanı Yükleri için Hesap Yöntemleri .....	28
2.6.1. Tributary area method .....	28
2.6.2. Hinge method .....	29
2.7. Destekli Kazılarda Taban Kabarması.....	30
3. KAYMA DÜZLEMİNDE BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRME TEORİSİ .....	33
3.1. Giriş.....	33
3.2. Elastisite Teorisinin İrdelenmesi .....	33

3.3. Hareketlenmiş Kayma Direnci Açısı.....	35
3.4. Birim Şekil Değiştirme (Strain) Durumlarının Tanımlanması.....	36
3.4.1. Kayma birim şekil değiştirmelerin tanımlanması.....	36
3.4.1.1. Sükûnet hali birim şekil değiştirme.....	36
3.4.1.2. Aktif durum birim şekil değiştirme.....	38
3.4.1.3. Pasif durum birim şekil değiştirme.....	40
3.5. Arsoy (2004) Çalışması.....	42
4. ÖNERİLEN HESAP YÖNTEMİ.....	45
4.1. Giriş.....	45
4.2. Önerilen Hesap Yöntemi İşlem Adımları.....	46
4.2.1. $\epsilon_{mob} - \emptyset_{mob}$ ve $\emptyset_{mob} - \epsilon_{mob}$ tan ( $45 - \emptyset_{mob}/2$ ) grafiklerinin elde edilmesi.....	46
4.2.2. İksa sistemi deplasman şeklinin öngörülmesi.....	48
4.2.3. Birim şekil değiştirmelerin bulunması.....	48
4.2.3.1. Başlangıç (sükûnet hâli) birim şekil değiştirme değerinin ( $\epsilon_{int.}$ ) bulunması.....	49
4.2.3.2. Duvar kayma hareketinden dolayı hareketlenmiş birim şekil değiştirme değerinin ( $\epsilon_{mob(t)}$ ) bulunması.....	53
4.2.3.3. Duvar dönme hareketinden dolayı hareketlenmiş birim şekil değiştirme değerinin ( $\epsilon_{mob(r)}$ ) bulunması.....	54
4.2.4. Hareketlenmiş toplam birim şekil değiştirmenin ( $\epsilon_{mob(tot.)}$ ) hesaplanması.....	55
4.2.5. Hareketlenmiş kayma direnci açısının ( $\emptyset_{mob}$ ) hesaplanması.....	56
4.2.6. İksa sistemine etki eden yanal toprak basıncının hesaplanması.....	56
4.3. Önerilen Hesap Yöntemi İle Sükûnet Hâli Yanal Toprak Basınçlarının Hesaplanmasına Yönelik Örnek Uygulama.....	56
4.3.1. $\epsilon_{mob} - \emptyset_{mob}$ ve $\emptyset_{mob} - \epsilon_{mob}$ tan ( $45 - \emptyset_{mob}/2$ ) grafiklerinin elde edilmesi.....	57
4.3.2. Başlangıç birim şekil değiştirme değerinin ( $\epsilon_{int.}$ ) hesaplanması.....	60
4.3.2.1. Başlangıç birim şekil değiştirme değerinin Rowe (1954) abakları kullanılarak elde edilmesi.....	61
4.3.2.2. Başlangıç birim şekil değiştirme değerinin Jaky (1944) yaklaşımı kullanılarak elde edilmesi.....	61
4.3.3. Hareketlenmiş kayma direnci açısının ( $\emptyset_{mob.}$ ) hesaplanması.....	62
4.3.4. Yanal toprak basıncının hesaplanması.....	63
4.4. Önerilen Hesap Yöntemi İle Aktif Durum Yanal Toprak Basıncının Hesaplanmasına Yönelik Örnek Uygulama.....	63
4.4.1. İksa sistemi deplasman şeklinin öngörülmesi.....	63
4.4.2. Birim şekil değiştirme değerlerinin hesaplanması.....	64
4.4.2.1. Başlangıç birim şekil değiştirme değerinin ( $\epsilon_{int.}$ ) hesaplanması.....	64
4.4.2.2. Duvar kayma hareketinden dolayı hareketlenmiş birim şekil değiştirme değerinin ( $\epsilon_{mob(t)}$ ) bulunması.....	66
4.4.2.3. Duvar dönme hareketinden dolayı hareketlenmiş birim şekil değiştirme değerinin ( $\epsilon_{mob(r)}$ ) bulunması.....	67
4.4.2.4. Hareketlenmiş toplam birim şekil değiştirmenin ( $\epsilon_{mob(tot.)}$ ) hesaplanması.....	69

4.4.3. Hareketlenmiş içsel sürtünme açısının ( $\emptyset_{mob}$ ) hesaplanması .....	70
4.4.4. Yanal toprak basınçlarının hesaplanması .....	70
5. İÇTEN DESTEKLİ İKSA SİSTEMLERİNİN ÖNERİLEN HESAP YÖNTEMİ İLE TASARIMI .....	72
5.1. Giriş .....	72
5.2. $\epsilon_{mob} - \emptyset_{mob}$ ve $\emptyset_{mob} - \epsilon_{mob}$ tan( $45 - \emptyset_{mob}/2$ ) grafiklerinin elde edilmesi .....	73
5.3. İçten Destekli İksa Sisteminin Deplasman Şeklinin Öngörülmesi .....	74
5.4. Birim Şekil Değiştirme Değerlerinin Hesaplanması .....	76
5.4.1. Başlangıç birim şekil değiştirme değerinin hesaplanması .....	76
5.4.1.1. Rowe (1954) önerisine göre başlangıç şekil değiştirme değerinin ( $\epsilon_{int.}$ ) bulunması .....	76
5.4.1.2. Jaky (1944) önerisine göre başlangıç şekil değiştirme değerinin ( $\epsilon_{int.}$ ) bulunması .....	77
5.4.2. İksa sistemi kayma hareketinden sebep birim şekil değiştirme değerinin ( $\epsilon_{mob(t)}$ ) hesaplanması .....	78
5.4.3. İksa sistemi dönme hareketinden sebep birim şekil değiştirme değerinin ( $\epsilon_{mob(r)}$ ) hesaplanması .....	81
5.5. Hareketlenmiş Toplam Birim Şekil Değiştirme ( $\epsilon_{mob(tot.)}$ ) Değerinin Hesaplanması .....	85
5.6. Hareketlenmiş İçsel Sürtünme Açısının ( $\emptyset_{mob}$ ) Hesaplanması .....	86
5.7. Yanal Toprak Basınçlarının Hesaplanması .....	88
5.8. Destek Elemanlarına Etkiyen Kuvvetlerin Hesaplanması .....	90
5.8.1. Yanal destek elemanlarına etki eden yüklerin “tributary area method” ile hesaplanması .....	90
5.8.2. Yanal destek elemanlarına etki eden yüklerin “hinge method” ile hesaplanması .....	91
6. ÖNERİLEN HESAP YÖNTEMİNİN İRDELENMESİ .....	93
6.1. Giriş .....	93
6.2. $\epsilon_{mob} - \emptyset_{mob}$ ve $\emptyset_{mob} - \epsilon_{mob}$ tan( $45 - \emptyset_{mob}/2$ ) Grafiklerinin Elde Edilmesi .....	94
6.3. Önerilen Hesap Yönteminin Sükûnet Hâlindeki Yanal Toprak Basınçları Açısından İrdelenmesi .....	96
6.4. Aktif Yanal Toprak Basınçlarının İncelenmesi .....	100
6.4.1. Kayma hareketinden dolayı oluşan aktif yanal toprak basıncının irdelenmesi .....	100
6.4.2. Dönme hareketinden dolayı oluşan aktif yanal toprak basıncının irdelenmesi .....	105
6.5. Önerilen Hesap Yönteminin İçten Destekli İksa Sistemlerin Tasarımında Kullanılması Bakımından İrdelenmesi .....	112
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	121
KAYNAKLAR .....	123
EKLER .....	125
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER .....	155
ÖZGEÇMİŞ .....	156

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Aktif yanal toprak basıncı mekanizması .....	6
Şekil 1.2.	Dayanma yapısı için dönme ve kayma hareketleri.....	7
Şekil 1.3.	Pasif yanal toprak basıncı mekanizması.....	7
Şekil 1.4.	Granüler zeminler için deformasyonun toprak basıncına etkisi.....	8
Şekil 1.5.	Aktif durum için göçme düzlemleri .....	10
Şekil 1.6.	Aktif durum için mohr dairesi .....	10
Şekil 1.7.	Pasif durum için göçme düzlemleri.....	11
Şekil 1.8.	Pasif durum için mohr dairesi .....	12
Şekil 1.9.	Coloumb aktif toprak basıncı durumu kama dengesi.....	13
Şekil 1.10.	Coloumb aktif toprak basıncı durumu kayma kaması.....	14
Şekil 1.11.	Coloumb pasif toprak basıncı durumu kama dengesi .....	17
Şekil 2.1.	Sığ temel çukurlarında destek elemanı.....	18
Şekil 2.2.	Destekli kazı tipik sistem kesiti.....	19
Şekil 2.3.	Farklı iksa sistemi deplasman formları için toprak basıncı dağılımları .....	20
Şekil 2.4.	Terzaghi & Peck görünür toprak basıncı diyagramları .....	21
Şekil 2.5.	Tschebotarioff görünür toprak basıncı diyagramları.....	23
Şekil 2.6.	Lehmann görünür toprak basıncı diyagramı .....	24
Şekil 2.7.	FHWA tarafından granüler zeminler için önerilen görünür toprak basıncı diyagramları .....	25
Şekil 2.8.	Japon A ve F standartları tarafından önerilen görünür toprak basıncı diyagramı .....	26
Şekil 2.9.	Japon B standardı tarafından önerilen toprak basıncı dağılımı .....	27
Şekil 2.10.	Granüler zeminler için Bowles görünür toprak basıncı dağılımları .....	27
Şekil 2.11.	Tributary area method için destek yükleri hesap şematığı (yük dağılımı temsilidir.).....	28
Şekil 2.12.	Hinge method için destek yükleri hesap şematığı (yük dağılımı temsilidir.) .....	30
Şekil 2.13.	Kohezyonlu zeminlerde taban kabarması problemi .....	31
Şekil 2.14.	Taban kabarması probleminde taşıma gücü faktörü.....	32
Şekil 3.1.	Rowe Laboratuvar deneyinde kullandığı kesme kutusu düzeneği .....	34
Şekil 3.2.	Hareketlenmiş içsel sürtünme açısının tanımlanması .....	35
Şekil 3.3.	Gevşek ve sıkı kumlar için Rowe tarafından önerilen başlangıç durumu birim şekil değiştirme abakları .....	37
Şekil 3.4.	Salt ötelenme hali aktif durum için kayma düzlemleri.....	38
Şekil 3.5.	Rowe tarafından granüler zeminler üzerinde yapılan kesme kutusu deneylerinde kenetlenmeye bağlı hacim değişimi.....	39
Şekil 3.6.	Rowe tarafından granüler zeminler üzerinde yapılan kesme kutusu deneylerinde zıt yönlü yükleme durumu .....	41

Şekil 3.7.	Arsoy veri tabanındaki deney sonuçlarının normalize edildiği hareketlenmiş kayma direnciyle birim şekil değiştirme arasındaki ilişki .....	44
Şekil 4.1.	Önerilen hesap yöntemi işlem adımları özeti .....	46
Şekil 4.2.	Nihai kayma direnci açısı ( $\theta_f$ ) $30^\circ$ olan granüler zemin için Denklem (3.18) kullanılarak oluşturulan $\varepsilon_{mob} - \theta_{mob}$ Grafiği.....	47
Şekil 4.3.	Nihai kayma direnci açısı ( $\theta_f$ ) $30^\circ$ olan granüler zemin için $\varepsilon_{mob} - \theta_{mob}$ değerleri kullanılarak oluşturulan $\theta_{mob} - \varepsilon_{mob} \tan(45 - \theta_{mob}/2)$ Grafiği .....	47
Şekil 4.4.	İksa sistemleri için çeşitli deplasman şekilleri .....	48
Şekil 4.5.	SI Birim sisteminde Rowe tarafından gevşek kumlar için önerilen başlangıç (sükûnet hali) birim şekil değiştirme abağı.....	50
Şekil 4.6.	SI Birim sisteminde Rowe tarafından gevşek ve sıkı kumlar için önerilen başlangıç (sükûnet hali) birim şekil değiştirme abaklarından elde edilen orta sıkı kumlar için başlangıç (sükûnet hali) birim şekil değiştirme abağı .....	51
Şekil 4.7.	SI Birim sisteminde Rowe tarafından sıkı kumlar için önerilen başlangıç (sükûnet hali) birim şekil değiştirme abağı .....	51
Şekil 4.8.	İksa sistemi aktif denge durumu kayma hareketi genel durumu .....	54
Şekil 4.9.	İksa sistemi aktif denge durumu dönme hareketi genel durumu.....	55
Şekil 4.10.	Spreadsheet yardımıyla oluşturulan $\varepsilon_{mob} - \theta_{mob}$ grafiği.....	58
Şekil 4.11.	Spreadsheet yardımıyla oluşturulan $\varepsilon_{mob} \tan(45 - \theta_{mob}/2) - \theta_{mob}$ grafiği .....	60
Şekil 4.12.	İksa sisteminde aktif durum için öngörülen deplasman formu (tüm ölçüler mm olup çizim ölçeksizdir.) .....	64
Şekil 4.13.	İksa sistemi kayma hareketi için 2400 mm derinlikte $\varepsilon_{mob(t)}$ değerinin hesaplanması için sistem şematığı (çizim ölçeksiz olup ölçüler mm'dir.) .....	67
Şekil 4.14.	İksa sistemi dönme hareketi için 2400 mm derinlikte $\varepsilon_{mob(r)}$ değerinin hesaplanması için sistem şematığı (çizim ölçeksiz olup ölçüler mm'dir.) .....	69
Şekil 5.1.	Önerilen hesap yöntemi için örnek olarak seçilen içten destekli iksa sistemi kesiti .....	72
Şekil 5.2.	Tablo 5.1'de verilen zemin için oluşturulan $\varepsilon_{mob} - \theta_{mob}$ grafiği.....	73
Şekil 5.3.	Tablo 5.1'de verilen zemin için oluşturulan $\theta_{mob} - \varepsilon_{mob} \tan(45 - \theta_{mob}/2)$ grafiği .....	73
Şekil 5.4.	Çalışma kapsamında belirlenen deplasman formu .....	74
Şekil 5.5.	Çalışma kapsamında belirlenen deplasman formunun basitleştirilmesi.....	75
Şekil 5.6.	Örnek için belirlenen deplasman değerleri.....	75
Şekil 5.7.	İksa sistemi kayma hareketi için 2400 mm derinlikte $\varepsilon_{mob(t)}$ değerinin hesaplanması için sistem şematığı (çizim ölçeksiz olup ölçüler mm'dir.) .....	80
Şekil 5.8.	Örnek kapsamında belirlenen deplasman şekli için normalize dönmenin tanımlanması .....	81
Şekil 5.9.	İksa sistemi kayma hareketi için 2400 mm derinlikte $\varepsilon_{mob(r)}$ değerinin hesaplanması için sistem şematığı (çizim ölçeksiz olup ölçüler mm'dir.) .....	84
Şekil 5.10.	İksa sistemi "triburary area method" hesap şematığı .....	91



Şekil 5.11.	İksa sistemi “hinge method” hesap şematığı.....	92
Şekil 6.1.	Tablo 6.1’de özellikleri verilen gevşek kum zemin $\varepsilon_{mob} - \emptyset_{mob}$ grafiği .....	94
Şekil 6.2.	Tablo 6.1’de özellikleri verilen gevşek kum zemin $\emptyset_{mob} - \varepsilon_{mob} \tan(45 - \emptyset_{mob}/2)$ grafiği .....	94
Şekil 6.3.	Tablo 6.1’de özellikleri verilen orta sıkı kum zemin $\varepsilon_{mob} - \emptyset_{mob}$ grafiği .....	95
Şekil 6.4.	Tablo 6.1’de özellikleri verilen orta sıkı kum zemin $\emptyset_{mob} - \varepsilon_{mob} \tan(45 - \emptyset_{mob}/2)$ grafiği .....	95
Şekil 6.5.	Tablo 6.1’de özellikleri verilen sıkı kum zemin $\varepsilon_{mob} - \emptyset_{mob}$ grafiği .....	96
Şekil 6.6.	Tablo 6.1’de özellikleri verilen sıkı kum zemin için $\emptyset_{mob} - \varepsilon_{mob} \tan(45 - \emptyset_{mob}/2)$ grafiği .....	96
Şekil 6.7.	Tablo 6.1’de özellikleri verilen gevşek kum zemin için 10 m yükseklikli iksa sisteminde sükûnet hâli yanal toprak basınçları .....	97
Şekil 6.8.	Tablo 6.1’de özellikleri verilen orta sıkı kum zemin için 10 m yükseklikli iksa sisteminde sükûnet hâli yanal toprak basınçları .....	98
Şekil 6.9.	Tablo 6.1’de özellikleri verilen sıkı kum zemin için 10 m yükseklikli iksa sisteminde sükûnet hâli yanal toprak basınçları .....	99
Şekil 6.10.	Tablo 6.1’deki gevşek kum zemin için 5 m yükseklikli iksa sisteminde 0,005H kayma deformasyonunda ( $\varepsilon_{int.}$ ) değeri Jaky ve Rowe yaklaşımları kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanal toprak basınçları .....	102
Şekil 6.11.	Tablo 6.1’deki orta sıkı kum zemin için 5 m yükseklikli iksa sisteminde 0,005H kayma deformasyonunda ( $\varepsilon_{int.}$ ) değeri Jaky ve Rowe yaklaşımları kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanal toprak basınçları .....	103
Şekil 6.12.	Tablo 6.1’deki sıkı kum zemin için 5 m yükseklikli iksa sisteminde 0,005H kayma deformasyonunda ( $\varepsilon_{int.}$ ) değeri Jaky ve Rowe yaklaşımları kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanal toprak basınçları .....	105
Şekil 6.13.	Tablo 6.1’deki gevşek kum zemin için 5 m yükseklikli iksa sisteminde çeşitli dönme deformasyonlarında ( $\varepsilon_{int.}$ ) değeri Jaky ve Rowe yaklaşımları kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanal toprak basınçları .....	107
Şekil 6.14.	Tablo 6.1’deki orta sıkı kum zemin için 5 m yükseklikli iksa sisteminde çeşitli dönme deformasyonlarında ( $\varepsilon_{int.}$ ) değeri Jaky ve Rowe yaklaşımları kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanal toprak basınçları .....	109
Şekil 6.15.	Tablo 6.1’deki sıkı kum zemin için 5 m yükseklikli iksa sisteminde çeşitli dönme deformasyonlarında ( $\varepsilon_{int.}$ ) değeri Jaky ve Rowe yaklaşımları kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanal toprak basınçları .....	111
Şekil 6.16.	Önerilen hesap yöntemi için örnek olarak seçilen içten destekli iksa sistemi kesiti .....	113

Şekil 6.17.	Önerilen hesap yöntemi için örnek olarak seçilen içten destekli iksa sistemi deformasyon şekli.....	113
Şekil 6.18.	Tablo 6.1’de özellikleri verilen gevşek kum zemin için tez kapsamında önerilen yönteme göre “tributary area method” ile hesaplanan maksimum destek elemanı yükünün literatürdeki diğer yöntemlerle karşılaştırması .....	114
Şekil 6.19.	Tablo 6.1’de özellikleri verilen gevşek kum zemin için tez kapsamında önerilen yönteme göre “hinge method” ile hesaplanan maksimum destek elemanı yükünün literatürdeki diğer yöntemlerle karşılaştırması .....	115
Şekil 6.20.	Tablo 6.1’de özellikleri verilen gevşek kum zemin için tez kapsamında önerilen yönteme göre hesaplanan bileşke kuvvetin literatürdeki diğer yöntemlerle karşılaştırması.....	116
Şekil 6.21.	Tablo 6.1’de özellikleri verilen orta sıkı kum zemin için tez kapsamında önerilen yönteme göre “tributary area method” ile hesaplanan maksimum destek elemanı yükünün literatürdeki diğer yöntemlerle karşılaştırması .....	116
Şekil 6.22.	Tablo 6.1’de özellikleri verilen orta sıkı kum zemin için tez kapsamında önerilen yönteme göre “hinge method” ile hesaplanan maksimum destek elemanı yükünün literatürdeki diğer yöntemlerle karşılaştırması .....	117
Şekil 6.23.	Tablo 6.1’de özellikleri verilen orta sıkı kum zemin için tez kapsamında önerilen yönteme göre hesaplanan bileşke kuvvetin literatürdeki diğer yöntemlerle karşılaştırması.....	118
Şekil 6.24.	Tablo 6.1’de özellikleri verilen sıkı kum zemin için tez kapsamında önerilen yönteme göre “tributary area method” ile hesaplanan maksimum destek elemanı yükünün literatürdeki diğer yöntemlerle karşılaştırması .....	119
Şekil 6.25.	Tablo 6.1’de özellikleri verilen sıkı kum zemin için tez kapsamında önerilen yönteme göre “hinge method” ile hesaplanan maksimum destek elemanı yükünün literatürdeki diğer yöntemlerle karşılaştırması .....	119
Şekil 6.26.	Tablo 6.1’de özellikleri verilen sıkı kum zemin için tez kapsamında önerilen yönteme göre hesaplanan bileşke kuvvetin literatürdeki diğer yöntemlerle karşılaştırması.....	120

## TABLolar DİZİNİ

Tablo 1.1.	Çeşitli zemin cinsine göre tipik $K_0$ değerleri .....	5
Tablo 1.2.	Aktif toprak basıncı oluşması için gerekli duvar hareketi değerleri.....	7
Tablo 1.3.	Pasif toprak basıncı oluşması için gerekli duvar hareketi değerleri.....	8
Tablo 2.1.	Görünür toprak basıncı diyagramı öneren japon standartları .....	26
Tablo 4.1.	Çalışma kapsamında granüler zemin tipi seçim kriteri .....	49
Tablo 4.2.	SPT- $N_{30}$ - bağıl sıklık - kayma direnci açısı arasındaki ilişki.....	50
Tablo 4.3.	Önerilen hesap yöntemi ile yanal toprak basıncı hesabı için seçilen zemin özellikleri.....	56
Tablo 4.4.	Spreadsheet yardımıyla hesaplanan $\epsilon_{mob} - \bar{\sigma}_{mob}$ değerleri.....	57
Tablo 4.5.	Spreadsheet yardımıyla hesaplanan $\bar{\sigma}_{mob} - \epsilon_{mob}$ tan $(45 - \bar{\sigma}_{mob}/2)$ değerleri.....	59
Tablo 4.6.	Spreadsheet yardımıyla hesaplanan $\epsilon_{int.}$ değerleri .....	61
Tablo 4.7.	Spreadsheet yardımıyla hesaplanan hareketlenmiş kayma direnci açıları.....	62
Tablo 4.8.	Spreadsheet yardımıyla hesaplanan yanal toprak basınçları .....	63
Tablo 4.9.	Spreadsheet yardımıyla hesaplanan $\epsilon_{int.}$ değerleri .....	65
Tablo 4.10.	Spreadsheet yardımıyla hesaplanan $\epsilon_{mob(t)}$ değerleri .....	66
Tablo 4.11.	Spreadsheet yardımıyla hesaplanan $\epsilon_{mob(r)}$ değerleri .....	68
Tablo 4.12.	Spreadsheet yardımıyla hesaplanan $\epsilon_{mob(tot.)}$ değerleri.....	69
Tablo 4.13.	Spreadsheet yardımıyla hesaplanan $\bar{\sigma}_{mob}$ değerleri.....	70
Tablo 4.14.	Spreadsheet yardımıyla hesaplanan $P_{amob}$ değerleri .....	71
Tablo 5.1.	İçten destekli iksa sistemine etki eden yanal toprak basınçlarının önerilen hesap yöntemi ile hesabı için seçilen zemin özellikleri.....	72
Tablo 5.2.	Spreadsheet ile hesaplanan başlangıç birim şekil değiştirme değerleri.....	77
Tablo 5.3.	Spreadsheet ile hesaplanan $\epsilon_{mob(t)}$ değerleri.....	79
Tablo 5.4.	Spreadsheet ile hesaplanan $\epsilon_{mob(r)}$ değerleri.....	82
Tablo 5.5.	Spreadsheet ile hesaplanan $\epsilon_{mob(tot.)}$ değerleri .....	85
Tablo 5.6.	Spreadsheet ile hesaplanan $\bar{\sigma}_{mob(tot.)}$ değerleri.....	87
Tablo 5.7.	Spreadsheet ile hesaplanan yanal toprak basınçları .....	89
Tablo 5.8.	Spreadsheet ile “tributary area method” kullanılarak hesaplanan destek elemanı yükleri.....	91
Tablo 5.9.	Spreadsheet ile “hinge method” kullanılarak hesaplanan destek elemanı yükleri .....	92
Tablo 6.1.	Önerilen hesap yönteminin yanal toprak basınçları açısından irdelenmesinde seçilen zemin özellikleri .....	93
Tablo 6.2.	Sükûnet hâlindeki yanal toprak basıncının tez yaklaşımı ve Jaky (1944) yaklaşımına göre karşılaştırılması özeti .....	100

Tablo 6.3. Önerilen hesap yönteminin içten destekli iksa sistemlerinin tasarımında irdelenmesi açısından Tablo 6.1’de zemin tiplerine göre belirlenen deformasyon miktarları .....	113
--	-----



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

B	: Kazı genişliği, (m)
CPT	: Konik penetrasyon testi
$c_u$	: Drenajsız kohezyon değeri, (kPa)
$D_r$	: Bağıl sıklık
$i$	: Dolgu zemin eğim açısı, ( $^{\circ}$ )
H	: İksa sistemi derinliği ya da kazı derinliği, (m)
K	: Yanal toprak basıncı katsayısı
$K_a$	: Aktif toprak basıncı katsayısı
$K_{amob}$	: Hareketlenmiş içsel sürtünme açısı ( $\emptyset_{mob(toplam)}$ ) kullanılarak hesaplanan Rankine aktif toprak basıncı katsayısı
$K_{a(teorik)}$	: Nihai durum içsel sürtünme açısı ( $\emptyset_f$ ) kullanılarak hesaplanan Rankine aktif toprak basıncı katsayısı
$K_0$	: Sükûnetteki toprak basıncı katsayısı
$K_D$	: Dilatometre deneyinden elde edilen yatak gerilme indisi
$K_p$	: Pasif toprak basıncı katsayısı
m	: Killerde aşırı konsolidasyon durumuna bağlı ampirik bir sabit
$N_0$	: Katman yükünün drenajsız kohezyon değerine oranı
$N_c$	: Taşıma gücü faktörü
$P_a$	: Aktif toprak basıncı, (kPa)
$P_{atm}$	: Atmosferik Basınç, (kPa)
r	: Duvar dönme hareketi sebebiyle dönme açısı (normalize dönme) ( $\zeta_r / (1-\mu)$ ), (radyan)
W	: Kayma kaması ağırlığı, (kN)
y	: Duvar dönme hareketinde izin verilen tepe noktası deplasmanı, (mm)
z	: Yüzeyden itibaren derinlik, (m)
$\beta$	: Duvar yüzünün yatayla yaptığı açı, ( $^{\circ}$ )
$\delta$	: Zemin duvar arası sürtünme açısı, ( $^{\circ}$ )
$\gamma$	: Zemin birim hacim ağırlığı, (kN/m <sup>3</sup> )
$\gamma_s$	: Doygun birim hacim ağırlık, (kN/m <sup>3</sup> )
$\Delta_r$	: Duvar dönme hareketi sebebiyle ötelenme miktarı, (mm)
$\Delta_t$	: Duvar kayma hareketi sebebiyle ötelenme miktarı, (mm)
$\Delta_{\sigma}$	: Deviatör gerilme, (kPa)
$\Delta_{\emptyset}$	: Çevre basıncında her log çevrimi için $\emptyset_0$ değerinde oluşan değişim, ( $^{\circ}$ )
$\epsilon$	: Birim şekil değiştirme (strain)
$\epsilon_c$	: Çevresel basınç testinden elde edilen birim şekil değiştirme
$\epsilon_{int.}$	: Başlangıç durumu (sükûnet hali) birim şekil değiştirme
$\epsilon_f$	: Nihai durum (yenilme anı, limit denge durumu) birim şekil değiştirme
$\epsilon_{mob}$	: Hareketlenmiş (mobilize olmuş) birim şekil değiştirme
$\epsilon_{mob(r)}$	: Duvar dönme hareketi sonucu hareketlenmiş birim şekil değiştirme
$\epsilon_s$	: Kayma birim şekil değiştirmesi
$\epsilon_{mob(t)}$	: Duvar kayma hareketi sonucu hareketlenmiş birim şekil değiştirme
$\epsilon_{mob(tot.)}$	: Zemin başlangıç durumu ile duvar kayma ve dönme hareketi sonucu oluşan toplam hareketlenmiş birim şekil değiştirme

$n$	: Normalize derinlik ( $z / H$ )
$\zeta$	: Normalize ötelenme
$\zeta_r$	: Duvar dönme hareketi sebebiyle normalize ötelenme ( $\Delta r / H$ )
$\zeta_t$	: Duvar kayma hareketi sebebiyle normalize ötelenme ( $\Delta t / H$ )
$\sigma$	: Normal gerilme, (kPa)
$\sigma_1$	: Büyük asal gerilme, (kPa)
$\sigma_3$	: Çevre basıncı (küçük asal gerilme) , (kPa)
$\sigma_h$	: Yatay gerilme, (kPa)
$\sigma_t$	: CPT denetiminde sondanın zemine penetrasyonu sonucunda sondanın gördüğü toplam direnç, (kPa)
$\sigma_v$	: Düşey gerilme, (kPa)
$\sigma_z$	: CPT deneyinde düşey gerilme, (kPa)
$\sigma'_z$	: CPT deneyinde düşey efektif gerilme, (kPa)
$\tau$	: Kayma gerilmesi, (kPa)
$\emptyset$	: Kayma direnci açısı, ( $^\circ$ )
$\emptyset'$	: Efektif kayma direnci açısı, ( $^\circ$ )
$\emptyset_0$	: Çevre basıncı, (kPa)
$\emptyset_f$	: Nihai durum(yenilme) içsel sürtünme açısı, ( $^\circ$ )
$\emptyset_{mob}$	: Hareketlenmiş kayma direnci açısı, ( $^\circ$ )
$\emptyset_{mob(t)}$	: Duvar kayma hareketi sonucu hareketlenmiş içsel sürtünme açısı, ( $^\circ$ )
$\emptyset_{mob(r)}$	: Duvar dönme hareketi sonucu hareketlenmiş içsel sürtünme açısı, ( $^\circ$ )
$\emptyset_{mob(tot.)}$	: Toplam hareketlenmiş içsel sürtünme açısı, ( $^\circ$ )

### Kısaltmalar

FHWA	: Federal Highway Administration (Federal Otoyol İdaresi)
OCR	: Aşırı Konsolidasyon Oranı
ÖHY	: Önerilen Hesap Yöntemi

## GRANÜLER ZEMİNLERDE DEPLASMAN BAZLI İÇTEN DESTEKLİ İKSA SİSTEMİ TASARIMI

### ÖZET

Günümüzde dayanma yapıları ve içten destekli iksa sistemleri en sık karşılaşılan geoteknik uygulamalarının başında gelmektedir. Tasarım için dayanma yapısına veya içten destekli iksa sistemine etki eden yanal toprak basınçlarının belirlenmesi gerekmektedir. Yanal toprak basınçlarının belirlenmesi için Rankine ve Coloumb gibi birçok teori öne sürülmüştür. Hâlihazırdaki uygulamalarda, Rankine veya Coloumb teorilerinden elde edilen yanal toprak basınçları limit denge durumuna göre hesaplanmaktadır. Dayanma yapısı arkasındaki zeminin her noktasının yenildiği durum olan limit denge durumunun gerçekleşebilmesi için iksa yapısının belirli bir deplasman yapması gerekmektedir. Bu deplasman miktarları ise zemin tiplerine göre farklılık göstermektedir. Limit denge durumuna karşılık gelen deformasyondan daha düşük bir deformasyon değerindeki yanal toprak basıncı ile limit denge durumundaki yanal toprak basıncı arasında özellikle düşük deformasyon değerlerinde bir farklılık söz konusudur. Rowe (1954) tarafından granüler zeminler için öne sürülen yenilme düzlemindeki birim şekil değiştirme teorisiyle, limit denge durumu öncesi hareketlenmiş içsel sürtünme açısı ile zemin gerinimi (strain) arasındaki ilişki tanımlanmıştır. Arsoy (2004) tarafından önerilen limit denge durumundaki içsel sürtünme açısıyla göçme öncesi durumdaki hareketlenmiş içsel sürtünme açısı arasındaki ilişki Rowe(1954) önerisi ile birleştirilerek hareketlenmiş içsel sürtünme açısı bulunabilir ve tasarımcı tarafından öngörülen deplasman şekli ve ötelenme miktarına göre yanal toprak basıncı da hesaplanabilir.

**Anahtar Kelimeler:** Dayanma Yapıları, Hareketlenmiş İçsel Sürtünme Açısı, İçten Destekli İksa Sistemleri, Limit Denge, Yanal Toprak Basıncı.

## **DISPLACEMENT BASED DESIGN OF INTERNAL SHORING SYSTEMS IN GRANULAR SOILS**

### **ABSTRACT**

The design and the construction of the retaining structures and internally supported excavation systems are one of the most common applications a geotechnical engineer faces. In the current applications, the lateral earth pressures are mostly obtained from either Rankine or Coloumb theories based on the limit equilibrium state of soils. However, in order to achieve the limit equilibrium state, every point of the soil behind the retaining structure should yield, which requires that the retaining structure must make a certain displacement. These displacement values vary according to the relative density and the type of the soil. There is a significant difference between the true lateral earth pressures at a lower deformation level compared to the lateral earth pressures at the deformation values required for the limit equilibrium state. In granular soils, the relationship between the strain and the mobilized internal friction angle was defined with the slip strain theory proposed by Rowe (1954). The proposed relationship between the internal friction angle in the limit equilibrium state by Arsoy (2004) and the mobilized internal friction angle before the failure state can be assembled with Rowe's suggestion. Thus the mobilized internal friction angle depending on the retaining structure or internally supported excavation system displacement level can be determined and the corresponding displacement dependent lateral earth pressure can be calculated.

**Keywords:** Retaining Structures, Mobilized Internal Friction Angle, Internally Supported Excavation Systems, Limit Equilibrium State, Lateral Earth Pressure.



## GİRİŞ

Günümüzde dayanma yapıları ve içten destekli iksa sistemleri en sık karşılaşılan geoteknik uygulamaların başında gelmektedir. Söz konusu yapıların tasarımı sisteme etki eden yanal toprak basınçları hesaplanarak yapılmaktadır. Yanal toprak basıncının hesaplanması için kullanılan temel parametreler ise içsel sürtünme açısı ve kohezyondur. Granüler zeminlerde içsel sürtünme açısı, ince daneli zeminlerde kohezyon, karma zeminlerde ise her iki parametre beraber kullanılmaktadır. Tez kapsamında granüler zeminler üzerinde çalışma yapılmış olup yanal toprak basıncı hesabında tek parametre olarak zeminin içsel sürtünme açısı değeri kullanılmıştır.

Yanal toprak basıncı için üç farklı durum söz konusudur. Zemindeki denge durumunun bozulmadığı ya da zemine inşaa edilen dayanma yapısı veya içten destekli iksa sisteminin deplasman yapmaması durumu sükûnet hâli olarak adlandırılmakta olup, dayanma yapısının veya içten destekli iksa sisteminin kazı alanına doğru hareketlenmesi aktif durum, zemine doğru hareketlenmesi ise pasif durum olarak isimlendirilir.

Yanal toprak basınçlarının belirlenmesi için başta Rankine ve Coloumb olmak üzere çeşitli teoriler öne sürülmüştür. Hâlihazırdaki uygulamalarda, dayanma yapılarının tasarımında Rankine veya Coloumb teorilerinden elde edilen yanal toprak basınçları limit denge durumundaki içsel sürtünme açısı değeri kullanılarak hesaplanmaktadır. Dayanma yapısı arkasındaki zeminin her noktasının yenildiği durum olan limit denge durumunun gerçekleşebilmesi için gerek aktif durumda gerekse pasif durumda iksa yapısının belirli bir deplasman yapması gerekmektedir. Bu deplasman miktarları ise zemin tiplerine göre farklılık göstermektedir. Limit denge durumuna karşılık gelen deplasmandan daha düşük bir deplasman değerindeki yanal toprak basıncı ile limit denge durumundaki yanal toprak basıncı arasında özellikle düşük deplasman değerlerinde ciddi bir farklılık söz konusudur. Bu durumun temel sebebi ise, toprak basıncı katsayısının zemindeki birim şekil değiştirme değerine bağlı olmasıdır.

Dayanma yapılarında en çok karşılaşılan durum olan aktif durum için düşünülecek olursa; limit denge durumunda sisteme etkileyen yanal toprak basıncı değeri, yenilmeye sebebiyet vermeyen herhangi bir deplasman değerindeki yanal toprak basıncı değerinden daha küçük olmaktadır. Hâlihazırdaki uygulamalarda bu durum genellikle gözardı edilmekte olup, yapılan deneysel çalışmalar ve elde edilen tecrübeler ışığında güvenlik sayıları kullanılarak çözümler üretilmektedir.

İçten destekli iksa sistemlerinde ise yanal destek elamanları sistemin deplasmanını bir miktar engellediğinden çözümler limit denge durumuna göre değil, deneysel çalışmalar sonucu elde edilen veriler kullanılarak oluşturulan görünür toprak basıncı diyagramları ile yapılmaktadır. Literatürde genel kabul gören ve yaygın olarak kullanılan birçok görünür toprak basıncı diyagramı önerisi (Terzaghi&Peck(1967), Tschebotarioff (1973), Bowles (1988) vd.) bulunmaktadır. Söz konusu öneriler kullanılarak elde edilen sonuçlar çoğu zaman tasarımı etkileyecek boyutta farklılık gösterebilmektedir.

Tüm bu durumlar göz önüne alındığında gerek dayanma yapılarında gerekse içten destekli iksa sistemlerinde tasarımcı tarafından belirlenen deplasman sınırlarında sisteme etki eden yanal toprak basınçlarının belirlenmesi daha ekonomik ve güvenli sistemler yapılmasını sağlayabilir.

Günümüzde deformasyon miktarına bağlı yanal toprak basınçlarına ihtiyaç duyulduğundaki yaygın uygulama ise bünye denklemlerinin kullanıldığı sonlu elamanlar tabanlı programlar ile hesaplama yolu olarak belirlemektedir. Yapılan hesaplamaların başarısı seçilen bünye denklemlerine ve analiz yaklaşımına bağlı olarak değişkenlik arz edebilmektedir. Hesaplamaların doğruluğu ancak gerçek şartlar altında ölçümler yapılırsa belirlenebilir. Ayrıca uygun model seçimi için mühendislik deneyimi ve özel bir yazılım gereklidir.

Dayanma yapısının veya içten destekli iksa sisteminin limit denge durumuna karşılık gelen deplasman değerinden daha düşük bir deplasman değerinde, sisteme etki eden yanal toprak basıncının daha basit nümerik analizlerle belirlenebilmesi için; sistem arkasında oluşan kayma düzleminin yatayla yaptığı açı bilinmelidir. Söz konusu açı bilindiği takdirde dayanma yapısının veya iksa sisteminin herhangi bir deplasman

değerinde hareketlenmiş (mobilize olmuş) kayma mukavemetine bağlı olarak yanal toprak basıncı bulunabilir.

Rowe (1954) tarafından granüler zeminler için öne sürülen yenilme düzlemindeki birim şekil değiştirme (“Slip Strain Theory”) teorisiyle, limit denge durumu öncesi hareketlenmiş içsel sürtünme açısı ile zemin gerinimi (strain) arasındaki ilişki tanımlanmıştır. Arsoy (2004) tarafından önerilen limit denge durumundaki içsel sürtünme açısıyla yenilme öncesi durumdaki hareketlenmiş içsel sürtünme açısı arasındaki ilişki Rowe(1954) önerisi ile birleştirilerek hareketlenmiş içsel sürtünme açısı bulunabilir ve böylelikle herhangi bir deformasyon şekli ve deplasman değerindeki yanal toprak basıncı hesaplanabilir.

Tez kapsamında Rowe(1954) teorisi ile Arsoy(2004) tarafından getirilen katkılar birleştirilerek granüler zeminler için deplasman ölçütlü tasarımın gerçekleştirilebilirliği ve kullanılabilirliği irdelenmiştir.

## 1. YANAL TOPRAK BASINCI

İnşaat mühendisliği uygulamalarında farklı seviyelerdeki zemin düzlemleri ile sıkça karşılaşmaktadır. Bu düzlemler gerek şevli olarak gerekse düşey bir dayanma yapısı inşa edilerek birbirlerine bağlanabilir. Günümüzde çoğu inşaat sahası yerleşim yerleri içinde kaldığından planda geniş alanlar kaplayan şevler yerine dayanma(iksa) yapıları daha çok tercih edilmektedir. Dayanma yapılarının tasarımında atılması gereken önemli adımlardan biri; dayanma yapısına zeminden etkiyen kuvvetlerin şiddet ve yönlerinin belirlenmesidir. Bu kuvvetlerden belirleyici olanı yanal toprak basıncıdır. Bu yapıların projelendirilmesi izin verilen deformasyon sınırı altında meydana gelen toprak basınçlarına bağlıdır.

Yanal toprak basıncının belirlenmesi için, Rankine(1857) Teorisi, Coloumb (1776) tarafından kurulan ve daha sonraları geliştirilen Kama Teorisi ve Log-Spiral Teori gibi birçok teori öne sürülmüştür. Tüm bu teoriler zemindeki yanal toprak basınçlarını hesaplamak için geliştirilmiştir. Yanal toprak basıncı temel olarak Denklem (1.1) ile hesaplanır.

$$\sigma_h = K \sigma_v \quad (1.1)$$

Bu bağıntıda (Denklem 1.1) K değeri toprak basıncı katsayısı olarak adlandırılır ve zemindeki düşey basıncın yatay basınca oranını ifade eder. Yanal toprak basıncı için üç farklı durum söz konusudur. Bunlar aktif durum, pasif durum ve sükûnet hâlidir.

### 1.1. Sükûnetteki Yanal Toprak Basıncı

Yatay ötelenmesi engellenmiş bir iksa yapısı inşa edildiği kabul edildiğinde iksa yapısı arkasındaki zemin yer değiştirme yapamayacaktır. Bu durumda oluşan yanal gerilme henüz gerilme durumunun bozulmadığı doğal ortamdakine eşit olacaktır. Bu esnada oluşan yanal toprak basıncı sükûnetteki toprak basıncı olarak adlandırılır. Sükûnetteki toprak basıncını hesaplamak için kullanılan katsayı ise sükûnetteki toprak basıncı katsayısı olarak adlandırılır ve  $K_0$  ile gösterilir.  $K_0$  en doğru şekilde

arazide yapılan deneyler ile tespit edilir. Ancak  $K_0$  için çeşitli zemin parametreleri kullanılarak oluşturulan korelasyonlar daha yaygın olarak tercih edilmektedir.

Tablo 1.1. Çeşitli zemin cinsine göre tipik  $K_0$  değerleri [1]

Zemin Cinsi	$K_0$
Gevşek Kum	0,4
Sıkı Kum	0,6
Yumuşak Kil	0,6
Sert Kil	0,5

### 1.1.1. Sükûnetteki toprak basıncı katsayısının arazi deneyleri ile belirlenmesi

Kulhawy ve Mayne(1990) killi zeminler için CPT'den  $K_0$ 'a geçiş için Denklem (1.2)'yi önermiştir.

$$K_0 = 0,1 \times \left( \frac{\sigma_t - \sigma_z}{\sigma'_z} \right) \quad (1.2)$$

Bu denklemde  $\sigma_t$  sondanın zemine penetrasyonu sonucunda sondanın gördüğü toplam direnci,  $\sigma_z$  düşey gerilmeyi,  $\sigma'_z$  ise düşey efektif gerilmeyi temsil etmektedir.

Marchetti(1980) ise dilatometre deneyinden elde edilen “yatak gerilme indisi ( $K_D$ )” ile  $K_0$  arasında Denklem (1.3) ile verilen bağıntıyı geliştirmiştir.

$$K_0 = \left( \frac{K_D}{1,5} \right)^{0,47} - 0,6 \quad (1.3)$$

### 1.1.2. Sükûnetteki toprak basıncı katsayısının ampirik bağıntılar ile belirlenmesi

Jaky(1944) normal konsolide zeminler için  $K_0$  ile zeminin efektif kayma direnci açısı ( $\emptyset'$ ) arasında Denklem (1.4) ile verilen bağıntıyı geliştirmiştir.

$$K_0 = 1 - \sin \emptyset' \quad (1.4)$$

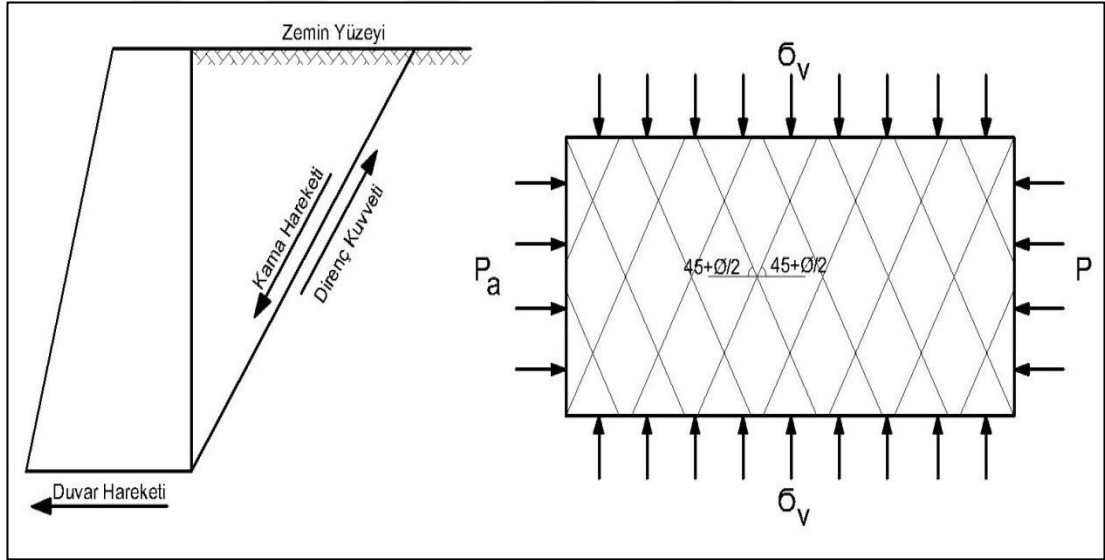
Mayne ve Kulhawy(1982) ise aşırı konsolide zeminler için sükûnetteki toprak basıncı katsayısını;

$$K_0 = (1 - \sin \emptyset') (OCR)^{\sin \emptyset'} \quad (1.5)$$

Olarak tanımlamıştır. Denklem (1.5)'teki OCR aşırı konsolidasyon oranıdır.

## 1.2. Aktif Durumdaki Yanal Toprak Basıncı

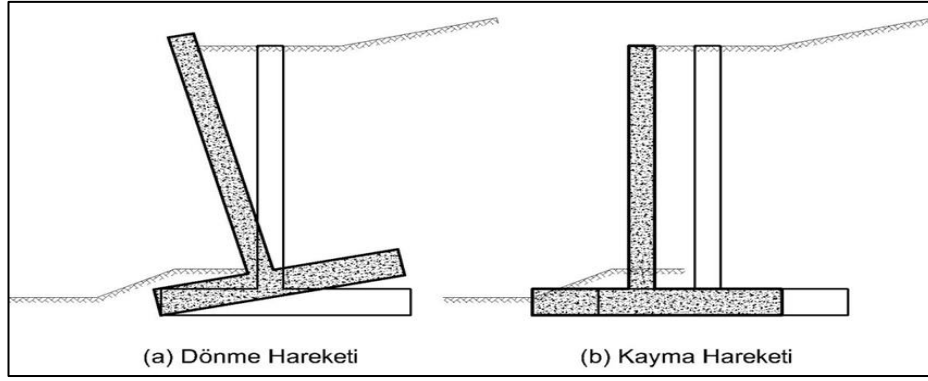
Sükûnetteki durum sadece duvarın hareket etmediği durum için söz konusudur. Yapılan her iksa yapısının bu durumu sağlaması çok zordur. Duvar arkasındaki zeminin küçük bir yanal hareketi, zemindeki gerilme durumunu değiştirir. İksa yapısı hareket etmeye başladığında, kayma kaması içerisinde bulunan zemin kayma düzlemi boyunca hareket eder. Bu esnada kayma yüzeyi boyunca zeminin kayma dayanımına bağlı olarak bir direnç kuvveti oluşacaktır. Oluşan bu direnç kuvveti, iksa yapısı üzerine etki eden yanal toprak basıncında bir azalmaya sebebiyet verecek olup, bu azalma durumu kayma dayanımına ulaşıncaya kadar devam edecektir. Kayma dayanımına ulaşıldıktan sonra oluşan plastik denge durumu aktif durum olup, bu durumda iksa yapısına etki eden toprak basıncı aktif durum yanal toprak basıncı olarak adlandırılır.



Şekil 1.1. Aktif yanal toprak basıncı mekanizması

Aktif durumda zemin ortamı yatayla  $(45 + \frac{\phi}{2})$ 'lik açılar yapan düzlemler boyunca kırılır. Aktif toprak basıncının oluşabilmesi için iksa perdesinin belirli bir miktar kazı alanına doğru hareket etmesi gerekmektedir. Bu durum dönme, kayma veya bunların kombinasyonu şeklinde olabilir.

Aktif toprak basıncının oluşabilmesi için iksa perdesinin yapması gereken ötelenme miktarı kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminler için perde yüksekliğine bağlı olarak Tablo 1.2'de verilmiştir.



Şekil 1.2. Dayanma yapısı için dönme ve kayma hareketleri

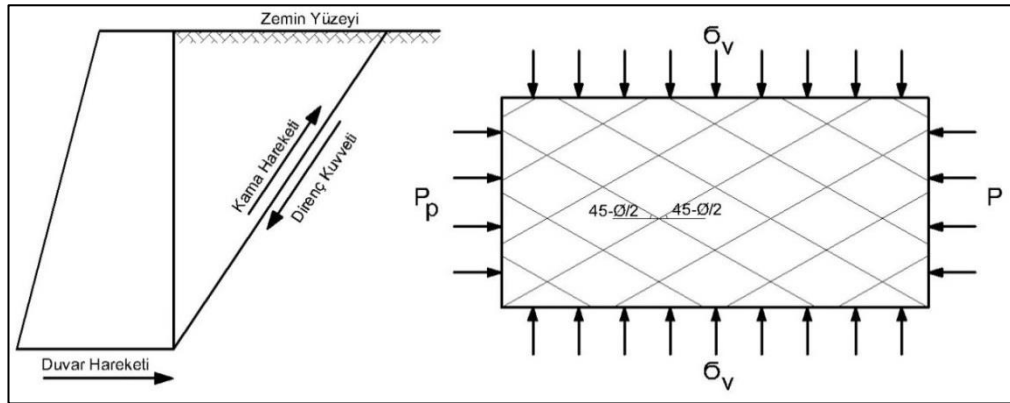
Tablo 1.2. Aktif toprak basıncı oluşması için gerekli duvar hareketi değerleri [2]

Zemin	Tepe Noktası Ötelenmesi
Sıkı Kum	0,001H~0,002H
Gevşek Kum	0,002H~0,004H
Sert Kil	0,01H~0,02H
Yumuşak Kil	0,02H~0,05H

\*H duvar yüksekliğini temsil etmektedir.

### 1.3. Pasif Durumdaki Yanal Toprak Basıncı

İksa sisteminde perdenin zemine doğru hareket ettiği durumda; kayma kaması içerisinde bulunan zemin kayma düzlemi boyunca hareket eder. Bu esnada kayma yüzeyi boyunca zeminin kayma dayanımına bağlı olarak bir direnç kuvveti oluşacaktır. Oluşan bu direnç kuvveti iksa yapısı üzerine etki eden yanal toprak basıncında bir artışa sebebiyet verecek olup, bu artış kayma dayanımına ulaşıncaya kadar devam edecektir. Kayma dayanımına ulaşıldıktan sonra oluşan plastik denge durumu pasif durum olup, bu durumda iksa yapısına etki eden toprak basıncı pasif durum yanal toprak basıncı olarak adlandırılır.



Şekil 1.3. Pasif yanal toprak basıncı mekanizması

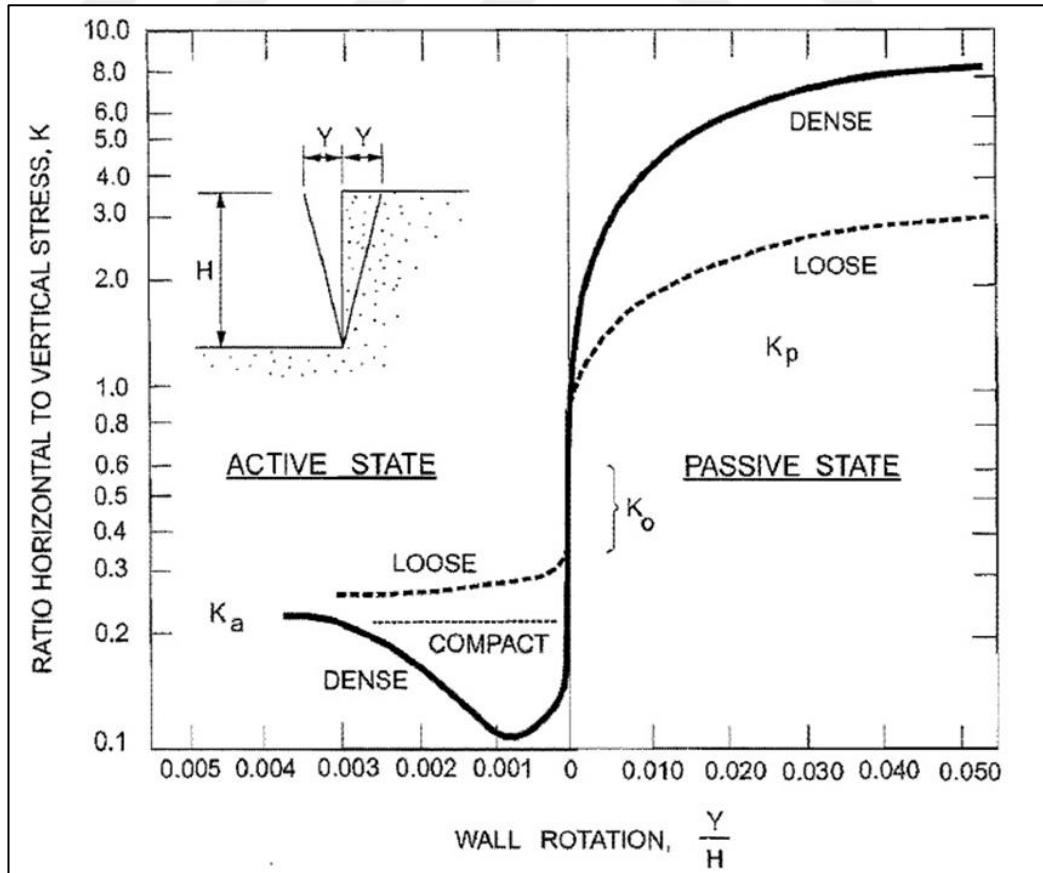
Pasif durumda zemin ortamı yatayla ( $45 - \phi/2$ )'lik açılar yapan düzlemler boyunca kırılır. Pasif toprak basıncının oluşabilmesi için iksa perdesinin zemine doğru yapması gereken ötelenme miktarı kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminler için perde yüksekliğine bağlı olarak Tablo 1.3'te verilmiştir.

Tablo 1.3. Pasif toprak basıncı oluşması için gerekli duvar hareketi değerleri [3]

Zemin	Tepe Noktası Ötelenmesi
Sıkı Kum	0,02H
Gevşek Kum	0,06H
Sert Kil	0,02H
Yumuşak Kil	0,04H

\*H duvar yüksekliğini temsil etmektedir.

Tablo 1.2 ve Tablo 1.3'ten de anlaşılacağı üzere pasif toprak basıncının oluşabilmesi için gerekli olan yer değiştirme miktarı aktif basınç durumuna göre daha fazladır. Şekil 1.4'te de görüleceği üzere granüler zeminlerde yanal toprak basıncı sabit bir değer olmayıp gerek aktif durumda gerekse pasif durumda farklı deformasyon miktarlarında çok değişik değerler almaktadır.



Şekil 1.4. Granüler zeminler için deformasyonun toprak basıncına etkisi [3]



Ayriyeten sükûnet hâlindeki bir zeminde de yanal toprak basıncı birbirinden farklı değerler alabilmektedir. Tez kapsamında; gerek sükûnet hâlindeki herhangi bir zemindeki yanal toprak basıncını, gerekse aktif denge durumuna doğru hareketlenmesini sağlayan herhangi bir deformasyon değerindeki yanal toprak basınçlarını hesaplamak için çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

#### **1.4. Toprak Basıncı Teorileri**

##### **1.4.1. Rankine toprak basıncı teorisi**

Rankine Toprak basıncı teorisi, homojen ve yarı sonsuz bir zemin ortamında, zemin ortamının plastik denge haline ulaştığı andaki gerilmeleri dikkate alarak aşağıda sıralanan kabullere dayanır [4].

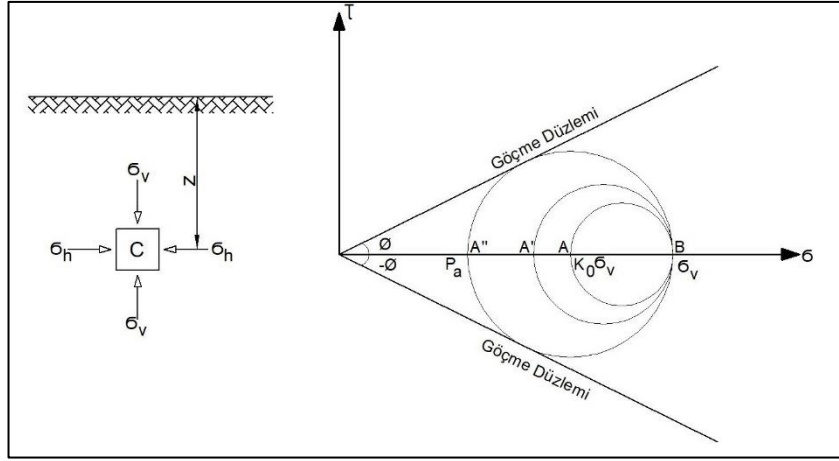
- Zemin kuru ve kohezyonsuzdur.
- Zemin yüzeyi düzlemdir yatay veya eğimli olabilir.
- Bileşke kuvvet zemin yüzeyine paralel olarak etkir.
- Dayanma duvarının zeminle temas ettiği yüzey pürüzsüz ve düşeydir.

Kohezyonsuz zeminler için önerilen Rankine Teorisi, daha sonraları kohezyonlu zeminler ve arka dolgunun eğimli olması gibi durumlar için genelleştirilmiştir.

##### **1.4.1.1. Rankine aktif toprak basıncı**

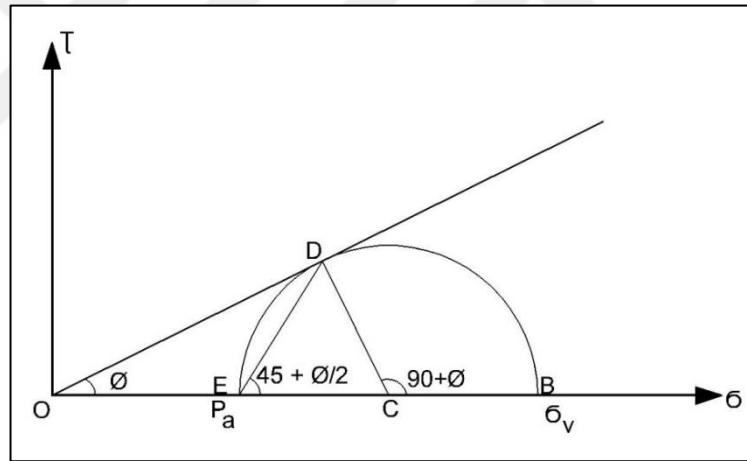
İki boyutlu ve yarı sonsuz tamamıyla kuru bir zemin ortamında yüzeyden z derinliğinde bir elemanı ele alacak olursak; başlangıçta herhangi bir yanal ötelenmenin olmadığı durumda (Sükûnet Hali) eleman üzerinde yatay gerilme aşağıdaki Denklem (1.6) ile belirlenir. Denklemdaki  $K_0$  ifadesi Kısım 1.1.'de belirtilen sükûnet hali yanal toprak basıncı katsayısıdır. Ayrıca bağıntıdaki  $\sigma_H$  ve  $\sigma_V$  gerilmeleri sırasıyla en küçük ve en büyük asal gerilmeler olup Mohr dairesinde A ve B noktalarını temsil ederler.

$$\sigma_H = K_0 \times \sigma_V \quad (1.6)$$



Şekil 1.5. Aktif durum için göçme düzlemleri

Aktif durumda elemana etkiyen düşey gerilme ( $\sigma_v$  büyük asal gerilme) sabit kalırken yatay gerilme ( $\sigma_H$  küçük asal gerilme) azalır. Mohr çemberinin göçme düzlemiyle çakıştığı andaki küçük asal gerilme aktif toprak basıncı olarak adlandırılır.



Şekil 1.6. Aktif durum için mohr dairesi

Mohr dairesinden faydalanılarak aktif toprak basıncı Denklem (1.7) ile ifade edilebilir.

$$P_a = OE = OC - CE \quad (1.7)$$

Trigonometrik özelliklerden faydalanılarak elden edilen Denklem (1.8) kullanılarak düşey gerilme (Denklem (1.9)) ve yatay gerilme (Denklem (1.10)) elde edilebilir.

$$CE = CD = CB = OC \sin \phi \quad (1.8)$$

$$P_a = OC - OC \sin \phi = OC(1 - \sin \phi) \quad (1.9)$$

$$\sigma_v = OB = OC + CB = OC + OC \sin \phi = OC(1 + \sin \phi) \quad (1.10)$$

Toprak basıncı katsayısı yatay ve düşey gerilmelerin oranı olarak tanımlandığından yatay toprak basıncı Denklem (1.11), Denklem (1.12) ve en sade haliyle Denklem (1.13)'te verildiği gibi yazılabilir.

$$\frac{P_a}{\sigma_v} = \frac{OC(1 - \sin \phi)}{OC(1 + \sin \phi)} \quad (1.11)$$

$$P_a = \frac{(1 - \sin \phi)}{(1 + \sin \phi)} \quad (1.12)$$

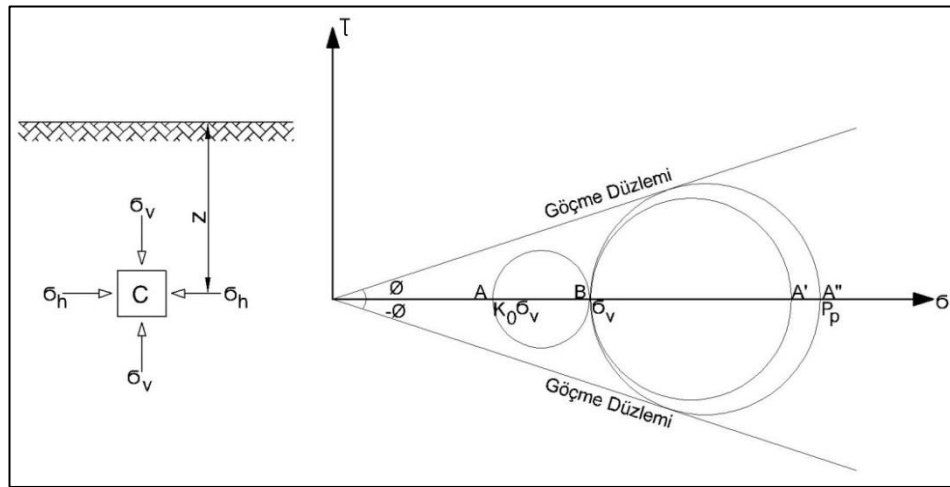
$$P_a = K_a \gamma z \quad (1.13)$$

Denklem (1.13)'teki  $K_a$  ifadesi aktif toprak basıncı katsayısı olarak adlandırılır ve zeminin yenilme anındaki içsel sürtünme açısına bağlı olarak Denklem (1.14) ile hesaplanır.

$$K_a = \frac{(1 - \sin \phi)}{(1 + \sin \phi)} \quad (1.14)$$

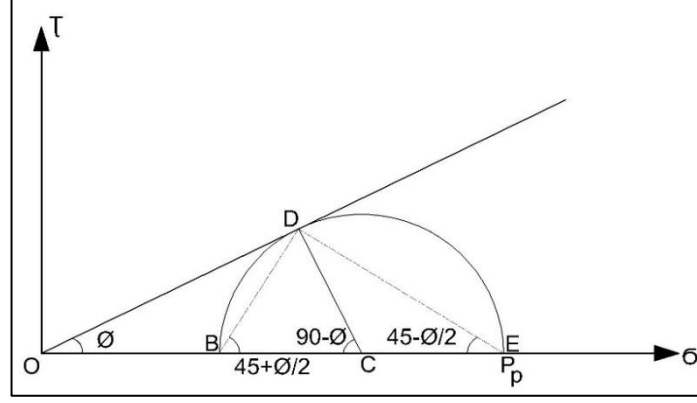
#### 1.4.1.2. Rankine pasif toprak basıncı

Pasif durumda elemana etkiyen düşey gerilme ( $\sigma_v$ =büyük asal gerilme) sabit kalırken yatay gerilme artar. Mohr çemberinin göçme düzlemiyle çakıştığı andaki büyük asal gerilme pasif toprak basıncı olarak adlandırılır.



Şekil 1.7. Pasif durum için göçme düzlemleri

Pasif toprak basıncı trigonometrik özellikler kullanılarak tanımlanıp (Denklem (1.15) ve (1.16)) düşey gerilmeye orantılanarak pasif toprak basıncı katsayısı elde edilir.



Şekil 1.8. Pasif durum için mohr dairesi

$$P_p = OC + CE = OC + CD = OC + OC \sin \phi \quad (1.15)$$

$$P_p = OC(1 + \sin \phi) \quad (1.16)$$

Geometrik özellikler kullanılarak düşey gerilme (Denklem (1.17)) elde edilebilir.

$$\sigma_v = OB = OC - BC = OC - CD = OC - OC \sin \phi = OC(1 - \sin \phi) \quad (1.17)$$

Bu durumda pasif toprak basıncı Denklem (1.18), Denklem (1.19) ve en sade haliyle Denklem (1.20)'de verildiği şekliyle yazılabilir.

$$\frac{P_p}{\sigma_v} = \frac{OC(1 + \sin \phi)}{OC(1 - \sin \phi)} \quad (1.18)$$

$$P_p = \frac{(1 + \sin \phi)}{(1 - \sin \phi)} \sigma_v \quad (1.19)$$

$$P_a = K_p \gamma z \quad (1.20)$$

Bağıntıdaki (Denklem (1.20))  $K_p$  ifadesi pasif toprak basıncı katsayısı olarak adlandırılır ve zeminin yenilme anındaki içsel sürtünme açısına bağlı olarak Denklem (1.21) kullanılarak hesaplanır.

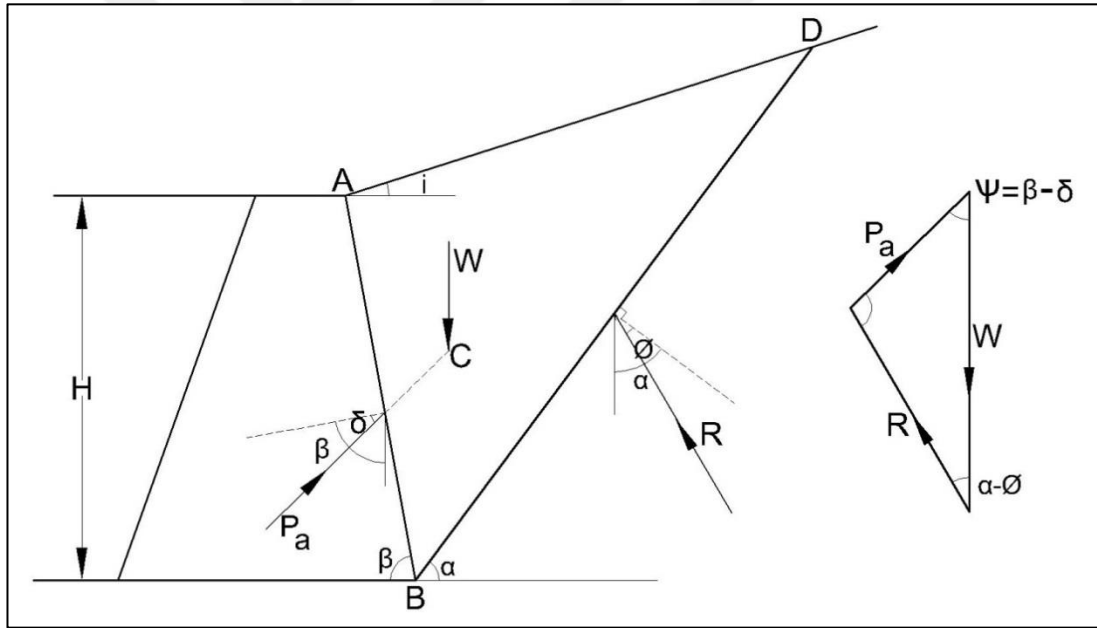
$$K_p = \frac{(1 + \sin \phi)}{(1 - \sin \phi)} = \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad (1.21)$$

### 1.4.2. Coloumb kama teorisi

Coloumb (1776) yatay toprak basıncını belirlemek amacıyla duvar hareketi esnasında oluşan kayma kamasının üzerine etki eden kuvvetlerin dengesinden bir toprak basıncı teorisi öne sürmüştür. Bu teoriyi öne sürerken yaptığı kabuller şu şekilde sıralanabilir [4].

- Geri dolgu kuru, kohezyonsuz, homojen, izotrop ve plastik bir malzemedir.
- Kayma yüzeyi duvarın topuğundan geçen bir düzlemdir.
- Duvar yüzeyi pürüzlüdür. Toprak basıncı bileşke kuvveti duvar normaline  $\delta$  açısıyla etkir. Bu açı zemin ile duvar malzemesi arasındaki içsel sürtünme açısıdır.
- Kayma kaması rijit bir cisim gibi davranış sergiler.

#### 1.4.2.1. Coloumb aktif durum toprak basıncı



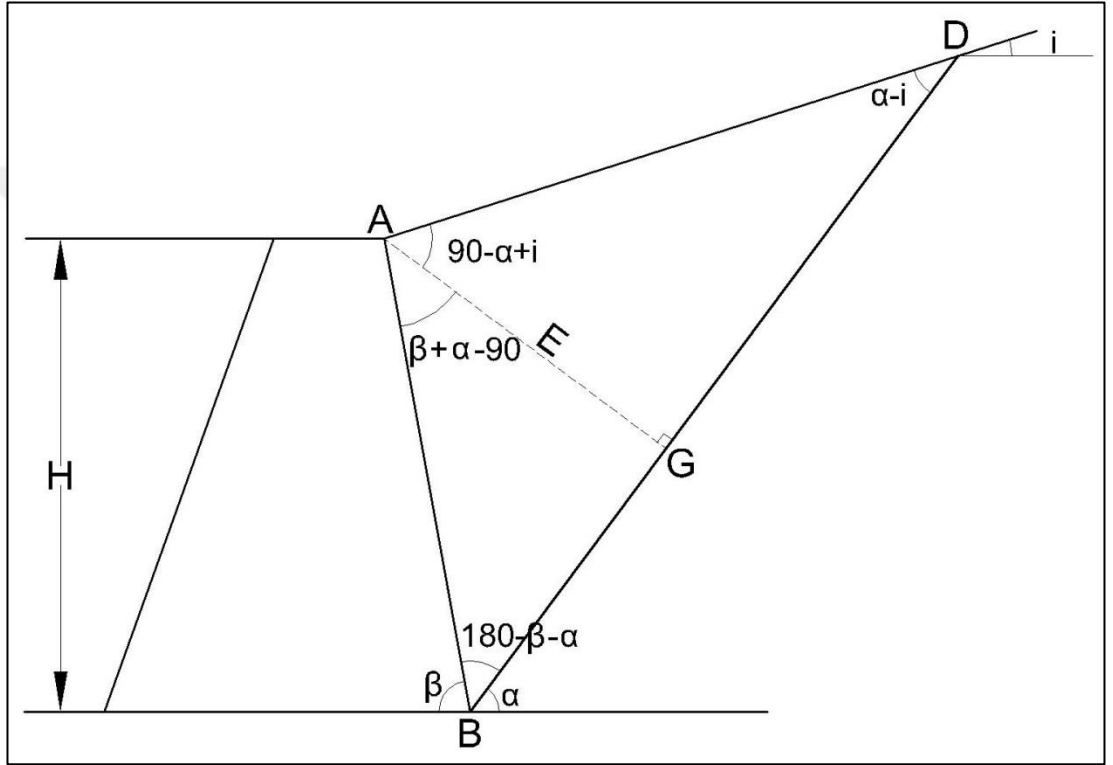
Şekil 1.9. Coloumb aktif toprak basıncı durumu kama dengesi

Kohezyonsuz zeminlerde, aktif durumda, zemin öne doğru hareket ederken, arkada meydana gelen kayma kaması da aşağı doğru kayar. ABD zemin kaması ele alınır; kamaya etki eden kuvvetler şu şekilde sayılabilir. ABD kamasının kendi ağırlığı(W), BD kayma düzlemi boyunca etkiyen R bileşke kuvveti ve AB düzlemi etkiyen  $P_a$  aktif bileşke kuvveti. ABD kaması aşağı doğru hareket ettiği için,  $P_a$  ve R kuvvetleri sürtünmeden dolayı, yüzey normalleri ile, hareket yönünün tersine, sırasıyla  $\delta$  ve  $\phi$

açıları yaparlar. Kuvvet üçgeninde sinüs teoremi kullanılarak Denklem (1.22) ve (1.23) elde edilir.

$$\frac{P_a}{\sin(a-\phi')} = \frac{W}{\sin(180-\beta+\delta-a+\phi')} \quad (1.22)$$

$$P_a = \frac{W \sin(a-\phi')}{\sin(180-\beta+\delta-a+\phi')} \quad (1.23)$$



Şekil 1.10. Coloumb aktif toprak basıncı durumu kayma kaması

ABD Kayma kaması kullanılarak kama ağırlığı Denklem (1.24) ile ifade edilir.

$$W = \frac{1}{2} \times (BD) \times (AG) \times \gamma \quad (1.24)$$

Geometrik özellikler kullanılarak AG ve BD ifadeleri sırasıyla m ve L ile ifade edilebilir ve Denklem (1.24)'te kullanılarak Denklem (1.25) elde edilir.

$$W = \frac{1}{2} \times L \times m \times \gamma = \frac{1}{2} (m + \gamma)(BG + GD) \quad (1.25)$$

ABD üçgeninde trigonometrik bağıntılar kullanılarak Denklem (1.26), (1.27), (1.28), (1.29), (1.30), (1.31) ve (1.32) elde edilir.

$$AB = \frac{H}{\sin\beta} \quad (1.26)$$

$$\frac{m}{AB} = \sin[180 - (\beta - \alpha)] = \sin(\beta + \alpha) \quad (1.27)$$

$$m = AB \sin(\beta + \alpha) = \frac{H \sin(\beta + \alpha)}{\sin\beta} \quad (1.28)$$

$$\frac{BG}{\sin(\beta + \alpha - 90)} = \frac{m}{\sin(\beta + \alpha)} \quad (1.29)$$

$$BG = \frac{m \sin(\beta + \alpha - 90)}{\sin(\beta + \alpha)} \quad (1.30)$$

$$\frac{GE}{\sin(90 - \alpha - i)} = \frac{m}{\sin(\alpha - i)} \quad (1.31)$$

$$GE = m \frac{\sin(90 - \alpha - i)}{\sin(\alpha - i)} \quad (1.32)$$

Elde edilen değerler Denklem (1.25)'te yerine yazılarak sırasıyla Denklem (1.33), (1.34) ve (1.35) elde edilir.

$$W = \frac{1}{2} \times \frac{H \sin(\beta + \alpha)}{\sin\beta} \times \gamma \times \left[ m \frac{\sin(\beta + \alpha - 90)}{\sin(\beta + \alpha)} + m \frac{\sin(90 - \alpha - i)}{\sin(\alpha - i)} \right] \quad (1.33)$$

$$W = \frac{1}{2} \times \frac{H^2 \gamma \sin(\beta + \alpha)^2}{\sin^2\beta} \left[ \frac{\sin(\beta + \alpha - 90)}{\sin(\beta + \alpha)} + \frac{\sin(90 - \alpha - i)}{\sin(\alpha - i)} \right] \quad (1.34)$$

$$P_a = \frac{H^2 \gamma \sin(\beta + \alpha)^2}{2 \sin^2\beta} \times \left[ \frac{\sin(\beta + \alpha - 90)}{\sin(\beta + \alpha)} + \frac{\sin(90 - \alpha - i)}{\sin(\alpha - i)} \right] \times \left[ \frac{\sin(\alpha - \emptyset)}{\sin(180 - \beta + \delta - \alpha + \emptyset')} \right] \quad (1.35)$$

Denklemlerden anlaşılacağı üzere; Kuvvet üçgeninin oluşturulabilmesi için P, R ve W kuvvetlerinin ve değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. R ve W kuvvetleri seçilen  $\alpha$  açısına bağlı olarak bulunan P kuvvetine bağlı olduğundan, P kuvvetinin  $\alpha$  açısına göre türevinin sıfır olduğu durumda en büyük P kuvveti elde edilir. Gerekli işlemler

yapıldığında  $P_a$  kuvveti için Denklem (1.36) ve aktif yanal toprak basıncı katsayısı için Denklem (1.37) elde edilir.

$$P_a = \frac{1}{2} K_a \gamma H^2 \quad (1.36)$$

$$K_a = \frac{\sin^2(\beta + \phi')}{\sin^2 \beta \sin(\beta - \delta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi' + \delta) \sin(\phi' + i)}{\sin(\beta - \delta) \sin(\beta + i)}} \right]} \quad (1.37)$$

Coloumb teorisinden P kuvvetinin değeri elde edilebilirken uygulama noktasının yeri belirlenemez. Kuvvetin uygulama noktası tabandan H/3 yükseklikte kabul edilir. Duvar ile zemin arasındaki sürtünme açısı( $\delta$ ) kesme kutusu deneyi ile elde edilebilir ve beton duvarlar için genellikle  $2/3\phi$  olarak kabul edilir. Duvar ile zemin arasındaki sürtünme açısı( $\delta$ )'nın değeri zemin içsel sürtünme açısının değerini geçemez. Duvar ile zemin arasındaki sürtünme açısı( $\delta$ )'nın sıfır olup dayanma duvarının düşey olduğu yatay zemin yüzeylerinde Coloumb Teorisi Rankine Teorisi ile aynı sonuçları verir [4].

Coloumb Teorisi kayma yüzeyini düzlem kabul eder. Gerçek durumda ise kayma yüzeyi hafifçe eğriseldir. Aktif itki durumunda kayma yüzeyinin düzlem kabul edilmesi önemli bir hataya yol açmaz [4].

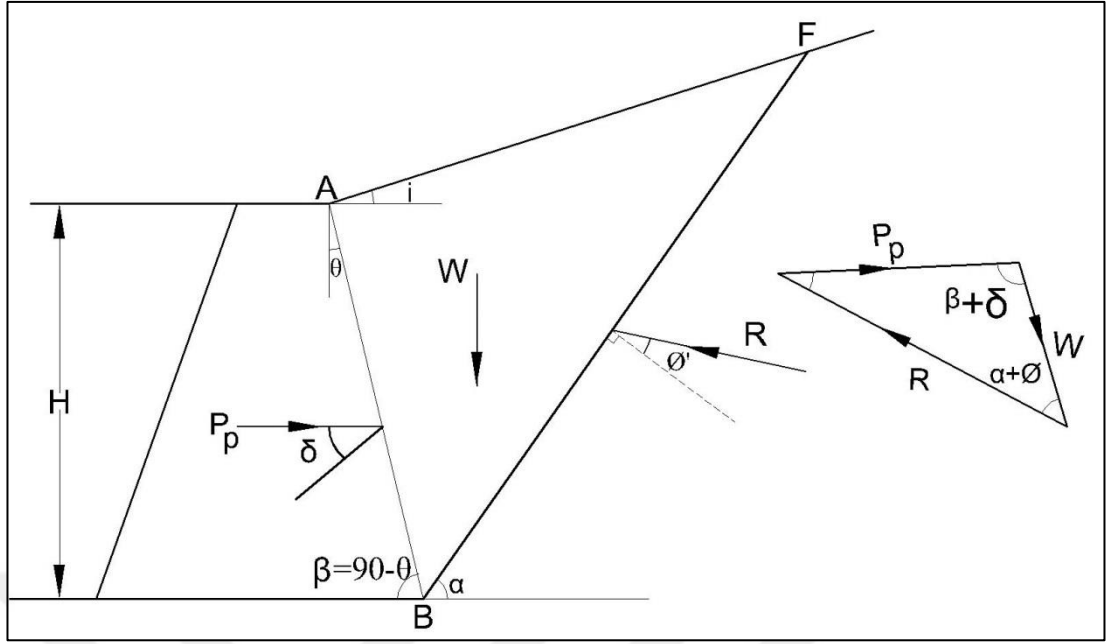
#### 1.4.2.2. Coloumb pasif durum toprak basıncı

Coloumb'un pasif durum için kabul edildiği göçme düzlemi ve kuvvet dengesi Şekil 1.11'de görülmektedir. Pasif durumda kayma kaması yukarı yönde bir hareket yapmaktadır. Pasif toprak basıncı katsayısının hesaplanması aktif durumdakine benzemekte olup tek fark  $P_p$ 'nin en küçük değeri aranır.

Yapılan hesaplamalar sonucu Coloumb tarafından sunulan pasif toprak basıncı katsayısı Denklem (1.38)'de verilmiştir.

$$K_p = \frac{\sin^2(\beta - \phi')}{\sin^2 \beta \sin(\beta + \delta) \left[ 1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi' + \delta) \sin(\phi' + i)}{\sin(\beta + \delta) \sin(\beta + i)}} \right]} \quad (1.38)$$





Şekil 1.11. Coloumb pasif toprak basıncı durumu kama dengesi

## 2. İÇTEN DESTEKLİ İKSA SİSTEMLERİNİN TASARIMI

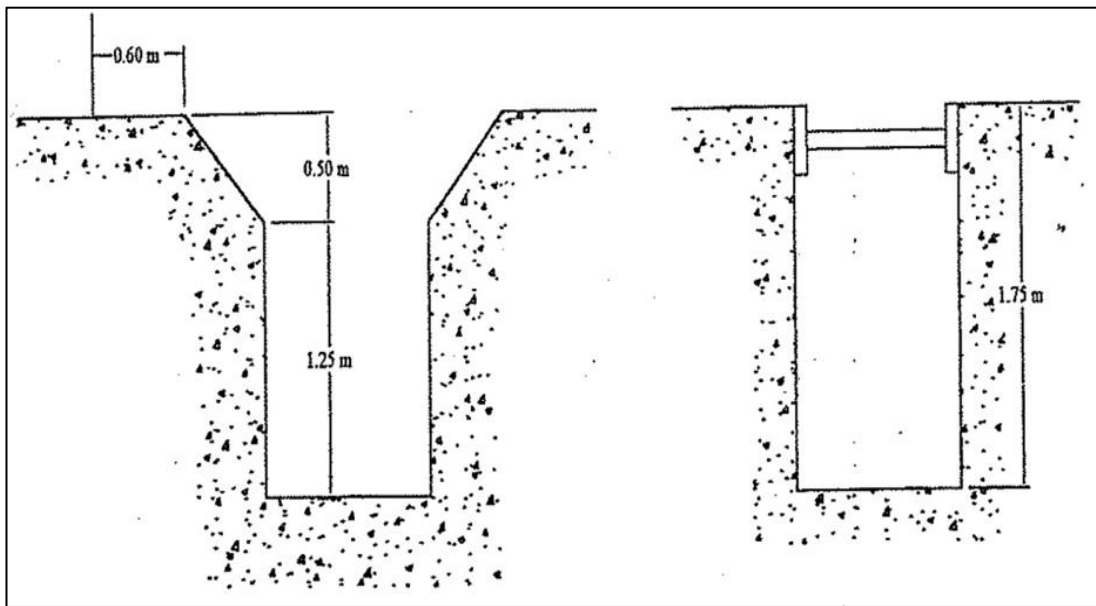
### 2.1. Giriş

Günümüzde en çok karşılaşılan geoteknik uygulamaların başında destekli kazı sistemleri gelmektedir. Özellikle şehir merkezlerinde açık kazı yapılmasına uygun olmayan durumlarda bina temel kazılarının stabilitesi için destekli kazı sistemleri kullanılmaktadır.

### 2.2. Destekli Kazı Sistemleri

Destekli kazı sistemleri ahşap veya çelik palplanşlar kullanarak yapılabildiği gibi diyafram duvarlar, yerinde dökme kazıklar veya prefabrik çakma kazıklar kullanılarak da yapılabilir. Bu tür yapı elemanları kullanılarak oluşturulan iksa sistemlerinin stabilitelerini koruyabilmeleri için göğüsleme elemanları, yatay destekler ya da payandalar kullanılabilir.

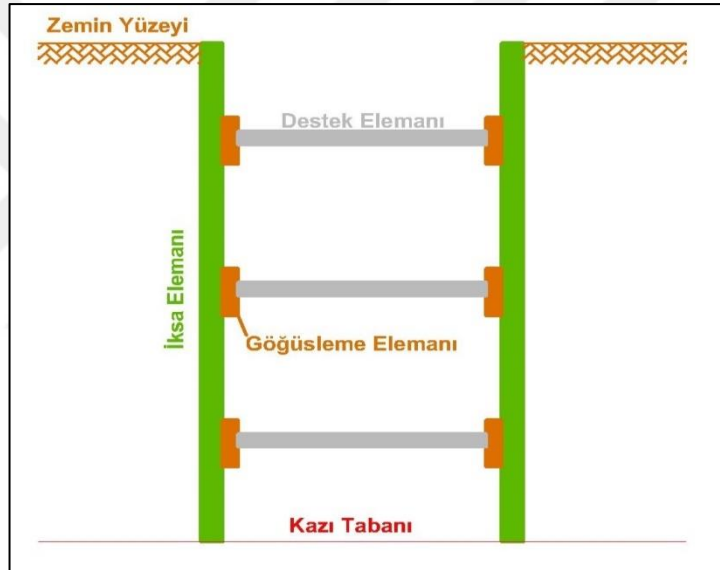
Genel bir uygulama olarak temel çukurları ve hendeklerde 1.25 m derinliğe kadar özel önlem almak gerekmez. Derinlik 1.75 m'ye kadar ise üstteki 0.50 m ya şevli kazılır veya dik açılıyorsa üst kesimde karşıdan karşıya bir destek konulur [5].



Şekil 2.1. Sığ temel çukurlarında destek elemanı (Yıldırım, 2004)

### 2.3. Destekli Kazı Sistemi İmalatı

Destekli kazı sistemi genellikle üç ana elemandan oluşur. Bunlar; iksa elemanı (palplanş, diyafram duvar, fore kazık vb.) göğüsleme elemanı ve destek elemanıdır. İksa elemanları kazı işlemi süresince deformasyona bağlı olarak meydana gelen toprak basınçlarını göğüsleme elemanlarına iletirler. Göğüsleme elemanları ise; inşaat çalışmalarını etkilemeyecek ve iksa yapısından gelen toprak basınçlarının oluşturduğu iç kuvvetlere dayanacak şekilde tasarlanarak belirli aralıklarla destek elemanları ile diğer kazı yüzeyindeki göğüsleme elemanlarına bağlanırlar. Destek elemanları ise göğüsleme elemanlarına genellikle mafsallı olarak bağlanırlar ve bir basınç çubuğu olarak çalışırlar.



Şekil 2.2. Destekli kazı tipik sistem kesiti

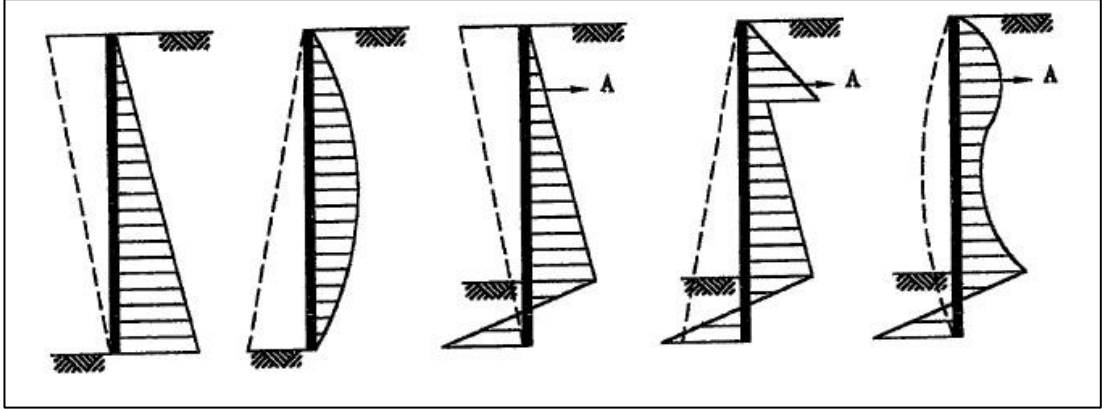
Bu tür sistemler için önerilen ve genel olarak uygulanan imalat safhaları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- 1- İksa elemanı imalatı tamamlanır.
- 2- İlk kademe kazı yapılarak göğüsleme kirişleri imal edilir.
- 3- Yatay destek elemanları göğüsleme elemanları arasına yerleştirilir.
- 4- Hedeflenen kazı derinliğine ulaşıncaya kadar 2. ve 3. adımlar tekrar edilir.
- 5- Yapı temeli inşa edilip yapı cephelerinin imalatına başlanır.
- 6- Yapı cephesi imalatı destek seviyesine geldiğinde iksa elemanları sökülür.
- 7- Zemin yüzeyine ulaşıncaya kadar 6. adım tekrarlanır.

Destekli kazı yöntemleri hemen hemen her derinlik ve genişlikte uygulanabilirler. Kazı alanı içerisinde desteklerin yerleşimi inşaat çalışmalarını minimum düzeyde etkileyecek şekilde olmalıdır. Ancak rahat bir çalışma ortamı oluşturmak için yatay destek aralıkları artırıldığında hem yatay destek elemanı hem de göğüsleme elemanı daha büyük kesit zorları etkisi altında kalacağından yapılan tasarım ekonomik olmaktan uzaklaşacaktır. Bununla birlikte kazı genişliği arttıkça basınç etkisi altındaki yatay destek elemanının burkulma riski artacağından burkulma boyunu azaltmak için de ilave yatay destek elemanları gerekecektir. Ayriyeten yatay destek elemanları yerleşimi yapılırken ilave kesit zorlarının oluşmaması için yatay destek elemanları aynı hizada konulmalı, herhangi bir eksantirisite durumunun oluşmamasına özen gösterilmelidir ki, bu durum nitelikli işçilik gerektirmektedir.

#### 2.4. Destekli Kazı Sistemlerine Etki Eden Yanal Toprak Basınçları

Destekli kazı sistemleri, sisteme etki eden toprak basınçlarının etkisiyle oluşan kesit zorlarına göre tasarlanırlar. Sisteme etki eden toprak basınçlarını etkileyen en önemli faktör ise iksa sisteminin deplasman şekli ve miktarıdır.



Şekil 2.3. Farklı iksa sistemi deplasman formları için toprak basıncı dağılımları.[6]

#### 2.5. Görünür Toprak Basıncı

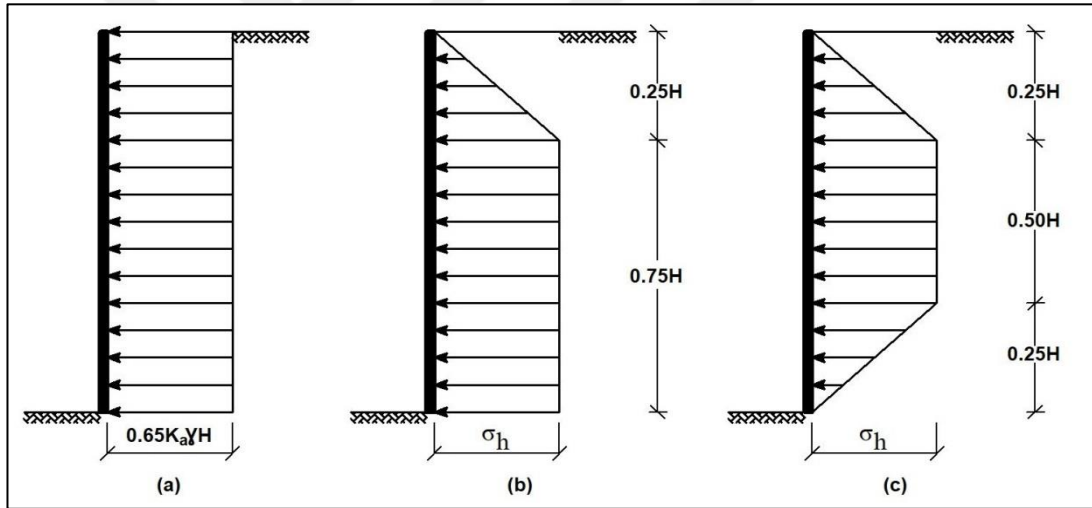
Destekli kazı sistemlerinde sisteme etki eden toprak basınçları sistemin deplasmanına ve deplasman formuna bağlıdır. Destekli kazı sistemi elemanlarının rijitliği betonarme veya taş istinat yapılarına göre daha düşüktür.

Destekleme sistemlerinde kazı yapıldıkça oluşturulan destekler zeminin yanal hareketini sınırladığı için destek elemanına gelen yükler aktif itki kuramına göre gelmesi beklenen yüklerden daha fazladır[5].

Ayrıyeten destekli iksa sistemlerinin en önemli elemanı olan yatay desteklerden bir tanesinin göçmesi durumunda sistemde bulunan diğer desteklere gelen yükler tasarım yüklerinden çok daha fazla olacağından sistemde bir ardışık göçme moduna sebebiyet verebilir. Bu sebepten dolayı, destekli kazı sistemlerinde aktif veya pasif itki kuramlarına göre elde edilen toprak basınçlarından ziyade yatay destek elemanına gelecek yükleri belirlemek amacıyla yapılan arazi ölçümlerine dayanarak sunulan görünür toprak basıncı diyagramları kullanılmaktadır.

### 2.5.1. Terzaghi & Peck görünür toprak basıncı dağılımları

Terzaghi & Peck granüler ve kohezyonlu zeminler yatay destek elemanlarının tasarım yüklerini belirlemek amacıyla çeşitli arazi ölçümlerinden elde ettikleri bulgulara dayanarak aşağıdaki görünür toprak basıncı diyagramlarını sunmuşlardır.



Şekil 2.4. Terzaghi & Peck görünür toprak basıncı diyagramları [7]

Terzaghi & Peck bu diyagramları aşağıda sıralanan esaslara dayanarak hazırlamışlardır [8].

- 1- Kazı derinliği 6 m'den fazladır ve kazı nispeten geniş yapılmıştır.
- 2- İksa sistemi deplasmanı yeterince büyük kabul edilerek nihai kayma dayanımı mobilize edilebilir.
- 3- Yeraltı su seviyesi kazı tabanı altında kabul edilerek su basıncı dikkate alınmamıştır.
- 4- Zemin kütlelerinin homojen olduğu varsayılarak kısa süreli yüklemeler için kumlu zeminler drenajlı, killi zeminler drenajsız olarak kabul edilmiştir.

5- Toprak basıncı diyagramları kazı tabanı altına gömülmüş iksa sistemi için değil kazı tabanı üstünde kalan iksa sistemi için sunulmuştur.

Görünür toprak basıncı (Şekil 2.4-a) granüler zeminler için, Denklem (2.1) kullanılarak hesaplanır.

$$P_a=0,65K_a\gamma H \quad (2.1)$$

Bu bağıntı çıkarıldığı kazıların derinliği 8,5m-12m arasındadır [9].

Kohezyonlu zeminler için Denklem (2.2) ile verilen  $N_0$  değerine bağlı olarak 3 durum söz konusudur.

$$N_0 = \frac{\gamma H}{c_u} \quad (2.2)$$

Eğer  $N_0$  değeri 6'dan büyükse (Şekil 2.4-b) zemin yumuşak-orta katı kil olarak nitelendirilir ve toprak basıncı Denklem (2.3) ile hesaplanır.

$$\sigma_h = \left(1 - m \frac{4c_u}{\gamma H}\right) \gamma H > 0,25\gamma H \quad (2.3)$$

Bağıntıdaki (Denklem (2.3))  $m$  değeri normal konsolide killer için 0,4 aşırı konsolide killer için ise 1 olarak alınır.

Eğer  $N_0$  değeri 4'dan küçükse (Şekil 2.4-c) zemin katı-sert kil olarak nitelendirilir ve toprak basıncı Denklem (2.4) ile hesaplanır.

$$\sigma_h = 0,2\gamma H \quad (2.4)$$

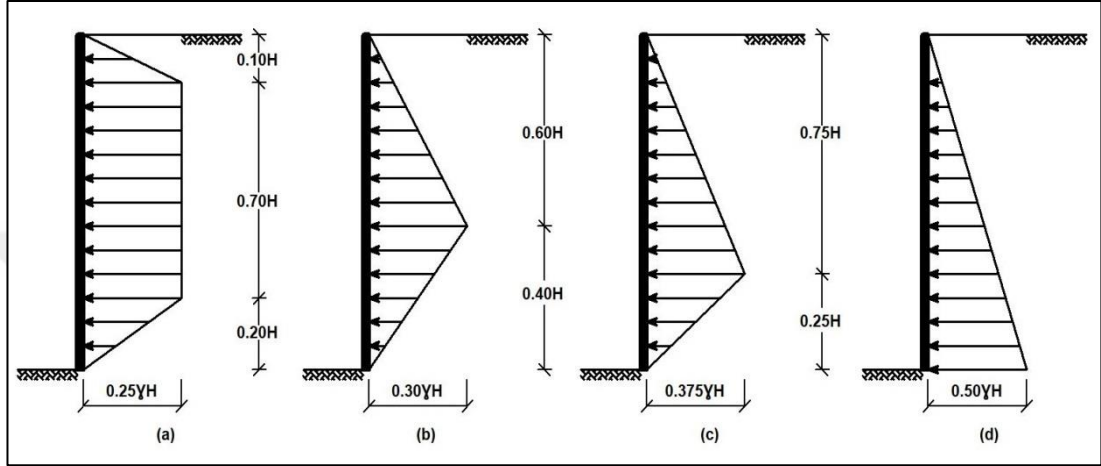
Bu bağıntı (Denklem (2.4)) kısa süreli inşaatlarda ve düşük deformasyon değerlerinde önerilir. Terski durumlarda ise Denklem (2.5) ile verilen bağıntının kullanılması tavsiye edilir.

$$\sigma_h = 0,4\gamma H \quad (2.5)$$

$N_0$  değerinin 4 ile 6 arasında olması durumunda kil için verilen iki gerilme dağılımından büyük olan göz önüne alınacaktır. Ayriyeten sürşarj ve yeraltı suyu etkileri bu dağılımlara eklenmelidir.

## 2.5.2. Tschebotarioff görünür toprak basıncı dağılımı

Tschebotarioff tarafından önerilen görünür toprak basıncı dağılımları granüler zeminler için Şekil 2.5-a'da, katı killerde geçici destek durumu için Şekil 2.5-b'de, orta katı kilde sürekli destek durumu için Şekil 2.5-c'de ve yumuşak killer için Şekil 2.5-d'de verilmiştir.



Şekil 2.5. Tschebotarioff görünür toprak basıncı diyagramları [10]

Görünür toprak basıncı granüler zeminler için, Denklem (2.6) veya Denklem (2.7) kullanılarak hesaplanır.

$$P_a = 0,8K_a \gamma H \cos \delta \quad (2.6)$$

$$P_a = 0,25 \gamma H \quad (2.7)$$

Tschebotarioff, Terzaghi&Peck diyagramını yorumlayarak bu diyagramın sıkı kumlar için düşük yanal toprak basıncı verdiğini ve bu durumun özellikle üst kısımdaki destek elemanları için doğru olmadığını ifade ederek Şekil 2.5-a'daki görünür toprak basıncı dağılımını sunmuştur [9].

Görünür toprak basıncı katı kilde geçici destek durumu için, Denklem (2.8) kullanılarak hesaplanır.

$$P_a = 0,30 \gamma H \quad (2.8)$$

Görünür toprak basıncı orta katı kilde sürekli destek durumu için, Denklem (2.9) ile hesaplanır.

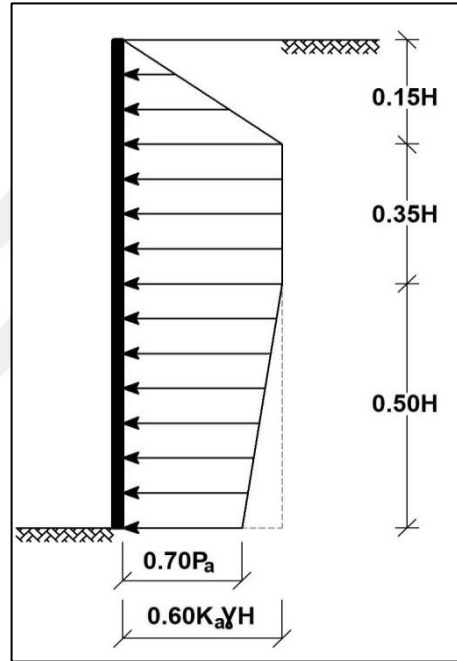
$$P_a=0,375\gamma H \quad (2.9)$$

Görünür toprak basıncı yumuşak killer için Denklem (2.10) ile hesaplanır.

$$P_a=0,50\gamma H \quad (2.10)$$

### 2.5.3. Lehmann görünür toprak basıncı dağılımı

Lehmann tarafından önerilen granüler zeminler için görünür toprak basıncı dağılımı Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.6. Lehmann görünür toprak basıncı diyagramı [11]

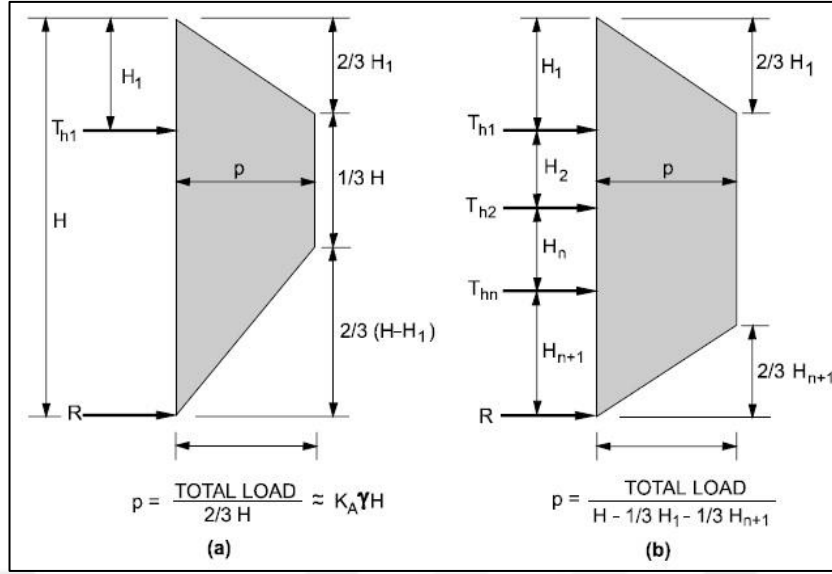
Lehmann'a göre granüler zeminler için görünür toprak basıncı Denklem (2.11) ile hesaplanır.

$$P_a=0,60K_a\gamma H \quad (2.11)$$

### 2.5.4. FHWA tarafından önerilen görünür toprak basıncı dağılımı

FHWA granüler zeminlerde ankrajlı duvar tasarımı için Terzaghi & Peck önerisinin revize edilmiş bir halini sunmaktadır. Şekil 2.7-a 'da tek sıra ankrajlı sistemler için Şekil 2.7-b 'de ise çok sıra ankrajlı sistemler için görünür basınç dağılımları sunulmuştur.





Şekil 2.7. FHWA tarafından granüler zeminler için önerilen görünür toprak basıncı diyagramları [8]

Bu diyagramlarda;

$H_1$  = İlk sıra ankrajın zemin yüzeyinden derinliği

$H_{n+1}$  = Son sıra ankrajın kazı tabanından olan yüksekliği

$T_{hi}$  = i.ci ankraja gelen yatay yük

$R$  = Kazı tabanındaki direnç kuvveti

$P$  = Diyagramın maksimum değeri

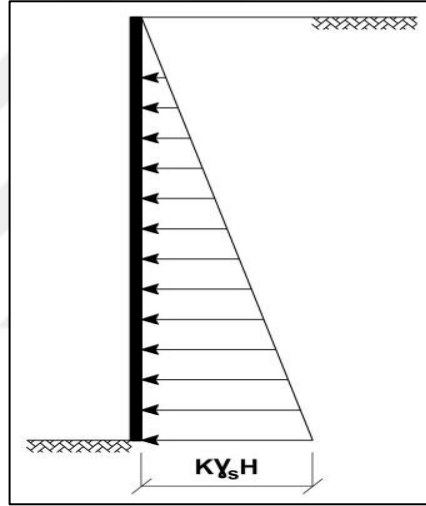
$$\text{Total Load} = 0,60K_a \gamma H^2 \quad (2.12)$$

### 2.5.5. Düşey iksa elemanında yük hücresi okumalarına istinaden sunulan görünür toprak basıncı diyagramları

Katsura [12] Japon Standartları üzerine yaptığı çalışmasında, destekli kazılardaki düşey iksa elemanları üzerine yerleştirilen yük hücrelerinden alınan değerler neticesinde önerilen toprak basıncı diyagramlarını sunmuştur. Sunulan standartlar Tablo 2.1’de verilmektedir.

Tablo 2.1. Görünür toprak basıncı diyagramını öneren japon standartları

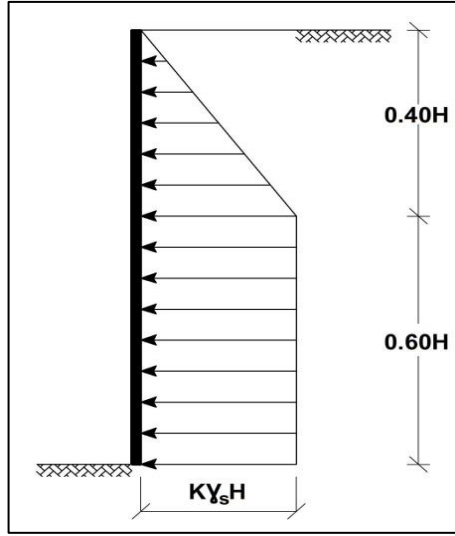
No	Kurum	Standart	Yürürlük Tarihi (Revizyon)
A	Architectural Institute Of Japan	Recommandation for Design and Construction Practice of Earth Retaining for Excavation	1974,11 (1988,01)
B	Japan Society of Civil Engineers	Standart Specification for Tunnels--Cut and Cover Tunneling Volume	1977,01 (1986,06)
F	Japan Sewage Works Agency	Design Standart (Draft), Civil Engineering	1976,04 (1988,10)



Şekil 2.8. Japon A ve F standartları tarafından önerilen görünür toprak basıncı dağılımları [12]

Şekil 2.8'de verilen toprak basıncı diyagramındaki K ifadesi yanal toprak basıncı katsayısı olup granüler zeminlerde yeraltı su seviyesine göre değer almaktadır. Yeraltı su seviyesinin yüksek olması durumunda 0,3 ila 0,7 arasında, yeraltı su seviyesinin düşük olması durumunda ise 0,2 ile 0,4 arasında değişen değerler almaktadır.

Ayrıyeten  $\gamma_s$  ifadesi doygün birim hacim ağırlığı ifade etmektedir. Kohezyonlu zeminlerde ise K ifadesi yumuşak killer için 0,5 ile 0,8 arasında, sert killer için ise 0,2 ilen 0,5 arasında değer almaktadır [12].

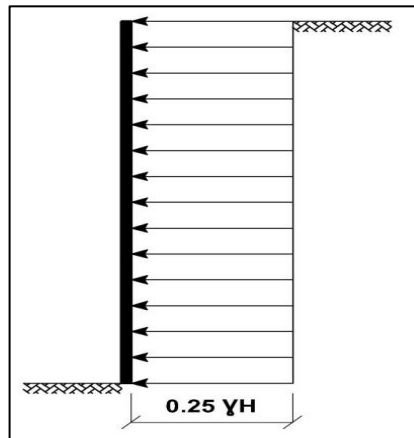


Şekil 2.9. Japon B standardı tarafından önerilen toprak basıncı dağılımı [12]

Şekil 2.9'da verilen toprak basıncı diyagramındaki K ifadesi yanal toprak basıncı katsayısı olup granüler zeminlerde 0,2 ila 0,4 arasında değer almaktadır. Ayriyeten yeraltı su seviyesinin yüksek olması durumunda ise hidrostatik su basıncı etkisinin verilen diyagram ile süperpoze edilmesi önerilmektedir [12].

#### 2.5.6. Bowles görünür toprak basıncı önerisi

Tschebotarioff görünür toprak basıncı önerisinde (Şekil 2.5-a) bir en boy oranından bahsetmemekte olup, Bowles bu durumu göz önüne alarak Denklem (2.13) ile sayısal değeri hesaplanan görünür toprak basıncı diyagramını sunmuştur.



Şekil 2.10. Granüler zeminler için Bowles görünür toprak basıncı diyagramı [9]

$$P = 0,25\gamma H$$

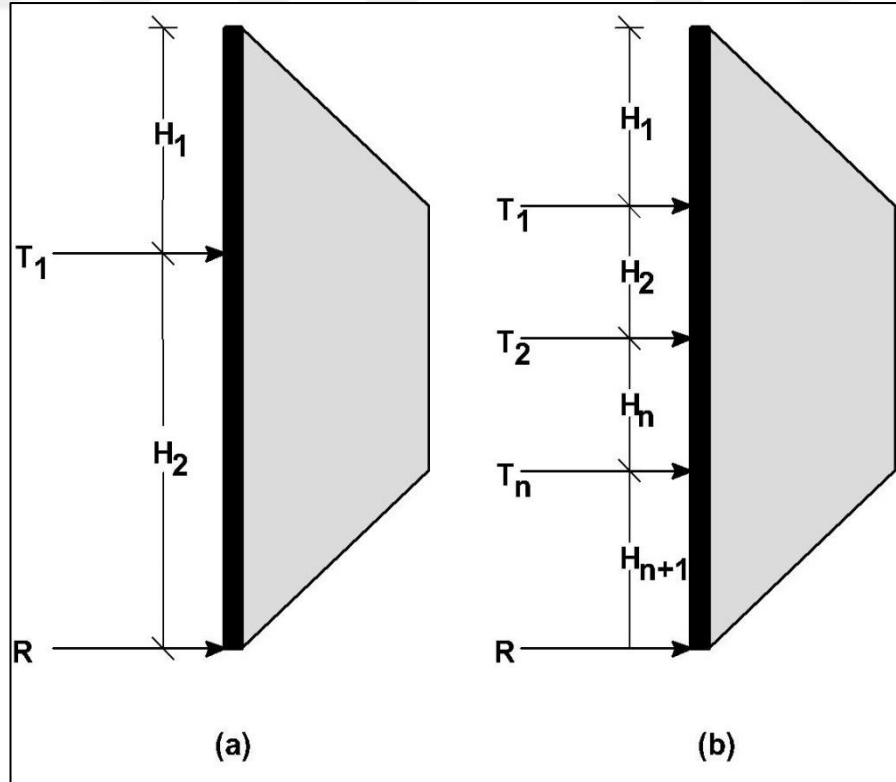
$$(2.13)$$

## 2.6. Destek Elemanı Yükleri için Hesap Yöntemleri

Kısım 2.5'te sunulan görünür toprak basıncı diyagramları yatay destek elemanlarına gelen yükleri belirlemekle beraber göğüsleme ve düşey iksa elemanlarını boyutlandırmak için kullanılır. Bahse konu yükleri hesaplamak için bazı yöntemler önerilmektedir. Bu yöntemler statikçe belirsiz sistemlerin kolay bir el hesabına uyumlu hale getirilmesi için geliştirilmiştir. Bu metodlar "Tributary Area Method" ve "Hinge Method" olarak isimlendirilir. Her iki yöntemde kazı tabanının mafsal kabul edilmesine dayanır ve her iki yöntemde de kazı tabanı sanki bir destek elemanı gibi davranır, ancak bu durum niteklilikli malzemeler kullanılan düşey iksa elemanları için uygundur [8].

### 2.6.1. Tributary area method

"Tributary Area Method" için tek sıra veya çok sıra yatay destek elemanı olması durumunda hesap mantığı aşağıdaki gibidir.



Şekil 2.11. Tributary area method için destek yükleri hesap şematığı (yük dağılımı temsilidir.)

Tek destek elemanı olması durumunda (Şekil 2.11-a) ;  $T_1$  yükü Denklem (2.14) ile R yükü ise Denklem (2.15) ile hesaplanır.

$$T_1 = \left( H_1 + \frac{H_2}{2} \right) \text{ uzunluğu boyunca yük} \quad (2.14)$$

$$R = \left( \frac{H_2}{2} \right) \text{ uzunluğu boyunca yük} \quad (2.15)$$

Birden fazla destek elemanı olması durumunda (Şekil 2.11-b) ;  $T_1$  yükü Denklem (2.16),  $T_2$  yükü Denklem (2.17),  $T_n$  yükü Denklem (2.18) ve R yükü ise Denklem (2.19) ile hesaplanır.

$$T_1 = \left( H_1 + \frac{H_2}{2} \right) \text{ uzunluğu boyunca yük} \quad (2.16)$$

$$T_2 = \left( H_2/2 + \frac{H_n}{2} \right) \text{ uzunluğu boyunca yük} \quad (2.17)$$

$$T_n = \left( H_n/2 + \frac{H_{n+1}}{2} \right) \text{ uzunluğu boyunca yük} \quad (2.18)$$

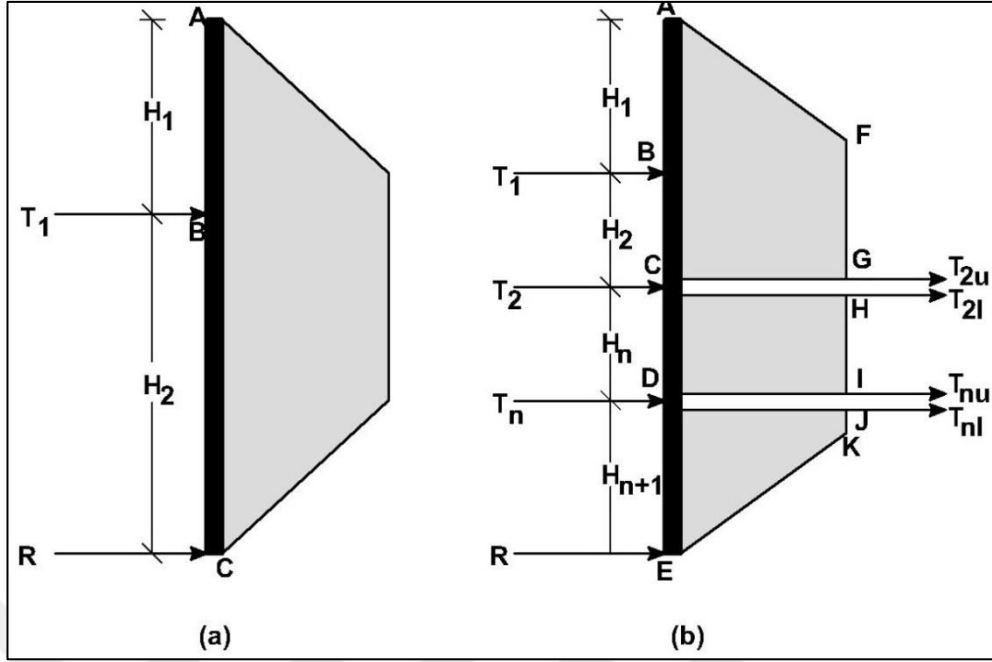
$$R = \left( \frac{H_{n+1}}{2} \right) \text{ uzunluğu boyunca yük} \quad (2.19)$$

R değeri kazı tabanındaki zeminin pasif direncinden oluşan destek yükü olup düşey iksa elemanın nitelikli bir malzemeden üretilmesi durumunda geçerlidir [8]. Diğer durumlarda R değeri bir üst yatay destek elemanına aktarılır.

### 2.6.2. Hinge method

Bu yöntemde yatay destek elemanının düşey iksa elemanı ile birleşim noktaları mafsal kabul edilerek çözüm yapılır. Tek sıra ve çok sıra destek elemanları olması durumunda hesap mantığı aşağıdaki gibidir.

Tek destek elemanı olması durumunda (Şekil 2.12-a);  $T_1$  destek elemanı yükü C noktasına göre moment alınarak bulunur. R ise toplam yükün bulunan  $T_1$  yükünden çıkarılmasıyla elde edilir.



Şekil 2.12. Hinge method için destek yükleri hesap şematiği (yük dağılımı temsilidir.)

Birden fazla destek elemanı olması durumunda ise (Şekil 2.12-b);  $T_1$  destek elemanı yükü C noktasına göre moment alınarak bulunup, ABCGF alanından çıkarılarak  $T_{2u}$  yükü bulunur.  $T_{2l}$  yükü ise D noktasına göre moment alınarak hesaplanıp, CDIH alanından çıkarılarak  $T_{nu}$  yükü bulunur.  $T_{nl}$  yükü de E noktasına göre hesaplanır.  $T_{nu}$  ve  $T_{nl}$  toplamından  $T_n$  yükü,  $T_{2u}$  ve  $T_{2l}$  toplamından da  $T_n$  yükü elde edilir. Son olarak ise R yükü toplam yükten  $T_1$ ,  $T_2$  ve  $T_n$  yükleri çıkarılarak bulunur.

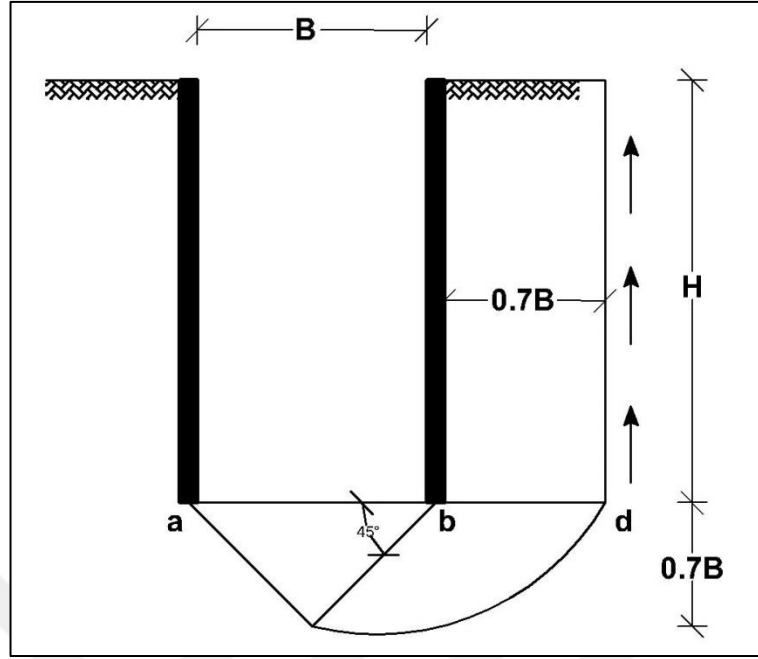
R değeri kazı tabanındaki zeminin pasif direncinden oluşan destek yükü olup düşey iksa elemanın nitelikli bir malzemedan üretilmesi durumunda geçerlidir [8]. Diğer durumlarda R değeri bir üst yatay destek elemanına aktarılır.

## 2.7. Destekli Kazılarda Taban Kabarması

Kohezyonlu zeminlerde yapılan destekli kazı çalışmalarında taban kabarması problemi ile karşılaşılabilir. Bahse konu problem Terzaghi [13] tarafından ele alınmıştır.

Bu analizde kazı tabanında bd boyunca Denklem (2.20)'de tanımlanan yük meydana gelmektedir.

$$Q = \gamma H(0,7B) - c_u H \quad (2.20)$$



Şekil 2.13. Kohezyonlu zeminlerde taban kabarması problemi

Bahse konu yükün  $0,7B$  genişliğindeki bir şerit temel üzerine etki ettiği düşünülürse taban kabarmasının olmaması için yükün şerit temel taşıma gücünü geçmemesi gerektiğinden yük ile şerit temel taşıma gücünün oranı güvenlik katsayısı olarak değerlendirilir. Şerit temelin taşıma gücü Denklem (2.21) ile bulunabilir.

$$Q_u = c_u N_c \gamma \quad (2.21)$$

Denklem (2.21)'deki  $N_c$  ifadesi taşıma gücü katsayısı olup  $5,7$  olarak alındığında taban kabarmasına karşı güvenlik sayısı Denklem (2.22) ile elde edilir.

$$FS = \frac{Q_u}{Q} = \frac{1}{H} \left( \frac{5,7c_u}{\gamma - \frac{c_u}{0,7B}} \right) \quad (2.22)$$

Diğer bir yaklaşım ise tabanda zeminin en az  $0,7B$  derinliğe kadar homojen olması durumudur. Eğer bu derinlikten daha sığ bir  $D$  derinliğinde sert bir tabaka varsa Denklem (2.22) şu şekilde yazılır.

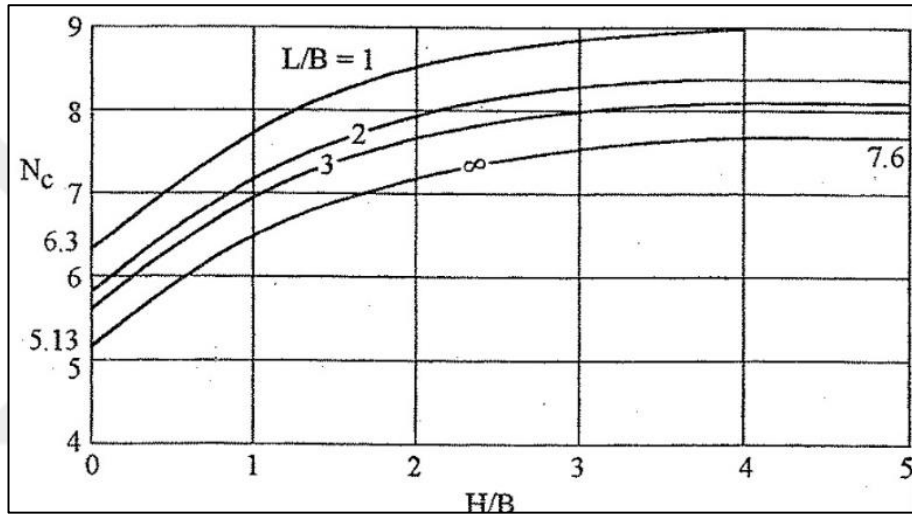
$$FS = \frac{Q_u}{Q} = \frac{1}{H} \left( \frac{5,7c_u}{\gamma - \frac{c_u}{D}} \right) \quad (2.23)$$

Denklem (2.22) ve (2.23)'teki  $c_u$  ifadesi drenajsız kohezyonu temsil etmektedir.

Bjerrum ve Eide (1966) taban kabarmasına karşı güvenlik sayısı olarak Denklem (2.24)'te verilen öneriyi sunmuştur.

$$FS = \frac{c_u N_c}{\gamma H} \quad (2.24)$$

Denklem (2.24)'teki  $N_c$  ifadesi kazının şekil ve derinliğine bağlı olarak Şekil 2.14'ten alınır.



Şekil 2.14. Taban kabarması probleminde taşıma gücü faktörü (Bjerrum ve Eide, 1966)



### 3. KAYMA DÜZLEMİNDE BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRME TEORİSİ

#### 3.1. Giriş

Rowe [14] granüler zeminler için toprak basıncını çeşitli yükleme durumları altında derinlik ve deplasmanın bir fonksiyonu olarak hesaplamak için bir gerilme-şekil değiştirme teorisi geliştirmiştir.

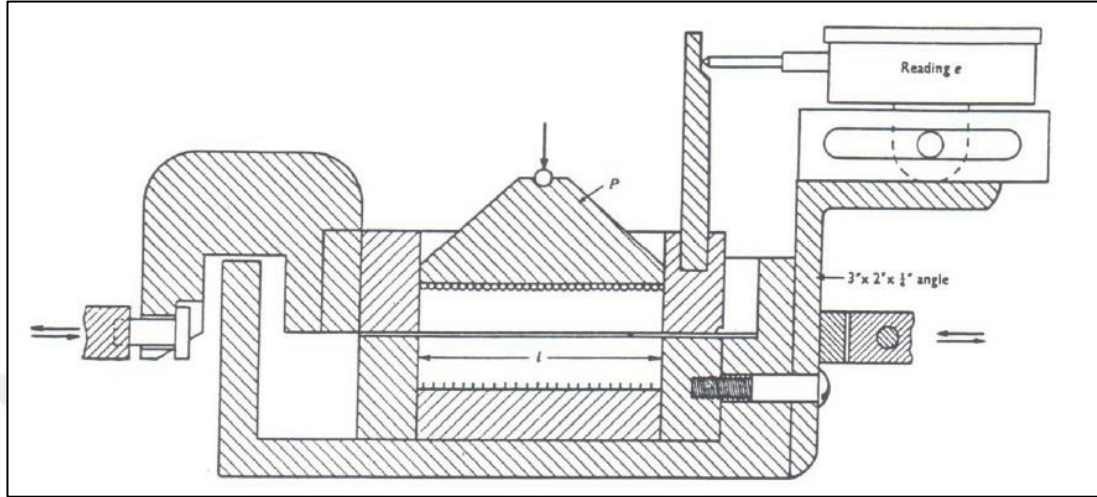
Rowe [14]; tünel, menfez, esnek duvarlar ve yapı temellerinin tasarımında, kohezyonsuz zeminlerin yenilmeye ulaşmadığı durumlar için elastisite teorisinin uygulanamayacağını belirterek, laboratuvar deneylerinden elde ettiği yaklaşık ölçümlerle zemindeki birim şekil değiştirme ile ( $\epsilon$ ) hareketlenmiş (mobilize olmuş) kayma direnci açısı ( $\phi_{mob.}$ ) arasında yapı elemanın deplasmanına (dönme veya ötelenme) bağlı olarak aktif ve pasif toprak basıncı durumları için bağıntılar önermiştir.

#### 3.2. Elastisite Teorisinin İrdelenmesi

Rowe [14]; Zemin kayma direnci açısı ile ( $\phi$ ) zemin-duvar arası sürtünme açısının ( $\delta$ ) hareketlenmesinin (mobilize olması) zemin danelerinin kenetlenme derecesine ve kayma düzlemi üzerindeki küçük hareketlenmelere bağlı olduğu hipotezini öne sürerek bu durumu “Slip-Strain” olarak adlandırmıştır. Rowe önerdiği hipotezin elastisite teorisinden bariz bir şekilde ayrıldığını ifade ederek, zemin kayma direnci açısı ile ( $\phi$ ) zemin-duvar arası sürtünme açısının ( $\delta$ ) değişiminin ve hacim değişiminin etkilendiği faktörleri belirterek, bu faktörleri laboratuvar deney sonuçlarından elde ettiği bulgularla açıklamıştır. Bahse konu faktörler aşağıda sıralanmıştır.

- 1- Yükleme Hızı
- 2- Numune Kalınlığı
- 3- Zemin Tipi
- 4- Kayma Düzlemi Uzunluğu
- 5- Çevre Basıncı

- 6- Zemin Yoğunluğu
- 7- Yükleme Yönü
- 8- Gerilme Geçmişi



Şekil 3.1. Rowe [14] Laboratuvar deneyinde kullandığı kesme kutusu düzeneği

Rowe [14] yaptığı deneyler neticesinde elastisite teorisinin granüler zeminlerde uygulanamayacağını, özetle aşağıda sıralanan nedenlere bağlı olarak öne sürmüştür.

- 1- Granüler zeminler birbirinden ayırık hareket eden zemin danelerinden oluşmakta olup çekme dayanımları yoktur.
- 2- Granüler zeminlerin kayma dayanımı doğrusal değildir ve çevre basıncına bağlıdır.
- 3- Granüler zeminlerin özellikleri gerilme tarihçesi ile ilişkili olarak değişiklik gösterir.
- 4- Granüler zeminler hızlı yükleme altında yüksek bir dayanım gösterirken, yavaş yükleme altında daha düşük dayanım göstermektedirler.
- 5- Granüler zeminlerde zemin danelerinin geometrik şekli (yuvarlak, yarı-köşeli ve köşeli) kayma dayanımını etkilemektedir.

Rowe [14] limit denge durumu öncesinde toprak basıncının hesaplanması için geliştirdiği bağıntıların kullanılabilmesi için aynı zamanda ikinci bir hipotez öne sürmüştür. Bu hipoteze göre zeminin limit denge durumundaki zemin nihai kayma direnci açısı ( $\phi_f$ ) ile zemin-duvar arası sürtünme açısı ( $\delta_f$ ) kullanılarak ulaşılan çözümler, limit durum öncesi gerilme şartları ( $\phi_f$  yerine  $\phi_{mob}$  kullanılarak) içinde geçerlidir.

### 3.3. Hareketlenmiş Kayma Direnci Açısı

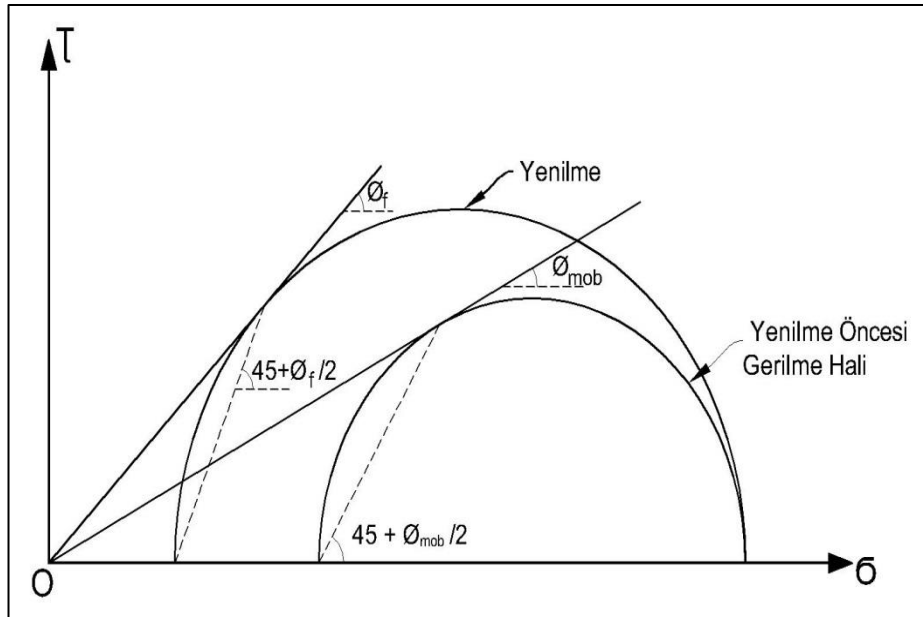
Hareketlenmiş (mobilize olmuş) kayma direnci açısı granüler bir zemin için Denklem (3.1)'de belirtildiği gibi tanımlanır.

$$\phi_{\text{mob}} = \tan^{-1} \left( \frac{\tau}{\sigma} \right) \quad (3.1)$$

Burada;  $\tau$  ve  $\sigma$  değerleri  $\tau/\sigma$  oranının maksimum olduğu kayma ve normal gerilmelerdir. Direkt kesme deneylerinde, nihai kayma düzlemi  $\phi_{\text{mob}}$  değerini hesaplamak için kullanılır. Üç eksenli deneylerde ise  $\tau/\sigma$  oranının en büyük olduğu düzlem birinci asal düzlemden ( $\tau$ - $\sigma$  grafiğinde  $\sigma$  eksenini)  $45 + \phi_{\text{mob}}/2$  açısına sahiptir. Şekil 3.2'de Mohr daireleri  $\tau/\sigma$  oranının en büyük olduğu bu düzlemi göstermektedirler. Hareketlenmiş (mobilize olmuş) sürtünme açısının  $\phi_{\text{mob}}$  nümerik değerinin elde edilmesinin bir yolu Denklem (3.2) ile mümkündür.

$$\phi_{\text{mob}} = \sin^{-1} \left( \frac{\Delta\sigma}{\Delta\sigma + 2\sigma_3} \right) \quad (3.2)$$

Burada;  $\Delta\sigma$  deviator gerilme olup  $\sigma_3$  ise verilen  $\epsilon$  (birim şekil değiştirme) değerindeki çevre basıncıdır.



Şekil 3.2. Hareketlenmiş içsel sürtünme açısının tanımlanması. (Arsoy'dan uyarlama)

### 3.4. Birim Şekil Değişirme (Strain) Durumlarının Tanımlanması.

Rowe [14] çeşitli deplasman durumları altında zemin şekil değişirmesini hesaplamak amacıyla geliştirdiği bağıntılar için çeşitli laboratuvar deneylerindeki birim şekil değişirmeleri aşağıdaki gibi tanımlamıştır.

$$\varepsilon = \frac{\text{kesme kutusunun ilk pozisyonuna göre yer değişirmesi}}{\text{kesme kutusunun kesme yönündeki iç genişliği}} \quad (3.3)$$

$$\varepsilon = \frac{\text{numunenin alt ve üst ucunun göreceli dönüş açısı}}{360^\circ} \quad (3.4)$$

$$\varepsilon = \frac{\text{numunenin başlangıç haline göre düşey yerdeğişirme}}{\text{numune başlangıç yüksekliği}} \quad (3.5)$$

Burada Denklem (3.3) direkt kesme deneyi, Denklem (3.4) burulmalı kesme deneyi ve Denklem (3.5) ise üç eksenli basınç deneyini temsil etmektedir. Çevresel basınç testi için şekil değişirme ifadesi Denklem (3.6) ile tanımlanmıştır.

$$\varepsilon_c = \frac{\text{yerdeğişirme}}{\text{başlangıç yüksekliği}} \quad (3.6)$$

#### 3.4.1. Kayma birim şekil değişirmelerin tanımlanması

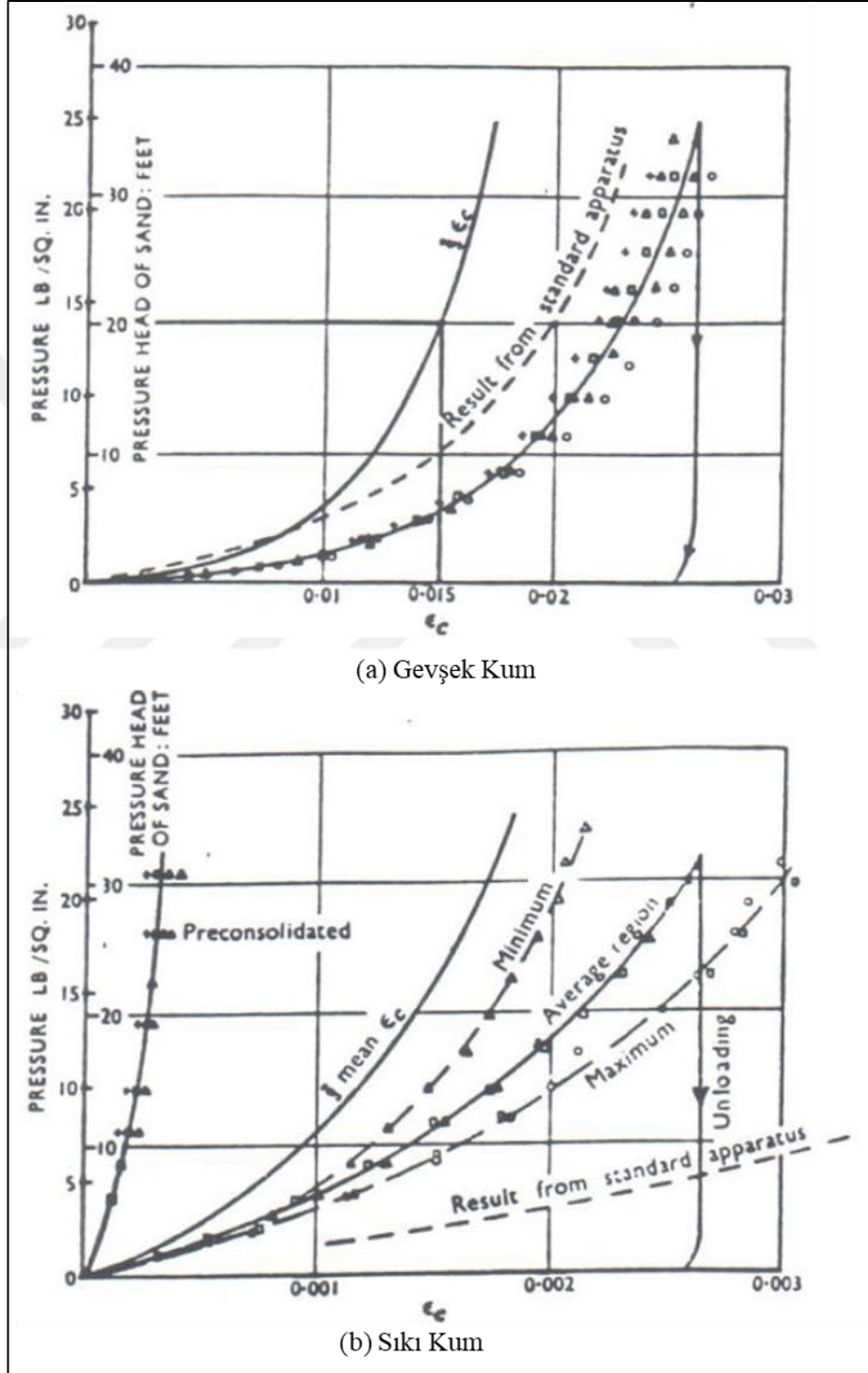
Rowe [14] hipotezini kanıtlamak için bir çok laboratuvar deneyi yaparak hareketlenmiş (mobilize olmuş) kayma direnci açısı ( $\theta_{mob}$ ) ile kayma birim şekil değişirmesi arasında ( $\varepsilon_s$ ) arasındaki ilişkileri ortaya koyup çeşitli bağıntılar elde etmiştir.

##### 3.4.1.1. Sükûnet hali birim şekil değişirme

Rowe [14] zemin sükûnet halinde dahi olsa zemin danelerinin zemin kütlelerinden dolayı bir başlangıç kayma birim şekil değişirmesi olduğunu belirtmiş olup sayısal değerinin belirlenmesi için abaklar sunmuştur. Sükûnet hali birim şekil değişirmesi Denklem (3.7) ile ifade edilir.  $\varepsilon_{int}$  ifadesi Rowe [14] çalışmasındaki başlangıç hali birim şekil değişirme değeri için tez kapsamında sunulan gösterimdir.

$$\varepsilon_{int} = \frac{2}{3} \varepsilon_c \quad (3.7)$$

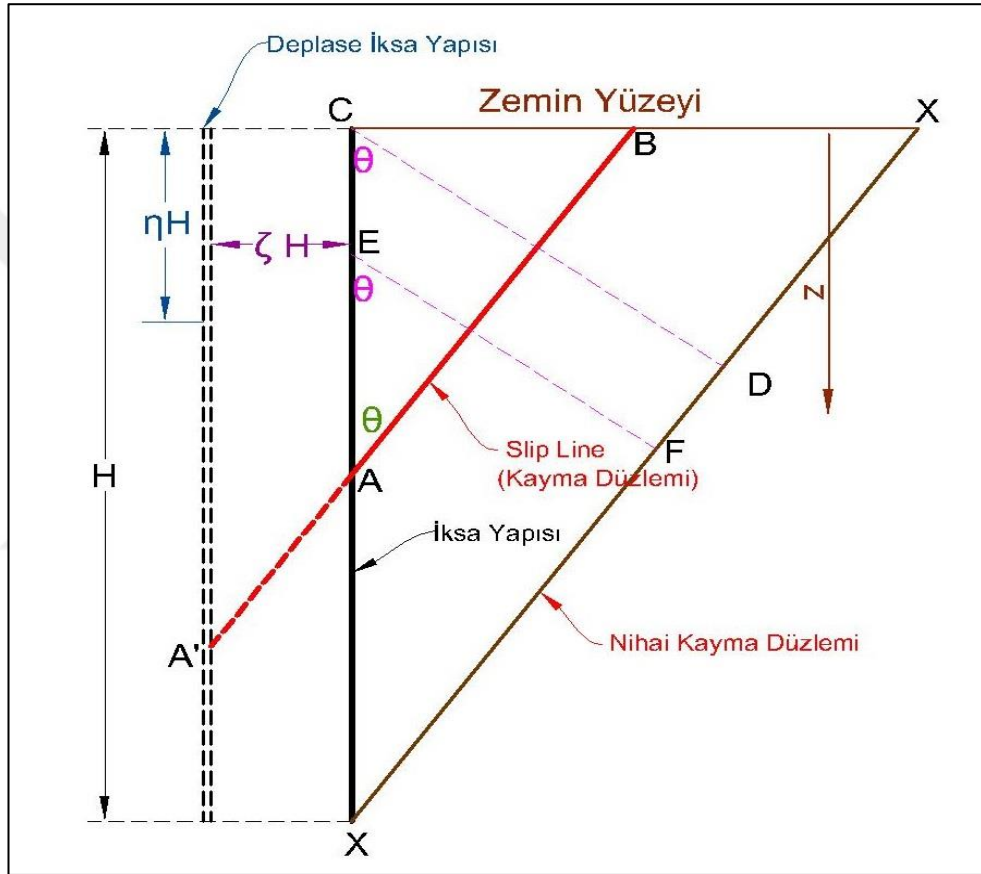
Burada (Denklem (3.7));  $\epsilon_c$  ifadesi çevre basıncı deneyinden seçilen derinlikteki normal gerilme altında elde edilen birim şekil değiştirme değeridir. Denklem (3.7) yaklaşık bir sonuç vermekte olup, yalnızca  $\epsilon_c$  ifadesinin %2 değerinden küçük olduğu durumlarda geçerlidir [14].



Şekil 3.3. Gevşek ve sıkı kumlar için Rowe [14] tarafından önerilen başlangıç durumu birim şekil değiştirme abakları

### 3.4.1.2. Aktif durum birim şekil değiştirme

İksa yapısının zemin düzlemi dışına doğru hareketi zemini sükûnet halinden aktif duruma geçişe doğru hareketlendirir. Bu hareketlendirme üç farklı şekilde olabilir. Bunlar iksa yapısının salt ötelenmesi, iksa yapısının salt dönmesi ya da bu iki durumun değişen oranlarda beraber meydana gelmesidir. İksa yapısı deplasman yaptıkça, kayma direnci açısını limit denge durumuna kadar hareketlendirir.



Şekil 3.4. Salt ötelenme hali aktif durum için kayma düzlemleri (Rowe'dan uyr.)

Şekil 3.4'te de görüldüğü üzere iksa yapısı bir miktar zemin düzlemi dışına doğru hareketlendiğinde XX nihai kayma düzlemine ulaşmaya kadar AB gibi çeşitli kayma düzlemleri etkisi altında kalacaktır. Bu durum nihai kayma direnci açısının bir kısmını hareketlendirerek sükûnet halinden aktif hale geçişe yol açacaktır.

Laboratuvar ortamında direkt kesme deneyinde kesme kutusunun ilk pozisyonuna göre yer değiştirmesinin kesme kutusu iç genişliğine oranı olarak tanımlanan birim şekil değiştirme sahada kayma düzlemi üzerinde  $|A'A|$  uzunluğunun  $|AB|$

uzunluğuna oranı ile ilişkilendirilebilir. Bu durumda birim Şekil değiştirme Denklem (3.8) ile tanımlanır.

$$\epsilon_s = \frac{|A'A|}{|AB|} \quad (3.8)$$

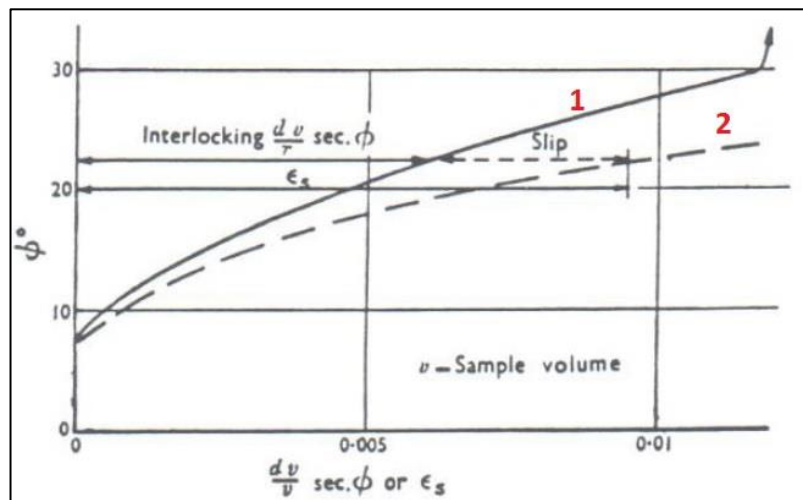
Geometrik bağıntılar ve trigonometri kullanılarak  $|A'A|$  ve  $|AB|$  uzunlukları elde edilip Denklem (3.8)'de yerine yazılarak, Denklem (3.9) elde edilir.

$$\epsilon_s = \frac{\zeta H}{\sin\theta} / \frac{\eta H}{\cos\theta} = \frac{\zeta}{\eta \tan\theta} \quad (3.9)$$

Duvar sųrtųnmesinin kayma dųzlemi ųzerindeki kųçük etkisi ihmal edildiđinde [14];

$$\frac{\zeta}{\eta} = \epsilon_s \tan\left(45 - \frac{\phi_{mob}}{2}\right) \quad (3.10)$$

Burada; Denklem (3.10) için kayma dųzlemi XX ile dik kesiŐen CD dųzlemindeki hacim deđiŐiminden dolayı bir dųzeltme gerekmektedir. Kayma esnasında EF dųzlemi boyunca geliŐen konsolidasyon durumu zemin danelerini duvardan uzaklaŐtırarak belirlenen AB kayma dųzlem uzunluđunu artırır. BasitleŐtirme için eŐlenik kayma birim Őekil deđiŐtirmesi  $\epsilon_s$  deđerine eŐit alınırsa Őekil 3.5'ten de anlaşılacađı ųzere kayma dųzleminde bir hata meydana getirecektir [14].



Őekil 3.5. Rowe [14] tarafından granųler zeminler ųzerinde yapılan kesme kutusu deneylerinde kenetlenmeye bađlı hacim deđiŐimi

Şekil 3.5'te 1 numaralı eğri kayma direnci açısıyla birim şekil değiştirme arasındaki ilişkiyi, 2 numaralı eğri ise kayma direnci açısıyla hacim değişimi arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Dikkat edilirse bu iki eğri çakışmıyor olup hacim değişimi dikkate alındığında hesap edilen zeminin ilgili derinlikte Denklem (3.10) ile elde edilen birim şekil değiştirme değerinden daha büyük bir birim şekil değiştirme değerine sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca bu iki eğrinin çakışmıyor oluşu granüler zeminlerin elastisite teorisine uygun olmadığını bariz bir göstergesidir. Rowe [14] hacim değişimini dikkate alıp duvar kayma hareketi için Denklem (3.10)'u revize ederek Denklem (3.11)'i sunmuştur.

$$\varepsilon_s = \frac{\zeta}{n \tan \left( 45 - \frac{\phi_{mob}}{2} \right)} \left( 1 + 1,15 \log_{10} \frac{1}{n} \right) \quad (3.11)$$

Duvar dönme hareketine bağlı olarak ise Denklem (3.12) sunulmuştur;

$$\varepsilon_s = \frac{r}{2n \tan \left( 45 - \frac{\phi_{mob}}{2} \right)} \left( 1 - n + 2,3 \log_{10} \frac{1}{n} \right) \quad (3.12)$$

Denklem (3.11) ve (3.12)'deki ifadeler Rowe [14] çalışmasında şu şekilde tanımlanmıştır.

$\zeta$  = Yatay ötelenmenin duvar yüksekliğine oranı (hesap yapılan derinlikte)

$n$  = Derinliğin duvar yüksekliğine oranı (hesap edilen noktanın yüzeyden derinliği)

$r$  = Duvar dönme açısı [  $\zeta / (1 - n)$  ]

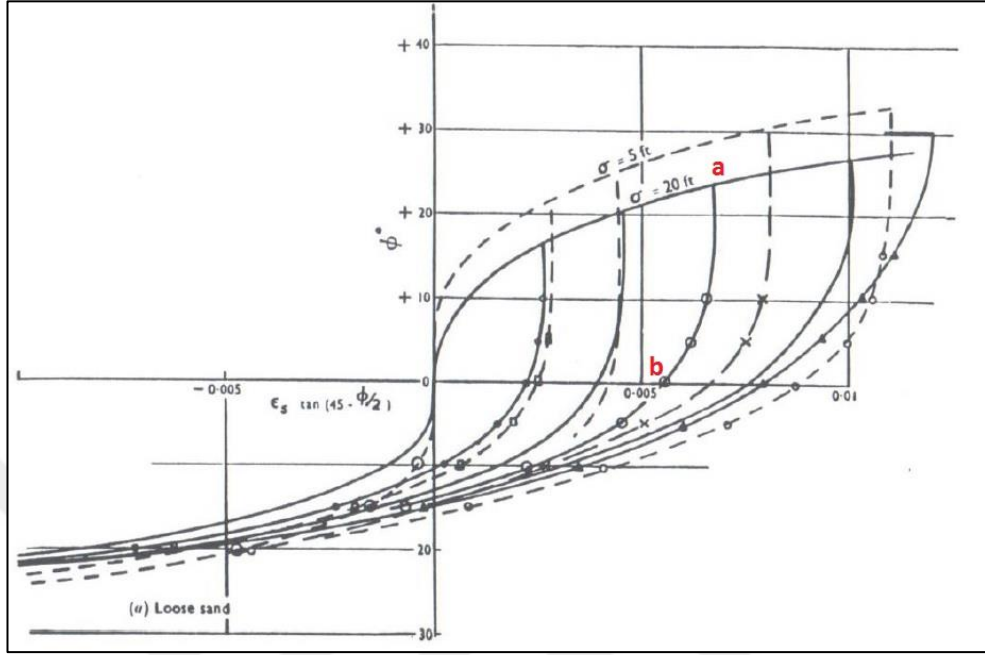
Çalışma kapsamında  $\zeta$  ifadesi normalize ötelenme,  $n$  ifadesi normalize derinlik ve  $r$  ifadesi ise normalize dönme olarak isimlendirilmiştir.

### 3.4.1.3. Pasif durum birim şekil değiştirme

İksa duvarının zemine doğru hareket etmesi durumunda zeminin uyguladığı direncin pasif direnç olduğunu belirten Rowe [14], İksa duvarı arkasında kalan sıkı kumlarda duvar hareketinden önce çevre basıncından dolayı bir miktar aktif kayma eğilimi gösterdiğini ifade etmektedir. Şekil 3.6'da görüleceği üzere herhangi bir a noktasındaki kesme değeri, duvarın hareketine bağlı olarak  $\phi$  değerinin sifıra kadar



azalması sonucu b noktasına gelmektedir. Bu durumda a ve b noktaları arasında aktif durum etkileri gözlenir [14].



Şekil 3.6. Rowe [14] tarafından granüler zeminler üzerinde yapılan kesme kutusu deneylerinde zıt yönlü yükleme durumu

İksa duvarının zemine doğru hareket etmesi durumunda oluşan kayma çizgileri eğrisel olup düz kayma çizgilerinden bir miktar daha uzundur. Ancak kayma birim şekil değiştirmeleri kolaylık olması için düz kayma çizgilerinden tahmin edilmiştir. Bundan dolayı duvar hareketinden ötürü oluşan direnç kuvveti iki tip kayma çizgisinin (eğrisel ve düz) oranı kadar gerçek değerinden daha küçük hesaplanmıştır. Bu hata; zemin rijitliği ve zemin içerisindeki küçük birim hacim ağırlık değişiklikleri düşünüldüğünde ihmal edilebilir [14]. Tüm bu durumlar dikkate alındığında Rowe [14] tarafından pasif durum birim şekil değiştirmesi duvar kayma (Denklem (3.13)) ve dönme (Denklem (3.14)) hareketlerine göre şu şekilde sunulmuştur.

$$\varepsilon_s = \frac{\zeta}{n \tan \left( 45 - \frac{\phi_{mob}}{2} \right)} \left( 1 - 1,15 \log_{10} \frac{1}{n} \right) \quad (3.13)$$

$$\varepsilon_s = \frac{r(1-n)}{n \tan \left( 45 - \frac{\phi_{mob}}{2} \right)} \left( 1,5 - \frac{1,15 \log_{10} \left( \frac{1}{n} \right)}{(1-n)} \right) \quad (3.14)$$

### 3.5. Arsoy (2004) Çalışması

Rowe [14] tarafından önerilen kayma düzleminde birim şekil değiştirme (“Slip Strain”) teorisi; herhangi bir deplasman durumunda zeminin birim şekil değiştirmesine bağlı olarak hareketlenmiş kayma direnci açısının elde edilerek yanal toprak basıncının hesaplanmasını açıklamakta olup, hareketlenmiş kayma direnci açısı ile birim şekil değiştirme arasındaki ilişkiyi irdeleyen diğer bir çalışma ise Arsoy (2004) tarafından yapılan “ Granüler Zeminlerde Kayma Direnci Açısının Deformasyonlarla Değişmesi ve Potansiyel Kullanım Alanları” çalışmasıdır.

Arsoy [15] çalışmasında; granüler zeminlerin yenilme anındaki kayma direnci açısını belirlemeye yönelik ampirik bir bağıntı geliştirmeyi ve kayma direnci açısının şekil değiştirmeye hareketlenmesini araştırmayı amaçlamıştır. Arsoy bu amaç doğrultusunda kayma direnci açısı ve birim şekil değiştirmeler hakkında tavsiyelerde bulunmak için 189 zemin mukavemet deneyinden oluşan bir veri tabanı oluşturmuş olup, 50 üç eksenli ve direkt kesme kutusu deneyine dayanarak, normalleştirilmiş kayma direnci ve şekil değiştirme arasında doğrusal olmayan evrensel bir ilişki önermiştir.

Daneli zeminlerin yenilme anındaki kayma direnci açısının çevre basıncıyla etkisini değerlendirmek için literatürden Duncan v.d. (1989) (Denklem (3.15)) bağıntısını baz alan Arsoy[15]  $\phi_0$  ve  $\Delta\phi$  değerleri için ampirik formüller önermiştir.

$$\phi_f = \phi_0 + \Delta\phi \log\left(\frac{\sigma_3}{P_{atm}}\right) \quad (3.15)$$

Burada (Denklem (3.15));  $P_{atm}$  atmosferik basınç (1 atm=100 kPa),  $\sigma_3$  çevre basıncı,  $\phi_0$  çevre basıncı  $\sigma_3 = P_{atm}$  iken yenilme anındaki kayma direnci açısı ve  $\Delta\phi$  ise çevre basıncında her log çevrimi için  $\phi_0$  değerinde oluşan değişimdir.

Arsoy  $\phi_0$  (Denklem 3.16) ve  $\Delta\phi$  (Denklem 3.17) değerleri için önerdiği ampirik formüller aşağıdaki gibidir.

$$\phi_0 = 30 + 0,2D_r \quad (3.16)$$

$$\Delta\phi = 0,275\phi_0 - 5,5 \quad (3.17)$$

$\emptyset_{mob}$  değeriindeki hareketlenme derecesinin deformasyona veya birim şekil değiştirmeye bağlı olduğunu belirten Arsoy [15]  $\emptyset_{mob}$  ile birim şekil değiştirme arasındaki ilişkinin gerilmeyle birim şekil değiştirme arasındaki ilişkiye çok benzediğini ifade etmiştir. Ayriyeten granüler zeminlerin yenilme anına kadarki davranış karakteristiklerinde şekilsel benzerlik olduğunu vurgulayarak, bu benzerliklerin söz konusu malzeme davranışının pratik, sistematik ve kolay bir değerlendirme için normalleştirilmesinin yolunu açtığını ifade eden Arsoy [15] normalleştirme prosedürünü ise hareketlenmiş kayma direnci açısının ( $\emptyset_{mob}$ ) yenilme anındaki kayma direnci açısıyla bölünmesi ve birim şekil değiştirmenin ise yenilme anındaki birim şekil değiştirme değeriyle bölünmesinden ibaret olduğunu belirtmiştir.

Arsoy [15]; yenilme anındaki kayma direnci açısını nasıl seçtiğini şu şekilde ifade etmiştir;

Eğer  $\emptyset_{mob}$  – birim şekil değiştirme eğrisinde sıkı kumlarda olduğu gibi bir tepe belirgin ise  $\emptyset_{mob}$  değerinin ölçülen en büyük değeri yenilme anındaki kayma direnci açısı  $\emptyset_f$  olarak tanımlanmıştır. Eğer  $\emptyset_{mob}$  – birim şekil değiştirme eğrisinde gevşek kumlarda olduğu gibi bir tepe oluşumu belirgin değil ise  $\emptyset_{mob}$  değerinin %95'i yenilme anındaki kayma direnci açısı  $\emptyset_f$  olarak tanımlanmıştır. Böylece  $\emptyset_f$  değeriindeki en fazla %5'lik küçük bir hata ile yenilmeye yol açan birim şekil değiştirmenin daha güvenli bir şekilde tanımlanması amaçlanmıştır.

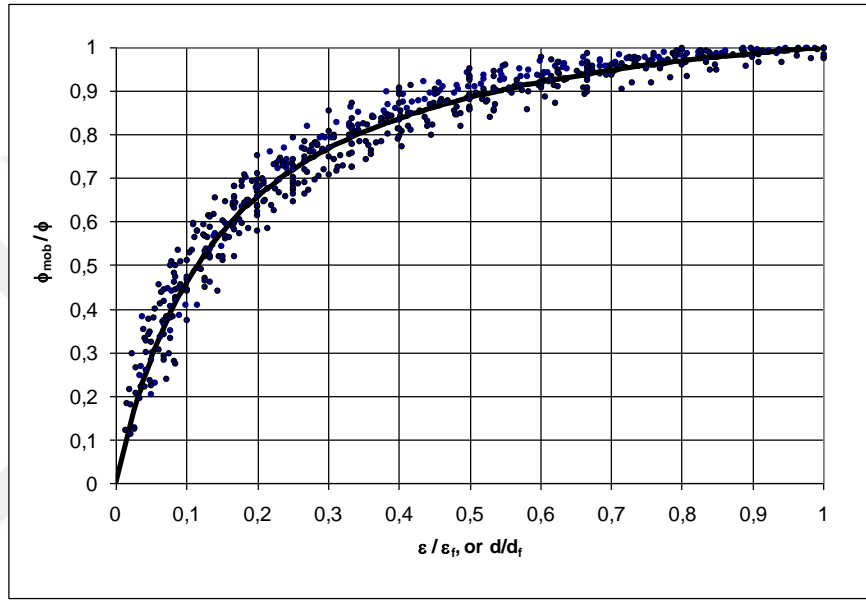
Arsoy [15]  $\varepsilon_f$  değerini  $\emptyset_f$  değerine karşılık gelen birim şekil değiştirme değeri olarak değerlendirerek, direkt kesme deneylerinde birim şekilde değiştirme hesaplanamayacağı için deneyde ölçülen deformasyonun numune boyuna bölünmesiyle (Rowe [14] çalışmasında olduğu gibi) bulunan deformasyon oranının birim şekil değiştirmenin eşleniği olarak kullanıldığını belirtmiştir.

Hareketlenmiş kayma direnci açısı ( $\emptyset_{mob}$ ) ile yenilme anındaki kayma direnci açısı arasında, Arsoy [15] tarafından önerilen bağıntı (Denklem (3.18)) aşağıdaki gibidir.

$$\emptyset_{mob} = \emptyset_f \frac{\left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_f}\right)}{0,13 + 0,87 \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_f}\right)} \quad (3.18)$$

Bağıntıdaki (Denklem (3.18))  $\varepsilon$  ifadesi birim şekil değiştirme değeri olup, bundan sonraki kısımlarda başlangıç durumu (sükûnet hâli) için  $\varepsilon_{int}$ , İksa sisteminin kayma hareketi yapması sebebiyle oluşan birim şekil değiştirme değeri için  $\varepsilon_{mob(t)}$  ve iksa

sisteminin topuk noktası etrafında dönme hareketi yapması sebebiyle oluşan birim şekil değiştirme değeri için  $\varepsilon_{mob(r)}$  olarak isimlendirilecek olup bu birim şekil değiştirme değerlerinin çeşitli durumlar altında toplamı ise  $\varepsilon_{mob(tot.)}$  olarak adlandırılacaktır. Özetle  $\varepsilon$  ifadesi farklı durumlar için indirgenmiş olan  $\varepsilon_{int.}$ ,  $\varepsilon_{mob(t)}$ ,  $\varepsilon_{mob(r)}$ , ve  $\varepsilon_{mob(tot.)}$  ifadelerinin genel halidir. Ayriyeten söz konusu tüm birim şekil değiştirme değerleri  $\varepsilon_{mob}$  olarak da ifade edilebilir. Bağlıdaki  $\varepsilon_f$  ifadesi ise yenilme anındaki birim şekil değiştirme değeridir.



Şekil 3.7. Arsoy [15] veri tabanındaki deney sonuçlarının normalize edildiği hareketlenmiş kayma direnciyle birim şekil değiştirme arasındaki ilişki

Şekil 3.7'de görüldüğü üzere Arsoy [15] tarafından önerilen bağıntı ile (Denklem (3.18)) granüler zeminler için normalleştirilmiş bir  $\phi_{mob} - \varepsilon$  eğrisi varsayılabilir ve bu bağıntı Rowe [14] çalışmasıyla birlikte kullanılarak içten destekli iksa sistemlerinin tasarımı için yeni bir metod oluşturmasında kullanılabilir.

Ayrıca yenilmeye sebebiyet veren birim şekil değiştirme değerinin literatürden bulunabileceğini belirten Arsoy, söz konusu değeri bulmak için Denklem (3.19)'un da kullanılabilceğini söylemektedir.

$$\varepsilon_f = 4 - 0,057\phi_f \quad (3.19)$$

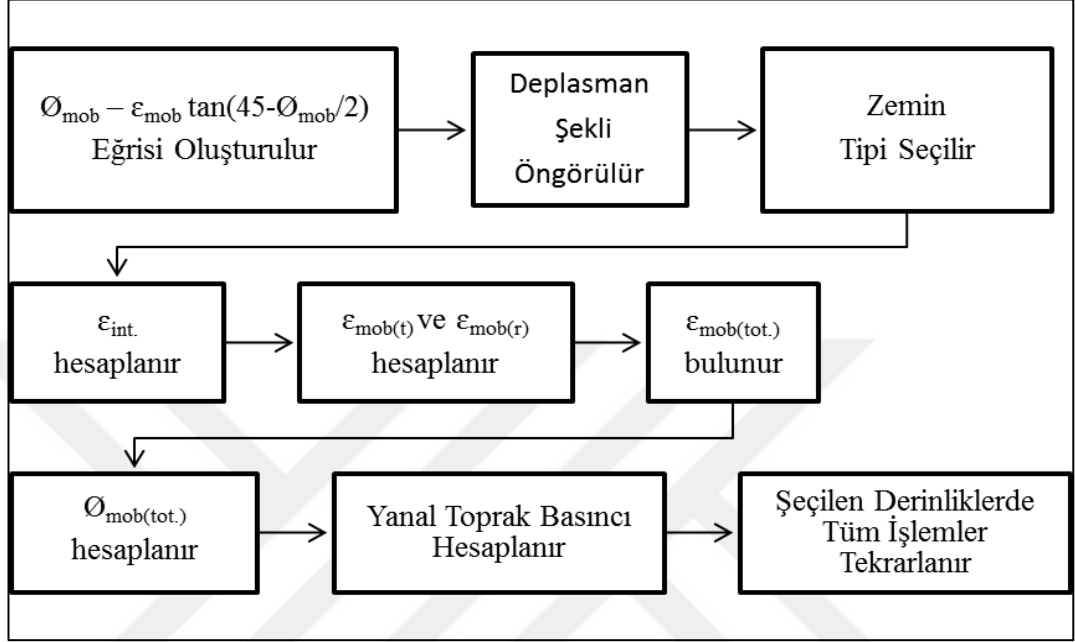
## 4. ÖNERİLEN HESAP YÖNTEMİ

### 4.1. Giriş

İlk bölümde de değinildiği üzere günümüzde iksa sistemleri tasarımında kullanılan yanal toprak basıncı teorileri ile içten destekli iksa sistemlerinin tasarımında kullanılan ve Bölüm-2’de anlatılan görünür toprak basıncı diyagramları yenilme anındaki kayma direnci açısı ( $\phi_f$ ) baz alınarak hesaplanmaktadır. Bölüm-1’de sunulduğu üzere yenilme anındaki kayma direnci açısı ( $\phi_f$ ), iksa sisteminin belirli bir deplasman yapması durumunda etkin olmaktadır. Yenilmeye sebebiyet veren deplasman değerinden daha küçük bir deplasman değerinde oluşan hareketlenmiş kayma direnci açısı ( $\phi_{mob}$ ) nihai kayma direnci açısından ( $\phi_f$ ) daha küçük olduğundan, aktif durumda daha büyük bir toprak basıncı getirecektir. Dolayısıyla ( $\phi_{mob}$ ) değerinin doğru bir şekilde elde edilmesi hem daha güvenli bir tasarımın önünü açacak olup hem de tasarımcı tarafından belirlenen deplasman sınırları içerisinde iksa sistemi çözümüne olanak sağlayacaktır. Bölüm 3’te açıklandığı üzere Rowe [14] granüler zeminler için iksa sisteminin hareketinin bir fonksiyonu olarak bir dizi birim şekil değiştirme bağıntıları tanımlamıştır. Denklem (3.11) ve (3.12) aktif durum için Denklem (3.13) ve (3.14) ise pasif durum için tanımlanan birim şekil değiştirme bağıntılarıdır. Bahse konu bağıntılar irdelendiğinde birim şekil değiştirmeler tasarımcı tarafından belirlenecek iksa yapısı hareketine bağlı olarak ilgili derinlikteki hareketlenmiş kayma direnci açısı bilinmeden hesaplanamayacaktır. Diğer bir ifadeyle ilgili derinlikte iksa elemanı hareketine bağlı olarak birim şekil değiştirme bilinmeden o derinlikteki hareketlenmiş kayma direnci açısı da hesaplanamayacaktır. Dolayısıyla bahse konu bağıntılardan bir sonuç alınabilmesi için ikinci bir eşitliğe ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bölümde; Arsoy [15] tarafından hareketlenmiş içsel sürtünme açısı ile nihai kayma direnci açısı arasında birim şekil değiştirmelere bağlı olarak yapılan çalışma ile Rowe [14] yaklaşımı birlikte ele alınarak iksa sistemlerine etki eden yanal toprak basınçları için deplasman bazlı bir hesap yöntemi öne sürülmüştür. Ayriyeten bu kısımda önerilen hesap yönteminin kolay ve hızlı bir şekilde uygulanabilmesi için, Microsoft Office Excell

vb. bir program kullanılarak bir spreadsheet (elektronik hesap tablosu) hazırlanması tasarımcıya kolaylık sağlayacaktır.

#### 4.2. Önerilen Hesap Yöntemi İşlem Adımları

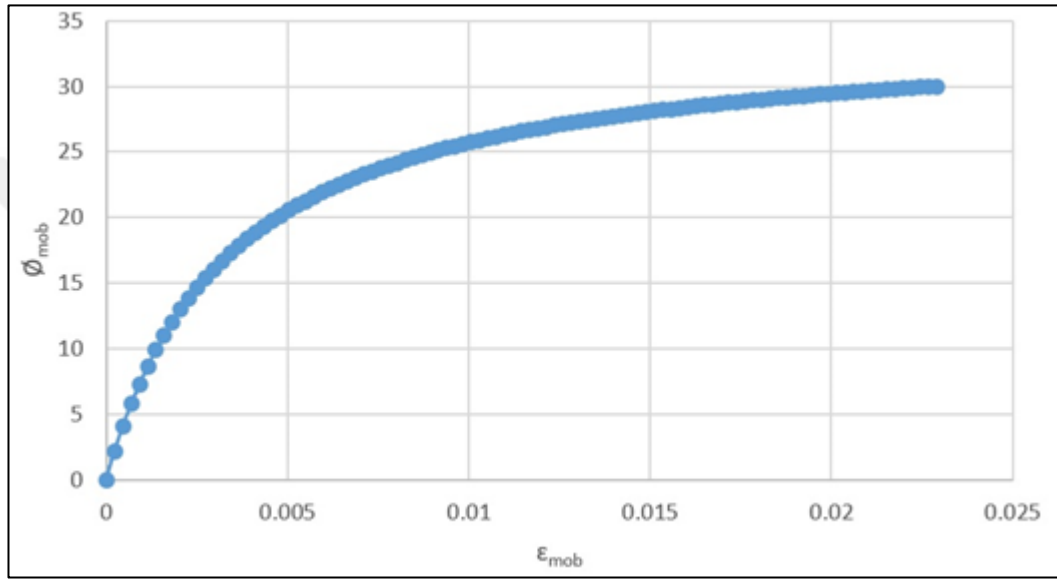


Şekil 4.1. Önerilen hesap yöntemi işlem adımları özeti

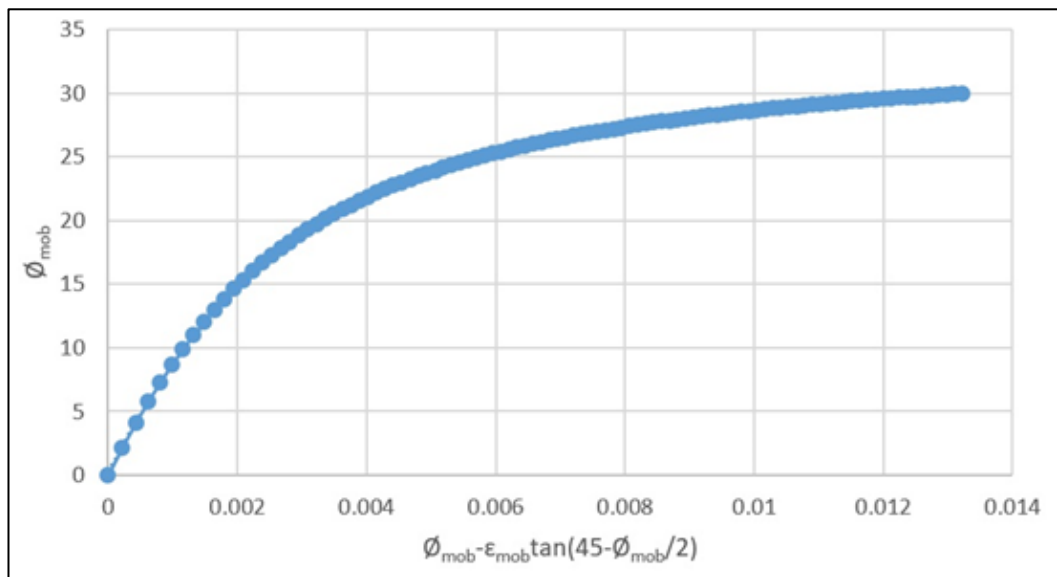
##### 4.2.1. $\epsilon_{mob} - \emptyset_{mob}$ ve $\emptyset_{mob} - \epsilon_{mob} \tan(45 - \emptyset_{mob}/2)$ grafiklerinin elde edilmesi

İksa sistemine etki eden yanal toprak basınçlarının gerek tez kapsamında sunulan yöntem ile gerekse Rankine ve Coloumb gibi hâlihazırda yaygın olarak kullanılan yöntemlerle hesaplanabilmesi için zeminin yenilme anındaki içsel sürtünme açısı ( $\emptyset_f$ ) ile birlikte zeminin birim hacim ağırlığının (Yeraltı suyu etkisi durumu varsa doymun birim hacim ağırlık değeri de gereklidir.) da bilinmesi gereklidir. Tez kapsamında önerilen hesap yöntemi için ise, hâlihazırda yöntemlerden farklı olarak zeminin yenilme anındaki birim şekil değıştirme değeri ( $\epsilon_f$ ) de gereklidir. Söz konusu değeri kesme kutusu ya da üç eksenli basınç deneylerinden elde edilebileceği gibi herhangi bir bilgi olmaması durumunda, önceki bölümde de belirtildiği gibi Denklem (3.19) yardımı ile hesaplanabilir. Denklem (3.18) kullanılarak nihai kayma direnci açısı bilinen bir zemin için  $\epsilon_{mob} - \emptyset_{mob}$  eğrisi oluşturulabilir. İlk etapta  $\emptyset_f$  değeri kullanılarak Denklem (3.19) ile  $\epsilon_f$  değeri hesaplanır ve hesaplanan  $\epsilon_f$  değeri 100'e bölünerek (çalışma kapsamında hassas bir sonuç elde etmek için 100 değeri kullanılmış olup tasarımcı tarafından başka bir değeri seçilebilir.) sıfırdan başlayıp  $\epsilon_f$

değerinde biten  $\varepsilon_{mob}$  değerleri üretilir. Denklem (3.18) yardımı ile her bir  $\varepsilon_{mob}$  değerine karşılık gelen  $\phi_{mob}$  açısı bulunur. Bulunan değerler kullanılarak  $\varepsilon_{mob} - \phi_{mob}$  eğrisi çizilir. Şekil 4.2’de nihai kayma direnci açısı  $30^\circ$  olan granüler bir zemin için Denklem (3.18) yardımı ile oluşturulmuş  $\varepsilon_{mob} - \phi_{mob}$  grafiği ve Şekil 4.3’te de elde edilen  $\varepsilon_{mob} - \phi_{mob}$  değerleri kullanılarak oluşturulmuş  $\phi_{mob} - \varepsilon_{mob} \tan(45 - \phi_{mob}/2)$  grafiği verilmiştir. Söz konusu grafikler Denklem (3.19) ile üretilen  $\varepsilon_f$  değeri kullanılarak oluşturulmuş olup hesap detayları Bölüm 4.3.1’de verilmiştir.



Şekil 4.2. Nihai kayma direnci açısı ( $\phi_f$ )  $30^\circ$  olan granüler zemin için Denklem (3.18) kullanılarak oluşturulan  $\varepsilon_{mob} - \phi_{mob}$  Grafiği

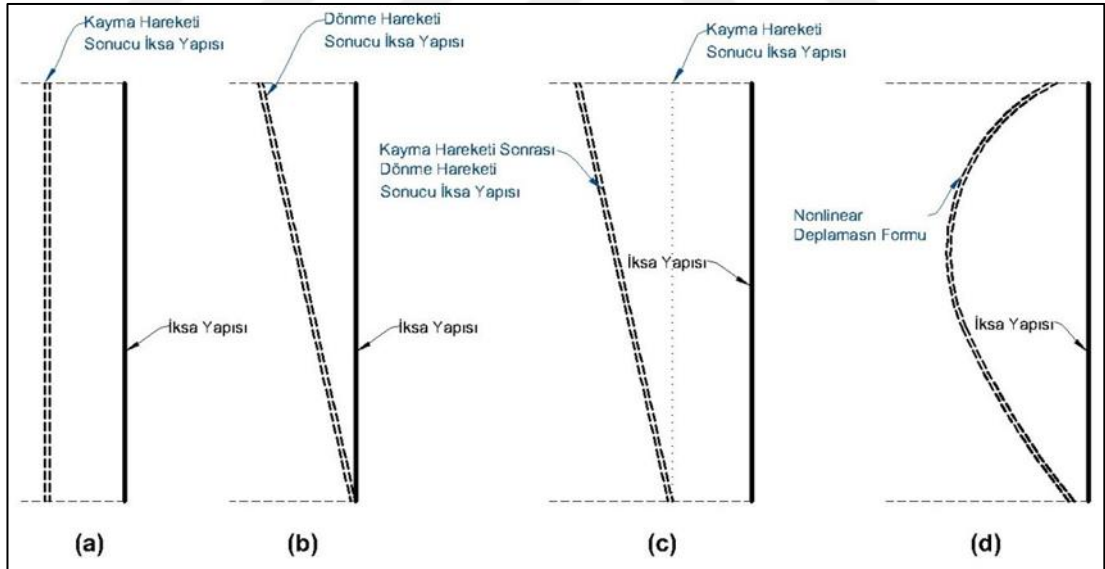


Şekil 4.3. Nihai kayma direnci açısı ( $\phi_f$ )  $30^\circ$  olan granüler zemin için  $\varepsilon_{mob} - \phi_{mob}$  değerleri kullanılarak oluşturulan  $\phi_{mob} - \varepsilon_{mob} \tan(45 - \phi_{mob}/2)$  Grafiği

#### 4.2.2. İksa sistemi deplasman şeklinin öngörülmesi

İksa sistemine etki eden yanal toprak basıncı büyük ölçüde sistemin deplasmanına bağlıdır. İksa sisteminde, yüzeyden  $z$  derinliğindeki herhangi bir noktadaki hareketlenmiş kayma direnci açısı ( $\phi_{mob}$ ), o noktada iksa sisteminin yaptığı deplasmana bağlı olarak gelişen hareketlenmiş birim şekilde değiştirme ( $\epsilon_{mob}$ ) değerine bağlıdır. Dolayısıyla tasarımcı tarafından bir deplasman şekli öngörülmesi ve iksa sistemine etki eden toprak basınçları öngörülen bu deplasman şekline göre elde edilen birim şekil değiştirme değerleri kullanılarak hesaplanmalıdır.

İksa sistemi salt kayma hareketi (Şekil 4.4-a) ya da salt dönme hareketi (Şekil 4.4-b) yapabileceği gibi bu iki tip hareketi çeşitli formlar altında birlikte de yapabilir. Ayrıca Şekil 4.4-d’de görüldüğü gibi nonlineer (doğrusal olmayan) bir yer değiştirme hareketi de yapabilir. Eğer tasarımcı nonlineer deplasman formu için hesap yapmak isterse deplasman şeklini kayma ve dönme hareketinin süperpozisi olacak şekilde ifade etmelidir.



Şekil 4.4. İksa sistemleri için çeşitli deplasman şekilleri

#### 4.2.3. Birim şekil değiştirmelerin bulunması

İksa sistemine etki eden toprak basıncının hesaplanabilmesi için gerekli olan ( $\phi_{mob}$ ) değeri, birim şekil değiştirme değeri kullanılarak elde edilir. Birim şekilde değiştirme değeri için 3 temel durum söz konusudur. Bunlardan ilki başlangıç birim şekil



değiştirme değeri olup ( $\epsilon_{int.}$ ), diğerleri iksa sisteminin kayma hareketi yapması durumunda oluşan  $\epsilon_{mob(t)}$  değeri ve iksa sisteminin dönme hareketi yapması durumunda oluşan  $\epsilon_{mob(r)}$  değeridir.

#### **4.2.3.1. Başlangıç (sükûnet hâli) birim şekil değiştirme değerinin ( $\epsilon_{int.}$ ) bulunması**

Dayanma yapısı inşa edilmeden önce zemin kendi ağırlığından kaynaklı çevre basıncından dolayı bir miktar birim şekil değiştirme değerini üzerinde barındırır. Başlangıç birim şekil değiştirme değerleri Rowe (1954)'un çalışmasında gevşek ve sıkı kumlar için zemin ortamında herhangi bir derinlikteki zemin danesinin üzerindeki zemin yükünden dolayı oluşan çevre basıncına bağlı olarak verdiği abaklar kullanılarak hesaplanabilir. Orta sıkı kumlar için ise verilen bu abakların ortalaması kullanılabilir. Ayriyeten Rowe (1954)'un çalışmasının dışında alternatif olarak başlangıç birim şekilde değiştirme değeri için Denklem (1.4) ile verilen Jaky (1944) önerisi de kullanılabilir.

Rowe (1954) önerisine göre başlangıç birim şekil değiştirme değerinin bulunması;

Rowe (1954) çalışmasında sıkı ve gevşek kumlar için abaklar sunmuş olup, sıkı ve gevşek kum için herhangi bir seçim kriteri belirtmemiştir. Tez kapsamında sunulan hesap yöntemi için aşağıda belirtilen zemin tipi seçim kriteri kullanılmıştır.

Çalışma kapsamında kabul edilen granüler zemin tipleri Tablo 4.1'de verilmiştir. Tasarımcı verilen kriterler dışında literatür verilerine dayanan başka bir kriterde belirleyebilir.

Tablo 4.1. Çalışma kapsamında granüler zemin tipi seçim kriteri

Zemin Tipi	Seçim Kriteri
Gevşek Kum	$\phi_f < 34^\circ$
Orta Sıkı Kum	$34^\circ \leq \phi_f < 38^\circ$
Sıkı Kum	$\phi_f \geq 38^\circ$

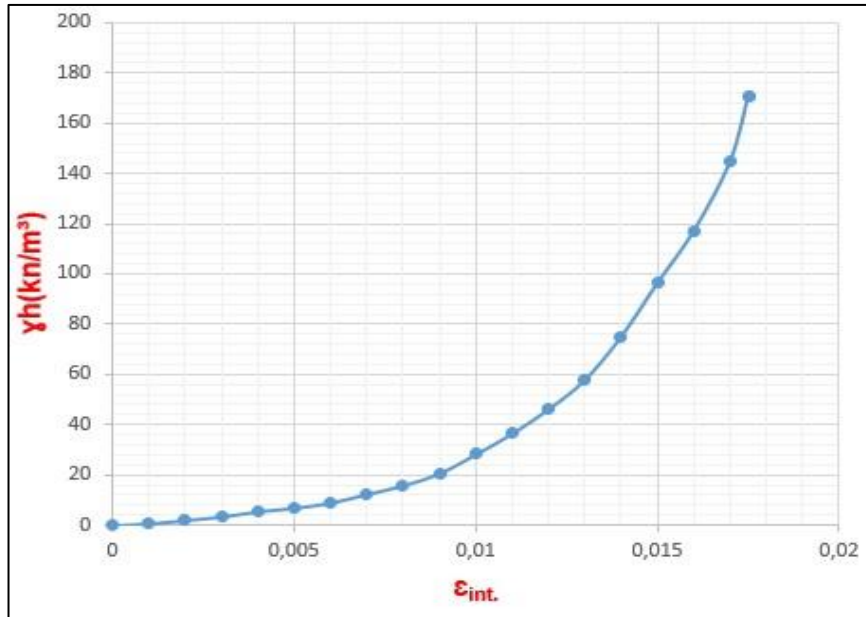
Tablo 4.1 türetilirken Meyerhoff (1956) tarafında önerilen SPT-N ile bağlı sıklık ve yenilme anındaki kayma direnci açısı arasındaki ilişki kullanılmıştır.

Tablo 4.2. SPT-N<sub>30</sub> - bağıl sıklık - kayma direnci açısı arasındaki ilişki (Meyerhoff (1956)) [16]

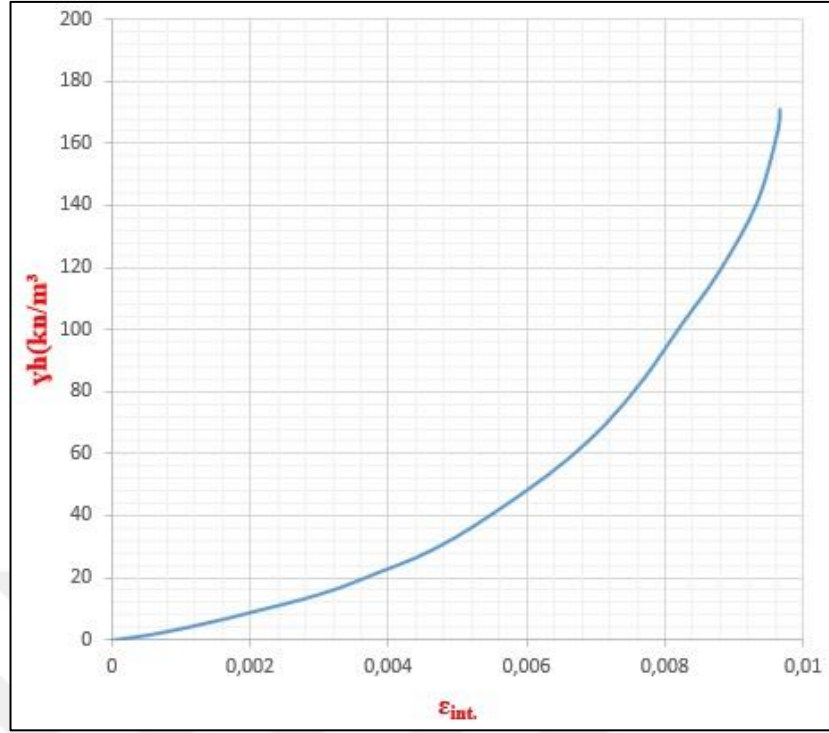
SPT N <sub>30</sub>	Zemin Sınıfı	Bağıl Sıklık [ % ]	Kayma Direnci Açısı ( ° )
< 4	Çok Gevşek	< 20	< 30
4 - 10	Gevşek	20 - 40	30 - 35
10 - 30	Kompakt	40 - 60	35 - 40
30 - 50	Sıkı	60 - 80	40 - 45
> 50	Çok Sıkı	> 80	> 45

Bölüm-3'te bahsedildiği üzere; Rowe [14] tarafından önerilen gevşek ve sıkı kumlar için başlangıç durumu (sükûnet hâli) birim şekil değiştirme abakları (Şekil 3.3-a-b) kullanılarak başlangıç durumu birim şekil değiştirme değeri ( $\epsilon_{int.}$ ) hesaplanabilir. Rowe [14] tarafından gevşek ve sıkı kum için önerilen abaklar SI birim sistemine çevrilmiş olup; (Şekil 4.5 ve Şekil 4.7) abaklarda düşey eksen düşey gerilmeyi ( $\gamma_h$ ) temsil etmektedir. Orta sıkı kumlar için gevşek kum ve sıkı kum abaklarının ortalaması alınmıştır (Şekil 4.6).

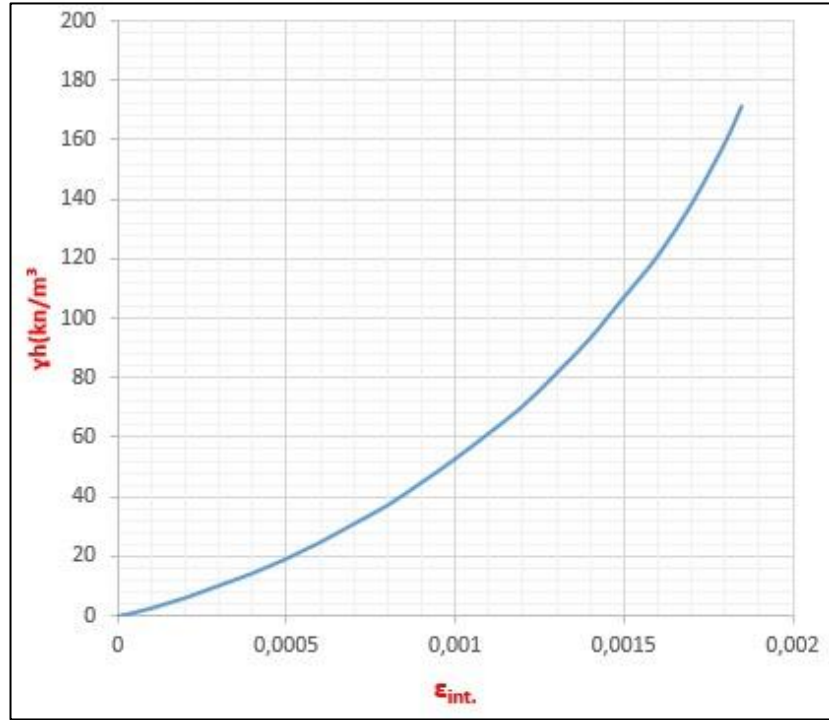
Sunulan her üç abak için de  $\epsilon_{int.}$  değeri belirli bir düşey gerilme değerine kadar artış göstermekte olup yapılan çalışmada yüksek düşey gerilme değerlerinde gevşek kumlar için 0,0175 orta sıkı kumlar için 0,009675 ve sıkı kumlar için 0,00185 olarak alınmıştır.



Şekil 4.5. SI Birim sisteminde Rowe [14] tarafından gevşek kumlar için önerilen başlangıç (sükûnet hali) birim şekil değiştirme abağı



Şekil 4.6. SI Birim sisteminde Rowe [14] tarafından gevşek ve sıkı kumlar için önerilen başlangıç (sükûnet hali) birim şekil değiştirme abaklarından elde edilen orta sıkı kumlar için başlangıç (sükûnet hali) birim şekil değiştirme abağı



Şekil 4.7. SI Birim sisteminde Rowe [14] tarafından sıkı kumlar için önerilen başlangıç (sükûnet hali) birim şekil değiştirme abağı

Jaky (1944) önerisine göre başlangıç birim şekil değiştirme değerinin bulunması;

Bölüm-1' de belirtildiği üzere Jaky (1944) normal konsolide zeminler için  $K_0$  ile zeminin yenilme anındaki efektif kayma direnci açısı ( $\emptyset'$ ) arasında Denklem (4.1)'de verilen bağıntıyı geliştirmiştir.

$$K_0 = 1 - \sin \emptyset' \quad (4.1)$$

Bu bağıntı Rowe (1954) çalışması ile şu şekilde ilişkilendirilebilir. Rowe (1954) çalışmasında zemindeki yanal toprak basıncının hesaplanması için geliştirdiği yönteminde; hareketlenmiş içsel sürtünme açısını ( $\emptyset_{mob}$ ) belirli bir değerden (çevre basıncından kaynaklı başlangıç birim şekil değiştirme değerine karşılık gelen içsel sürtünme açısı) başlatarak yenilme anındaki içsel sürtünme açısı değerine ( $\emptyset_f$ ) kadar ele almış olup sükûnet halindeki zemin için bile aktif durum bağıntılarının kullanılmasını tavsiye etmiştir. Bu bağlamda Rankine aktif toprak basıncı katsayısı bağıntısı (Denklem (1.14)) Rowe (1954) çalışması ile ilintili olarak Denklem (4.2) ile ifade edilebilir,

$$K_a = \frac{(1 - \sin \emptyset_{mob})}{(1 + \sin \emptyset_{mob})} \quad (4.2)$$

Sükûnet halinde yanal toprak basıncına sebebiyet veren hareketlenmiş içsel sürtünme açısı değeri Denklem (4.1) ve Denklem (4.2) birbirine eşitlenerek elde edilen Denklem (4.3) revize edilerek (Denklem (4.4), (4.5) ve (4.6)) elde edilen Denklem (4.7) ile hesaplanabilir.

$$1 - \sin \emptyset' = 1 - \sin \emptyset_f = \frac{(1 - \sin \emptyset_{mob})}{(1 + \sin \emptyset_{mob})} \quad (4.3)$$

$$1 - \sin \emptyset_f + \sin \emptyset_{mob} - (\sin \emptyset_{mob}) \times (\sin \emptyset_f) = 1 - \sin \emptyset_{mob} \quad (4.4)$$

$$\sin \emptyset_{mob} + \sin \emptyset_{mob} - (\sin \emptyset_{mob}) \times (\sin \emptyset_f) = 1 - 1 + \sin \emptyset_f \quad (4.5)$$

$$\sin \emptyset_{mob} (2 - \sin \emptyset_f) = \sin \emptyset_f \quad (4.6)$$

$$\emptyset_{mob} = \sin^{-1} \left( \frac{\sin \emptyset_f}{2 - \sin \emptyset_f} \right) \quad (4.7)$$

Denklem (4.7) ile elde edilen  $\emptyset_{mob}$  değeri sükûnet halinde Jaky (1944) toprak basıncı katsayısına karşılık gelen Rankine aktif durum toprak basıncı katsayısını veren içsel sürtünme açısı değeridir. Örneklendirecek olursak, yenilme anındaki içsel sürtünme açısı değeri ( $\emptyset_f$ )  $30^\circ$  olan bir zeminde;

$$\emptyset_{mob} = \sin^{-1} \left( \frac{\sin 30}{2 - \sin 30} \right) = 19,4712^\circ \quad (4.8)$$

Denklem (4.8) ile elde edilen  $\emptyset_{mob}$  değeri Denklem (3.18)'den çıkarılan Denklem (4.9) kullanılarak başlangıç hali şekil değiştirme değeri ( $\epsilon_{int.}$ ) elde edilebilir.

$$\epsilon_{int.} = \frac{0,13\epsilon_f\emptyset_{mob}}{\emptyset_f - 0,87\emptyset_{mob}} \quad (4.9)$$

Verilen örneklendirmenin devamı olarak ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri Denklem (4.9)'da ( $\epsilon_f$ ) değeri için Denklem (3.19)'da yerine yazılarak hesaplanabilir. (Denklem (4.10), Denklem (4.9)'daki ifadelerin sayısal değerlerinin yerine yazılması ile elde edilmiştir.)

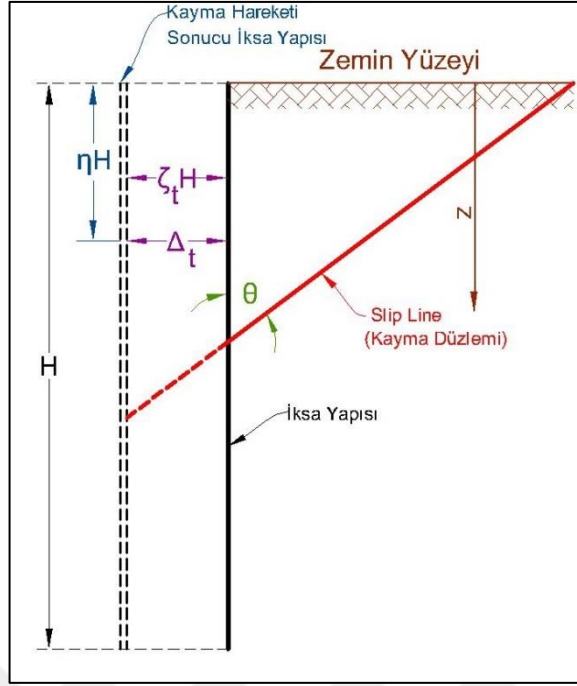
$$\epsilon_{int.} = \frac{0,13 \times (4 - 0,057 \times 30) \times 30}{30 - 0,87 \times 19,4712} = 0,00444 \quad (4.10)$$

Elde edilen ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri iksa boyunca tüm derinliklerde sabit olup Rowe yaklaşımından farklı olarak derinlikle değişiklik göstermez.

#### **4.2.3.2. Duvar kayma hareketinden dolayı hareketlenmiş birim şekil değiştirme değerinin ( $\epsilon_{mob(t)}$ ) bulunması**

İksa sisteminin bir bütün halinde ötelenme yapması kayma hareketi olarak isimlendirilir. Bu hareket neticesinde yüzeyden z derinlikteki bir zemin danesi hareketlenmiş birim şekil değiştirme ( $\epsilon_{mob(t)}$ ) değerine sahip olur. Bu şekil değiştirme değeri şu şekilde hesaplanır.

İlk önce hesap yapılan ilgili derinlikteki duvar hareketine (deplasmanı) bağlı olarak 3.Bölümde anlatılan normalize ötelenme ( $\zeta_t$ ) değeri ile normalize derinlik ( $\eta$ ) değeri Denklem (4.11)'de yerine yazılarak  $\epsilon_{mob(t)} \tan(45 - \emptyset_{mob}/2)$  çarpım sonucu elde edilir. Daha sonra bu çarpım değeri kullanılarak Kısım 4.2.1'de anlatılan  $\emptyset_{mob} - \epsilon_{mob} \tan(45 - \emptyset_{mob}/2)$  grafiğinden  $\emptyset_{mob(t)}$  değeri okunur. Son olarak ise  $\emptyset_{mob(t)}$  değeri Denklem (4.11)'de yerine yazılarak  $\epsilon_{mob(t)}$  değeri elde edilir.



Şekil 4.8. İksa sistemi aktif denge durumu kayma hareketi genel durumu (Rowe'dan uyarlama)

$$\epsilon_{\text{mob}(t)} = \frac{\zeta_{(t)}}{n \tan \left( 45 - \frac{\phi_{\text{mob}(t)}}{2} \right)} \left( 1 + 1,15 \log_{10} \frac{1}{n} \right) \quad (4.11)$$

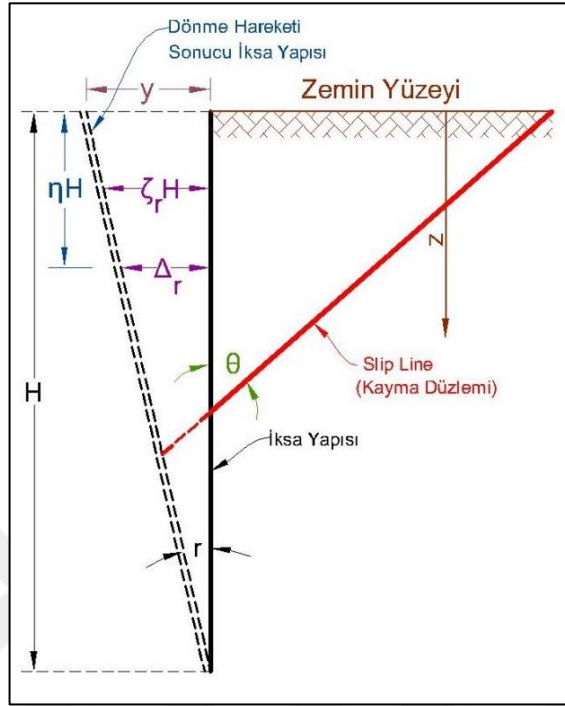
Denklem (4.11), Rowe [14] tarafından sunulan Denklem (3.11)'in çalışma kapsamındaki sembollerle revize edilmiş halidir.

#### 4.2.3.3. Duvar dönme hareketinden dolayı hareketlenmiş birim şekil değiştirme değerinin ( $\epsilon_{\text{mob}(r)}$ ) bulunması

İksa sisteminin bir bütün halinde topuk noktası etrafında yapmış olduğu dönme hareketi neticesinde yüzeyden z derinlikteki bir zemin danesi hareketlenmiş birim şekil değiştirme ( $\epsilon_{\text{mob}(r)}$ ) değerine sahip olur. Bu şekil değiştirme değeri şu şekilde hesaplanır.

İlk önce hesap yapılan ilgili derinlikteki duvar hareketine (deplasmanı) bağlı olarak 3.Bölümde anlatılan normalize ötelenme ( $\zeta$ ) değeri, normalize dönme değeri ve ( $r$ ) normalize derinlik değeri ( $n$ ) Denklem (4.12)'de yerine yazılarak  $\epsilon_{\text{mob}(r)} \tan(45 - \phi_{\text{mob}(r)}/2)$  çarpım sonucu elde edilir. Daha sonra bu çarpım değeri kullanılarak Kısım

4.2.1’de anlatılan  $\emptyset_{mob} - \epsilon_{mob} \tan(45 - \emptyset_{mob}/2)$  grafiğinden  $\emptyset_{mob(r)}$  değeri okunur. Son olarak ise  $\emptyset_{mob(r)}$  değeri Denklem (4.6)’da yerine yazılarak  $\epsilon_{mob(r)}$  değeri elde edilir.



Şekil 4.9. İksa sistemi aktif denge durumu dönme hareketi genel durumu (Rowe’dan uyarlama)

$$\epsilon_{mob(r)} = \frac{r}{2\eta \tan\left(45 - \frac{\emptyset_{mob(r)}}{2}\right)} \left(1 - \eta + 2,3 \log_{10} \frac{1}{\eta}\right) \quad (4.12)$$

Denklem (4.12), Rowe [14] tarafından sunulan Denklem (3.12)’in çalışma kapsamındaki sembollerle revize edilmiş halidir.

#### 4.2.4. Hareketlenmiş toplam birim şekil değıştirmenin ( $\epsilon_{mob(tot.)}$ ) hesaplanması

Tasarımcı tarafından öngörülen deplasman şeklinde göre sükûnet halindeki birim şekil değıştirme değeri  $\epsilon_{mob(int.)}$ , Denklem (4.13) kullanılarak, eğer iksa deplasmanı salt kayma şeklinde ise  $\epsilon_{mob(t)}$  ile, eğer iksa deplasmanı salt dönme şeklinde ise  $\epsilon_{mob(r)}$  ile toplanarak hareketlenmiş toplam birim şekil değıştirme değeri  $\epsilon_{mob(tot.)}$  değeri elde edilir. İksa deplasmanı karma bir şekilde meydana gelmişse (kayma veya dönme hareketinin birlikte olması durumu)  $\epsilon_{mob(int.)}$  değeri  $\epsilon_{mob(t)}$  ve  $\epsilon_{mob(r)}$  ile toplanır.

$$\epsilon_{mob(tot.)} = \epsilon_{mob(int.)} + \epsilon_{mob(t)} + \epsilon_{mob(r)} \quad (4.13)$$

#### 4.2.5. Hareketlenmiş kayma direnci açısının ( $\emptyset_{mob}$ ) hesaplanması

İlgili derinlikte hesaplanan  $\epsilon_{mob(tot.)}$  değeri Denklem (4.14)'te yerine yazılarak hareketlenmiş kayma direnci açısı ( $\emptyset_{mob}$ ) hesaplanır.

$$\emptyset_{mob} = \emptyset_f \frac{\left(\frac{\epsilon_{mob(tot.)}}{\epsilon_f}\right)}{0,13 + 0,87 \left(\frac{\epsilon_{mob(tot.)}}{\epsilon_f}\right)} \quad (4.14)$$

Denklem (4.14), Arsoy [15] tarafından sunulan Denklem (3.18)'in çalışma kapsamındaki sembollerle revize edilmiş halidir. ( $\emptyset_{mob}$ ) değerleri tasarımcı tarafından belirlenen derinliklerde yukarıda anlatılan adımların tekrar yapılmasıyla bulunur.

#### 4.2.6. İksa sistemine etki eden yanal toprak basıncının hesaplanması

Tasarımcı tarafından belirlenen derinliklerde bulunan ( $\emptyset_{mob}$ ) değerleri Rankine vb. bir toprak basıncı teorisi kullanılarak ilgili derinliklerdeki yanal toprak basınçları elde edilmiş olur.

### 4.3. Önerilen Hesap Yöntemi İle Sükûnet Hâli Yanal Toprak Basınçlarının Hesaplanmasına Yönelik Örnek Uygulama

Önerilen hesap metodunun tam olarak anlaşılabilmesi için aşağıdaki tabloda özellikleri verilen zeminde inşa edilmesi düşünülen 4 m yükseklikli bir iksa sistemine etki eden yanal toprak basınçları sükûnet hâli için hesaplanacaktır. Gerek yapılan hesaplamalarda gerekse önerilen hesap yönteminde iksa sistemi inşasının zeminde sükûnet hâlinde herhangi bir değişikliğe sebep olmadığı ve birim şekil değiştirmenin, sadece iksa sisteminin yapmış olduğu yer değiştirmelerden dolayı hareketlendiği kabul edilmiştir.

Tablo 4.3. Önerilen hesap yöntemi ile yanal toprak basıncı hesabı için seçilen zemin özellikleri

Zemin Sınıfı	Nihai Kayma Direnci Açısı ( $\emptyset_f$ )	Zemin Birim Hacim Ağırlığı $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
Granüler Zemin	30°	18



#### 4.3.1. $\epsilon_{mob} - \emptyset_{mob}$ ve $\emptyset_{mob} - \epsilon_{mobtan(45- \emptyset_{mob}/2)}$ grafiklerinin elde edilmesi

Önerilen hesap yönteminde gerek sükûnet hâli yanal toprak basınçlarının hesaplanabilmesi için ilk adım olarak  $\epsilon_{mob} - \emptyset_{mob}$  ve  $\emptyset_{mob} - \epsilon_{mobtan(45- \emptyset_{mob}/2)}$  grafiklerinin elde edilmesi gerekmektedir. Bahse konu grafiklerin elde edilmesi için gerekli olan zeminin yenilme anındaki birim şekil değiştirme değeri ( $\epsilon_f$ ) Denklem (3.19) kullanılarak hesaplanır.(Denklem (4.15), Denklem (3.19)'daki ifadelerin sayısal değerlerinin yerine yazılması ile elde edilmiştir.)

$$\epsilon_f = 4 - 0,057\emptyset_f = 4 - 0,057 \times 30 = 0,0229 \quad (4.15)$$

Elde edilen  $\epsilon_f$  değeri hazırlanan spreadsheet ile 100'e bölünerek 0'dan  $\epsilon_f$  değerine kadar olan  $\epsilon_{mob}$  değerleri elde edilir. Bulunan  $\epsilon_{mob}$  değerleri Denklem (4.14)'te diğer bilinenlerle birlikte yerine yazılıp  $\emptyset_{mob}$  değerleri bulunur. Örnek olarak 0.00458  $\epsilon_{mob}$  değeri için  $\emptyset_{mob}$  aşağıdaki gibi bulunur.(Denklem (4.16), Denklem (4.14)'teki ifadelerin sayısal değerlerinin yerine yazılması ile elde edilmiştir.)

$$\emptyset_{mob} = \emptyset_f \frac{\left(\frac{\epsilon}{\epsilon_f}\right)}{0,13 + 0,87 \left(\frac{\epsilon}{\epsilon_f}\right)} = 30 \times \frac{\left(\frac{0,00458}{0,0229}\right)}{0,13 + 0,87 \left(\frac{0,00458}{0,0229}\right)} = 19,74^\circ \quad (4.16)$$

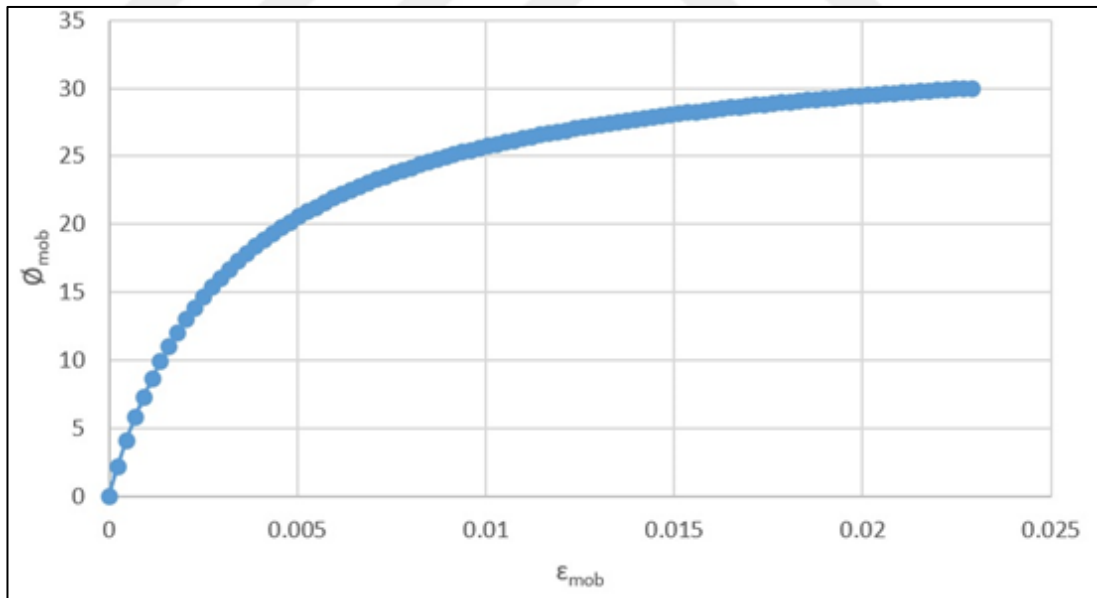
Çalışma kapsamında hazırlanan spreadsheet yardımı ile elde edilen tüm  $\epsilon_{mob}$  değerleri için  $\emptyset_{mob}$  değerleri hesaplanır ve  $\epsilon_{mob} - \emptyset_{mob}$  grafiği oluşturulabilir. Daha sonra ise bulunan  $\epsilon_{mob}$  ve  $\emptyset_{mob}$  değerleri kullanılarak  $\epsilon_{mobtan(45-\emptyset_{mob}/2)}$  değerleri elde edilip  $\epsilon_{mobtan(45-\emptyset_{mob}/2)} - \emptyset_{mob}$  grafiği çizilir.

Tablo 4.4. Spreadsheet yardımıyla hesaplanan  $\epsilon_{mob} - \emptyset_{mob}$  değerleri

$\epsilon_{mob}$	$\emptyset_{mob}$	$\epsilon_{mob}$	$\emptyset_{mob}$	$\epsilon_{mob}$	$\emptyset_{mob}$	$\epsilon_{mob}$	$\emptyset_{mob}$
0,00	0,00	5,95E-03	21,90	1,17E-02	26,67	1,74E-02	28,82
2,29E-04	2,16	6,18E-03	22,20	1,19E-02	26,79	1,76E-02	28,88
4,58E-04	4,07	6,41E-03	22,48	1,21E-02	26,90	1,79E-02	28,94
6,87E-04	5,77	6,64E-03	22,76	1,24E-02	27,01	1,81E-02	29,00
9,16E-04	7,28	6,87E-03	23,02	1,26E-02	27,12	1,83E-02	29,06
1,15E-03	8,65	7,10E-03	23,27	1,28E-02	27,22	1,85E-02	29,11
1,37E-03	9,88	7,33E-03	23,51	1,31E-02	27,32	1,88E-02	29,17
1,60E-03	11,00	7,56E-03	23,74	1,33E-02	27,42	1,90E-02	29,22
1,83E-03	12,02	7,79E-03	23,95	1,35E-02	27,51	1,92E-02	29,28
2,06E-03	12,96	8,02E-03	24,17	1,37E-02	27,61	1,95E-02	29,33

Tablo 4.4. (Devam) Spreadsheet yardımıyla hesaplanan  $\epsilon_{mob}$  -  $\emptyset_{mob}$  değerleri

$\epsilon_{mob}$	$\emptyset_{mob}$	$\epsilon_{mob}$	$\emptyset_{mob}$	$\epsilon_{mob}$	$\emptyset_{mob}$	$\epsilon_{mob}$	$\emptyset_{mob}$
2,29E-03	13,82	8,24E-03	24,37	1,40E-02	27,70	1,97E-02	29,38
2,52E-03	14,62	8,47E-03	24,56	1,42E-02	27,79	1,99E-02	29,43
2,75E-03	15,36	8,70E-03	24,75	1,44E-02	27,87	2,02E-02	29,48
2,98E-03	16,04	8,93E-03	24,93	1,47E-02	27,96	2,04E-02	29,53
3,21E-03	16,68	9,16E-03	25,10	1,49E-02	28,04	2,06E-02	29,57
3,44E-03	17,27	9,39E-03	25,27	1,51E-02	28,12	2,08E-02	29,62
3,66E-03	17,83	9,62E-03	25,43	1,53E-02	28,19	2,11E-02	29,66
3,89E-03	18,35	9,85E-03	25,59	1,56E-02	28,27	2,13E-02	29,71
4,12E-03	18,84	1,01E-02	25,74	1,58E-02	28,34	2,15E-02	29,75
4,35E-03	19,30	1,03E-02	25,89	1,60E-02	28,42	2,18E-02	29,80
4,58E-03	19,74	1,05E-02	26,03	1,63E-02	28,49	2,20E-02	29,84
4,81E-03	20,15	1,08E-02	26,16	1,65E-02	28,56	2,22E-02	29,88
5,04E-03	20,54	1,10E-02	26,30	1,67E-02	28,62	2,24E-02	29,92
5,27E-03	20,90	1,12E-02	26,42	1,69E-02	28,69	2,27E-02	29,96
5,50E-03	21,25	1,15E-02	26,55	1,72E-02	28,75	2,29E-02	30,00
5,73E-03	21,58						



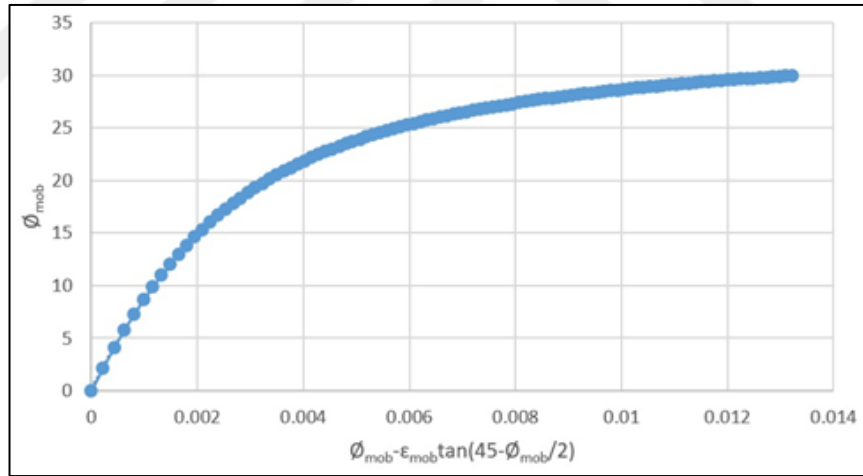
Şekil 4.10. Spreadsheet yardımıyla oluşturulan  $\epsilon_{mob}$  -  $\emptyset_{mob}$  grafiği

Tablo 4.5. Spreadsheet yardımıyla hesaplanan  $\emptyset_{\text{mob}}-\varepsilon_{\text{mobtan}}$  ( $45-\emptyset_{\text{mob}}/2$ ) değerleri

$\varepsilon_{\text{mobtan}}(45-\emptyset_{\text{mob}}/2)$	$\emptyset_{\text{mob}}$	$\varepsilon_{\text{mobtan}}(45-\emptyset_{\text{mob}}/2)$	$\emptyset_{\text{mob}}$
0,00	0,00	7,20E-03	26,67
2,21E-04	2,16	7,33E-03	26,79
4,27E-04	4,07	7,45E-03	26,90
6,21E-04	5,77	7,58E-03	27,01
8,06E-04	7,28	7,70E-03	27,12
9,84E-04	8,65	7,82E-03	27,22
1,16E-03	9,88	7,95E-03	27,32
1,32E-03	11,00	8,07E-03	27,42
1,48E-03	12,02	8,20E-03	27,51
1,64E-03	12,96	8,32E-03	27,61
1,79E-03	13,82	8,44E-03	27,70
1,95E-03	14,62	8,57E-03	27,79
2,09E-03	15,36	8,69E-03	27,87
2,24E-03	16,04	8,81E-03	27,96
2,39E-03	16,68	8,94E-03	28,04
2,53E-03	17,27	9,06E-03	28,12
2,67E-03	17,83	9,18E-03	28,19
2,81E-03	18,35	9,31E-03	28,27
2,95E-03	18,84	9,43E-03	28,34
3,09E-03	19,30	9,55E-03	28,42
3,22E-03	19,74	9,68E-03	28,49
3,36E-03	20,15	9,80E-03	28,56
3,49E-03	20,54	9,92E-03	28,62
3,63E-03	20,90	1,00E-02	28,69
3,76E-03	21,25	1,02E-02	28,75
3,89E-03	21,58	1,03E-02	28,82
4,02E-03	21,90	1,04E-02	28,88
4,15E-03	22,20	1,05E-02	28,94
4,29E-03	22,48	1,07E-02	29,00
4,42E-03	22,76	1,08E-02	29,06
4,55E-03	23,02	1,09E-02	29,11
4,67E-03	23,27	1,10E-02	29,17
4,80E-03	23,51	1,11E-02	29,22
4,93E-03	23,74	1,13E-02	29,28
5,06E-03	23,95	1,14E-02	29,33
5,19E-03	24,17	1,15E-02	29,38
5,32E-03	24,37	1,16E-02	29,43
5,44E-03	24,56	1,18E-02	29,48
5,57E-03	24,75	1,19E-02	29,53

Tablo 4.5. (Devam) Spreadsheet yardımıyla hesaplanan  $\emptyset_{mob}-\epsilon_{mob}\tan(45-\emptyset_{mob}/2)$  değerleri

$\epsilon_{mob}\tan(45-\emptyset_{mob(t)}/2)$	$\emptyset_{mob}$	$\epsilon_{mob}\tan(45-\emptyset_{mob(t)}/2)$	$\emptyset_{mob}$
5.70E-03	24,93	1,20E-02	29,57
5,82E-03	25,10	1,21E-02	29,62
5,95E-03	25,27	1,22E-02	29,66
6,08E-03	25,43	1,24E-02	29,71
6,20E-03	25,59	1,25E-02	29,75
6,33E-03	25,74	1,26E-02	29,80
6,45E-03	25,89	1,27E-02	29,84
6,58E-03	26,03	1,29E-02	29,88
6,70E-03	26,16	1,30E-02	29,92
6,83E-03	26,30	1,31E-02	29,96
6,95E-03	26,42	1,32E-02	30,00
7,08E-03	26,55	1,20E-02	29,57
5,70E-03	24,93	1,21E-02	29,62
5,82E-03	25,10	1,22E-02	29,66
5,95E-03	25,27		



Şekil 4.11. Spreadsheet yardımıyla oluşturulan  $\epsilon_{mob}\tan(45-\emptyset_{mob}/2)$  -  $\emptyset_{mob}$  grafiği

#### 4.3.2. Başlangıç birim şekil değiştirme değerinin ( $\epsilon_{int.}$ ) hesaplanması

Zeminin herhangi bir dış etki olmadan doğal durumundaki gerilme hali olarak adlandırılan sükûnet halinde yanal toprak basıncının hesaplanabilmesi için başlangıç durumu birim şekil değiştirme değerinin ( $\epsilon_{int.}$ ) elde edilmesi yeterli olmaktadır. Söz konusu birim şekil değerini elde edebilmek için Kısım 4.2.3.1' de verilen yöntemler kullanılabilir.

#### 4.3.2.1. Başlangıç birim şekil değiştirme değerinin Rowe (1954) abakları kullanılarak elde edilmesi

Örnek kapsamında seçilen zemin Kısım 4.2.3.1’de verilen zemin tipi kriterine göre “Gevşek Kum” olarak belirlenmiş olup Şekil (4.5)’te verilen abak kullanılacaktır. Örnek olarak 2400 mm derinlikte zeminin ağırlığından dolayı kaynaklı düşey gerilme Denklem (4.17) ile hesaplanmıştır.

$$\sigma_v = \gamma H = 18 \left( \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \right) \times (2,4 \text{ m}) = 43,2 \text{ kN/m}^2 \quad (4.17)$$

Elde edilen düşey gerilme değeri Şekil (4.5)’te verilen abaktan başlangıç birim şekil değiştirme değeri 0,011681675 olarak okunur. Çalışma kapsamında hazırlanan spreadsheet ile eğrinin denklemi elde edilmiş olup 0,011681675 değeri bu denklem sayesinde bulunmuştur. Hassas bir sonuç için abaktan okumak yerine eğrinin denklemi kullanılarak elde edilen değerlerin kullanılması daha uygun olmaktadır.

Tablo 4.6. Spreadsheet yardımıyla hesaplanan  $\epsilon_{\text{int}}$  değerleri

Derinlik (mm)	$\gamma h$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\epsilon_{\text{int}}$
0	0,00	0,00
400	7,20	5,10E-03
800	14,40	7,63E-03
1200	21,60	9,10E-03
1600	28,80	1,01E-02
2000	36,00	1,09E-02
2400	43,20	1,17E-02
2800	50,40	1,24E-02
3200	57,60	1,30E-02
3600	64,80	1,35E-02
4000	72,00	1,39E-02

#### 4.3.2.2. Başlangıç birim şekil değiştirme değerinin Jaky (1944) yaklaşımı kullanılarak elde edilmesi

Önce Denklem (4.7) kullanılarak sükûnet halinde Jaky (1944) toprak basıncı katsayısına karşılık gelen Rankine aktif durum toprak basıncı katsayısını veren hareketlenmiş içsel sürtünme açısı değeri  $\phi_{\text{mob}}$  Denklem (4.18) ile bulunur.

$$\emptyset_{\text{mob}} = \sin^{-1} \left( \frac{\sin 30}{2 - \sin 30} \right) = 19,4712^\circ \quad (4.18)$$

Elde edilen  $\emptyset_{\text{mob}}$  değeri Denklem (4.9)'da yerine yazılarak başlangıç hali birim şekil değiştirme değeri ( $\varepsilon_{\text{int.}}$ ) Denklem (4.19) ile elde edilebilir.

$$\varepsilon_{\text{int.}} = \frac{0,13\varepsilon_f \emptyset_{\text{mob}}}{\emptyset_f - 0,87\emptyset_{\text{mob}}} = \frac{0,13 \times (4 - 0,057 \times 30) \times 30}{30 - 0,87 \times 19,4712} = 0,00444 \quad (4.19)$$

Elde edilen ( $\varepsilon_{\text{int.}}$ ) değeri iksa boyunca tüm derinliklerde sabit olup Rowe yaklaşımından farklı olarak derinlikle değişiklik göstermez.

### 4.3.3. Hareketlenmiş kayma direnci açısının ( $\emptyset_{\text{mob.}}$ ) hesaplanması

Sükûnet halinde zeminde herhangi bir ötelenme hareketi olmadığından dolayı toplam birim şekil değiştirme ( $\varepsilon_{\text{mob.}}$ ) değeri direkt olarak başlangıç birim şekil değiştirme değerine ( $\varepsilon_{\text{int.}}$ ) eşit olur ve Denklem (4.14)'te yerine yazılarak hesap derinliğindeki hareketlenmiş kayma direnci açısı Denklem (4.20) ile hesaplanır.

$$\emptyset_{\text{mob}} = 30 \frac{\left( \frac{0,011681675}{0,0229} \right)}{0,13 + 0,87 \left( \frac{0,011681675}{0,0229} \right)} = 26,67 \quad (4.20)$$

Hesaplanan değer Rowe yaklaşımıyla belirlenen başlangıç birim şekil değiştirme değerine bağlı olarak hesaplanmış olup hem Rowe hem de Jaky yaklaşımları kullanılarak hesaplanan hareketlenmiş kayma direnci açıları Tablo 4.7'de verilmiştir.

Tablo 4.7. Spreadsheet yardımıyla hesaplanan hareketlenmiş kayma direnci açıları

Derinlik (mm)	yh (kN/m <sup>2</sup> )	$\varepsilon_{\text{int.}}$ (Rowe)	$\varepsilon_{\text{int.}}$ (Jaky)	$\emptyset_{\text{mob}}$ (Rowe)	$\emptyset_{\text{mob}}$ (Jaky)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
400	7,20	5,10E-03	4,44E-03	20,63	19,47
800	14,40	7,63E-03	4,44E-03	23,81	19,47
1200	21,60	9,10E-03	4,44E-03	25,06	19,47
1600	28,80	1,01E-02	4,44E-03	25,77	19,47
2000	36,00	1,09E-02	4,44E-03	26,26	19,47
2400	43,20	1,17E-02	4,44E-03	26,67	19,47
2800	50,40	1,24E-02	4,44E-03	27,01	19,47
3200	57,60	1,30E-02	4,44E-03	27,29	19,47
3600	64,80	1,35E-02	4,44E-03	27,51	19,47
4000	72,00	1,39E-02	4,44E-03	27,66	19,47

#### 4.3.4. Yanal toprak basıncının hesaplanması

Bir önceki adımda bulunan hareketlenmiş kayma direnci açıları kullanılarak ilgili derinliklerde Rankine aktif yanal toprak basıncı formülü ile yanal toprak basınçları hesaplanır.

Tablo 4.8. Spreadsheet yardımıyla hesaplanan yanal toprak basınçları

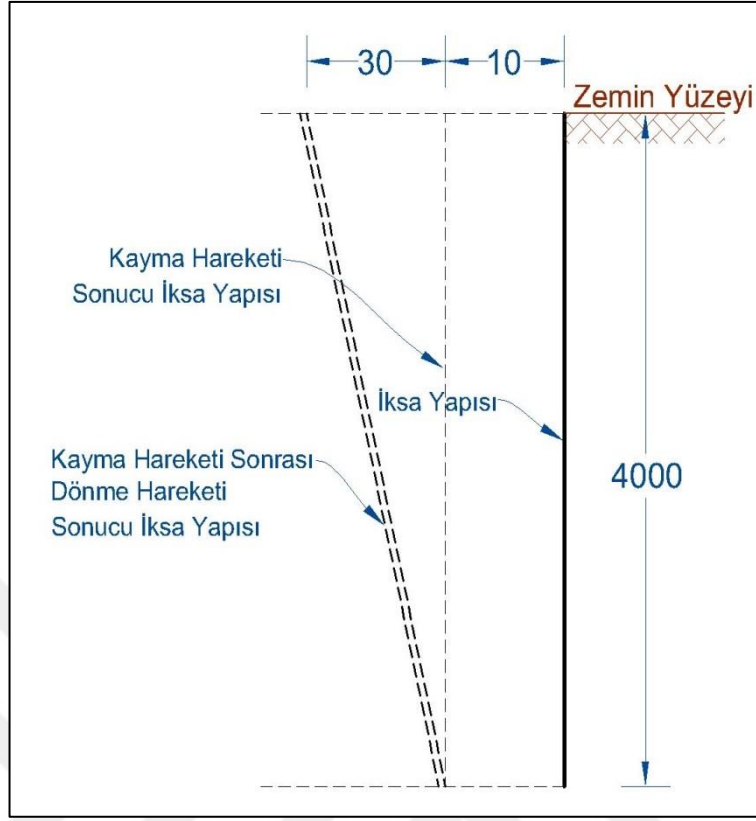
Derinlik (mm)	$\emptyset_{mob}$ (Rowe)	$\emptyset_{mob}$ (Jaky)	$K_{amob}$ (Rowe)	$K_{amob}$ (Jaky)	$P_{amob}$ (Rowe) (kN/m <sup>2</sup> /m)	$P_{amob}$ (Jaky) (kN/m <sup>2</sup> /m)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
400	20,63	19,47	0,48	0,50	3,45	3,60
800	23,81	19,47	0,42	0,50	6,12	7,20
1200	25,06	19,47	0,40	0,50	8,75	10,80
1600	25,77	19,47	0,39	0,50	11,35	14,40
2000	26,26	19,47	0,39	0,50	13,91	18,00
2400	26,67	19,47	0,38	0,50	16,43	21,60
2800	27,01	19,47	0,38	0,50	18,92	25,20
3200	27,29	19,47	0,37	0,50	21,38	28,80
3600	27,51	19,47	0,37	0,50	23,86	32,40
4000	27,66	19,47	0,37	0,50	26,35	36,00

Tabloda dikkat edilirse Jaky yaklaşımıyla elde edilen birim şekil değiştirme değeri kullanılarak hesaplanan aktif yanal toprak basıncı katsayısı Jaky (1944) eşitliği ile elde edilen  $K_0$  değeri ile aynı olmaktadır ki bu da beklenen bir durumdur.

#### 4.4. Önerilen Hesap Yöntemi İle Aktif Durum Yanal Toprak Basıncının Hesaplanmasına Yönelik Örnek Uygulama

##### 4.4.1. İksa sistemi deplasman şeklinin öngörülmesi

İlk adım olarak  $\epsilon_{mob} - \emptyset_{mob}$  ve  $\emptyset_{mob} - \epsilon_{mob} \tan(45 - \emptyset_{mob}/2)$  grafikleri Kısım 4.3.1’de elde edildiğinden bu kısımda tekrardan kaçınmak adına önerilen hesap yönteminin ikinci adımından başlanılmıştır. İksa sistemi için öngörülen deplasman şekli Şekil 4.12’de verilmiştir. İksa sisteminin tepe noktasının 40 mm topuk noktasının ise 10 mm ötelenme yapacağı kabul edilmiş olup; iksa sistemi deplasman şekli, salt 10 mm ötelenme ve tepe noktasının topuk etrafında salt 30 mm yerdeğiştirme yaparak dönmesi hareketinin kombinasyonu olarak ele alınacaktır.



Şekil 4.12. İksa sisteminde aktif durum için öngörülen deplasman formu (tüm ölçüler mm olup çizim ölçeksizdir.)

#### 4.4.2. Birim şekil değiştirme değerlerinin hesaplanması

Başlangıç birim şekil değiştirme değeri ( $\epsilon_{int.}$ ), iksa sisteminin kayma hareketi yapması sebebiyle oluşan  $\epsilon_{mob(t)}$  değeri ve iksa sisteminin dönme hareketi yapması sebebiyle oluşan  $\epsilon_{mob(r)}$  değerleri ayrı ayrı bulunacaktır.

##### 4.4.2.1. Başlangıç birim şekil değiştirme değerinin ( $\epsilon_{int.}$ ) hesaplanması

Kısım 4.2.3.1’de belirtildiği üzere iksa sistemi inşa edilmeden önce zemin kendi ağırlığından kaynaklı çevre basıncından dolayı gelişen başlangıç birim şekil değiştirme değeri ( $\epsilon_{int.}$ ) iki farklı yaklaşıma göre hesaplanabilir.

Rowe (1954) önerisine göre başlangıç birim şekil değiştirme değerinin ( $\epsilon_{int.}$ ) bulunması;

Rowe (1954) çalışmasında sunulan abaklardan faydalanabilmek için Tablo 4.1’de verilen zemin sınıflandırma kriterine göre hesap edilen zemin “Gevşek Kum” olarak



sınıflandırılır. İksa sistemi derinliği 10'a bölünerek(hazırlanan spreadsheet iksa derinliğini ona bölerek hesap yapmakta olup bu değer tasarımcının insiyatifinde artırılıp azaltılabilir.) her bir derinlikte zeminin o derinlikte kendi ağırlığından kaynaklanan başlangıç birim şekil değiştirme değerleri ( $\epsilon_{int.}$ ) Şekil 4.6'da verilen abaktan elde edilebilir. Başlangıç birim şekil değiştirme değerleri söz konusu abaktan okunabileceği gibi eğrinin denklemi elde edilip bulunabilir.

Tablo 4.9. Spreadsheet yardımıyla hesaplanan  $\epsilon_{int.}$  değerleri

Derinlik (mm)	yh (kN/m <sup>2</sup> )	$\epsilon_{int.}$
0	0,00	0,00E+00
400	7,20	5,10E-03
800	14,40	7,63E-03
1200	21,60	9,10E-03
1600	28,80	1,01E-02
2000	36,00	1,09E-02
2400	43,20	1,17E-02
2800	50,40	1,24E-02
3200	57,60	1,30E-02
3600	64,80	1,35E-02
4000	72,00	1,39E-02

Jaky (1944) önerisine göre başlangıç birim şekil değiştirme değerinin ( $\epsilon_{int.}$ ) bulunması;

Önce Denklem (4.7) kullanılarak sükûnet halinde Jaky(1944) toprak basıncı katsayısına karşılık gelen Rankine aktif durum toprak basıncı katsayısını veren hareketlenmiş içsel sürtünme açısı değeri  $\emptyset_{mob}$  Denklem (4.21) ile bulunur.

$$\emptyset_{mob} = \sin^{-1} \left( \frac{\sin 30}{2 - \sin 30} \right) = 19,4712^\circ \quad (4.21)$$

Elde edilen  $\emptyset_{mob}$  değeri Denklem (4.9)'da yerine yazılarak başlangıç hali birim şekil değiştirme değeri ( $\epsilon_{int.}$ ) Denklem (4.22) ile elde edilebilir.

$$\epsilon_{int.} = \frac{0,13 \epsilon_f \emptyset_{mob}}{\emptyset_f - 0,87 \emptyset_{mob}} = \frac{0,13 \times (4 - 0,057 \times 30) \times 30}{30 - 0,87 \times 19,4712} = 0,0044 \quad (4.22)$$

Elde edilen ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri iksa boyunca tüm derinliklerde sabit olup Rowe yaklaşımından farklı olarak derinlikle değişiklik göstermez.

#### 4.4.2.2. Duvar kayma hareketinden dolayı hareketlenmiş birim şekil değiştirme değerinin ( $\epsilon_{\text{mob}(t)}$ ) bulunması

İksa yapısının 10 mm salt ötelenme hareketi için örnek olarak 2400 mm derinlikte önerilen hesap yöntemine göre hesap yapılırsa;

Denklem (4.23) ile normalize derinlik ( $\eta$ ) ve Denklem (4.24) ile normalize ötelenme ( $\zeta_t$ ) hesaplanır.

$$\eta = \frac{z}{H} = \frac{2400}{4000} = 0,6 \quad (4.23)$$

$$\zeta_t = \frac{\Delta_t}{H} = \frac{10}{4000} = 0,0025 \quad (4.24)$$

Daha sonra Denklem (4.11) kullanılarak  $\epsilon_{\text{mob}(t)} \tan(45 - \frac{\emptyset_{\text{mob}(t)}}{2})$  çarpım değeri Denklem (4.25) ile hesaplanır.

$$\epsilon_{\text{mob}(t)} \tan\left(45 - \frac{\emptyset_{\text{mob}(t)}}{2}\right) = \frac{0,0025}{0,6} \left(1 + 1,15 \log_{10} \frac{1}{0,6}\right) = 0,005229692 \quad (4.25)$$

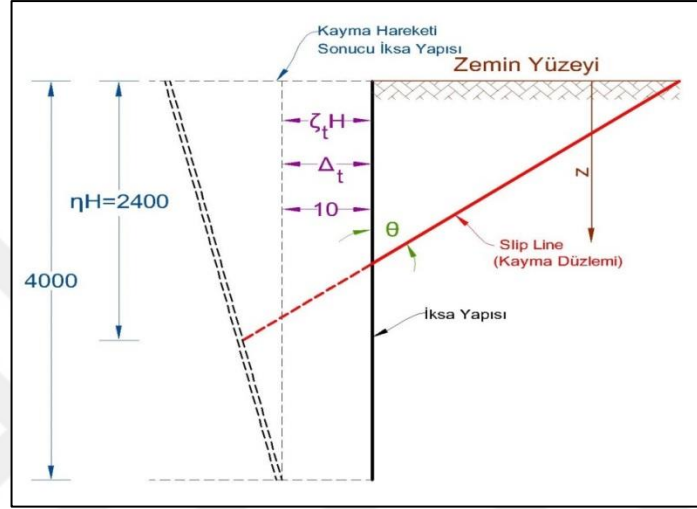
Elde edilen  $\epsilon_{\text{mob}(t)} \tan(45 - \frac{\emptyset_{\text{mob}(t)}}{2})$  çarpım değeri  $\epsilon_{\text{mob}(t)} \tan(45 - \frac{\emptyset_{\text{mob}(t)}}{2}) - \emptyset_{\text{mob}}$  grafiğinden okunarak veya eğri denkleminde yerine yazılarak hareketlenmiş kayma direnci açısı  $\emptyset_{\text{mob}(t)}$  bulunur. (Çalışma kapsamında  $\emptyset_{\text{mob}(t)}$  değeri hazırlanan spreadsheet yardımı ile elde edilen  $\epsilon_{\text{mob}(t)} \tan(45 - \frac{\emptyset_{\text{mob}(t)}}{2}) - \emptyset_{\text{mob}}$  eğrisinin denklemi vasıtasıyla elde edilmiştir.)  $\epsilon_{\text{mob}(t)}$  değeri elde edilen  $\epsilon_{\text{mob}(t)} \tan(45 - \frac{\emptyset_{\text{mob}(t)}}{2})$  çarpım değerinin elde edilen  $\emptyset_{\text{mob}(t)}$  değeri kullanılarak hesaplanan  $\tan(45 - \frac{\emptyset_{\text{mob}(t)}}{2})$  ifadesine bölümünden elde edilir. Hesaplamalar başlangıç durumu birim şekil değiştirme değeri hesabında da olduğu gibi belirlenen derinliklerde tekrar edilir.

Tablo 4.10. Spreadsheet yardımıyla hesaplanan  $\epsilon_{\text{mob}(t)}$  değerleri

Derinlik (z) (mm)	Normalize Derinlik ( $\eta$ )	Ötelenme ( $\Delta_t$ ) (mm)	Normalize Ötelenme ( $\zeta_t$ )	$\epsilon_{\text{mob}(t)} \tan(45 - \frac{\emptyset_{\text{mob}(t)}}{2})$	$\emptyset_{\text{mob}(t)}$	$\epsilon_{\text{mob}(t)}$
0	0	10	0,0025	-	-	0,00
400	0,1	10	0,0025	5,38E-02	30,00	9,31E-02
800	0,2	10	0,0025	2,25E-02	30,00	3,91E-02
1200	0,3	10	0,0025	1,33E-02	30,00	2,31E-02
1600	0,4	10	0,0025	9,11E-03	28,15	1,52E-02
2000	0,5	10	0,0025	6,73E-03	26,19	1,08E-02
2400	0,6	10	0,0025	5,23E-03	24,23	8,09E-03
2800	0,7	10	0,0025	4,21E-03	22,32	6,28E-03

Tablo 4.10. (Devam) Spreadsheet yardımıyla hesaplanan  $\epsilon_{mob(t)}$  değerleri

Derinlik (z) (mm)	Normalize Derinlik ( $\eta$ )	Ötelenme ( $\Delta_t$ ) (mm)	Normalize Ötelenme ( $\zeta_t$ )	$\epsilon_{mob(t)} \tan(45 - \frac{\phi_{mob(t)}}{2})$	$\phi_{mob(t)}$	$\epsilon_{mob(t)}$
0	0	10	0,0025	-	-	0,00
400	0,1	10	0,0025	5,38E-02	30,00	9,31E-02
800	0,2	10	0,0025	2,25E-02	30,00	3,91E-02



Şekil 4.13. İksa sistemi kayma hareketi için 2400 mm derinlikte  $\epsilon_{mob(t)}$  değerinin hesaplanması için sistem şematığı (çizim ölçeksiz olup ölçüler mm'dir.)

#### 4.4.2.3. Duvar dönme hareketinden dolayı hareketlenmiş birim şekil değiştirme değerinin ( $\epsilon_{mob(r)}$ ) bulunması

İksa yapısının tepe noktasının topuk etrafında 30 mm salt dönme hareketi için örnek olarak 2400 mm derinlikte önerilen hesap yöntemine göre hesap yapılırsa; Denklem (4.26) ile normalize derinlik ( $\eta$ ), Denklem (4.27) ile ötelenme ( $\Delta_r$ ), Denklem (4.28) ile normalize ötelenme ( $\zeta_r$ ) ve Denklem (4.29) ile normalize dönme ( $r$ ) hesaplanır.

$$\eta = \frac{z}{H} = \frac{2400}{4000} = 0,6 \quad (4.26)$$

$$\Delta_r = 30 \times \frac{(4000-2400)}{4000} = 12 \text{ mm} \quad (4.27)$$

$$\zeta_r = \frac{\Delta_r}{H} = \frac{12}{4000} = 0,003 \quad (4.28)$$

$$r = \frac{\zeta_r}{(1-p)} = \frac{0,003}{(1-0,6)} = 0,0075 \quad (4.29)$$

Daha sonra Denklem (4.12) kullanılarak  $\varepsilon_{\text{mob}(r)} \tan(45 - \emptyset_{\text{mob}(r)}/2)$  çarpım değeri Denklem (4.30) ile bulunur.

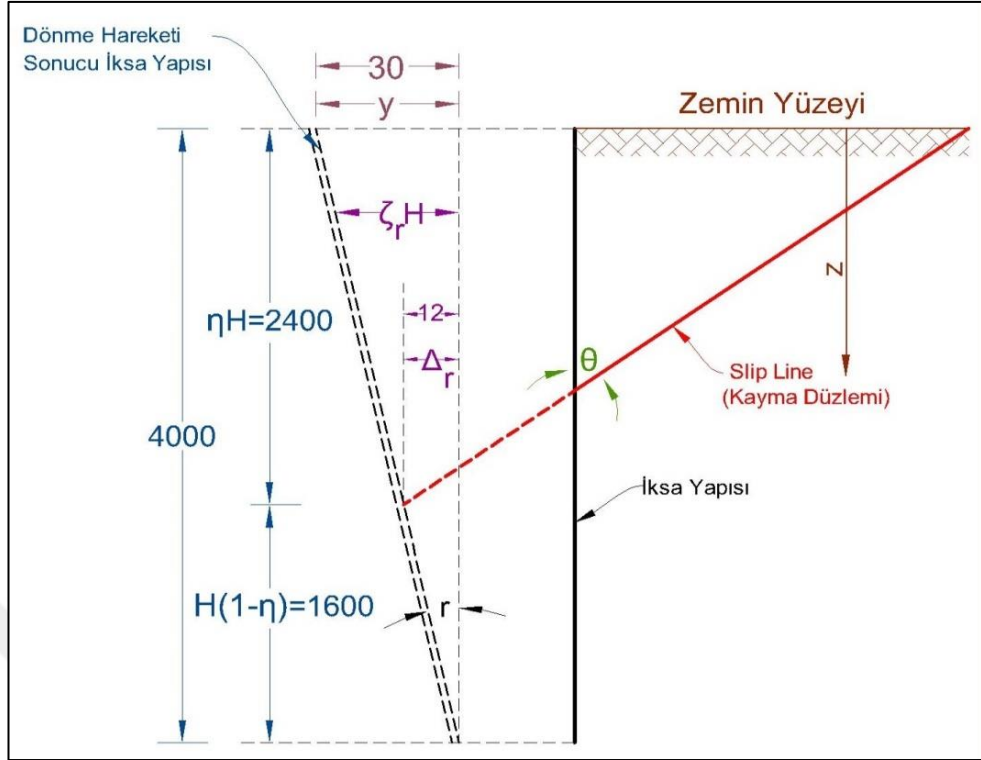
$$\varepsilon_{\text{mob}(r)} \tan\left(45 - \frac{\emptyset_{\text{mob}(r)}}{2}\right) = \frac{0,0075}{2 \times 0,6} \left(1 - 0,6 + 2,3 \log_{10} \frac{1}{0,6}\right) = 0005689076 \quad (4.30)$$

Elde edilen  $\varepsilon_{\text{mob}(r)} \tan(45 - \emptyset_{\text{mob}(r)}/2)$  çarpım değeri  $\varepsilon_{\text{mob}} \tan(45 - \emptyset_{\text{mob}}/2) - \emptyset_{\text{mob}}$  grafiğinden okunarak veya eğri denkleminde yerine yazılarak hareketlenmiş kayma direnci açısı  $\emptyset_{\text{mob}(r)}$  bulunur. (Çalışma kapsamında  $\emptyset_{\text{mob}(r)}$  değeri hazırlanan spreadsheet yardımı ile elde edilen  $\varepsilon_{\text{mob}} \tan(45 - \emptyset_{\text{mob}}/2) - \emptyset_{\text{mob}}$  eğrisinin denklemi vasıtasıyla elde edilmiştir.)

$\varepsilon_{\text{mob}(t)}$  değeri; elde edilen  $\varepsilon_{\text{mob}(r)} \tan(45 - \emptyset_{\text{mob}(r)}/2)$  çarpım değerinin, elde edilen  $\emptyset_{\text{mob}(r)}$  değeri kullanılarak hesaplanan  $\tan(45 - \emptyset_{\text{mob}(r)}/2)$  ifadesine bölümünden elde edilir. Hesaplamalar başlangıç durumu birim şekil değiştirme değeri hesabında da olduğu gibi belirlenen derinliklerde tekrar edilir.

Tablo 4.11. Spreadsheet yardımıyla hesaplanan  $\varepsilon_{\text{mob}(r)}$  değerleri

Der. (z) (mm)	Norm. Derinlik (p)	Ötelenme ( $\Delta_r$ ) (mm)	Normalize Ötelenme ( $\zeta_r$ )	Norm. Dönme (r)	$\varepsilon_{\text{mob}(r)} \tan(45 - \emptyset_{\text{mob}(r)}/2)$	$\emptyset_{\text{mob}(r)}$	$\varepsilon_{\text{mob}(r)}$
0	0	30,00	7,50E-03	0,0075	-	-	0,00
400	0,1	27,00	6,75E-03	0,0075	1,20E-01	30,00	2,08E-01
800	0,2	24,00	6,00E-03	0,0075	4,51E-02	30,00	7,82E-02
1200	0,3	21,00	5,25E-03	0,0075	2,38E-02	30,00	4,12E-02
1600	0,4	18,00	4,50E-03	0,0075	1,42E-02	30,00	2,46E-02
2000	0,5	15,00	3,75E-03	0,0075	8,94E-03	28,04	1,49E-02
2400	0,6	12,00	3,00E-03	0,0075	5,69E-03	24,92	8,92E-03
2800	0,7	9,00	2,25E-03	0,0075	3,52E-03	20,60	5,08E-03
3200	0,8	6,00	1,50E-03	0,0075	1,98E-03	14,80	2,57E-03
3600	0,9	3,00	7,50E-04	0,0075	8,55E-04	7,67	9,78E-04
4000	1	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0,00E+00



Şekil 4.14. İksa sistemi dönme hareketi için 2400 mm derinlikte  $\epsilon_{mob(r)}$  değerinin hesaplanması için sistem şematığı (çizim ölçeksiz olup ölçüler mm'dir.)

#### 4.4.2.4. Hareketlenmiş toplam birim şekil değiştirmenin ( $\epsilon_{mob(tot.)}$ ) hesaplanması

Önceki adımlarda hesaplanan başlangıç birim şekil değiştirme değeri  $\epsilon_{mob(int.)}$  ile kayma ve dönme hareketlerinden sebep oluşan birim şekil değiştirmeler toplanarak toplam hareketlenmiş birim şekil değiştirme değeri  $\epsilon_{mob(tot.)}$  bulunur.

Tablo 4.12. Spreadsheet yardımıyla hesaplanan  $\epsilon_{mob(tot.)}$  değerleri

Derinlik (mm)	$\epsilon_{int.}$ (Rowe)	$\epsilon_{int.}$ (Jaky)	$\epsilon_{mob(t)}$	$\epsilon_{mob(r)}$	$\epsilon_{mob(tot.)}$ (Rowe)	$\epsilon_{mob(tot.)}$ (Jaky)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
400	5,10E-03	4,44E-03	9,31E-02	2,08E-01	3,06E-01	3,05E-01
800	7,63E-03	4,44E-03	3,91E-02	7,82E-02	1,25E-01	1,22E-01
1200	9,10E-03	4,44E-03	2,31E-02	4,12E-02	7,34E-02	6,87E-02
1600	1,01E-02	4,44E-03	1,52E-02	2,46E-02	4,99E-02	4,43E-02
2000	1,09E-02	4,44E-03	1,08E-02	1,49E-02	3,66E-02	3,01E-02
2400	1,17E-02	4,44E-03	8,09E-03	8,92E-03	2,87E-02	2,14E-02
2800	1,24E-02	4,44E-03	6,28E-03	5,08E-03	2,37E-02	1,58E-02
3200	1,30E-02	4,44E-03	5,00E-03	2,57E-03	2,06E-02	1,20E-02
3600	1,35E-02	4,44E-03	4,08E-03	9,78E-04	1,85E-02	9,50E-03
4000	1,39E-02	4,44E-03	3,39E-03	0,00E+00	1,72E-02	7,83E-03

Başlangıç birim şekil değiştirme değeri iki farklı yaklaşıma göre hesaplandığından iki farklı toplam birim şekil değiştirme değeri elde edilmiştir. Tasarımcı istediği yaklaşıma göre hesaplama yapabilir.

#### 4.4.3. Hareketlenmiş içsel sürtünme açısının ( $\emptyset_{mob}$ ) hesaplanması

Hesaplanan toplam birim şekil değiştirme değerleri kullanılarak Denklem (4.14) ile hesap derinliğinde hareketlenmiş içsel sürtünme açısı değeri Denklem (4.31) ile hesaplanabilir. Örnek olarak 2400 mm derinlikte;

$$\emptyset_{mob}=30 \frac{\left(\frac{0,028686805}{0,0229}\right)}{0,13+0,87 \left(\frac{0,028686805}{0,0229}\right)}=30^{\circ} \quad (4.31)$$

Hesaplanan değer Rowe yaklaşımıyla belirlenen başlangıç birim şekil değiştirme değerine bağlı olarak hesaplanmış olup hem Rowe hem de Jaky yaklaşımları kullanılarak hesaplanan hareketlenmiş kayma direnci açıları Tablo 4.13'te verilmiştir.

Tablo 4.13. Spreadsheet yardımıyla hesaplanan  $\emptyset_{mob}$  değerleri

Derinlik (mm)	$\epsilon_{mob}$ (Rowe)	$\epsilon_{mob}$ (Jaky)	$\emptyset_{mob(tot.)}$ (Rowe)	$\emptyset_{mob(tot.)}$ (Jaky)
0	0,00	0,00	0,00	0,00
400	3,06E-01	3,05E-01	30,00	30,00
800	1,25E-01	1,22E-01	30,00	30,00
1200	7,34E-02	6,87E-02	30,00	30,00
1600	4,99E-02	4,43E-02	30,00	30,00
2000	3,66E-02	3,01E-02	30,00	30,00
2400	2,87E-02	2,14E-02	30,00	29,74
2800	2,37E-02	1,58E-02	30,00	28,34
3200	2,06E-02	1,20E-02	29,56	26,84
3600	1,85E-02	9,50E-03	29,11	25,35
4000	1,72E-02	7,83E-03	28,77	23,99

#### 4.4.4. Yanal toprak basınçlarının hesaplanması

Elde edilen hareketlenmiş kayma direnci açıları kullanılarak Rankine Teorisi ile hesap yapılan derinliklerinde iksa sistemine etki eden yanıl toprak basınçları hesaplanabilir. Yapılan örnekte iksa sistemi derinliği 10 bölünmüş ve bu

derinliklerde yanıl toprak basıncı hesaplanmış olup yanıl toprak basınçları derinlikler arasında doğrusal olarak değıştiği kabulü yapılmıştır. Daha detaylı bir hesap açısından tasarımcının insiyatifinde yanıl toprak basıncı hesabı yapılacak derinlik sayısı artırılabilir. Tablo 4.14'te spreadsheet yardımı ile hesaplanan yanıl toprak basınçları, belirlenen başlangıç birim şekil değıştirme değeri için hem kayma direnci açıları için ayrı ayrı verilmiştir.

Tablo 4.14. Spreadsheet yardımıyla hesaplanan  $P_{amob}$  değeri

Der. (mm)	$\emptyset_{mob(tot.)}$ (Rowe)	$\emptyset_{mob(tot.)}$ (Jaky)	$K_{amob}$ (Rowe)	$K_{amob}$ (Jaky)	$P_{amob}$ (Rowe) (kN/m <sup>2</sup> /m)	$P_{amob}$ (Jaky) (kN/m <sup>2</sup> /m)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
400	30,00	30,00	0,33	0,33	2,40	2,40
800	30,00	30,00	0,33	0,33	4,80	4,80
1200	30,00	30,00	0,33	0,33	7,20	7,20
1600	30,00	30,00	0,33	0,33	9,60	9,60
2000	30,00	30,00	0,33	0,33	12,00	12,00
2400	30,00	29,74	0,33	0,34	14,40	14,55
2800	30,00	28,34	0,33	0,36	16,80	17,95
3200	29,56	26,84	0,34	0,38	19,54	21,77
3600	29,11	25,35	0,35	0,40	22,38	25,95
4000	28,77	23,99	0,35	0,42	25,21	30,37

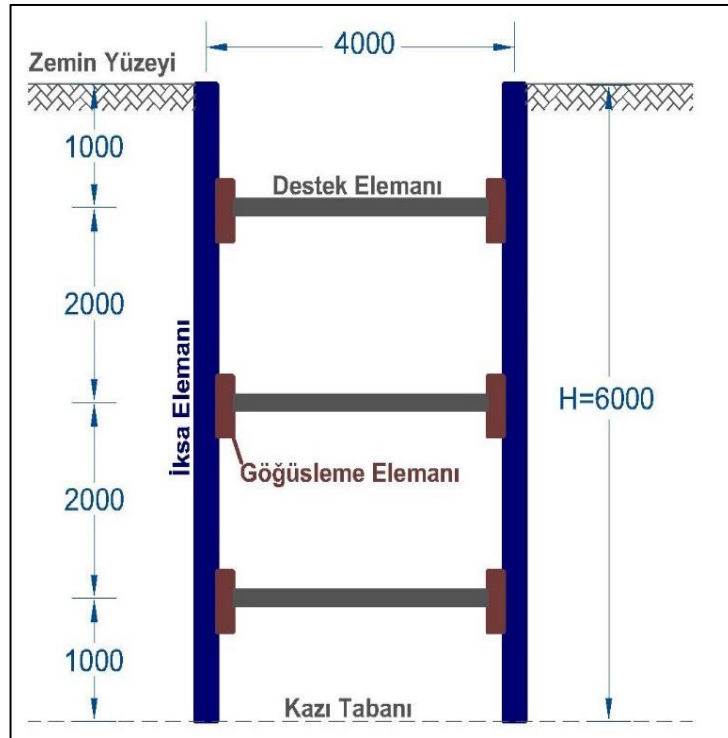
## 5. İÇTEN DESTEKLİ İKSA SİSTEMLERİNİN ÖNERİLEN HESAP YÖNTEMİ İLE TASARIMI

### 5.1. Giriş

Bu bölümde Bölüm 4’te açıklanan ve örneklendirilen hesap yönteminin potansiyel kullanım alanlarından biri olan içten destekli iksa sistemlerine uyarlanması ele alınacaktır. Bu kapsamda Tablo 5.1’de verilen ve Kısım 4.2.3.1’de önerilen zemin tipi kriterine göre “Gevşek Kum” olarak seçilen zeminde Şekil 5.1’de verilen iksa sisteminin tasarımına esas yanal toprak basınçları hesaplanacaktır.

Tablo 5.1. İçten destekli iksa sistemine etki eden yanal toprak basınçlarının önerilen hesap yöntemi ile hesabı için seçilen zemin özellikleri

Zemin Sınıfı	Nihai Kayma Direnci Açısı ( $\phi_f$ )	Zemin Birim Hacim Ağırlığı $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
Granüler Zemin	30°	18

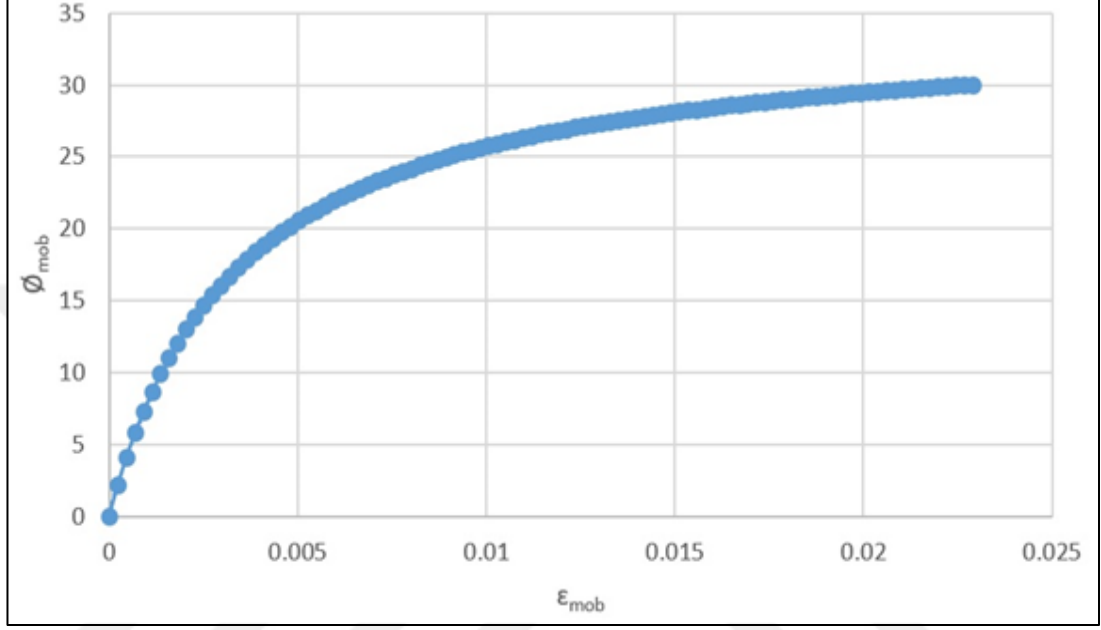


Şekil 5.1. Önerilen hesap yöntemi için örnek olarak seçilen içten destekli iksa sistemi kesiti

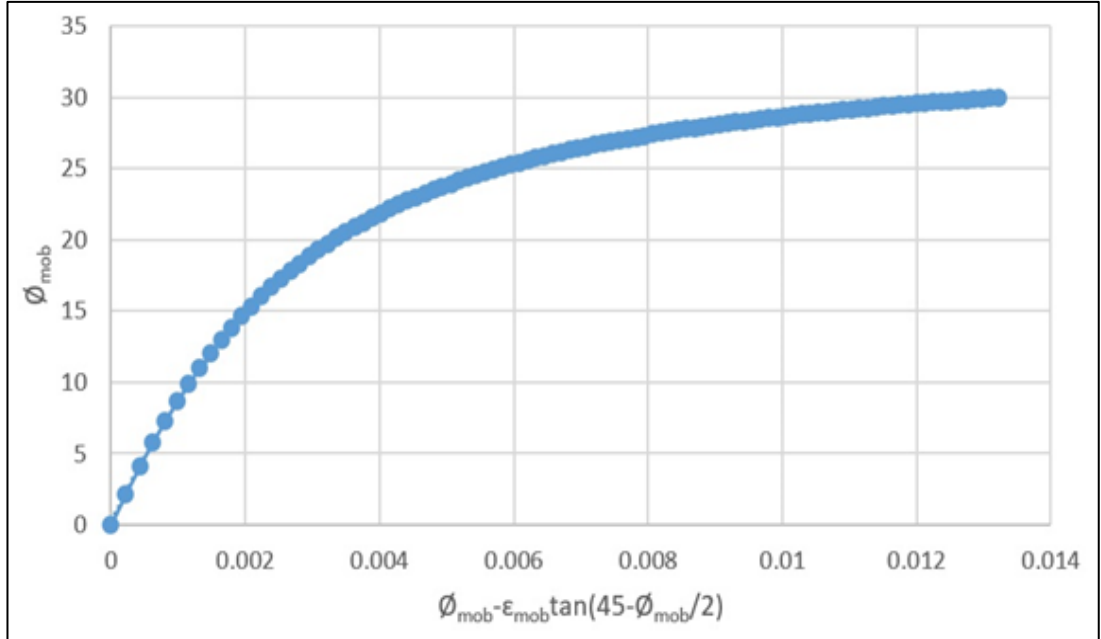


## 5.2. $\epsilon_{mob} - \phi_{mob}$ ve $\phi_{mob} - \epsilon_{mob}\tan(45 - \phi_{mob}/2)$ grafiklerinin elde edilmesi

Önerilen hesap yöntemimin ilk adımı olan  $\epsilon_{mob} - \phi_{mob}$  ve  $\phi_{mob} - \epsilon_{mob}\tan(45 - \phi_{mob}/2)$  grafiklerinin Tablo 5.1’de verilen zemin için elde edilişi 4. Bölümde anlatıldığından tekrardan kaçınmak adına bu bölümde anlatılmayacaktır.



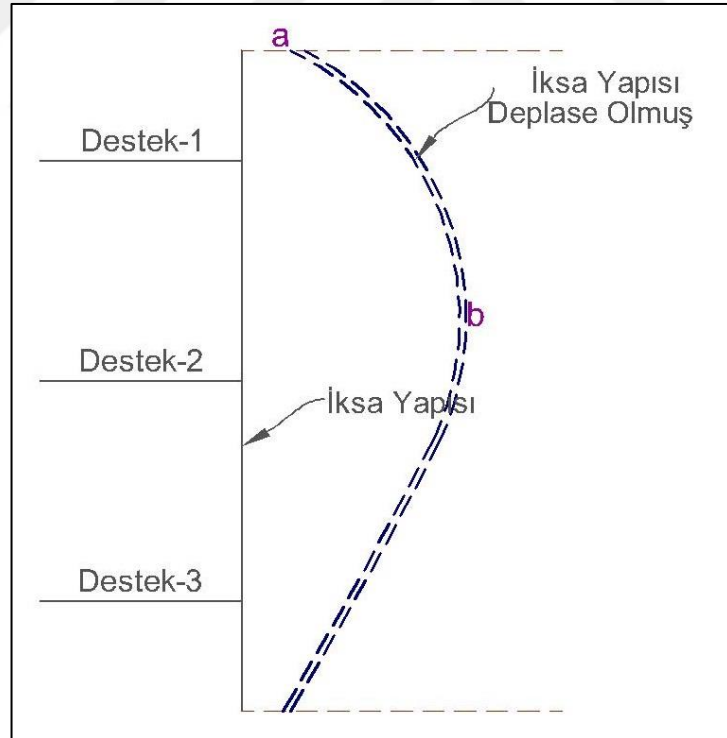
Şekil 5.2. Tablo 5.1’de verilen zemin için oluşturulan  $\epsilon_{mob} - \phi_{mob}$  grafiği



Şekil 5.3. Tablo 5.1’de verilen zemin için oluşturulan  $\phi_{mob} - \epsilon_{mob}\tan(45 - \phi_{mob}/2)$  grafiği

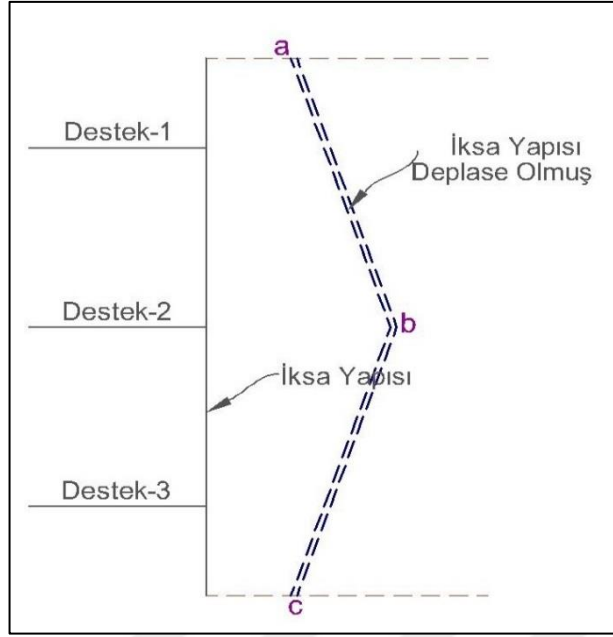
### 5.3. İçten Destekli İksa Sisteminin Deplasman Şeklinin Öngörülmesi

İmalat esnasında ilk sıra destek elemanı yerleşimine kadar düşey iksa elemanının üst noktasının bir miktar dönme hareketi yapması beklenir. İlk sıra destek elemanı yerleştirilip ikinci sıra destek elemanı kotuna kadar kazıya devam edildikçe, düşey iksa elemanı ilk sıra destek elemanı kotunda tutulu olduğundan, ilk iki sıra destek elemanı arasında düşey iksa elemanının kazı alanına doğru daha büyük bir deplasman yapacağı öngörülebilir. Bu durumda duvar en üst noktası bir miktar ilave ötelenmeye mâruz kalabilir. İkinci sıra destek elemanı yerleştirilip kazı işlemi devam ettikçe, ikinci sıra destek elemanın etkisinden dolayı kazı alanına doğru fazla bir deplasman olmayacağı düşünüldüğünde; Şekil 5.4'te verilen deplasman formu gerek örnek olması bakımından gerekse çalışma kapsamında değerlendirme yapılması bakımından mâkul olarak kullanılabilir. Bahse konu hiperbolik deplasman formu örnek kapsamında hesap kolaylığı açısından Şekil 5.5'te verildiği gibi kayma ve dönme hareketlerinin bir kombinasyonu olarak sadeleştirilebilir.

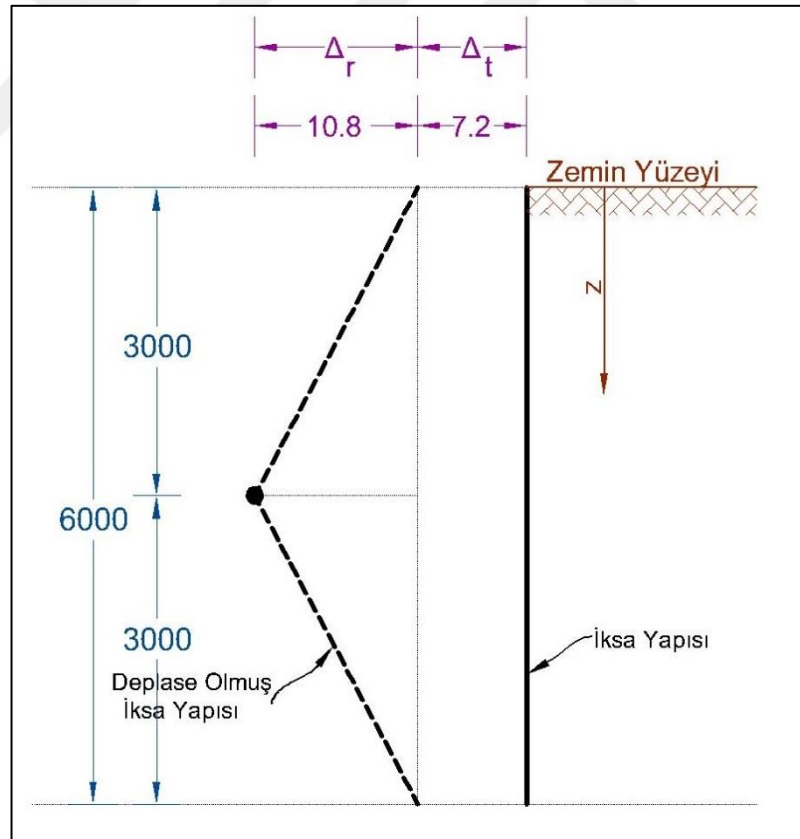


Şekil 5.4. Çalışma kapsamında belirlenen deplasman formu

Şekil 5.5'te a noktası yer değiştirmesi c noktasında eşit kabul edilip b noktasının toplam yer değiştirmesinin %40'ı olarak kabul edilmiştir.



Şekil 5.5. Çalışma kapsamında belirlenen deplasman formunun basitleştirilmesi



Şekil 5.6. Örnek için belirlenen deplasman değerleri

Şekil 5.6'da görüldüğü üzere iksa derinliği orta noktasının toplam yer değiştirmesi 18 mm iksa derinliği alt ve üst noktalarının yer değiştirme miktarı ise orta noktanın

%40'ına karşılık gelen 7,2 mm olarak seçilmiştir. Toplam yer değiştirme oranı 0,003H belirlenmiş olup, örnek olması sebebiyle önerilen hesap yönteminin irdelenebilmesi için Tablo 1.2'de verilen ve aktif yanal toprak basıncı için limit denge duruma ulaştırılan deplasman değerleri dikkate alınmamıştır.

Bu bağlamda iksa sisteminin deplasman şekli; 7,2 mm salt ötelenme ile iksa derinliği orta noktasının 10,8 mm salt dönme hareketinin kombinasyonu olarak hesaplanacaktır. (Şekil 5.6'daki  $\Delta_r$  ifadesi dönme hareketinde iksa sistemi tepe noktasının yer değiştirme miktarı olarak tanımlanmasına karşın bu bölümde dönme hareketinde iksa derinliği orta noktasının yer değiştirmesi olarak kullanılmıştır.)

#### **5.4. Birim Şekil Değiştirme Değerlerinin Hesaplanması**

Çalışma kapsamında çözülen iksa örneği için hazırlanan spreadsheet ile iksa derinliği 60'a bölünmüş olup her bir derinlikte zeminin kendi ağırlığından dolayı bünyesinde barındırdığı başlangıç birim şekil değiştirme değeri ile ( $\epsilon_{int.}$ ) iksa sisteminin kayma hareketi sebebiyle oluşan ( $\epsilon_{mob(t)}$ ) birim şekil değiştirme değeri ve iksa sisteminin dönme hareketi sebebiyle oluşan ( $\epsilon_{mob(r)}$ ) birim şekil değiştirme değeri ayrı ayrı hesaplanmıştır.

##### **5.4.1. Başlangıç birim şekil değiştirme değerinin hesaplanması**

Çalışma kapsamında hazırlanan spreadsheet ile başlangıç birim şekil değiştirme değerleri Bölüm 4' te verilen Rowe ve Jaky yaklaşımlarına göre ayrı ayrı hesaplanmıştır.

##### **5.4.1.1. Rowe (1954) önerisine göre başlangıç şekil değiştirme değerinin ( $\epsilon_{int.}$ ) bulunması**

Çalışma kapsamında kabul edilen ve Tablo 5.1'de verilen zemin tipi seçim kriterine göre örnek kapsamında değerlendirilen zemin önceki kısımda da belirtildiği gibi "Gevşek Kum" olarak sınıflandırılmış olup başlangıç birim şekil değiştirme değerleri ( $\epsilon_{int.}$ ) hazırlanan spreadsheet ile Şekil 4.6'da verilen abak eğrisinin denklemi kullanılarak elde edilmiş olup, Tablo 5.2'de verilmiştir.

Tablo 5.2. Spreadsheet ile hesaplanan başlangıç birim şekil değıştirme değeri

Derinlik (mm)	$\gamma_h$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\epsilon_{int}$ (Rowe)	Derinlik (z) (mm)	$\gamma_h$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\epsilon_{int}$ (Rowe)
0	0,00	0,00	3100	55,80	1,28E-02
100	1,80	1,75E-03	3200	57,60	1,30E-02
200	3,60	3,07E-03	3300	59,40	1,31E-02
300	5,40	4,17E-03	3400	61,20	1,33E-02
400	7,20	5,10E-03	3500	63,00	1,34E-02
500	9,00	5,88E-03	3600	64,80	1,35E-02
600	10,80	6,55E-03	3700	66,60	1,36E-02
700	12,60	7,13E-03	3800	68,40	1,37E-02
800	14,40	7,63E-03	3900	70,20	1,38E-02
900	16,20	8,07E-03	4000	72,00	1,39E-02
1000	18,00	8,45E-03	4100	73,80	1,39E-02
1100	19,80	8,80E-03	4200	75,60	1,40E-02
1200	21,60	9,10E-03	4300	77,40	1,41E-02
1300	23,40	9,39E-03	4400	79,20	1,42E-02
1400	25,20	9,65E-03	4500	81,00	1,42E-02
1500	27,00	9,89E-03	4600	82,80	1,43E-02
1600	28,80	1,01E-02	4700	84,60	1,44E-02
1700	30,60	1,03E-02	4800	86,40	1,45E-02
1800	32,40	1,05E-02	4900	88,20	1,45E-02
1900	34,20	1,07E-02	5000	90,00	1,46E-02
2000	36,00	1,09E-02	5100	91,80	1,47E-02
2100	37,80	1,11E-02	5200	93,60	1,48E-02
2200	39,60	1,13E-02	5300	95,40	1,49E-02
2300	41,40	1,15E-02	5400	97,20	1,50E-02
2400	43,20	1,17E-02	5500	99,00	1,52E-02
2500	45,00	1,19E-02	5600	100,80	1,53E-02
2600	46,80	1,20E-02	5700	102,60	1,54E-02
2700	48,60	1,22E-02	5800	104,40	1,55E-02
2800	50,40	1,24E-02	5900	106,20	1,56E-02
2900	52,20	1,25E-02	6000	108,00	1,57E-02
3000	54,00	1,27E-02			

#### 5.4.1.2. Jaky (1944) önerisine göre başlangıç şekil değıştirme değeri ( $\epsilon_{int}$ ) bulunması

Kısım 4.2.3.1’de Tablo 5.1’de verilen zemin değeri için Jaky yaklaşımına göre başlangıç birim şekil değıştirme değeri hesaplanması detaylı bir şekilde açıkladığından tekrara düşmemek adına bu kısımda direkt olarak elde edilen sonuç

verilecektir. Jaky yaklaşımına göre başlangıç birim şekil değiştirme değeri 0,00444 olarak bulunmuş olup bu değer tüm derinliklerde sabittir.

#### 5.4.2. İksa sistemi kayma hareketinden sebep birim şekil değiştirme değerinin ( $\epsilon_{mob(t)}$ ) hesaplanması

İksa yapısının 7,2 mm salt ötelenme hareketi için örnek olarak 2400 mm derinlikte önerilen hesap yöntemine göre hesap yapılırsa;

Denklem (5.1) ile normalize derinlik ( $n$ ) ve Denklem (5.2) ile normalize ötelenme ( $\zeta_t$ ) hesaplanır.

$$n = \frac{z}{H} = \frac{2400}{6000} = 0,4 \quad (5.1)$$

$$\zeta_t = \frac{\Delta_t}{H} = \frac{7,2}{6000} = 0,0012 \quad (5.2)$$

Daha sonra Denklem (4.11) kullanılarak  $\epsilon_{mob(t)} \tan(45 - \emptyset_{mob(t)}/2)$  çarpım değeri Denklem (5.3) ile bulunur.

$$\epsilon_{mob(t)} \tan\left(45 - \frac{\emptyset_{mob(t)}}{2}\right) = \frac{0,0012}{0,4} \left(1 + 1,15 \log_{10} \frac{1}{0,4}\right) = 0,00437289303 \quad (5.3)$$

Elde edilen  $\epsilon_{mob(t)} \tan(45 - \emptyset_{mob(t)}/2)$  çarpım değeri  $\epsilon_{mob(t)} \tan(45 - \emptyset_{mob(t)}/2) - \emptyset_{mob}$  grafiğinden okunarak veya eğri denkleminde yerine yazılarak hareketlenmiş kayma direnci açısı  $\emptyset_{mob(t)}$  bulunur.(Çalışma kapsamında  $\emptyset_{mob(t)}$  değeri hazırlanan spreadsheet yardımı ile elde edilen  $\epsilon_{mob(t)} \tan(45 - \emptyset_{mob(t)}/2) - \emptyset_{mob}$  eğrisinin denklemi vasıtasıyla elde edilmiştir.)

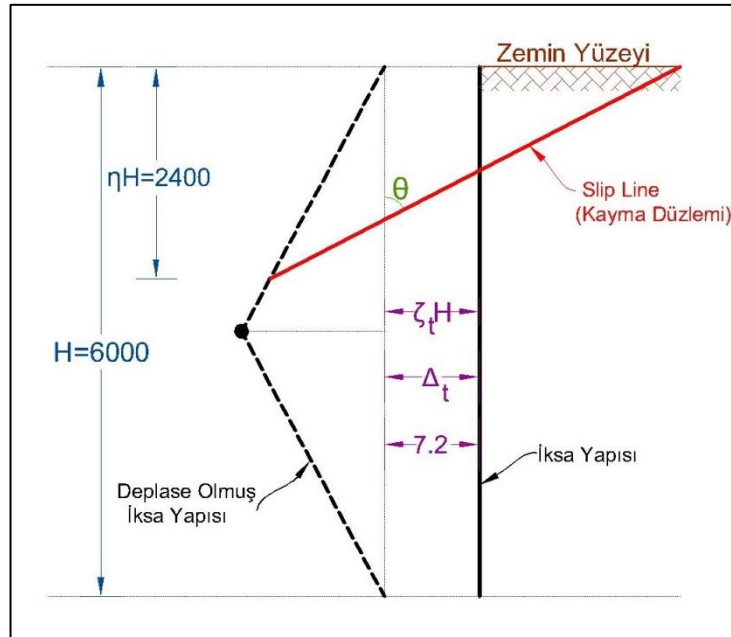
$\epsilon_{mob(t)}$  değeri, elde edilen  $\epsilon_{mob(t)} \tan(45 - \emptyset_{mob(t)}/2)$  çarpım değerinin, elde edilen  $\emptyset_{mob(t)}$  değeri kullanılarak hesaplanan  $\tan(45 - \emptyset_{mob(t)}/2)$  ifadesine bölümünden elde edilir. Hesaplamalar başlangıç durumu birim şekil değiştirme değeri hesabında da olduğu gibi belirlenen derinliklerde tekrar edilir. Belirlenen derinlikler için spreadsheet ile hesaplanan  $\epsilon_{mob(t)}$  değerleri Tablo 5.3'te verilmiştir.

Tablo 5.3. Spreadsheet ile hesaplanan  $\epsilon_{mob(t)}$  değerleri

Derinlik (mm)	Normalize Derinlik ( $\rho$ )	Ötelenme ( $\Delta_t$ ) (mm)	Normalize Ötelenme ( $\zeta_t$ )	$\epsilon_{mob(t)}\tan(45-\frac{\phi_{mob(t)}}{2})$	$\phi_{mob(t)}$	$\epsilon_{mob(t)}$
0	0,00	7,2	0,0012	-	-	0,00
100	0,02	7,2	0,0012	1,77E-01	30,00	3,07E-01
200	0,03	7,2	0,0012	1,10E-01	30,00	1,91E-01
300	0,05	7,2	0,0012	5,99E-02	30,00	1,04E-01
400	0,07	7,2	0,0012	3,99E-02	30,00	6,91E-02
500	0,08	7,2	0,0012	3,39E-02	30,00	5,88E-02
600	0,10	7,2	0,0012	2,58E-02	30,00	4,47E-02
700	0,12	7,2	0,0012	2,06E-02	30,00	3,57E-02
800	0,13	7,2	0,0012	1,86E-02	30,00	3,23E-02
900	0,15	7,2	0,0012	1,56E-02	30,00	2,70E-02
1000	0,17	7,2	0,0012	1,33E-02	30,00	2,30E-02
1100	0,18	7,2	0,0012	1,24E-02	29,71	2,13E-02
1200	0,20	7,2	0,0012	1,08E-02	29,08	1,84E-02
1300	0,22	7,2	0,0012	9,58E-03	28,43	1,61E-02
1400	0,23	7,2	0,0012	9,05E-03	28,11	1,51E-02
1500	0,25	7,2	0,0012	8,12E-03	27,46	1,34E-02
1600	0,27	7,2	0,0012	7,35E-03	26,81	1,20E-02
1700	0,28	7,2	0,0012	7,01E-03	26,48	1,13E-02
1800	0,30	7,2	0,0012	6,41E-03	25,83	1,02E-02
1900	0,32	7,2	0,0012	5,88E-03	25,19	9,27E-03
2000	0,33	7,2	0,0012	5,65E-03	24,86	8,85E-03
2100	0,35	7,2	0,0012	5,23E-03	24,23	8,08E-03
2200	0,37	7,2	0,0012	4,85E-03	23,60	7,42E-03
2300	0,38	7,2	0,0012	4,68E-03	23,29	7,12E-03
2400	0,40	7,2	0,0012	4,37E-03	22,67	6,57E-03
2500	0,42	7,2	0,0012	4,10E-03	22,06	6,08E-03
2600	0,43	7,2	0,0012	3,97E-03	21,76	5,86E-03
2700	0,45	7,2	0,0012	3,73E-03	21,18	5,45E-03
2800	0,47	7,2	0,0012	3,52E-03	20,60	5,08E-03
2900	0,48	7,2	0,0012	3,42E-03	20,32	4,91E-03
3000	0,50	7,2	0,0012	3,23E-03	19,76	4,59E-03
3100	0,52	7,2	0,0012	3,06E-03	19,22	4,31E-03
3200	0,53	7,2	0,0012	2,98E-03	18,96	4,18E-03
3300	0,55	7,2	0,0012	2,83E-03	18,43	3,93E-03
3400	0,57	7,2	0,0012	2,70E-03	17,93	3,71E-03
3500	0,58	7,2	0,0012	2,63E-03	17,68	3,60E-03
3600	0,60	7,2	0,0012	2,51E-03	17,20	3,40E-03
3700	0,62	7,2	0,0012	2,40E-03	16,73	3,22E-03
3800	0,63	7,2	0,0012	2,34E-03	16,50	3,14E-03
3900	0,65	7,2	0,0012	2,24E-03	16,05	2,98E-03

Tablo 5.3. (Devam) Spreadsheet ile hesaplanan  $\varepsilon_{mob(t)}$  değerleri

Derinlik (mm)	Normalize Derinlik ( $\eta$ )	Ötelenme ( $\Delta_t$ ) (mm)	Normalize Ötelenme ( $\zeta_t$ )	$\varepsilon_{mob(t)} \tan(45 - \frac{\phi_{mob(t)}}{2})$	$\phi_{mob(t)}$	$\varepsilon_{mob(t)}$
4000	0,67	7,2	0,0012	2,15E-03	15,61	2,83E-03
4100	0,68	7,2	0,0012	2,10E-03	15,40	2,76E-03
4200	0,70	7,2	0,0012	2,02E-03	14,99	2,63E-03
4300	0,72	7,2	0,0012	1,94E-03	14,59	2,51E-03
4400	0,73	7,2	0,0012	1,90E-03	14,39	2,45E-03
4500	0,75	7,2	0,0012	1,83E-03	14,01	2,34E-03
4600	0,77	7,2	0,0012	1,76E-03	13,64	2,24E-03
4700	0,78	7,2	0,0012	1,73E-03	13,46	2,19E-03
4800	0,80	7,2	0,0012	1,67E-03	13,11	2,10E-03
4900	0,82	7,2	0,0012	1,61E-03	12,77	2,01E-03
5000	0,83	7,2	0,0012	1,58E-03	12,61	1,97E-03
5100	0,85	7,2	0,0012	1,53E-03	12,29	1,89E-03
5200	0,87	7,2	0,0012	1,48E-03	11,97	1,82E-03
5300	0,88	7,2	0,0012	1,45E-03	11,82	1,79E-03
5400	0,90	7,2	0,0012	1,40E-03	11,53	1,72E-03
5500	0,92	7,2	0,0012	1,36E-03	11,24	1,66E-03
5600	0,93	7,2	0,0012	1,34E-03	11,10	1,62E-03
5700	0,95	7,2	0,0012	1,30E-03	10,83	1,57E-03
5800	0,97	7,2	0,0012	1,26E-03	10,57	1,51E-03
5900	0,98	7,2	0,0012	1,24E-03	10,44	1,49E-03
6000	1,00	7,2	0,0012	1,20E-03	10,19	1,43E-03

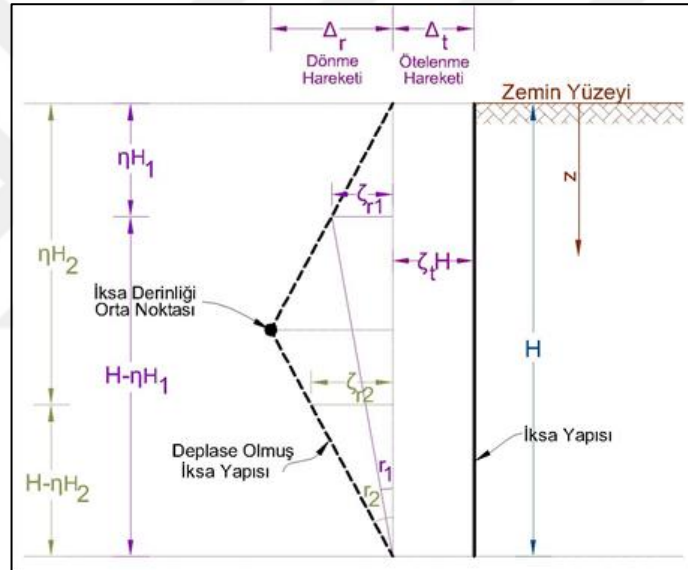


Şekil 5.7. İksa sistemi kayma hareketi için 2400 mm derinlikte  $\varepsilon_{mob(t)}$  değerinin hesaplanması için sistem şematiği (çizim ölçeksiz olup ölçüler mm'dir.)



### 5.4.3. İksa sistemi dönme hareketinden sebep birim şekil değiştirme değerinin ( $\epsilon_{\text{mob}(r)}$ ) hesaplanması

İksa Sistemi Dönme Hareketinden Sebep Birim Şekil Değiştirme Değerinin ( $\epsilon_{\text{mob}(t)}$ ) Hesaplanması için normalize derinlik ( $\eta$ ), dönme hareketinden sebep normalize ötelenme ( $\zeta_r$ ) ve normalize dönme ( $r$ ) değerleri ilgili derinliklerde elde edilmelidir. Normalize dönme değeri Rowe [14] çalışmasında iksa sistemi topuk noktasının dönme açısı olarak tanımlanmış olup Şekil 5.6’da verilen deplasman şekli için; Şekil 5.8’den de anlaşılacağı üzere, iksa derinliği orta noktasına kadar değişken değerler almakta olup, iksa derinliğinin orta noktasından daha derinlerde sabit bir değer almaktadır.



Şekil 5.8. Örnek kapsamında belirlenen deplasman şekli için normalize dönmenin tanımlanması

İksa derinliğinin orta noktasının zemin yüzeyi ve topuk etrafında 10,8 mm salt dönme hareketi için örnek olarak 2400 mm derinlikte önerilen hesap yöntemine göre hesap yapılırsa; Denklem (5.4) ile normalize derinlik ( $\eta$ ), Denklem (5.5) ile ötelenme ( $\Delta_r$ ), Denklem (5.6) ile normalize ötelenme ( $\zeta_r$ ) ve Denklem (5.7) ile normalize dönme ( $r$ ) hesaplanır.

$$\eta = \frac{z}{H} = \frac{2400}{6000} = 0,4 \quad (5.4)$$

$$\Delta_t = 10,8 \times \frac{2400}{3000} = 8,64 \text{ mm} \quad (5.5)$$

$$\zeta_r = \frac{\Delta_r}{H} = \frac{8,64}{6000} = 0,00144 \quad (5.6)$$

$$r = \frac{\zeta_r}{(1-p)} = \frac{0,00144}{(1-0,4)} = 0,0024 \quad (5.7)$$

Daha sonra Denklem (4.12) kullanılarak  $\varepsilon_{\text{mob}(r)} \tan(45 - \emptyset_{\text{mob}(r)}/2)$  çarpım değeri Denklem (5.8) ile bulunur.

$$\varepsilon_{\text{mob}(r)} \tan\left(45 - \frac{\emptyset_{\text{mob}(r)}}{2}\right) = \frac{0,0024}{2 \times 0,4} \left(1 - 0,4 + 2,3 \log_{10} \frac{1}{0,4}\right) = 0,004545786 \quad (5.8)$$

Elde edilen  $\varepsilon_{\text{mob}(r)} \tan(45 - \emptyset_{\text{mob}(r)}/2)$  çarpım değeri  $\varepsilon_{\text{mob}} \tan(45 - \emptyset_{\text{mob}}/2) - \emptyset_{\text{mob}}$  grafiğinden okunarak veya eğri denkleminde yerine yazılarak hareketlenmiş kayma direnci açısı  $\emptyset_{\text{mob}(r)}$  bulunur. (Çalışma kapsamında  $\emptyset_{\text{mob}(r)}$  değeri hazırlanan spreadsheet yardımı ile elde edilen  $\varepsilon_{\text{mob}} \tan(45 - \emptyset_{\text{mob}}/2) - \emptyset_{\text{mob}}$  eğrisinin denklemi vasıtasıyla elde edilmiştir.)

$\varepsilon_{\text{mob}(t)}$  değeri; elde edilen  $\varepsilon_{\text{mob}(r)} \tan(45 - \emptyset_{\text{mob}(r)}/2)$  çarpım değerinin, elde edilen  $\emptyset_{\text{mob}(r)}$  değeri kullanılarak hesaplanan  $\tan(45 - \emptyset_{\text{mob}(r)}/2)$  ifadesine bölümünden elde edilir. Hesaplamalar başlangıç durumu birim şekil değiştirme değeri hesabında da olduğu gibi belirlenen derinliklerde tekrar edilir. Belirlenen derinlikler için spreadsheet ile hesaplanan  $\varepsilon_{\text{mob}(t)}$  değerleri Tablo 5.4'te verilmiştir.

Tablo 5.4. Spreadsheet ile hesaplanan  $\varepsilon_{\text{mob}(r)}$  değerleri

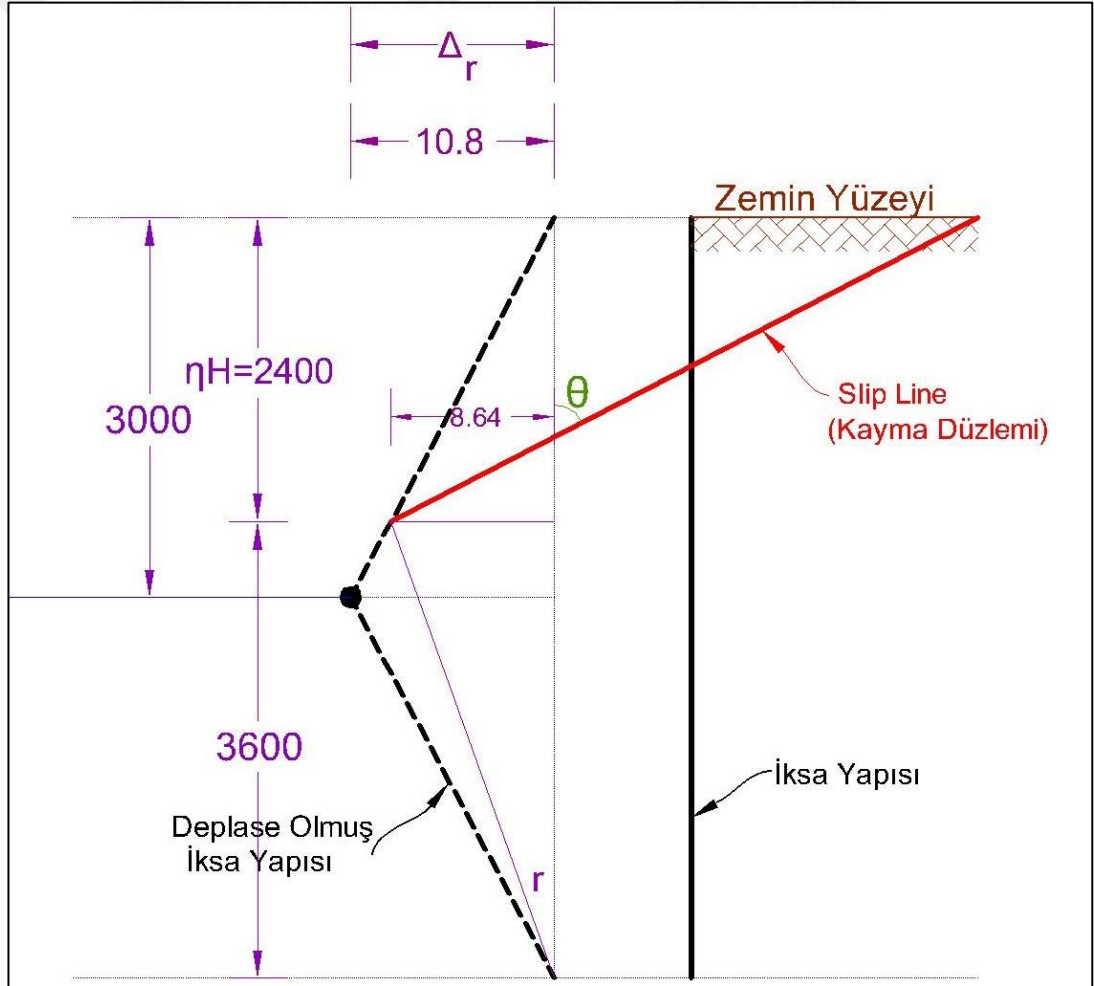
Der. (mm)	Norm. Der. (p)	Ötelenme ( $\Delta_r$ ) (mm)	Norm. Ötelenme ( $\zeta_r$ )	Norm. Dönme (r)	$\varepsilon_{\text{mob}(r)} \tan(45 - \emptyset_{\text{mob}(r)}/2)$	$\emptyset_{\text{mob}(r)}$	$\varepsilon_{\text{mob}(r)}$
0	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	0,00
100	0,02	0,36	6,00E-05	6,10E-05	7,46E-03	26,90	1,21E-02
200	0,03	0,72	1,20E-04	1,24E-04	9,25E-03	28,24	1,55E-02
300	0,05	1,08	1,80E-04	1,89E-04	7,47E-03	26,91	1,22E-02
400	0,07	1,44	2,40E-04	2,57E-04	6,59E-03	26,04	1,05E-02
500	0,08	1,80	3,00E-04	3,27E-04	7,04E-03	26,51	1,14E-02
600	0,10	2,16	3,60E-04	4,00E-04	6,40E-03	25,83	1,02E-02
700	0,12	2,52	4,20E-04	4,75E-04	5,94E-03	25,26	9,37E-03
800	0,13	2,88	4,80E-04	5,54E-04	6,19E-03	25,58	9,83E-03
900	0,15	3,24	5,40E-04	6,35E-04	5,81E-03	25,09	9,14E-03
1000	0,17	3,60	6,00E-04	7,20E-04	5,51E-03	24,66	8,59E-03

Tablo 5.4. (Devam) Spreadsheet ile hesaplanan  $\varepsilon_{\text{mob}(r)}$  değerleri

Der. (mm)	Norm. Der. ( $\eta$ )	Ötelenme ( $\Delta_r$ ) (mm)	Norm. Ötelenme ( $\zeta_r$ )	Norm. Dönme ( $r$ )	$\varepsilon_{\text{mob}(r)}\tan(45^\circ - \frac{\phi_{\text{mob}(r)}}{2})$	$\phi_{\text{mob}(r)}$	$\varepsilon_{\text{mob}(r)}$
1100	0,18	3,96	6,60E-04	8,08E-04	5,69E-03	24,92	8,91E-03
1200	0,20	4,32	7,20E-04	9,00E-04	5,42E-03	24,52	8,43E-03
1300	0,22	4,68	7,80E-04	9,96E-04	5,19E-03	24,17	8,01E-03
1400	0,23	5,04	8,40E-04	1,10E-03	5,33E-03	24,39	8,27E-03
1500	0,25	5,40	9,00E-04	1,20E-03	5,12E-03	24,06	7,90E-03
1600	0,27	5,76	9,60E-04	1,31E-03	4,94E-03	23,75	7,57E-03
1700	0,28	6,12	1,02E-03	1,42E-03	5,06E-03	23,96	7,79E-03
1800	0,30	6,48	1,08E-03	1,54E-03	4,89E-03	23,67	7,49E-03
1900	0,32	6,84	1,14E-03	1,67E-03	4,74E-03	23,39	7,21E-03
2000	0,33	7,20	1,20E-03	1,80E-03	4,85E-03	23,59	7,41E-03
2100	0,35	7,56	1,26E-03	1,94E-03	4,70E-03	23,32	7,15E-03
2200	0,37	7,92	1,32E-03	2,08E-03	4,57E-03	23,07	6,92E-03
2300	0,38	8,28	1,38E-03	2,24E-03	4,67E-03	23,26	7,09E-03
2400	0,40	8,64	1,44E-03	2,40E-03	4,55E-03	23,02	6,87E-03
2500	0,42	9,00	1,50E-03	2,57E-03	4,43E-03	22,78	6,66E-03
2600	0,43	9,36	1,56E-03	2,75E-03	4,52E-03	22,97	6,83E-03
2700	0,45	9,72	1,62E-03	2,95E-03	4,41E-03	22,75	6,63E-03
2800	0,47	10,08	1,68E-03	3,15E-03	4,30E-03	22,52	6,44E-03
2900	0,48	10,44	1,74E-03	3,37E-03	4,40E-03	22,72	6,61E-03
3000	0,50	10,80	1,80E-03	3,60E-03	4,29E-03	22,50	6,42E-03
3100	0,52	10,44	1,74E-03	3,63E-03	3,95E-03	21,72	5,83E-03
3200	0,53	10,08	1,68E-03	3,57E-03	3,72E-03	21,16	5,43E-03
3300	0,55	9,72	1,62E-03	3,60E-03	3,43E-03	20,35	4,93E-03
3400	0,57	9,36	1,56E-03	3,63E-03	3,16E-03	19,53	4,47E-03
3500	0,58	9,00	1,50E-03	3,57E-03	2,97E-03	18,91	4,15E-03
3600	0,60	8,64	1,44E-03	3,60E-03	2,73E-03	18,06	3,76E-03
3700	0,62	8,28	1,38E-03	3,63E-03	2,51E-03	17,20	3,41E-03
3800	0,63	7,92	1,32E-03	3,57E-03	2,35E-03	16,54	3,16E-03
3900	0,65	7,56	1,26E-03	3,60E-03	2,16E-03	15,67	2,85E-03
4000	0,67	7,20	1,20E-03	3,64E-03	1,98E-03	14,80	2,57E-03
4100	0,68	6,84	1,14E-03	3,56E-03	1,85E-03	14,10	2,37E-03
4200	0,70	6,48	1,08E-03	3,60E-03	1,69E-03	13,23	2,13E-03
4300	0,72	6,12	1,02E-03	3,64E-03	1,54E-03	12,36	1,91E-03
4400	0,73	5,76	9,60E-04	3,56E-03	1,42E-03	11,65	1,75E-03
4500	0,75	5,40	9,00E-04	3,60E-03	1,29E-03	10,79	1,56E-03
4600	0,77	5,04	8,40E-04	3,65E-03	1,16E-03	9,94	1,39E-03
4700	0,78	4,68	7,80E-04	3,55E-03	1,06E-03	9,23	1,25E-03
4800	0,80	4,32	7,20E-04	3,60E-03	9,52E-04	8,40	1,10E-03
4900	0,82	3,96	6,60E-04	3,67E-03	8,46E-04	7,59	9,66E-04
5000	0,83	3,60	6,00E-04	3,53E-03	7,57E-04	6,89	8,54E-04
5100	0,85	3,24	5,40E-04	3,60E-03	6,61E-04	6,11	7,36E-04

Tablo 5.4. (Devam) Spreadsheet ile hesaplanan  $\epsilon_{mob(r)}$  değerleri

Der. (mm)	Norm. Der. ( $\eta$ )	Ötelenme ( $\Delta_r$ ) (mm)	Norm. Ötelenme ( $\zeta_r$ )	Norm. Dönme ( $r$ )	$\epsilon_{mob(r)} \tan(45 - \frac{\phi_{mob(r)}}{2})$	$\phi_{mob(r)}$	$\epsilon_{mob(r)}$
5200	0,87	2,88	4,80E-04	3,69E-03	5,71E-04	5,34	6,27E-04
5300	0,88	2,52	4,20E-04	3,50E-03	4,93E-04	4,66	5,34E-04
5400	0,90	2,16	3,60E-04	3,60E-03	4,10E-04	3,93	4,40E-04
5500	0,92	1,80	3,00E-04	3,75E-03	3,33E-04	3,22	3,52E-04
5600	0,93	1,44	2,40E-04	3,43E-03	2,63E-04	2,56	2,75E-04
5700	0,95	1,08	1,80E-04	3,60E-03	1,92E-04	1,89	1,98E-04
5800	0,97	0,72	1,20E-04	4,00E-03	1,25E-04	1,24	1,27E-04
5900	0,98	0,36	6,00E-05	3,00E-03	6,15E-05	0,61	6,22E-05
6000	1,00	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00	0,00E+00



Şekil 5.9. İksa sistemi kayma hareketi için 2400 mm derinlikte  $\epsilon_{mob(r)}$  değerinin hesaplanması için sistem şematığı (çizim ölçeksiz olup ölçüler mm'dir.)

## 5.5. Hareketlenmiş Toplam Birim Şekil Değişirme ( $\epsilon_{mob(tot.)}$ ) Değerinin Hesaplanması

Önceki adımlarda hesaplanan başlangıç birim şekil değişirme değeri  $\epsilon_{mob(int.)}$  ile kayma ve dönme hareketlerinden sebep oluşan birim şekil değişirmeler toplanarak toplam hareketlenmiş birim şekil değişirme değeri  $\epsilon_{mob(tot.)}$  bulunur.

Tablo 5.5. Spreadsheet ile hesaplanan  $\epsilon_{mob(tot.)}$  değerleri

Derinlik (mm)	$\epsilon_{int}$ (Rowe)	$\epsilon_{int}$ (Jaky)	$\epsilon_{mob(t)}$	$\epsilon_{mob(r)}$	$\epsilon_{mob(tot.)}$ Rowe	$\epsilon_{mob(tot.)}$ Jaky
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
100	1,75E-03	4,44E-03	3,07E-01	1,21E-02	3,21E-01	3,24E-01
200	3,07E-03	4,44E-03	1,91E-01	1,55E-02	2,09E-01	2,11E-01
300	4,17E-03	4,44E-03	1,04E-01	1,22E-02	1,20E-01	1,20E-01
400	5,10E-03	4,44E-03	6,91E-02	1,05E-02	8,48E-02	8,41E-02
500	5,88E-03	4,44E-03	5,88E-02	1,14E-02	7,60E-02	7,46E-02
600	6,55E-03	4,44E-03	4,47E-02	1,02E-02	6,14E-02	5,93E-02
700	7,13E-03	4,44E-03	3,57E-02	9,37E-03	5,22E-02	4,95E-02
800	7,63E-03	4,44E-03	3,23E-02	9,83E-03	4,97E-02	4,66E-02
900	8,07E-03	4,44E-03	2,70E-02	9,14E-03	4,42E-02	4,06E-02
1000	8,45E-03	4,44E-03	2,30E-02	8,59E-03	4,01E-02	3,61E-02
1100	8,80E-03	4,44E-03	2,13E-02	8,91E-03	3,90E-02	3,47E-02
1200	9,10E-03	4,44E-03	1,84E-02	8,43E-03	3,59E-02	3,13E-02
1300	9,39E-03	4,44E-03	1,61E-02	8,01E-03	3,35E-02	2,85E-02
1400	9,65E-03	4,44E-03	1,51E-02	8,27E-03	3,30E-02	2,78E-02
1500	9,89E-03	4,44E-03	1,34E-02	7,90E-03	3,12E-02	2,57E-02
1600	1,01E-02	4,44E-03	1,20E-02	7,57E-03	2,96E-02	2,40E-02
1700	1,03E-02	4,44E-03	1,13E-02	7,79E-03	2,94E-02	2,36E-02
1800	1,05E-02	4,44E-03	1,02E-02	7,49E-03	2,82E-02	2,21E-02
1900	1,07E-02	4,44E-03	9,27E-03	7,21E-03	2,72E-02	2,09E-02
2000	1,09E-02	4,44E-03	8,85E-03	7,41E-03	2,72E-02	2,07E-02
2100	1,11E-02	4,44E-03	8,08E-03	7,15E-03	2,64E-02	1,97E-02
2200	1,13E-02	4,44E-03	7,42E-03	6,92E-03	2,56E-02	1,88E-02
2300	1,15E-02	4,44E-03	7,12E-03	7,09E-03	2,57E-02	1,86E-02
2400	1,17E-02	4,44E-03	6,57E-03	6,87E-03	2,51E-02	1,79E-02
2500	1,19E-02	4,44E-03	6,08E-03	6,66E-03	2,46E-02	1,72E-02
2600	1,20E-02	4,44E-03	5,86E-03	6,83E-03	2,47E-02	1,71E-02
2700	1,22E-02	4,44E-03	5,45E-03	6,63E-03	2,43E-02	1,65E-02
2800	1,24E-02	4,44E-03	5,08E-03	6,44E-03	2,39E-02	1,60E-02
2900	1,25E-02	4,44E-03	4,91E-03	6,61E-03	2,41E-02	1,60E-02
3000	1,27E-02	4,44E-03	4,59E-03	6,42E-03	2,37E-02	1,55E-02
3100	1,28E-02	4,44E-03	4,31E-03	5,83E-03	2,30E-02	1,46E-02
3200	1,30E-02	4,44E-03	4,18E-03	5,43E-03	2,26E-02	1,40E-02

Tablo 5.5. (Devam) Spreadsheet ile hesaplanan  $\epsilon_{mob(tot.)}$  değerleri

Derinlik (mm)	$\epsilon_{int}$ (Rowe)	$\epsilon_{int}$ (Jaky)	$\epsilon_{mob(t)}$	$\epsilon_{mob(r)}$	$\epsilon_{mob(tot.)}$ Rowe	$\epsilon_{mob(tot.)}$ Jaky
3300	1,31E-02	4,44E-03	3,93E-03	4,93E-03	2,20E-02	1,33E-02
3400	1,33E-02	4,44E-03	3,71E-03	4,47E-03	2,14E-02	1,26E-02
3500	1,34E-02	4,44E-03	3,60E-03	4,15E-03	2,11E-02	1,22E-02
3600	1,35E-02	4,44E-03	3,40E-03	3,76E-03	2,07E-02	1,16E-02
3700	1,36E-02	4,44E-03	3,22E-03	3,41E-03	2,02E-02	1,11E-02
3800	1,37E-02	4,44E-03	3,14E-03	3,16E-03	2,00E-02	1,07E-02
3900	1,38E-02	4,44E-03	2,98E-03	2,85E-03	1,96E-02	1,03E-02
4000	1,39E-02	4,44E-03	2,83E-03	2,57E-03	1,93E-02	9,84E-03
4100	1,39E-02	4,44E-03	2,76E-03	2,37E-03	1,91E-02	9,57E-03
4200	1,40E-02	4,44E-03	2,63E-03	2,13E-03	1,88E-02	9,20E-03
4300	1,41E-02	4,44E-03	2,51E-03	1,91E-03	1,85E-02	8,86E-03
4400	1,42E-02	4,44E-03	2,45E-03	1,75E-03	1,84E-02	8,64E-03
4500	1,42E-02	4,44E-03	2,34E-03	1,56E-03	1,81E-02	8,34E-03
4600	1,43E-02	4,44E-03	2,24E-03	1,39E-03	1,79E-02	8,07E-03
4700	1,44E-02	4,44E-03	2,19E-03	1,25E-03	1,78E-02	7,88E-03
4800	1,45E-02	4,44E-03	2,10E-03	1,10E-03	1,77E-02	7,64E-03
4900	1,45E-02	4,44E-03	2,01E-03	9,66E-04	1,75E-02	7,42E-03
5000	1,46E-02	4,44E-03	1,97E-03	8,54E-04	1,75E-02	7,27E-03
5100	1,47E-02	4,44E-03	1,89E-03	7,36E-04	1,74E-02	7,07E-03
5200	1,48E-02	4,44E-03	1,82E-03	6,27E-04	1,73E-02	6,89E-03
5300	1,49E-02	4,44E-03	1,79E-03	5,34E-04	1,73E-02	6,76E-03
5400	1,50E-02	4,44E-03	1,72E-03	4,40E-04	1,72E-02	6,60E-03
5500	1,52E-02	4,44E-03	1,66E-03	3,52E-04	1,72E-02	6,45E-03
5600	1,53E-02	4,44E-03	1,62E-03	2,75E-04	1,72E-02	6,34E-03
5700	1,54E-02	4,44E-03	1,57E-03	1,98E-04	1,72E-02	6,20E-03
5800	1,55E-02	4,44E-03	1,51E-03	1,27E-04	1,71E-02	6,08E-03
5900	1,56E-02	4,44E-03	1,49E-03	6,22E-05	1,72E-02	5,99E-03
6000	1,57E-02	4,44E-03	1,43E-03	0,00E+00	1,72E-02	5,87E-03

Çalışma kapsamında  $\epsilon_{int}$  değeri iki farklı yaklaşıma (Rowe, Jaky) göre hesaplandığından iki farklı  $\epsilon_{mob(tot.)}$  değeri elde edilmiştir. Tasarımcı  $\epsilon_{int}$  değeri için sunulan yaklaşımlardan veya farklı bir yaklaşımdan herhangi birini seçebilir.

### 5.6. Hareketlenmiş içsel Sürtünme Açısının ( $\emptyset_{mob}$ ) Hesaplanması

Hesaplanan toplam birim Şekil değiştirme değerleri kullanılarak Denklem (4.14) ile hesap derinliğinde hareketlenmiş içsel sürtünme açısı değeri hesaplanabilir. rnek olarak 2400 mm derinlikte Denklem (5.9) kullanılarak  $\emptyset_{mob}$  bulunabilir.

$$\emptyset_{\text{mob}} = 30 \frac{\left(\frac{0,025117449}{0,0229}\right)}{0,13+0,87 \left(\frac{0,025117449}{0,0229}\right)} = 30 \quad (5.9)$$

Hesaplanan değer Rowe yaklaşımıyla belirlenen başlangıç birim Şekil değiştirme değerine bağlı olarak hesaplanmış olup hem Rowe hem de Jaky yaklaşımları kullanılarak hesaplanan hareketlenmiş kayma direnci aılları Tablo 5.6'da verilmiştir.

Tablo 5.6. Spreadsheet ile hesaplanan  $\emptyset_{\text{mob(tot.)}}$  değerleri

Derinlik (mm)	$\epsilon_{\text{mob(tot.)}}$ Rowe	$\epsilon_{\text{mob(tot.)}}$ Jaky	$\emptyset_{\text{mob(tot.)}}$ Rowe	$\emptyset_{\text{mob(tot.)}}$ Jaky
0	0,00	0,00	0,00	0,00
100	3,21E-01	3,24E-01	30,00	30,00
200	2,09E-01	2,11E-01	30,00	30,00
300	1,20E-01	1,20E-01	30,00	30,00
400	8,48E-02	8,41E-02	30,00	30,00
500	7,60E-02	7,46E-02	30,00	30,00
600	6,14E-02	5,93E-02	30,00	30,00
700	5,22E-02	4,95E-02	30,00	30,00
800	4,97E-02	4,66E-02	30,00	30,00
900	4,42E-02	4,06E-02	30,00	30,00
1000	4,01E-02	3,61E-02	30,00	30,00
1100	3,90E-02	3,47E-02	30,00	30,00
1200	3,59E-02	3,13E-02	30,00	30,00
1300	3,35E-02	2,85E-02	30,00	30,00
1400	3,30E-02	2,78E-02	30,00	30,00
1500	3,12E-02	2,57E-02	30,00	30,00
1600	2,96E-02	2,40E-02	30,00	30,00
1700	2,94E-02	2,36E-02	30,00	30,00
1800	2,82E-02	2,21E-02	30,00	29,87
1900	2,72E-02	2,09E-02	30,00	29,64
2000	2,72E-02	2,07E-02	30,00	29,59
2100	2,64E-02	1,97E-02	30,00	29,37
2200	2,56E-02	1,88E-02	30,00	29,17
2300	2,57E-02	1,86E-02	30,00	29,14
2400	2,51E-02	1,79E-02	30,00	28,94
2500	2,46E-02	1,72E-02	30,00	28,76
2600	2,47E-02	1,71E-02	30,00	28,74
2700	2,43E-02	1,65E-02	30,00	28,56
2800	2,39E-02	1,60E-02	30,00	28,39
2900	2,41E-02	1,60E-02	30,00	28,39
3000	2,37E-02	1,55E-02	30,00	28,23
3100	2,30E-02	1,46E-02	30,00	27,93
3200	2,26E-02	1,40E-02	29,95	27,73

Tablo 5.6. (Devam) Spreadsheet ile hesaplanan  $\emptyset_{mob(tot.)}$  değerleri

Derinlik (z)	$\epsilon_{mob(tot.)}$ Rowe	$\epsilon_{mob(tot.)}$ Jaky	$\emptyset_{mob(tot.)}$ Rowe	$\emptyset_{mob(tot.)}$ Jaky
3300	2,20E-02	1,33E-02	29,84	27,42
3400	2,14E-02	1,26E-02	29,73	27,12
3500	2,11E-02	1,22E-02	29,68	26,93
3600	2,07E-02	1,16E-02	29,58	26,63
3700	2,02E-02	1,11E-02	29,49	26,34
3800	2,00E-02	1,07E-02	29,44	26,15
3900	1,96E-02	1,03E-02	29,36	25,86
4000	1,93E-02	9,84E-03	29,28	25,59
4100	1,91E-02	9,57E-03	29,24	25,40
4200	1,88E-02	9,20E-03	29,17	25,13
4300	1,85E-02	8,86E-03	29,10	24,88
4400	1,84E-02	8,64E-03	29,06	24,70
4500	1,81E-02	8,34E-03	29,01	24,45
4600	1,79E-02	8,07E-03	28,96	24,21
4700	1,78E-02	7,88E-03	28,93	24,04
4800	1,77E-02	7,64E-03	28,88	23,82
4900	1,75E-02	7,42E-03	28,85	23,60
5000	1,75E-02	7,27E-03	28,83	23,44
5100	1,74E-02	7,07E-03	28,80	23,24
5200	1,73E-02	6,89E-03	28,78	23,04
5300	1,73E-02	6,76E-03	28,78	22,89
5400	1,72E-02	6,60E-03	28,76	22,71
5500	1,72E-02	6,45E-03	28,75	22,52
5600	1,72E-02	6,34E-03	28,75	22,39
5700	1,72E-02	6,20E-03	28,75	22,22
5800	1,71E-02	6,08E-03	28,75	22,06
5900	1,72E-02	5,99E-03	28,75	21,94
6000	1,72E-02	5,87E-03	28,75	21,79

### 5.7. Yanal Toprak Basınçlarının Hesaplanması

Elde edilen hareketlenmiş kayma direnci açıları kullanılarak Rankine Teorisi ile hesap yapılan derinliklerinde iksa sistemine etki eden yanall toprak basınçları hesaplanabilir. Yapılan örnekte iksa sistemi derinliği 60'a bölünmüş ve bu derinliklerde yanall toprak basıncı hesaplanmış olup yanall toprak basınçlarının derinlikler arasında doğrusal olarak değiştii kabulü yapılmıştır. Daha detaylı bir hesap açısından tasarımcının inisiyatifinde yanall toprak basıncı hesabı yapılacak derinlik sayısı artırılabilir. Tablo 5.7'de spreadsheet yardımı ile hesaplanan yanall toprak basınçları, belirlenen başlangıç birim şekil değiştirme değeri için hem Rowe



hem de Jaky yaklaşımları kullanılarak hesaplanan hareketlenmiş kayma direnci açıları için ayrı ayrı verilmiştir.

Tablo 5.7. Spreadsheet ile hesaplanan yanal toprak basınçları

Derinlik (mm)	$\emptyset_{\text{mob(tot.)}}$ Rowe	$\emptyset_{\text{mob(tot.)}}$ Jaky	$P_a$ (Rowe)(kN/m <sup>2</sup> /m)	$P_a$ (Jaky)(kN/m <sup>2</sup> /m)
0	0,00	0,00	0,00	0,00
100	30,00	30,00	0,60	0,60
200	30,00	30,00	1,20	1,20
300	30,00	30,00	1,80	1,80
400	30,00	30,00	2,40	2,40
500	30,00	30,00	3,00	3,00
600	30,00	30,00	3,60	3,60
700	30,00	30,00	4,20	4,20
800	30,00	30,00	4,80	4,80
900	30,00	30,00	5,40	5,40
1000	30,00	30,00	6,00	6,00
1100	30,00	30,00	6,60	6,60
1200	30,00	30,00	7,20	7,20
1300	30,00	30,00	7,80	7,80
1400	30,00	30,00	8,40	8,40
1500	30,00	30,00	9,00	9,00
1600	30,00	30,00	9,60	9,60
1700	30,00	30,00	10,20	10,20
1800	30,00	29,87	10,80	10,86
1900	30,00	29,64	11,40	11,57
2000	30,00	29,59	12,00	12,20
2100	30,00	29,37	12,60	12,92
2200	30,00	29,17	13,20	13,65
2300	30,00	29,14	13,80	14,29
2400	30,00	28,94	14,40	15,02
2500	30,00	28,76	15,00	15,77
2600	30,00	28,74	15,60	16,41
2700	30,00	28,56	16,20	17,16
2800	30,00	28,39	16,80	17,91
2900	30,00	28,39	17,40	18,56
3000	30,00	28,23	18,00	19,32
3100	30,00	27,93	18,60	20,20
3200	29,95	27,73	19,24	21,02
3300	29,84	27,42	19,93	21,94
3400	29,73	27,12	20,62	22,87
3500	29,68	26,93	21,27	23,73
3600	29,58	26,63	21,97	24,69

Tablo 5.7. (Devam) Spreadsheet ile hesaplanan yanal toprak basınçları

Derinlik (mm)	$\emptyset_{mob(tot.)}$ Rowe	$\emptyset_{mob(tot.)}$ Jaky	$P_a$ (Rowe)(kN/m <sup>2</sup> /m)	$P_a$ (Jaky)(kN/m <sup>2</sup> /m)
3700	29,49	26,34	22,66	25,66
3800	29,44	26,15	23,32	26,56
3900	29,36	25,86	24,01	27,56
4000	29,28	25,59	24,70	28,57
4100	29,24	25,40	25,37	29,49
4200	29,17	25,13	26,06	30,52
4300	29,10	24,88	26,75	31,56
4400	29,06	24,70	27,41	32,52
4500	29,01	24,45	28,10	33,58
4600	28,96	24,21	28,78	34,64
4700	28,93	24,04	29,44	35,62
4800	28,88	23,82	30,12	36,69
4900	28,85	23,60	30,79	37,77
5000	28,83	23,44	31,44	38,77
5100	28,80	23,24	32,10	39,86
5200	28,78	23,04	32,76	40,95
5300	28,78	22,89	33,40	41,96
5400	28,76	22,71	34,05	43,06
5500	28,75	22,52	34,69	44,16
5600	28,75	22,39	35,32	45,19
5700	28,75	22,22	35,96	46,29
5800	28,75	22,06	36,59	47,39
5900	28,75	21,94	37,22	48,42
6000	28,75	21,79	37,85	49,53

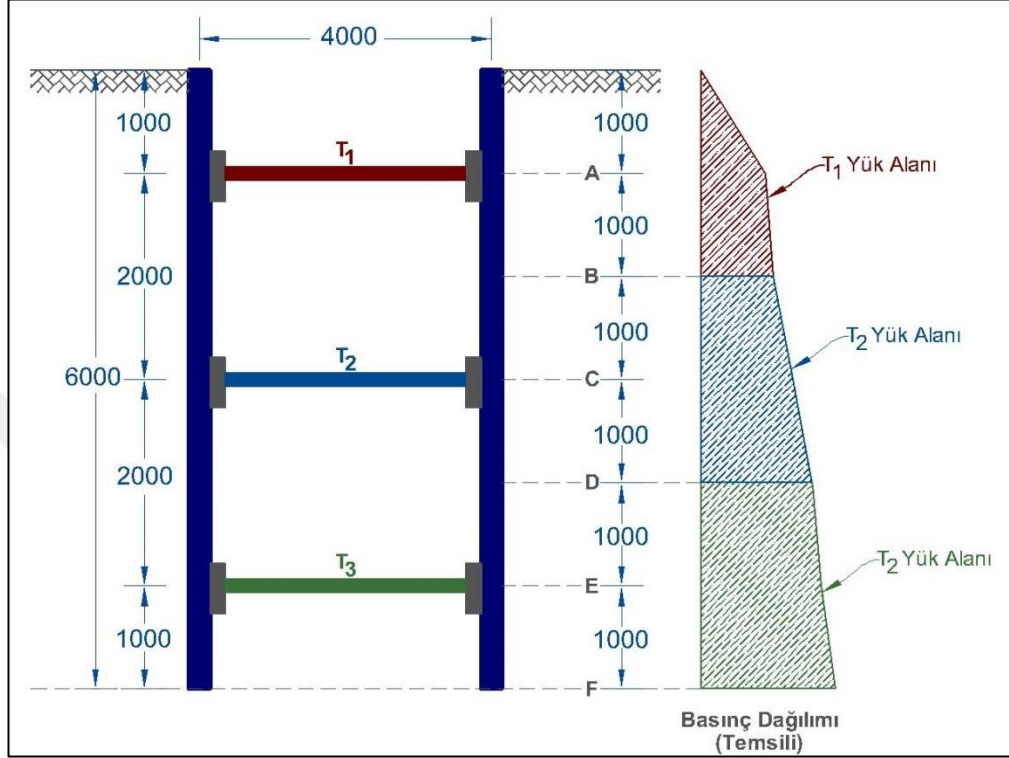
## 5.8. Destek Elemanlarına Etkiyen Kuvvetlerin Hesaplanması

Bir önceki adımda Rowe (1954) ve Jaky (1944) başlangıç birim şekil değiştirme değerlerine bağlı olarak önerilen hesap yöntemi ile elde edilen toprak basınçları kullanılarak Kısım 2.6’da sunulan hesap yöntemleri ile destek elemanlarına etkiyen kuvvetler ayrı ayrı hesaplanmıştır.

### 5.8.1. Yanal destek elemanlarına etki eden yüklerin “tributary area method” ile hesaplanması

Şekil 5.10’da görüleceği üzere basınç dağılımının zemin yüzeyi ile B noktası arasındaki alanı  $T_1$  destek yükünü, B noktası ile D noktası arasında kalan alan  $T_2$  destek yükünü ve D noktası ile F noktası arasında kalan alan ise  $T_3$  destek yükünü

oluşturmaktadır. Çalışma kapsamında oluşturulan spreadsheet ile 2.6.1’de anlatılan “Tributary Area Method” kullanılarak elde edilen destek elemanı yükleri Tablo 5.8’de verilmiştir.



Şekil 5.10. İksa sistemi “tributary area method” hesap şematığı

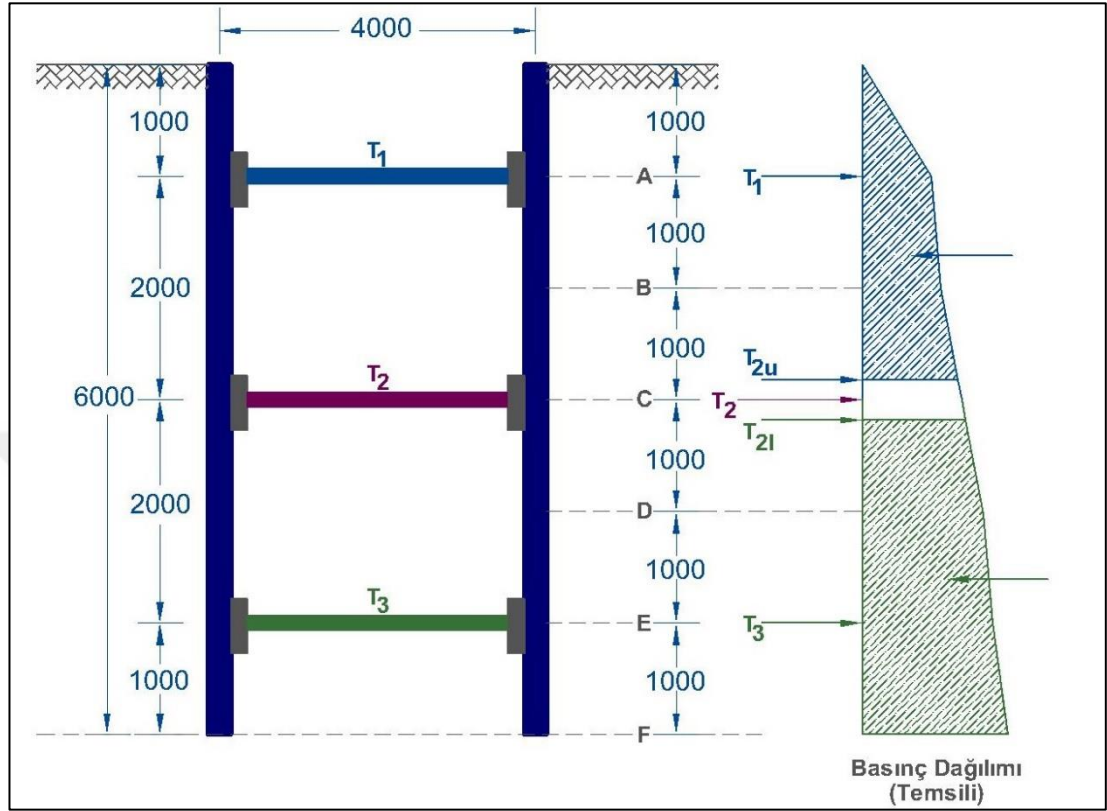
Tablo 5.8. Spreadsheet ile “tributary area method” kullanılarak hesaplanan destek elemanı yükleri

Destek Elemanı	Destek Yüğü (kN)	
	Jaky	Rowe
T <sub>1</sub>	12,03	12,00
T <sub>2</sub>	39,56	36,29
T <sub>3</sub>	77,75	62,76

### 5.8.2. Yanal destek elemanlarına etki eden yüklerin “hinge method” ile hesaplanması

Şekil 5.11’de görüleceği üzere basınç dağılımı C noktasından ikiye ayrılarak C noktasına göre moment alınarak T<sub>1</sub> destek yükü bulunup yatay kuvvet dengesinde T<sub>2u</sub> yükü hesaplanır. Sonrasında C noktası altında kalan basınç dağılımı için yine C noktasına göre moment dengesi kurulup T<sub>3</sub> destek yükü hesaplanarak T<sub>21</sub> yükü bulunur. Bulunan T<sub>2u</sub> ve T<sub>21</sub> kuvvetleri toplanarak T<sub>2</sub> destek yükü bulunur. Çalışma

kapsamında oluşturulan spreadsheet ile 3.6.2’de anlatılan “Hinge Method” kullanılarak elde edilen destek elemanı yükleri Tablo 5.9’da verilmiştir.



Şekil 5.11. İksa sistemi “hinge method” hesap şematığı

Tablo 5.9. Spreadsheet ile “hinge method” kullanılarak hesaplanan destek elemanı yükleri

Destek Elemanı	Destek Yüğü (kN)	
	Jaky	Rowe
$T_1$	13,66	13,50
$T_2$	28,09	27,00
$T_3$	87,60	70,56

## 6. ÖNERİLEN HESAP YÖNTEMİNİN İRDELENMESİ

### 6.1. Giriş

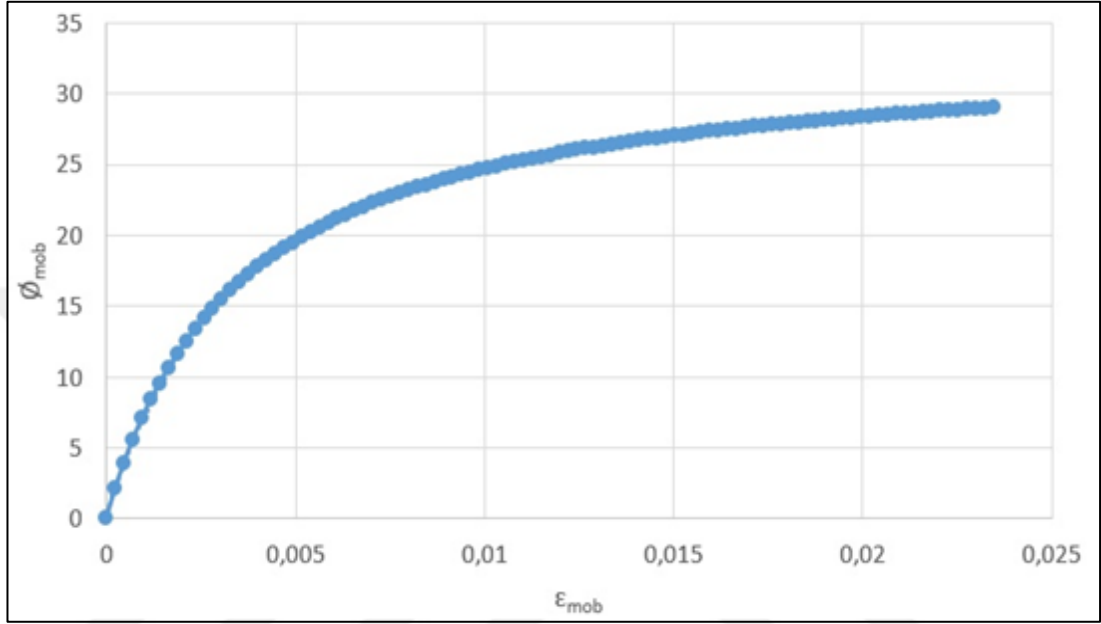
Tez kapsamında önerilen hesap yöntemi iksa sistemlerine etki eden yanal toprak basınçlarını, belirlenen deplasman formu ve miktarına bağlı olarak hesaplamak üzere geliştirilmiş olup, bu bölümde önerilen yöntem ile, Tablo 6.1’de verilen zemin tipleri (Gevşek Kum, Orta Sıkı Kum, Sıkı Kum) için çeşitli yüksekliklerdeki dayanma yapılarına; sükûnet hâli ve aktif durumda etki eden yanal toprak basınçları hesaplanarak; sükûnet hâli için Bölüm-1’de anlatılan Jaky(1944) önerisi ile, aktif durum için ise yine aynı bölümde anlatılan Rankine Teorisi ile karşılaştırılacaktır. Ayriyeten, önerilen hesap yöntemi ile elde edilen yanal toprak basınçları kullanılarak, yöntemin potansiyel kullanım alanlarından biri olan içten destekli iksa sistemlerinde; yanal destek elemanlarında meydana gelen kesit tesirleri hesaplanarak, 2.Bölüm’de anlatılan ve hâlihazırda yaygın olarak kullanılan görünür toprak basıncı diyagramları ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılacaktır. Önerilen hesap yönteminin irdelenmesi için seçilen zeminler ve özellikleri Tablo 6.1’de verilmiştir. Kısım 6.4’te de belirtileceği üzere; gerek yapılan hesaplamalarda gerekse önerilen hesap yönteminde iksa sistemi inşasının zeminde sükûnet hâlinde herhangi bir değişikliğe sebep olmadığı ve birim şekil değiştirmelerin, sadece iksa sisteminin yapmış olduğu yer değiştirmelerden dolayı hareketlendiği kabul edilmiştir.

Tablo 6.1. Önerilen hesap yönteminin yanal toprak basınçları açısından irdelenmesinde seçilen zemin özellikleri

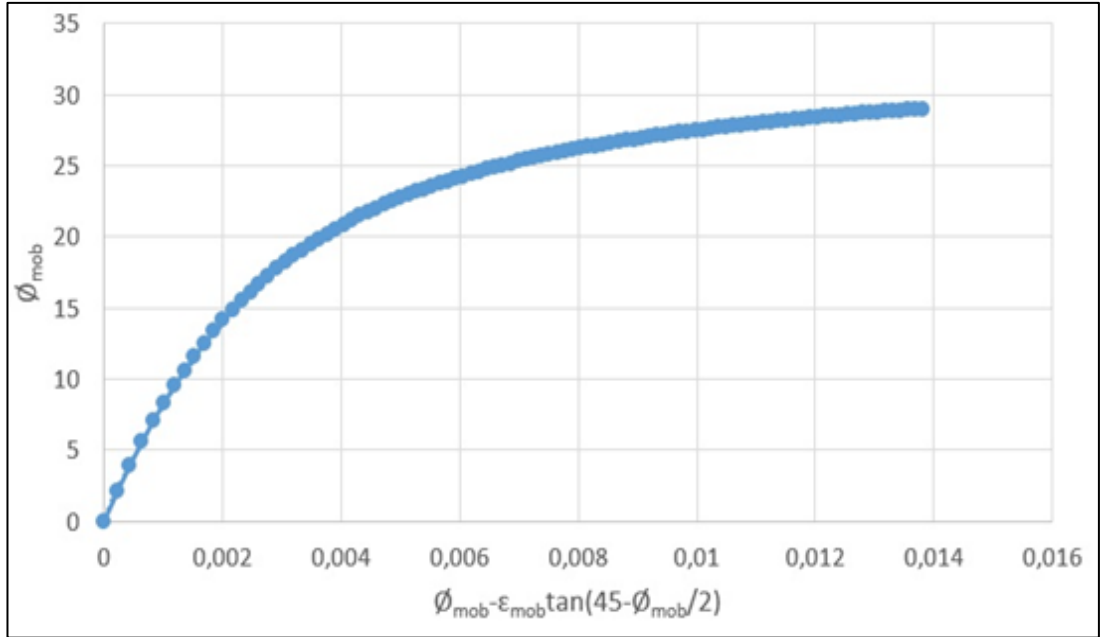
Zemin Sınıfı	Nihai Kayma Direnci Açısı ( $\phi_f$ )	Zemin Birim Hacim Ağırlığı $\gamma$ (kn/m <sup>3</sup> )
Gevşek Kum	29°	17
Orta Sıkı Kum	35°	18
Sıkı Kum	38°	19

## 6.2. $\epsilon_{mob} - \phi_{mob}$ ve $\phi_{mob} - \epsilon_{mob}\tan(45 - \phi_{mob}/2)$ Grafiklerinin Elde Edilmesi

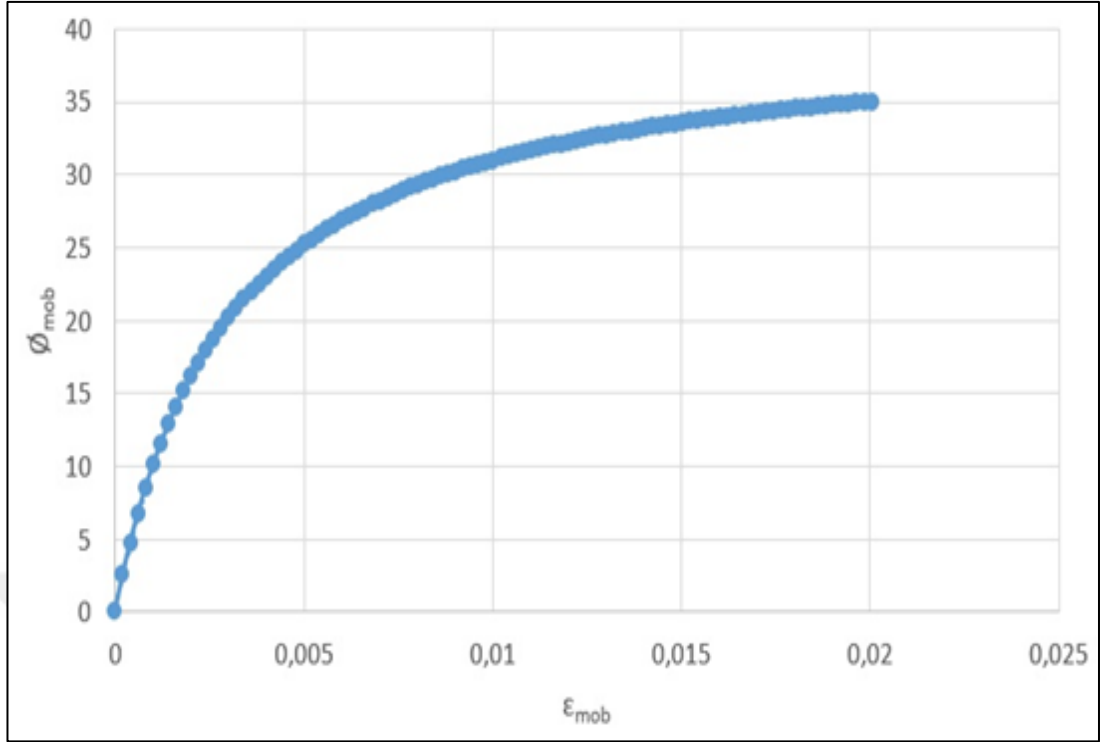
Önerilen hesap yöntemi için ilk adım olan  $\epsilon_{mob} - \phi_{mob}$  ve  $\phi_{mob} - \epsilon_{mob}\tan(45 - \phi_{mob}/2)$  grafikleri Tablo 6.1’de verilen zeminler için Kısım 4.3.1’de anlatıldığı gibi ayrı ayrı hesaplanmıştır.



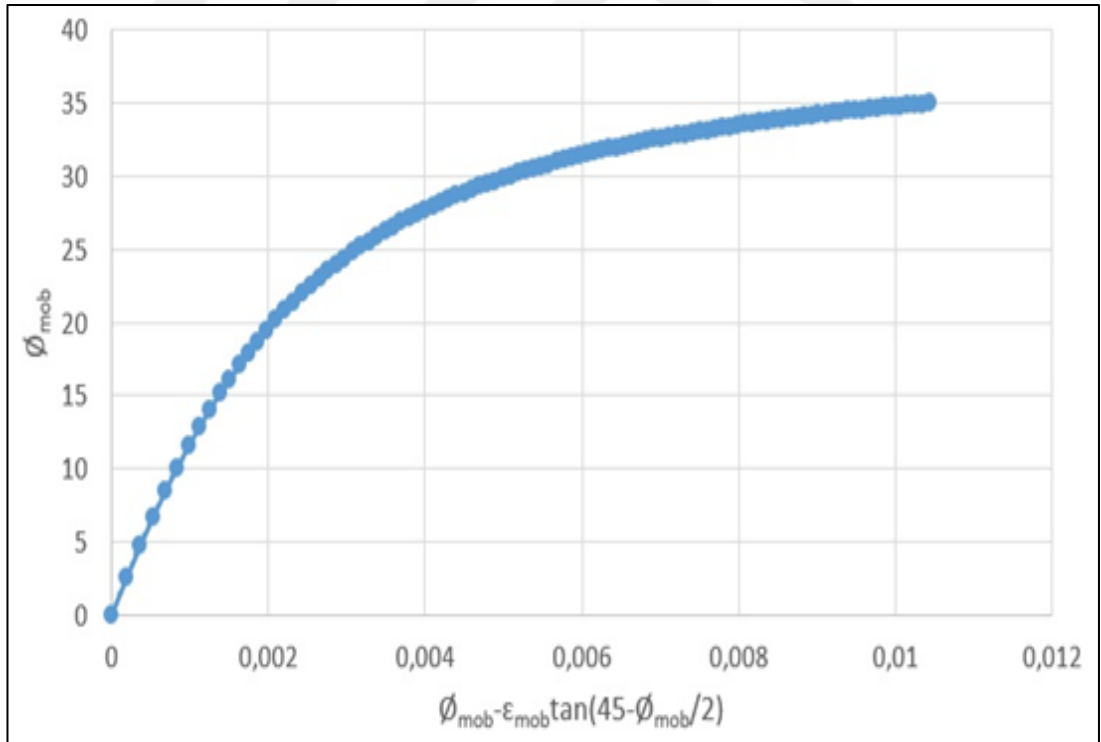
Şekil 6.1. Tablo 6.1’de özellikleri verilen gevşek kum zemin  $\epsilon_{mob} - \phi_{mob}$  grafiği



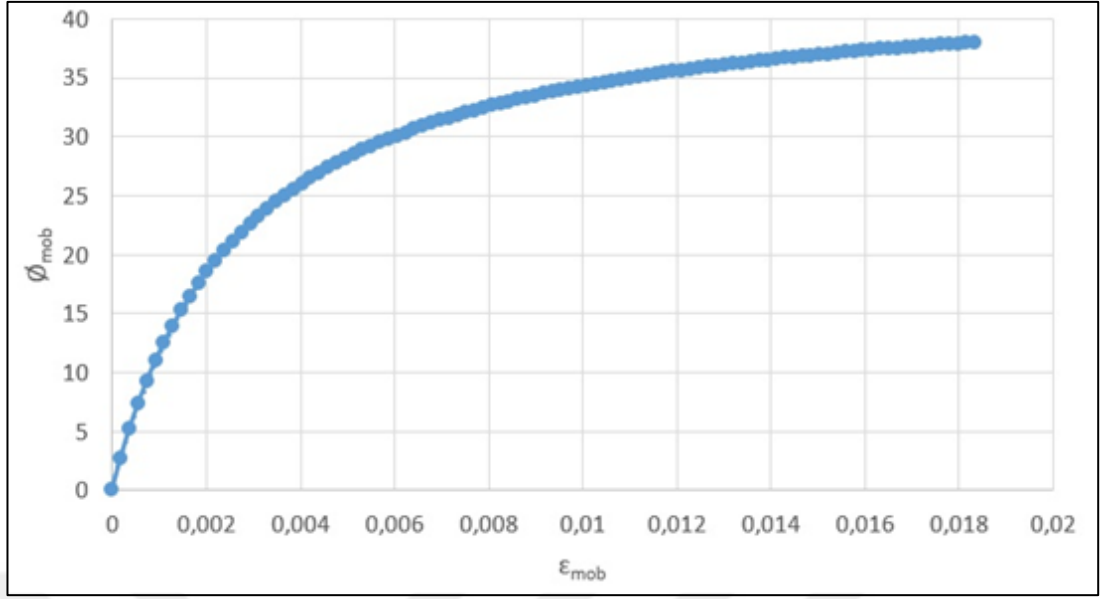
Şekil 6.2. Tablo 6.1’de özellikleri verilen gevşek kum zemin  $\phi_{mob} - \epsilon_{mob}\tan(45 - \phi_{mob}/2)$  grafiği



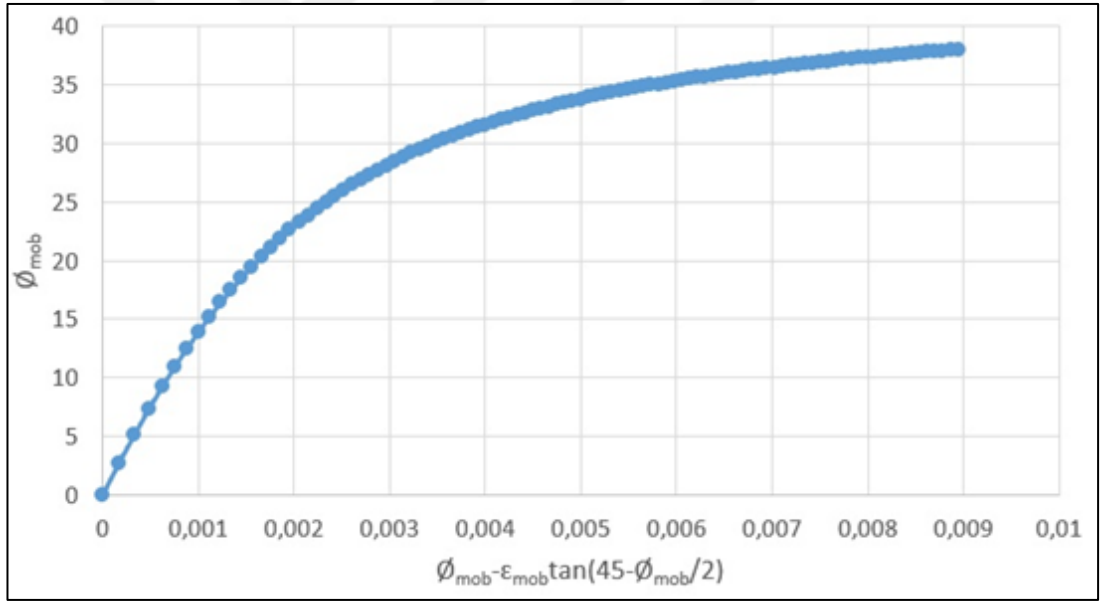
Şekil 6.3. Tablo 6.1’de özellikleri verilen orta sıkı kum zemin  $\epsilon_{mob}$  -  $\phi_{mob}$  grafiği



Şekil 6.4. Tablo 6.1’de özellikleri verilen orta sıkı kum zemin  $\phi_{mob}$ -  $\epsilon_{mob} \tan(45 - \phi_{mob}/2)$  grafiği



Şekil 6.5. Tablo 6.1'de özellikleri verilen sıkı kum zemin  $\epsilon_{mob} - \phi_{mob}$  grafiği



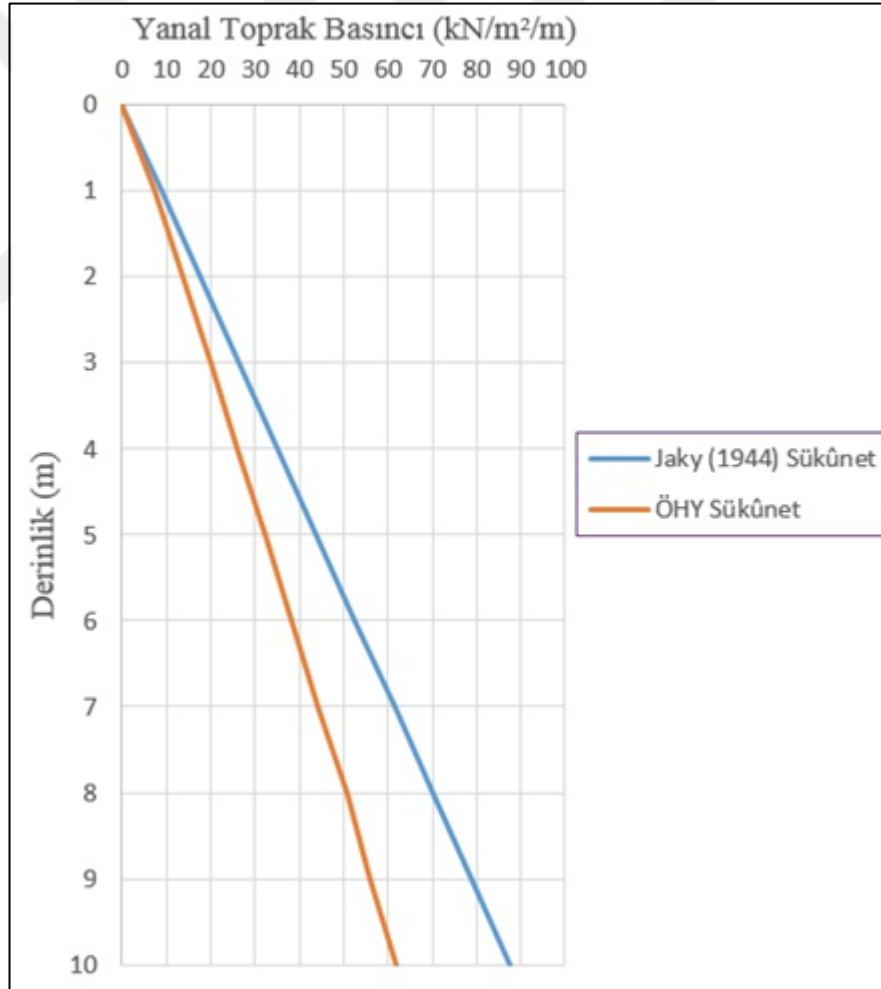
Şekil 6.6. Tablo 6.1'de özellikleri verilen sıkı kum zemin için  $\phi_{mob} - \epsilon_{mob} \tan(45 - \phi_{mob}/2)$  grafiği

### 6.3. Önerilen Hesap Yönteminin Sükûnet Hâlindeki Yanal Toprak Basınçları Açısından İrdelenmesi

Önerilen hesap yönteminde  $\epsilon_{mob} - \phi_{mob}$  ve  $\phi_{mob} - \epsilon_{mob} \tan(45 - \phi_{mob}/2)$  grafiklerinin elde edilmelerinden sonraki adımda iksa sistemi deplasman formu ve şeklinin belirlenmesi gelmekte olup, sükûnet hâli için herhangi bir deplasman durumu söz konusu olmadığından bu adım atlanarak Kısım 4.2.3.1'de anlatılan başlangıç birim

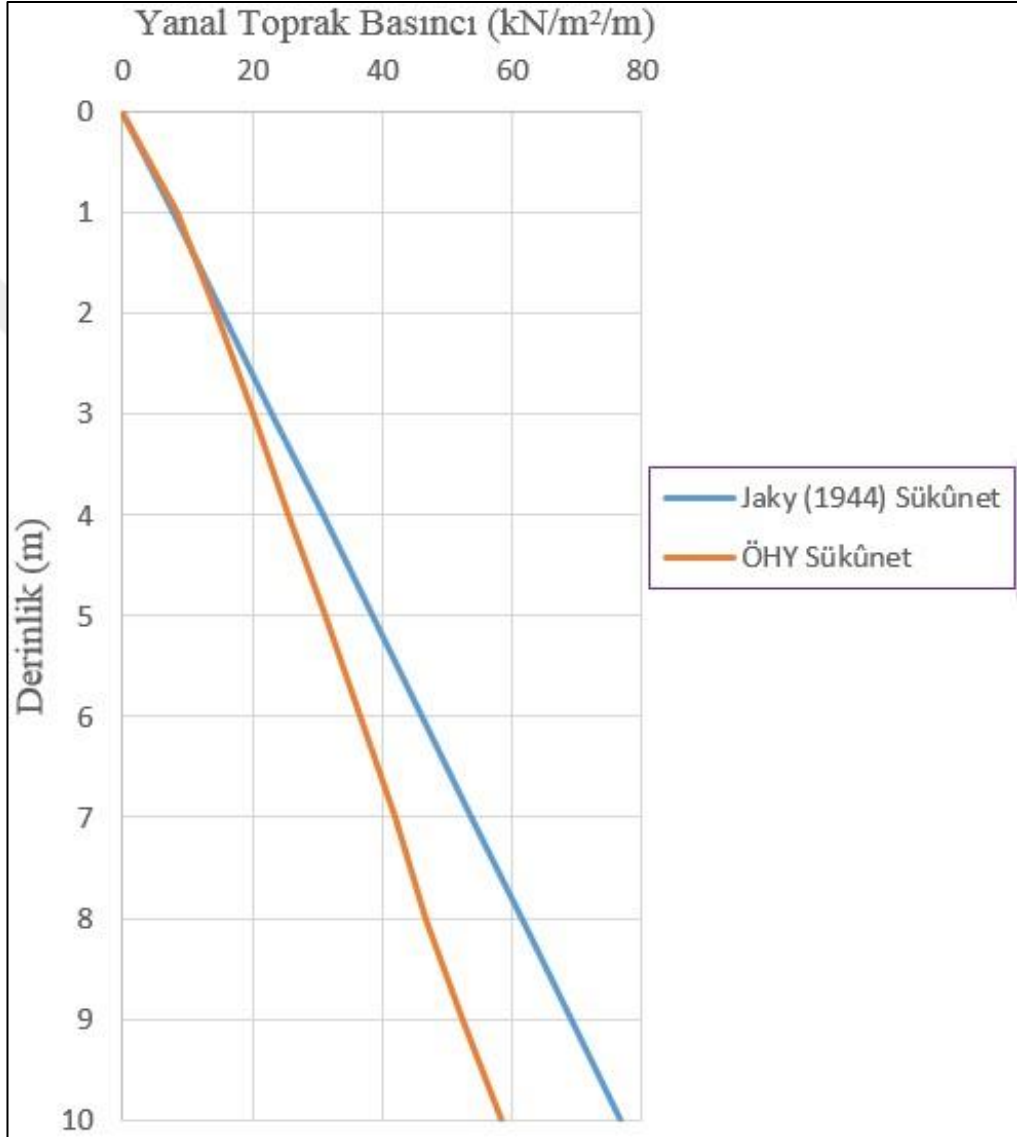


şekil değiştirme değeri ( $\epsilon_{int.}$ ) hesaplanıp, önerilen hesap yönteminde sunulan diğer adımlar takip edilerek Tablo 6.1’de verilen zemin değerleri için 10 m yükseklikli iksa sistemine etki eden sükûnet hali yanal toprak basıncı değerleri hesaplanmıştır. Başlangıç birim şekil değiştirme değerleri ( $\epsilon_{int.}$ ) Kısım 4.2.3.1’de anlatılan Rowe (1954) önerisi kullanılarak hesaplanmış olup, bu değerler kullanılarak hesaplanan yanal toprak basıncı Denklem (1.4) (Jaky, 1944) kullanılarak hesaplanan yanal toprak basıncı değerleri ile kıyaslanmıştır. (Kısım 4.2.3.1’de anlatılan Jaky yaklaşımı başlangıç birim şekilde değiştirme değerinin hesaplanması için alternatif bir yöntem olup, önerilen hesap yöntemi kullanılarak elde edilen yanal toprak basıncı Denklem (1.4) kullanılarak hesaplanan yanal toprak basıncıyla aynı olmaktadır ki bu da beklenen bir durumdur.)



Şekil 6.7. Tablo 6.1’de özellikleri verilen gevşek kum zemin için 10 m yükseklikli iksa sisteminde sükûnet hâli yanal toprak basınçları

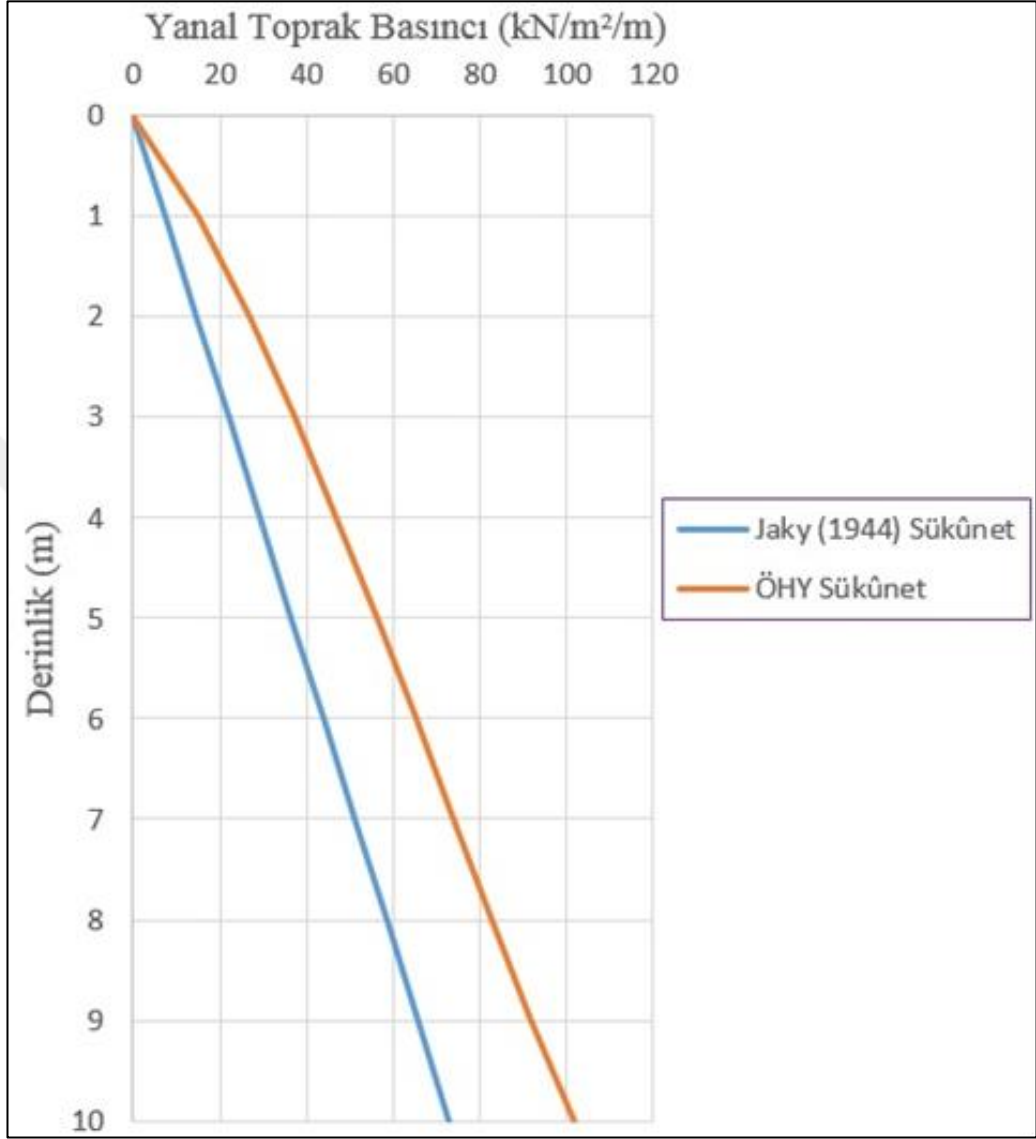
Tablo 6.1’de özellikleri verilen gevşek kum zemin için sığ derinliklerde (0-4 m) önerilen hesap yöntemi ile elde edilen yanıl toprak basıncı Jaky (1944) bağıntısı ile elde edilen yanıl toprak basıncından ortalama olarak % 20 daha küçüktür. Derinlik arttıkça bu değer artmakta olup 9 m derinlik sonrasında %29 mertebelerinde sabit kalmaktadır.



Şekil 6.8. Tablo 6.1’de özellikleri verilen orta sıkı kum zemin için 10 m yükseklikli iksa sisteminde sükûnet hâli yanıl toprak basınçları

Tablo 6.1’de özellikleri verilen orta sıkı kum zemin için sığ derinliklerde (0-4 m) önerilen hesap yöntemi ile elde edilen yanıl toprak basıncı Jaky (1944) bağıntısı ile elde edilen yanıl toprak basıncından ortalama olarak % 2 daha küçüktür. Derinlik

arttıkça bu değer artmakta olup 9 m derinlik sonrasında %14 mertebelerinde sabit kalmaktadır.



Şekil 6.9. Tablo 6.1’de özellikleri verilen sıkı kum zemin için 10 m yükseklikli iksa sisteminde sükûnet hâli yanal toprak basınçları

Tablo 6.1’de özellikleri verilen sıkı kum zemin için sığ derinliklerde (0-4 m) önerilen hesap yöntemi ile elde edilen yanal toprak basıncı Jaky (1944) bağıntısı ile elde edilen yanal toprak basıncından ortalama olarak % 86 daha büyüktür. Derinlik arttıkça bu değer azalmakta olup 9 m derinlik sonrasında %39 mertebelerinde sabit kalmaktadır.

Tablo 6.2. Sükûnet hâlindeki yanal toprak basıncının tez yaklaşımı ve Jaky (1944) yaklaşımına göre karşılaştırılması özeti

Zemin Sınıfı	Sığ Derinlik (0-4m)	9 m ve üzeri Derinlik
Gevşek Kum	%26 ~ %3	%29
Orta Sıkı Kum	%39 ~ %17	%14
Sıkı Kum	%130 ~ %60	%39

\*Tablodaki değerler tez yaklaşımının Jaky (1944) yaklaşımından % cinsinde farklılığıdır.

Tablo 6.2'den de anlaşılacağı üzere başlangıç birim şekil değiştirme değeri yöntem kapsamında sunulan iki farklı yaklaşıma göre hesaplanıp karşılaştırıldığında; üç farklı zemin tipi içinde sığ derinliklerde yüksek farklılıklar göstermekte olup 9 m ve daha alt derinliklerde azalarak sabit kalmaktadır. Rowe [14] çalışmasında sıkı kumlar için önerdiği başlangıç birim şekil değiştirme abaklarının düşük çevre basınçlarında doğru sonuçlar vermediğini belirtmiş olup, bu durum sıkı kum zeminde gevşek ve orta sıkı kum zemine nazaran daha büyük bir farklılık elde edilmesine sebep olarak gösterilebilir.

#### 6.4. Aktif Yanal Toprak Basınçlarının İncelenmesi

İksa sistemine etki eden aktif yanal toprak basınçları kayma veya dönme hareketlerine göre önerilen hesap yöntemi ile ayrı ayrı hesaplanmıştır. Önerilen hesap yöntemi kapsamında başlangıç birim şekil değiştirme değerlerinin ( $\epsilon_{int.}$ ) hesaplanması için sunulan Rowe (1954) ve Jaky (1944) yaklaşımlarına göre elde edilen  $\epsilon_{int.}$  değerleri kullanılarak hesaplanan yanal toprak basınçları ayrı olarak ele alınıp incelenmiştir. Kısım 6.1'de de belirtildiği üzere; inceleme kapsamında zeminin başlangıç birim şekil değiştirme değerini etkileyecek kazı, geri dolgu, sıkıştırma gibi faktörler ihmal edilmiş olup birim şekil değiştirmelerin sadece iksa sistemi deplasmanına bağlı olarak değiştiği kabul edilmiştir.

##### 6.4.1. Kayma hareketinden dolayı oluşan aktif yanal toprak basıncının irdelenmesi

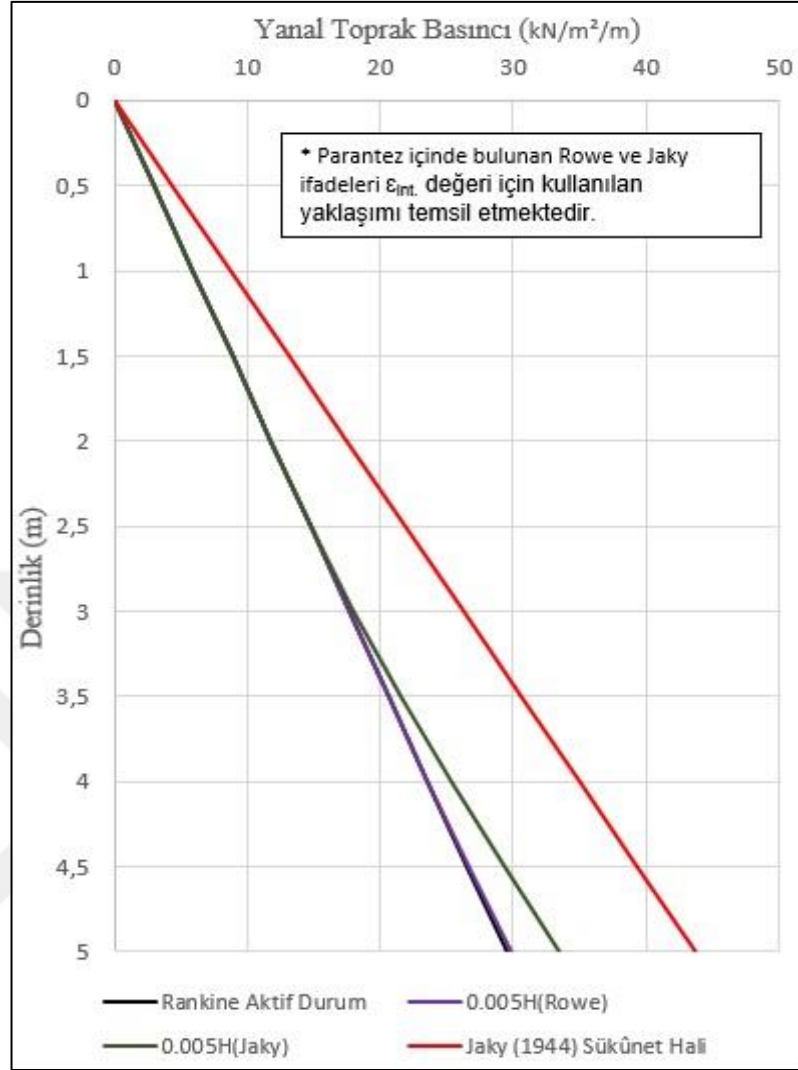
Tablo 6.1'de verilen zemin tiplerine göre çeşitli duvar yüksekliklerinde (3 m ,5 m ve 7 m) çeşitli duvar kayma hareketleri etkisiyle oluşan aktif yanal toprak basınçları tez kapsamında önerilen yöntem kullanılarak hesaplanmış ve nihai kayma direnci açısı kullanılarak Rankine Toprak Basıncı Teorisi'ne göre hesaplanan aktif yanal toprak

basınçları ve Denklem (1.4) (Jaky, 1944) kullanılarak hesaplanan sükûnet hâli yanal toprak basınçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Tablo 6.1’de tanımlanan gevşek kum zeminde başlangıç (sükûnet hali) birim şekil değiştirme ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri için Rowe yaklaşımı kullanılarak çeşitli salt kayma hareketlerinde önerilen hesap yöntemiyle elde edilen sonuçlar irdelendiğinde; yanal toprak basıncı dağılımı açısından Tablo 1.2’de verilen literatür verilerine uygun olarak, 0,005H deplasman değerinde iksa derinliğinin ortalama olarak %90’ında aktif limit denge durumuna ulaşılmaktadır. İksa derinliğinin alt %10’luk kısmında aktif limit denge durumu yanal toprak basıncı değerinden daha büyük bir yanal toprak basıncı elde edilmekte olup, bu fazlalık iksa sistemine etki eden yanal toprak basıncının bileşke kuvveti açısından ele alındığında %0,2 mertebelerinde kalmaktadır.

Diğer yandan başlangıç (sükûnet hali) birim şekil değiştirme ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri için Jaky yaklaşımı kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen sonuçlar irdelendiğinde; 0,005H deplasman değerinde iksa derinliğinin ortalama olarak %50’sinde aktif limit denge durumuna ulaşılmaktadır. İksa derinliğinin alt %50’lik kısmında aktif limit denge durumu yanal toprak basıncı değerinden daha büyük bir yanal toprak basıncı elde edilmekte olup, bu fazlalık iksa sistemine etki eden yanal toprak basıncının bileşke kuvveti açısından ele alındığında %5 mertebelerinde kalmaktadır. Zeminin iksa derinliği boyunca tümünden yenilmesi ise 0,015H deplasman değerinde gerçekleşmekte olup, bu durum Tablo 1.2’de verilen literatür verileri ile farklılık göstermektedir.

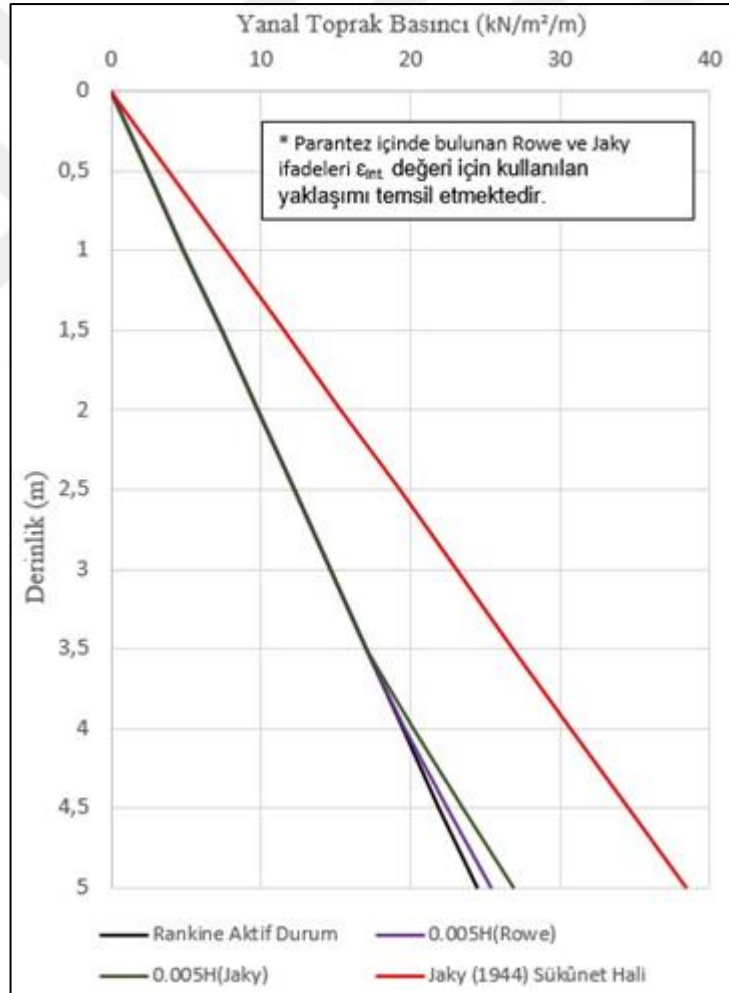
Ayrıyeten Jaky ve Rowe yaklaşımları ile elde edilen ( $\epsilon_{int.}$ ) değerleri için önerilen hesap yöntemi kullanılarak bulunan yanal toprak basınçları arasındaki fark Şekil 6.10’da görülmekte olup; ( $\epsilon_{int.}$ ) değerinin elde edilen sonuçlarda oldukça etkili olduğu görülmektedir. Bununla birlikte önerilen hesap yöntemi, zeminin sükûnet hali ile limit denge durumu arasındaki konumunu incelemekte olup, başlangıç (sükûnet hali) birim şekil değiştirme ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri için gerek Rowe yaklaşımı gerekse Jaky yaklaşımı kullanılarak elde edilen sonuçlar bahsedilen aralıkta kalmaktadır.



Şekil 6.10. Tablo 6.1'deki gevşek kum zemin için 5 m yükseklikli İksa sisteminde 0,005H kayma deformasyonunda ( $\epsilon_{int}$ ) değeri Jaky ve Rowe yaklaşımları kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanal toprak basınçları

Tablo 6.1'de tanımlanan orta sıkı kum zeminde ( $\epsilon_{int}$ ) değeri için Rowe yaklaşımı kullanılarak çeşitli salt kayma hareketlerinde önerilen hesap yöntemiyle elde edilen sonuçlar irdelendiğinde; yanal toprak basıncı dağılımı açısından Tablo 1.2'de verilen literatür verilerine göre orta sıkı kum için 0,0025H deplasman değerinde zeminin tüm derinliklerde yenilmesi beklenirken, 0,005H deplasman değerinde bile zeminin İksa derinliğinin ortalama olarak %80'ninde aktif limit denge durumuna ulaşıldığı görülmüştür. İksa derinliğinin alt %20'lik kısmında aktif limit denge durumu yanal toprak basıncı değerinden daha büyük bir yanal toprak basıncı elde edilmekte olup, bu fazlalık İksa sistemine etki eden yanal toprak basıncının bileşke kuvveti açısından

ele alındığında % 0,5 mertebelerinde kalmaktadır. Diğer yandan ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri için Jaky yaklaşımı kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen sonuçlar irdelendiğinde; 0,005H deplasman değerinde iksa derinliğinin ortalama olarak %70'inde aktif limit denge durumuna ulaşılmaktadır. İksa derinliğinin alt %30'luk kısmında aktif limit denge durumu yanal toprak basıncı değerinden daha büyük bir yanal toprak basıncı elde edilmekte olup, bu fazlalık iksa sistemine etki eden yanal toprak basıncının bileşke kuvveti açısından ele alındığında %3 mertebelerinde kalmaktadır. Ayriyeten Jaky ve Rowe yaklaşımları ile elde edilen ( $\epsilon_{int.}$ ) değerleri için önerilen hesap yöntemi kullanılarak bulunan yanal toprak basınçları arasındaki fark Şekil 6.11'de de görülmektedir.



Şekil 6.11. Tablo 6.1'deki orta sıkı kum zemin için 5 m yükseklikli iksa sisteminde 0,005H kayma deformasyonunda ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri Jaky ve Rowe yaklaşımları kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanal toprak basınçları

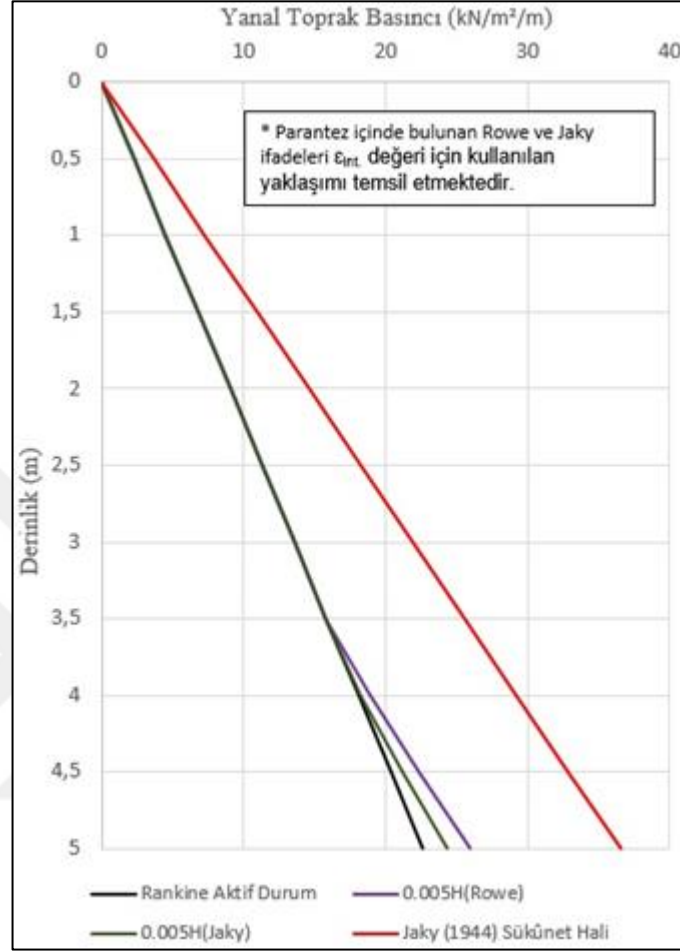
Rowe[14] çalışmasında; sıkı kumlar için önerdiği başlangıç birim şekil değiştirme abağının özellikle düşük çevre basıncı değerlerinde gerçekçi sonuçlar vermediğini belirtmiş olup, çalışma kapsamında orta sıkı kumlarda başlangıç birim şekil değiştirme değerini hesaplamak için kullanılan abak (Şekil 4.6) Rowe [14] abaklarından türetildiğinden söz konusu durumun elde edilen sonuçlarda etkin rol oynadığı anlaşılmaktadır.

Tablo 6.1’de tanımlanan sıkı kum zemin için ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri için Rowe yaklaşımı kullanılarak çeşitli salt kayma hareketlerinde önerilen hesap yöntemiyle elde edilen sonuçlar irdelendiğinde; yanal toprak basıncı dağılımı açısından Tablo 1.2’de verilen literatür verilerine göre sıkı kum için 0,002H deplasman değerinde zeminin tüm derinliklerde yenilmesi beklenirken, 0,005H deplasman değerinde bile zeminin iksa derinliğinin ortalama olarak %70’inde aktif limit denge durumuna ulaşıldığı görülmüştür. İksa derinliğinin alt %30’luk kısmında aktif limit denge durumu yanal toprak basıncı değerinden daha büyük bir yanal toprak basıncı elde edilmekte olup, bu fazlalık iksa sistemine etki eden yanal toprak basıncının bileşke kuvveti açısından ele alındığında % 4 mertebelerinde kalmaktadır. Diğer yandan ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri için Jaky yaklaşımı kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen sonuçlar irdelendiğinde; 0,005H deplasman değerinde iksa derinliğinin ortalama olarak %80’inde aktif limit denge durumuna ulaşılmaktadır. İksa derinliğinin alt %20’lik kısmında aktif limit denge durumu yanal toprak basıncı değerinden daha büyük bir yanal toprak basıncı elde edilmekte olup, bu fazlalık iksa sistemine etki eden yanal toprak basıncının bileşke kuvveti açısından ele alındığında %1,5 mertebelerinde kalmaktadır. Ayriyeten Jaky ve Rowe yaklaşımları ile elde edilen ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri için önerilen hesap yöntemi kullanılarak bulunan yanal toprak basınçları arasındaki fark Şekil 6.12’de de görülmektedir.

Rowe [14] çalışmasında; sıkı kumlar için önerdiği başlangıç birim şekil değiştirme abağının özellikle düşük çevre basıncı değerlerinde gerçekçi sonuçlar vermediğini belirtmiş olup söz konusu durumun elde edilen sonuçlarda etkin rol oynadığı anlaşılmaktadır. Ayriyeten iksa sistemine etki eden yanal toprak basıncı bileşke kuvvetindeki fazlalık, Tablo 6.1’de verilen üç farklı zemin sınıfında ele alınırsa; ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri için Rowe yaklaşımı kullanıldığında gevşek kumda orta sıkı ve sıkı kuma nazaran daha düşük değerde kaldığı, ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri için Jaky yaklaşımı



kullanıldığında ise gevşek kumda orta sıkı ve sıkı kuma nazaran daha büyük değerde kaldığı görülmüştür.



Şekil 6.12. Tablo 6.1'deki sıkı kum zemin için 5 m yükseklikli iksa sisteminde 0,005H kayma deformasyonunda ( $\epsilon_{int}$ ) değeri Jaky ve Rowe yaklaşımları kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanıl toprak basınçları

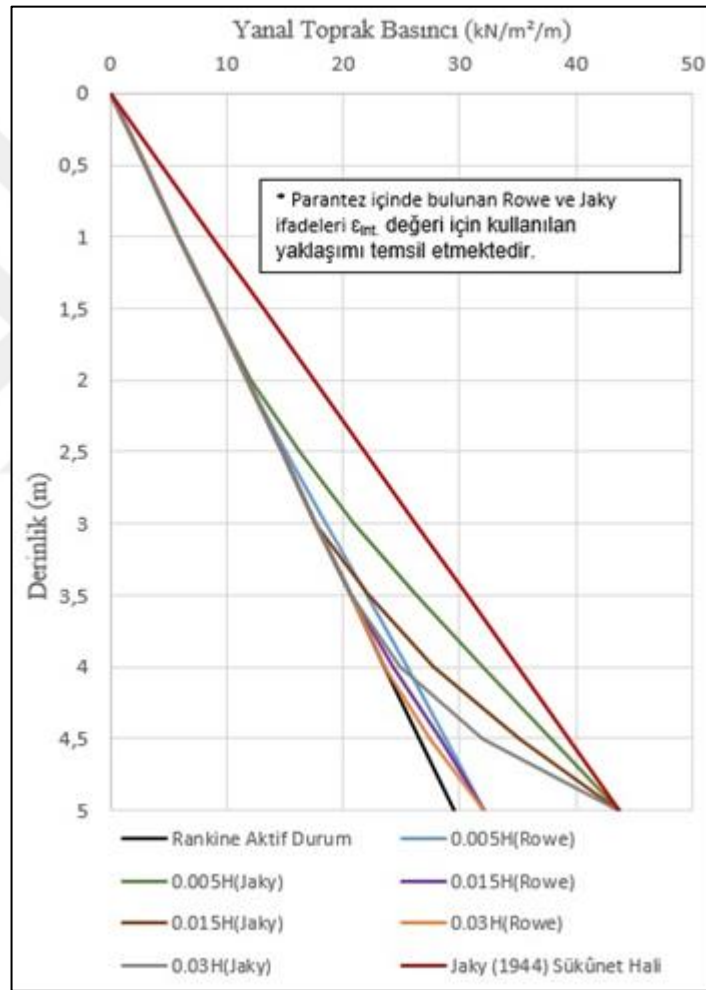
#### 6.4.2. Dönme hareketinden dolayı oluşan aktif yanıl toprak basıncının irdelenmesi

Tablo 6.1'de verilen zemin durumlarına göre çeşitli duvar yüksekliklerinde (3 m ,5 m ve 7 m) çeşitli duvar dönme hareketleri etkisiyle oluşan aktif yanıl toprak basınçları tez kapsamında önerilen yöntem kullanılarak hesaplanmış ve nihai kayma direnci açısı kullanılarak Rankine Toprak Basıncı Teorisi'ne göre hesaplanan aktif yanıl toprak basınçları ve Denklem (1.4) (Jaky 1944) kullanılarak hesaplanan sükûnet hâli yanıl toprak basınçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Tablo 6.1’de tanımlanan gevşek kum zemin için ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri için Rowe yaklaşımı kullanılarak çeşitli salt dönme hareketlerinde önerilen hesap yöntemiyle elde edilen sonuçlar irdelendiğinde; yanal toprak basıncı dağılımı açısından Tablo 1.2’de verilen literatür verilerine göre, gevşek kum için 0,004H deplasman değerinde zeminin tüm derinliklerde yenilmesi beklenirken, 0,005H deplasman değerinde zeminin iksa derinliğinin ortalama olarak %40’ında aktif limit denge durumuna ulaşılmış olup, 0,03H gibi çok yüksek deplasman değerinde bile iksa derinliğinin %80’inde aktif limit denge durumuna ulaşılırken iksa derinliğinin alt %20’lik kısmında kısmında aktif limit denge durumuna ulaşamamıştır. Ayriyeten iksa derinliğinin son %10’luk kısmında hiçbir derinlik ve deplasman değerinde aktif limit denge durumuna ulaşamamaktadır. 0,005H deplasman değerinde iksa derinliğinin alt %60’lık kısmında aktif limit denge durumu yanal toprak basıncı değerinden daha büyük bir yanal toprak basıncı elde edilmekte olup, bu fazlalık iksa sistemine etki eden yanal toprak basıncının bileşke kuvveti açısından ele alındığında % 8 mertebelerinde kalmaktadır. Deplasman miktarı arttıkça bileşke kuvvet değerindeki fazlalık azalmakta olup, 0,03H deplasman değerinde %1 mertebelerine düşmüştür.

Diğer yandan ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri için Jaky yaklaşımı kullanılarak çeşitli salt dönme hareketlerinde önerilen hesap yöntemiyle elde edilen sonuçlar irdelendiğinde; 0,004H deplasman değerinde zeminin tüm derinliklerde yenilmesi beklenirken, 0,005H deplasman değerinde zeminin iksa derinliğinin ortalama olarak %30’unda aktif limit denge durumuna ulaşılmış olup, 0,03H gibi çok yüksek deplasman değerinde bile iksa derinliğinin %70’inde aktif limit denge durumuna ulaşılırken iksa derinliğinin alt %30’luk kısmında aktif limit denge durumuna ulaşamamıştır. Ayriyeten iksa derinliğinin son %10’luk kısmında hiçbir derinlik ve deplasman değerinde aktif limit denge durumuna ulaşamamaktadır. 0,005H deplasman değerinde iksa derinliğinin alt %60’lık kısmında aktif limit denge durumu yanal toprak basıncı değerinden daha büyük bir yanal toprak basıncı elde edilmekte olup, bu fazlalık iksa sistemine etki eden yanal toprak basıncının bileşke kuvveti açısından ele alındığında % 26 mertebelerinde kalmaktadır. Deplasman miktarı arttıkça bileşke kuvvet değerindeki fazlalık azalmakta olup, 0,03H deplasman değerinde %9 mertebelerine düşmüştür.

Şekil 6.13'te de görüleceği üzere Jaky yaklaşımı ile elde edilen ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri için önerilen hesap yöntemi kullanılarak bulunan yanal toprak basınçları, Rowe yaklaşımı ile elde edilen ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri kullanılarak bulunan yanal toprak basınçlarından daha büyük olup Jaky (1944) sükûnet hâli yanal toprak basıncı değerine daha yakındır. Dönme hareketinden sebep ötelenme miktarı ( $\Delta_r$ ) iksa derinliği en alt noktasında 0 olduğundan, Jaky yaklaşımı ile elde edilen ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri kullanılarak bulunan yanal toprak basınçları iksa derinliği en alt noktasında Jaky (1944) sükûnet hâli yanal toprak basıncı değerine eşit olmaktadır ve bu da beklenen bir durumdur.



Şekil 6.13. Tablo 6.1'deki gevşek kum zemin için 5 m yükseklikli iksa sisteminde çeşitli dönme deformasyonlarında ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri Jaky ve Rowe yaklaşımları kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanal toprak basınçları

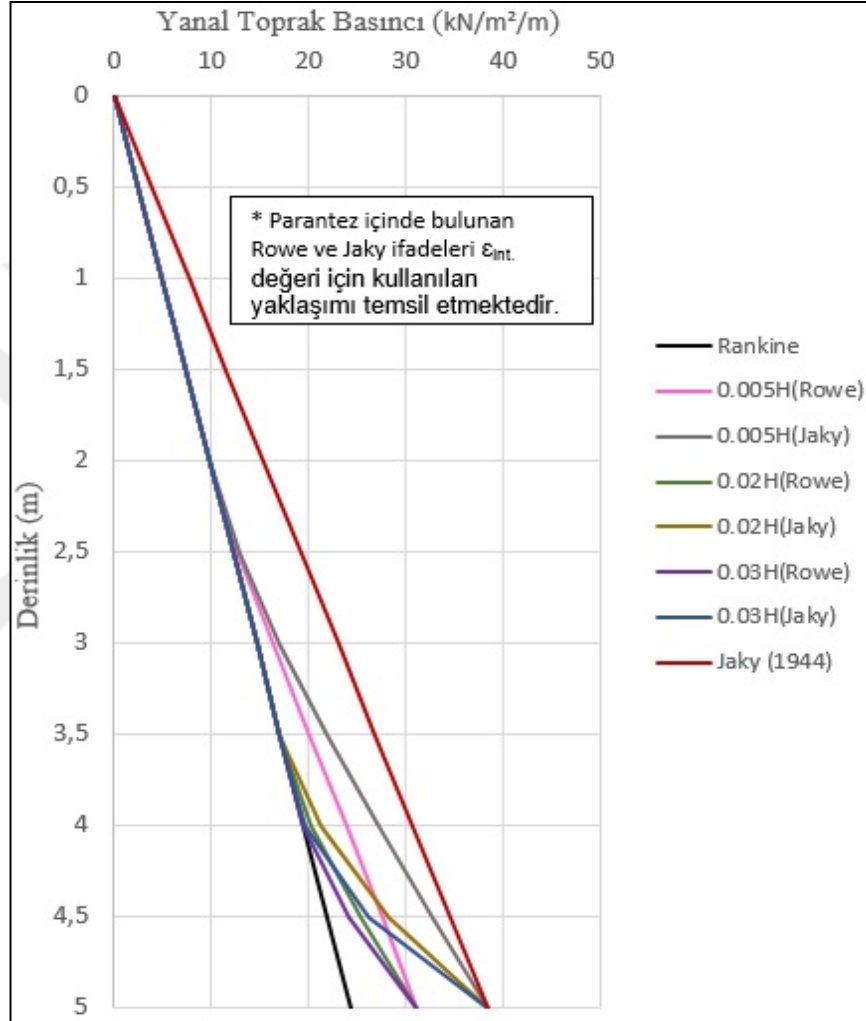
Tablo 6.1'de tanımlanan orta sıkı kum zemin için ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri için Rowe yaklaşımı kullanılarak çeşitli salt dönme hareketlerinde önerilen hesap yöntemiyle elde edilen

sonuçlar irdelendiğinde; yanal toprak basıncı dağılımlı açısından Tablo 1.2’de verilen literatür verilerine göre orta sıkı kum için 0,0025H deplasman değerinde zeminin tüm derinliklerde yenilmesi beklenirken, 0,005H deplasman değerinde zeminin iksa derinliğinin ortalama olarak %40’ında aktif limit denge durumuna ulağılmığ olup, 0,03H gibi çok yüksek deplasman değerinde bile iksa derinliğinin %80’inde aktif limit denge durumuna ulağılırken iksa derinliğinin alt %20’lik kısmında aktif denge limit denge durumuna ulağılamamığtır. Ayyeten iksa derinliğinin son %10’luk kısmında hiçbir derinlik ve deplasman değerinde aktif limit denge durumuna ulağılamamaktadır. 0,005H deplasman değerinde iksa derinliğinin alt %60’lık kısmında aktif limit denge durumu yanal toprak basıncı değerinden daha büyük bir yanal toprak basıncı elde edilmekte olup, bu fazlalık iksa sistemine etki eden yanal toprak basıncının bileğke kuvveti açısından ele alındığında % 20 mertebelerinde kalmaktadır. Deplasman miktarı arttıa bileğke kuvvet değerindeki fazlalık azalmakta olup 0,03H deplasman değerinde %4 mertebelerine dĞmĞtr.

Diğer yandan ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri için Jaky yaklağımı kullanılarak eğitli salt dönme hareketlerinde önerilen hesap yöntemiyle elde edilen sonuçlar irdelendiğinde; 0,004H deplasman değerinde zeminin tüm derinliklerde yenilmesi beklenirken, 0,005H deplasman değerinde zeminin iksa derinliğinin ortalama olarak %40’ında aktif limit denge durumuna ulağılmığ olup, 0,03H gibi çok yüksek deplasman değerinde bile iksa derinliğinin %80’inde aktif limit denge durumuna ulağılırken iksa derinliğinin alt %20’lik kısmında aktif limit denge durumuna ulağılamamığtır. Ayyeten iksa derinliğinin son %10’luk kısmında hiçbir derinlik ve deplasman değerinde aktif limit denge durumuna ulağılamamaktadır. 0,005H deplasman değerinde iksa derinliğinin alt %60’lık kısmında aktif limit denge durumu yanal toprak basıncı değerinden daha büyük bir yanal toprak basıncı elde edilmekte olup, bu fazlalık iksa sistemine etki eden yanal toprak basıncının bileğke kuvveti açısından ele alındığında % 28 mertebelerinde kalmaktadır. Deplasman miktarı arttıa bileğke kuvvet değerindeki fazlalık azalmakta olup 0,03H deplasman değerinde %10 mertebelerine dĞmĞtr.

Şekil 6.14’te de görüleceği üzere Jaky yaklağımı ile elde edilen ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri için önerilen hesap yöntemi kullanılarak bulunan yanal toprak basınçları, Rowe yaklağımı ile elde edilen ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri kullanılarak bulunan yanal toprak basınçlarından daha

büyük olup Jaky (1944) sükûnet hâli yanal toprak basıncı değerine daha yakındır. Dönme hareketinden sebep ötelenme miktarı ( $\Delta_r$ ) iksa derinliği en alt noktasında 0 olduğundan Jaky yaklaşımı ile elde edilen ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri kullanılarak bulunan yanal toprak basınçları iksa derinliği en alt noktasında Jaky (1944) sükûnet hâli yanal toprak basıncı değerine eşit olmaktadır ve bu da beklenen bir durumdur.



Şekil 6.14. Tablo 6.1'deki orta sıkı kum zemin için 5 m yükseklikli iksa sisteminde çeşitli dönme deformasyonlarında ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri Jaky ve Rowe yaklaşımları kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanal toprak basınçları

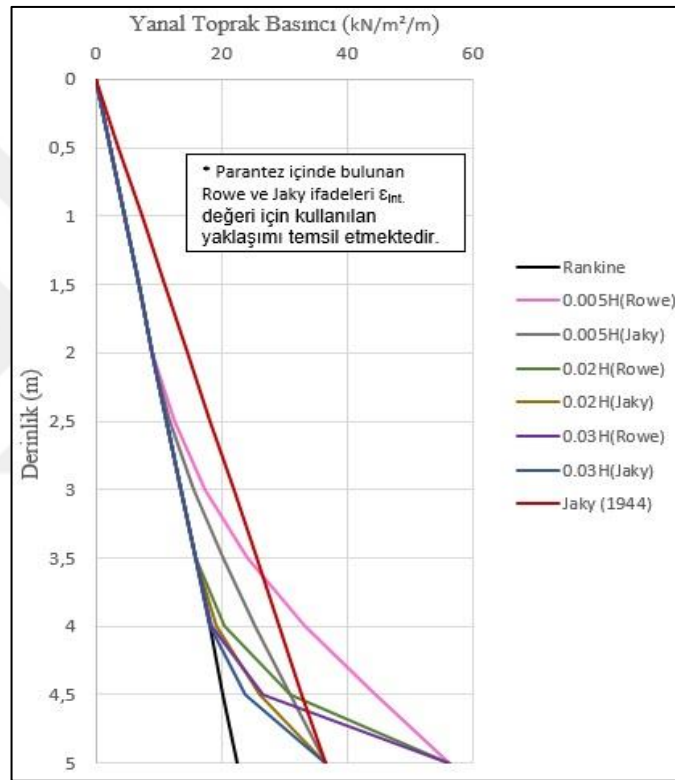
Ayrıyeten Jaky ve Rowe yaklaşımları ile elde edilen ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri için önerilen hesap yöntemi kullanılarak bulunan yanal toprak basınçları arasındaki fark Şekil 6.14'te de görülmektedir. Rowe [14] çalışmasında; sıkı kumlar için önerdiği başlangıç birim şekil değiştirme abağının özellikle düşük çevre basıncı değerlerinde gerçekçi sonuçlar vermediğini belirtmiş olup, çalışma kapsamında orta sıkı kumlarda

başlangıç birim şekil değıştirme değeri hesaplamak için kullanılan abak (Şekil 4.6) Rowe [14] abaklarından türetildiğinden söz konusu durumun elde edilen sonuçlarda etkin rol oynadığı anlaşılmaktadır.

Tablo 6.1’de tanımlanan sıkı kum zemin için ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri için Rowe yaklaşımı kullanılarak çeşitli salt dönme hareketlerinde önerilen hesap yöntemiyle elde edilen sonuçlar irdelendiğinde; yanal toprak basıncı dağılımı açısından Tablo 1.2’de verilen literatür verilerine göre sıkı kum için 0,002H deplasman değeri zeminin tüm derinliklerde yenilmesi beklenirken, 0,005H deplasman değeri zeminin iksa derinliğinin ortalama olarak %40’ında aktif limit denge durumuna ulaşılmış olup, 0,03H gibi çok yüksek deplasman değeri bile iksa derinliğinin %70’inde aktif limit denge durumuna ulaşılırken iksa derinliğinin tümünde hiçbir deplasman değeri aktif limit denge durumuna ulaşamamıştır. 0,005H deplasman değeri iksa derinliğinin alt %60’lık kısmında aktif limit denge durumu yanal toprak basıncı değeri daha büyük bir yanal toprak basıncı elde edilmekte olup, bu fazlalık iksa sistemine etki eden yanal toprak basıncının bileşke kuvveti açısından ele alındığında % 69 mertebelerinde kalmaktadır. Deplasman miktarı arttıkça bileşke kuvvet değeri fazlalık azalmakta olup 0,03H deplasman değeri % 19 mertebelerine düşmüştür.

Diğer yandan ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri için Jaky yaklaşımı kullanılarak çeşitli salt dönme hareketlerinde önerilen hesap yöntemiyle elde edilen sonuçlar irdelendiğinde; 0,002H deplasman değeri zeminin tüm derinliklerde yenilmesi beklenirken, 0,005H deplasman değeri zeminin iksa derinliğinin ortalama olarak %40’ında aktif limit denge durumuna ulaşılmış olup, 0,03H gibi çok yüksek deplasman değeri bile iksa derinliğinin %80’inde aktif limit denge duruma ulaşılırken iksa derinliğinin tamamında hiçbir deplasman değeri aktif limit denge durumuna ulaşamamıştır. 0,005H deplasman değeri iksa derinliğinin alt %60’lık kısmında aktif limit denge durumu yanal toprak basıncı değeri daha büyük bir yanal toprak basıncı elde edilmekte olup, bu fazlalık iksa sistemine etki eden yanal toprak basıncının bileşke kuvveti açısından ele alındığında % 28 mertebelerinde kalmaktadır. Deplasman miktarı arttıkça bileşke kuvvet değeri fazlalık azalmakta olup 0,03H deplasman değeri %9 mertebelerine düşmüştür.

Şekil 6.15'te de görüleceği üzere Jaky yaklaşımı ile elde edilen ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri için önerilen hesap yöntemi kullanılarak bulunan yanal toprak basınçları, Rowe yaklaşımı ile elde edilen ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri kullanılarak bulunan yanal toprak basınçlarından daha büyük olup Jaky (1944) sükûnet hâli yanal toprak basıncı değerine daha yakındır. Dönme hareketinden sebep ötelenme miktarı ( $\Delta_r$ ) iksa derinliği en alt noktasında 0 olduğundan Jaky yaklaşımı ile elde edilen ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri kullanılarak bulunan yanal toprak basınçları iksa derinliği en alt noktasında Jaky (1944) sükûnet hâli yanal toprak basıncı değerine eşit olmaktadır ve bu da beklenen bir durumdur.



Şekil 6.15. Tablo 6.1'deki sıkı kum zemin için 5 m yükseklikli iksa sisteminde çeşitli dönme deformasyonlarında ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri Jaky ve Rowe yaklaşımları kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanal toprak basınçları

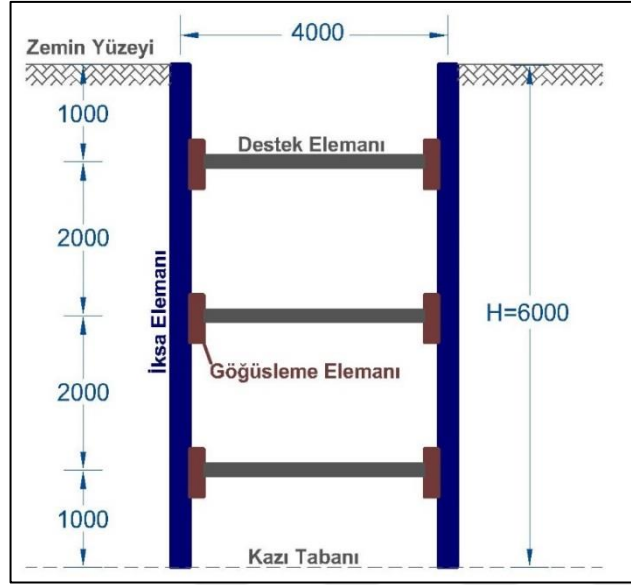
Ayrıyeten Jaky ve Rowe yaklaşımları ile elde edilen ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri için önerilen hesap yöntemi kullanılarak bulunan yanal toprak basınçları arasındaki fark Şekil 6.15'te de görülmektedir. Rowe [14] çalışmasında; sıkı kumlar için önerdiği başlangıç birim şekil değiştirme abağının özellikle düşük çevre basıncı değerlerinde gerçekçi sonuçlar vermediğini belirtmiş olup, söz konusu durumun elde edilen sonuçlarda etkin rol oynadığı anlaşılmaktadır.

## 6.5. Önerilen Hesap Yönteminin İçten Destekli İksa Sistemlerin Tasarımında Kullanılması Bakımından İrdelenmesi

Tez kapsamında önerilen yöntemin içten destekli iksa sistemlerinin tasarımında kullanımı; tez kapsamında önerilen yöntem, zeminin başlangıç birim şekil değiştirme ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri ve iksa sisteminin yapmış olduğu deplasmandan (kayma, dönme veya kayma ve dönmenin süperpozesi) sebep gelişen birim şekil değiştirme ( $\epsilon_{mob}$ ) değerlerine bağlı olarak hesaplama yaptığından ve içten destekli iksa sistemlerine imalat yöntemi açısından bakıldığında, söz konusu birim şekil değiştirme değerlerinden daha farklı bir etki sebebiyle gelişen birim şekil değiştirme değeri genel olarak beklenmediğinden oldukça uygundur. Bu kapsamda, Şekil 6.16'da verilen iksa sistemine etki eden yanal toprak basınçları, Tablo 6.1'de verilen zemin sınıflarında, önerilen hesap yöntemi (başlangıç birim şekil değiştirme değeri için Kısım 4.2.3.1'de anlatılan yaklaşımlara göre ayrı ayrı olarak) ile hesaplanarak, 2.Bölüm'de anlatılan ve yaygın olarak kullanılan literatürdeki görünür toprak basıncı dağılımları (Japanese A-F yönetmelikleri için yanal toprak basıncı katsayısı "K" 0,3 , Japanese B yönetmeliği için 0,25 ve Tschebotarioff önerisi için 0,25 olarak alınmıştır.) kullanılarak hesaplanan yanal toprak basınçlarıyla karşılaştırılmıştır. Ayriyeten elde edilen yanal toprak basınçları kullanılarak yine 2.Bölüm'de anlatılan destek elemanlarına gelen yükleri hesaplamak için kullanılan yöntemlerle ("Hinge Method" ve "Tributary Area Method") destek elemanlarına gelen yükler hesaplanarak (Destek elemanı yükleri hesaplanırken destek elemanları arası mesafe 1 m olarak kabul edilmiştir.) tasarıma esas en büyük destek elemanı yükleri karşılaştırılmıştır.

İçten destekli iksa sistemlerinde göğüsleme elamanı ve iksa (kaplama elamanı) elamanında meydana gelen kesit tesirleri destek yükleri kullanılarak hesaplandığından çalışma kapsamında sadece destek elemanlarına etki eden kuvvetlerin karşılaştırılması yeterli görülmüştür. Tablo 6.1'de verilen zeminler için Kısım 5.3'te detayları anlatılan deformasyon şekli seçilmiştir. Seçilen deformasyon şekli için Tablo 6.1'deki zemin tiplerine göre belirlenen deformasyon miktarları Tablo 6.3'te verilmiştir. Belirlenen deformasyon miktarları Tablo 1.2'de verilen literatür verilerine göre yenilmeye sebebiyet vermeyen değerlerdir.

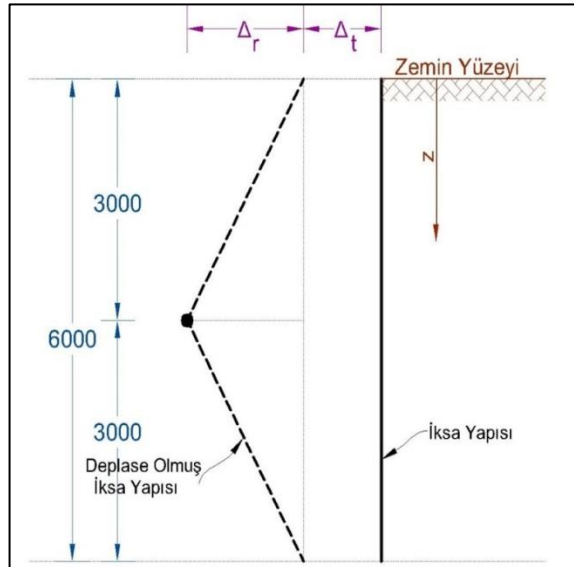




Şekil 6.16. Önerilen hesap yöntemi için örnek olarak seçilen içten destekli iksa sistemi kesiti

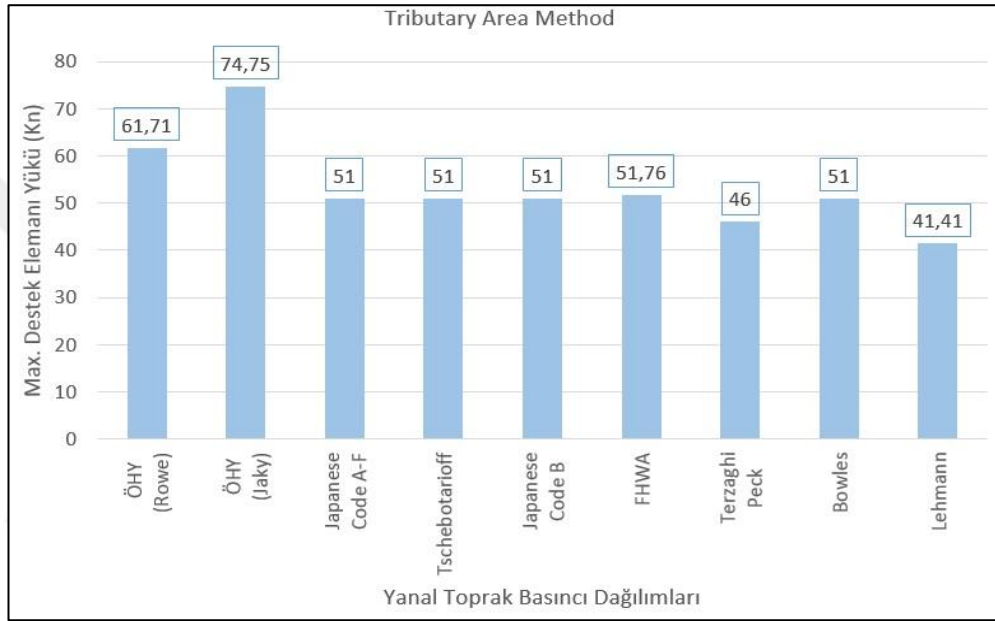
Tablo 6.3. Önerilen hesap yönteminin içten destekli iksa sistemlerinin tasarımında irdelenmesi açısından Tablo 6.1’de zemin tiplerine göre belirlenen deformasyon miktarları

Zemin Tipi	İksa Sistemi Ötelenme Miktarı ( $\Delta_t$ ) (mm)	İksa Sistemi Dönme Miktarı ( $\Delta_r$ ) (mm)	Toplam Ötelenme Miktarı ( $\Delta$ ) (mm)	Deplasman Oranı $\Delta/H$
Gevşek Kum	8,4	12,6	21	0,0035
Orta Sıkı Kum	4,8	7,2	12	0,0020
Sıkı Kum	3,6	5,4	9	0,0015



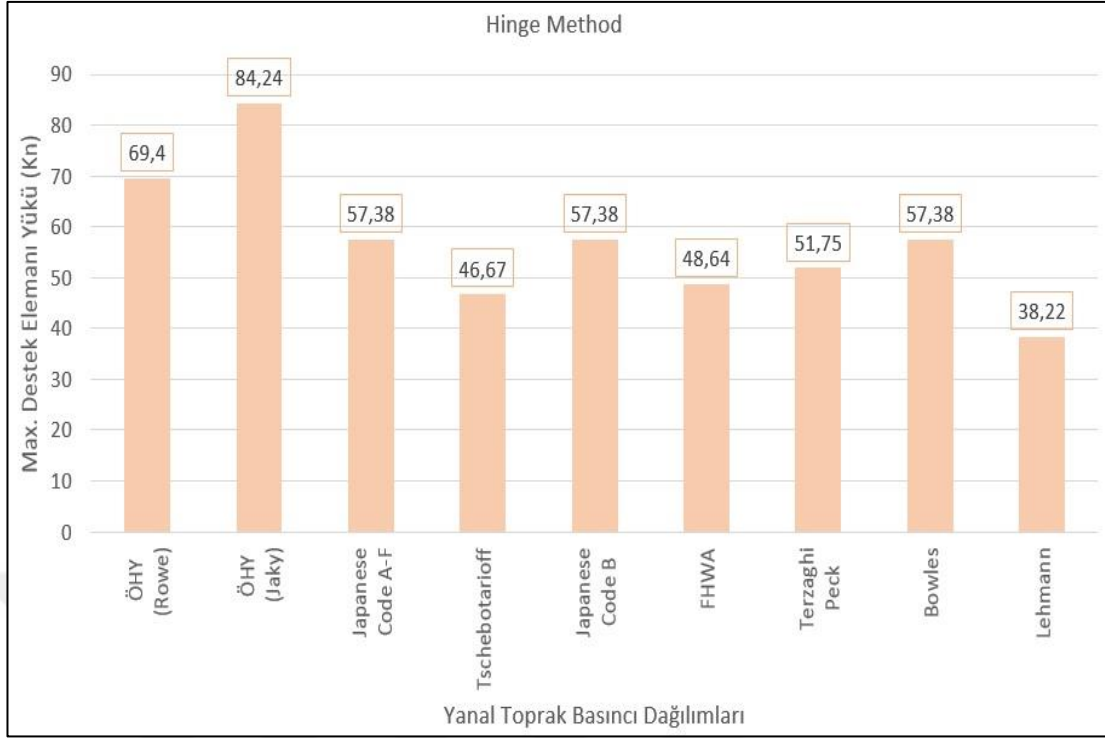
Şekil 6.17. Önerilen hesap yöntemi için örnek olarak seçilen içten destekli iksa sistemi deformasyon şekli

Şekil 6.18’de görüleceği üzere önerilen hesap yöntemi ile başlangıç birim şekil değiştirme değeri için 4.2.3.1’de anlatılan Rowe yaklaşımı kullanılarak “Tributary Area Method” ile hesaplanan en büyük destek elemanı yükleri 2.Bölümde anlatılan ve literatürde yaygınca kullanılan yöntemlerle elde edilen en büyük destek elemanı yüklerinden ortalama olarak %26 daha fazladır. Başlangıç birim şekil değiştirme değeri için 4.2.3.1’de anlatılan Jaky yaklaşımı kullanıldığında ise bu fazlalık %52 mertebesindedir.



Şekil 6.18. Tablo 6.1’de özellikleri verilen gevşek kum zemin için tez kapsamında önerilen yöntemle göre “tributary area method” ile hesaplanan maksimum destek elemanı yükünün literatürdeki diğer yöntemlerle karşılaştırması

Şekil 6.19’da görüleceği üzere önerilen hesap yöntemi ile başlangıç birim şekil değiştirme değeri için 4.2.3.1’de anlatılan Rowe yaklaşımı kullanılarak “Hinge Method” ile hesaplanan en büyük destek elemanı yükleri 2.Bölümde anlatılan ve literatürde yaygınca kullanılan yöntemlerle elde edilen en büyük destek elemanı yüklerinden ortalama olarak %36 daha fazladır. Başlangıç birim şekil değiştirme değeri için 4.2.3.1’de anlatılan Jaky yaklaşımı kullanıldığında ise bu fazlalık %65 mertebesindedir. Gerek “Hinge Method” gerekse “Tributary Area Method” ile yapılan hesaplamalarda başlangıç birim şekil değiştirme değerinin elde edilen sonuçlarda oldukça etkili olduğu görülmektedir.

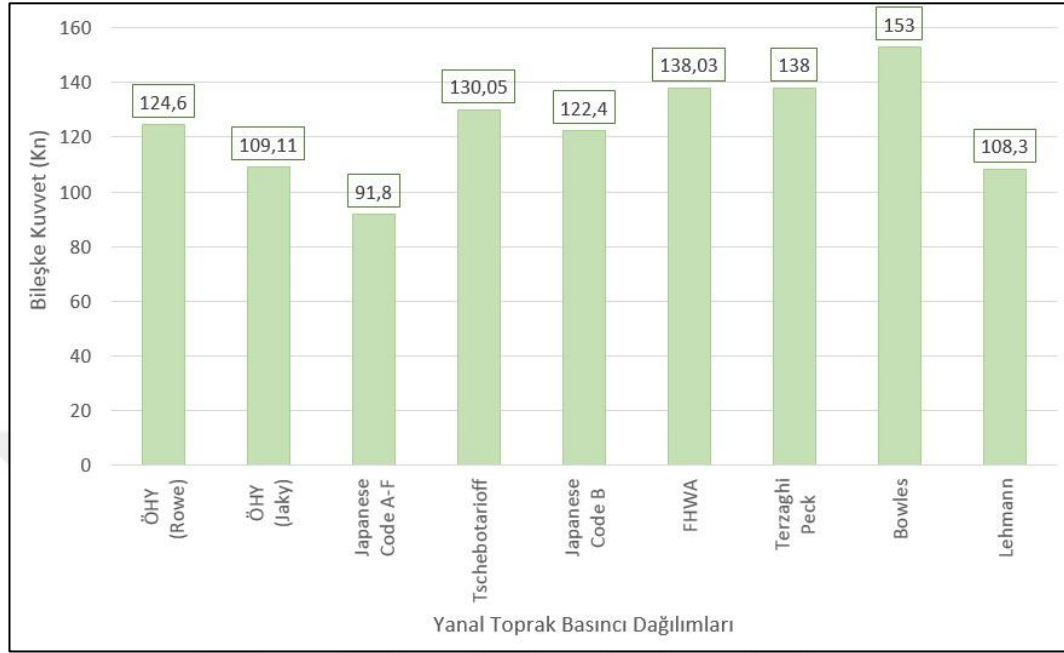


Şekil 6.19. Tablo 6.1’de özellikleri verilen gevşek kum zemin için tez kapsamında önerilen yöntemle göre “hinge method” ile hesaplanan maksimum destek elemanı yükünün literatürdeki diğer yöntemlerle karşılaştırması

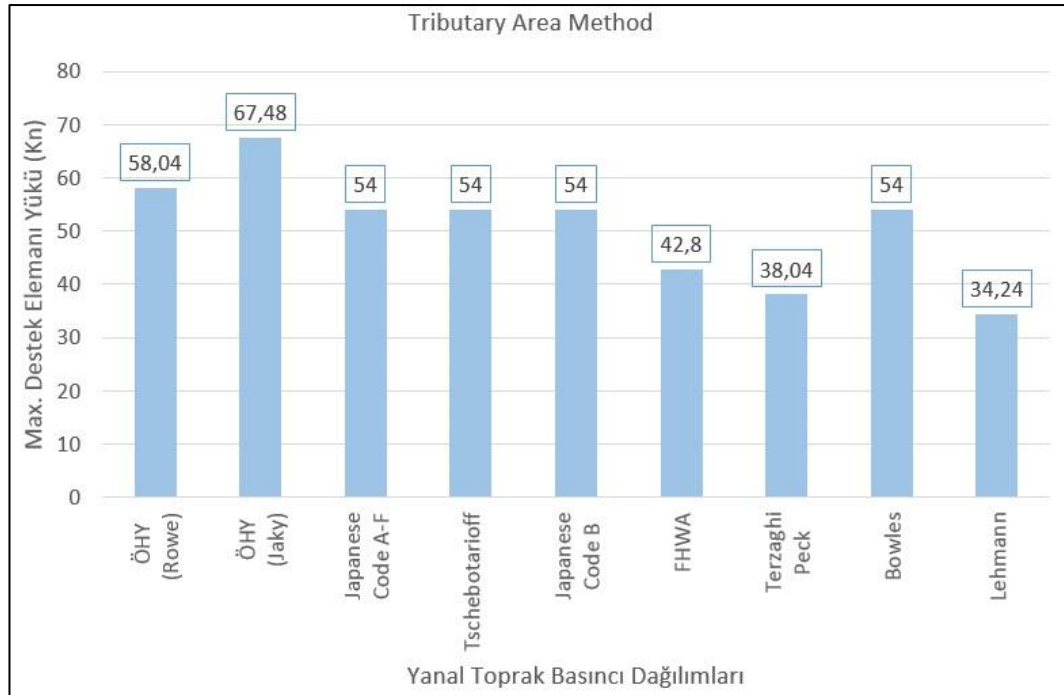
Şekil 6.20’de görüleceği üzere önerilen hesap yöntemi ile başlangıç birim şekil değiştirme değeri için 4.2.3.1’de anlatılan Rowe yaklaşımı kullanılarak hesaplanan bileşke kuvvet 2.Bölümde anlatılan ve literatürde yaygınca kullanılan yöntemlerle elde bileşke kuvvet değerinden ortalama olarak %2 daha küçüktür. Başlangıç birim şekil değiştirme değeri için 4.2.3.1’de anlatılan Jaky yaklaşımı kullanıldığında ise elde edilen bileşke kuvvet değeri literatürde yaygınca kullanılan yöntemlerle elde bileşke kuvvet değerinden ortalama olarak %14 daha küçüktür. Bileşke kuvvet için yapılan karşılaştırmada “Hinge Method” ve “Tributary Area Method” ayırımına girilmemiştir. Bu durumun sebebi söz konusu yöntemlerin sisteme etki eden toplam yanal toprak basıncının hesaplamasında değil, sisteme etki eden toplam yanal toprak basıncının sistem elemanları dağıtımında farklılık göstermeleridir.

Şekil 6.21’de görüleceği üzere önerilen hesap yöntemi ile başlangıç birim şekil değiştirme değeri için 4.2.3.1’de anlatılan Rowe yaklaşımı kullanılarak “Tributary Area Method” ile hesaplanan en büyük destek elemanı yükleri 3.Bölümde anlatılan ve literatürde yaygınca kullanılan yöntemlerle elde edilen en büyük destek elemanı

yüklerinden ortalama olarak %23 daha fazladır. Başlangıç birim şekil değiştirme değeri için Jaky yaklaşımı kullanıldığında ise bu fazlalık %43 mertebesindedir.

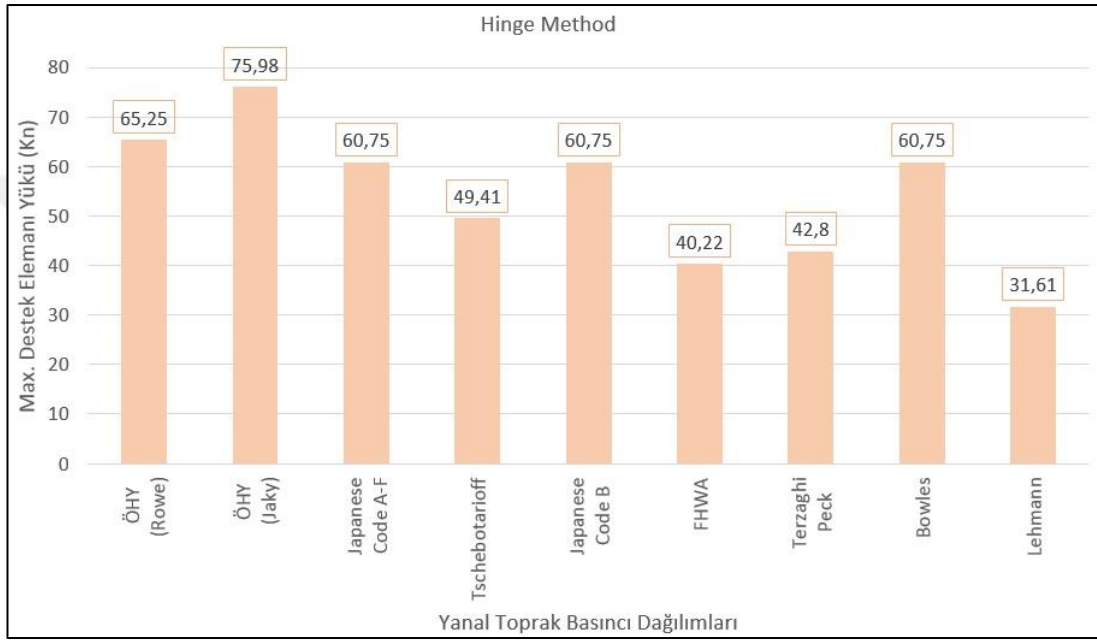


Şekil 6.20. Tablo 6.1’de özellikleri verilen gevşek kum zemin için tez kapsamında önerilen yöntemle göre hesaplanan bileşke kuvvetin literatürdeki diğer yöntemlerle karşılaştırması



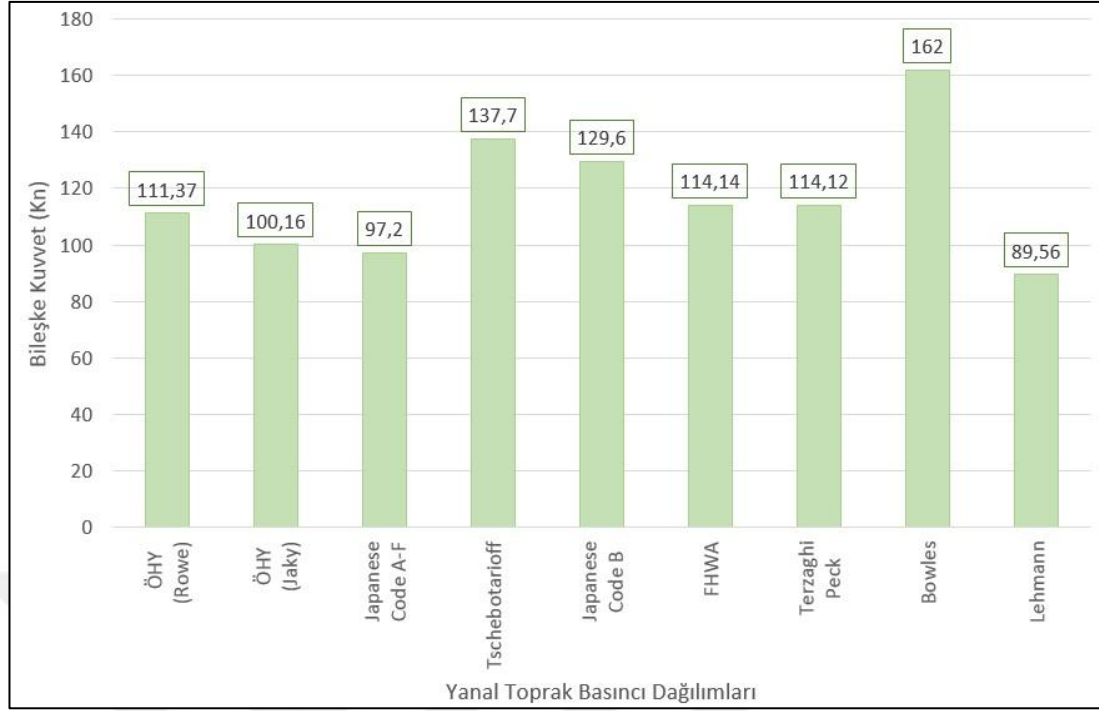
Şekil 6.21. Tablo 6.1’de özellikleri verilen orta sıkı kum zemin için tez kapsamında önerilen yöntemle göre “tributary area method” ile hesaplanan maksimum destek elemanı yükünün literatürdeki diğer yöntemlerle karşılaştırması

Şekil 6.22’de görüleceği üzere önerilen hesap yöntemi ile başlangıç birim şekil değiştirme değeri için 4.2.3.1’de anlatılan Rowe yaklaşımı kullanılarak “Hinge Method” ile hesaplanan en büyük destek elemanı yükleri 2.Bölümde anlatılan ve literatürde yaygınca kullanılan yöntemlerle elde edilen en büyük destek elemanı yüklerinden ortalama olarak %32 daha fazladır. Başlangıç birim şekil değiştirme değeri için Jaky yaklaşımı kullanıldığında ise bu fazlalık %60 mertebesindedir.



Şekil 6.22. Tablo 6.1’de özellikleri verilen orta sıkı kum zemin için tez kapsamında önerilen yöntemle göre “hinge method” ile hesaplanan maksimum destek elemanı yükünün literatürdeki diğer yöntemlerle karşılaştırması

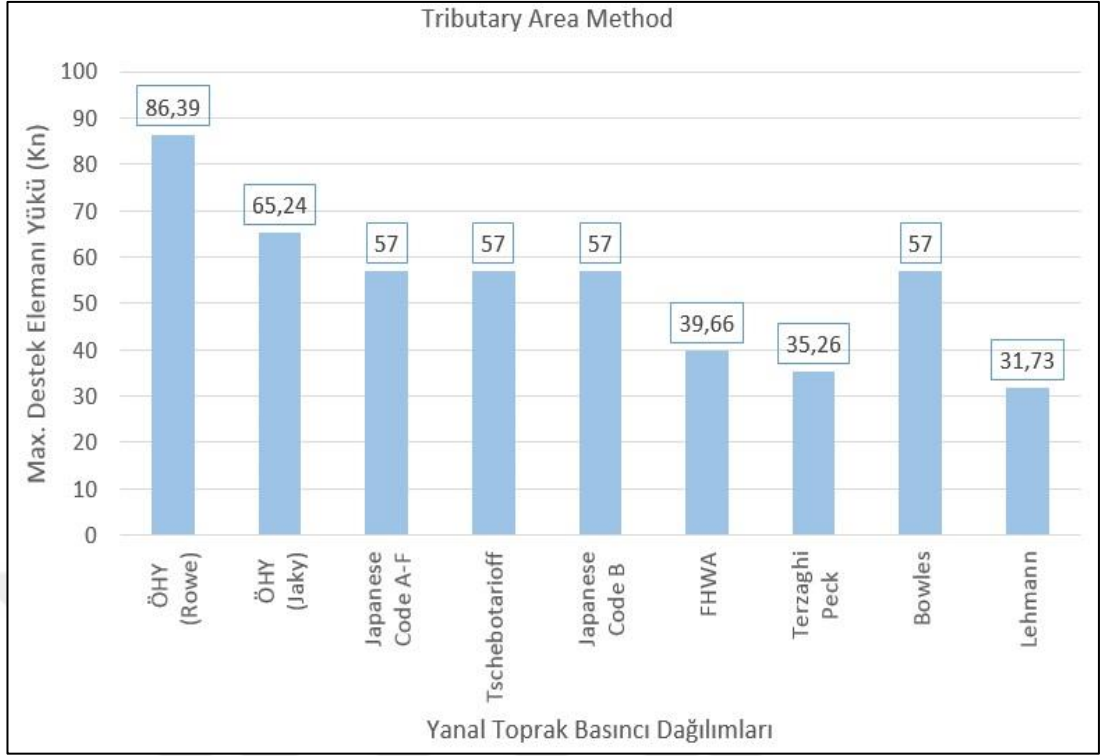
Şekil 6.23’te görüleceği üzere önerilen hesap yöntemi ile başlangıç birim şekil değiştirme değeri için 4.2.3.1’de anlatılan Rowe yaklaşımı kullanılarak hesaplanan bileşke kuvvet 2.Bölümde anlatılan ve literatürde yaygınca kullanılan yöntemlerle elde bileşke kuvvet değerinden ortalama olarak %8 daha küçüktür. Başlangıç birim şekil değiştirme değeri için 4.2.3.1’de anlatılan Jaky yaklaşımı kullanıldığında ise elde edilen bileşke kuvvet değeri literatürde yaygınca kullanılan yöntemlerle elde bileşke kuvvet değerinden ortalama olarak %17 daha küçüktür. Başlangıç birim şekil değiştirme değeri gevşek kum zeminde olduğu gibi orta sıkı kum zeminde de elde edilen sonuçlarda önemli rol oynamaktadır.



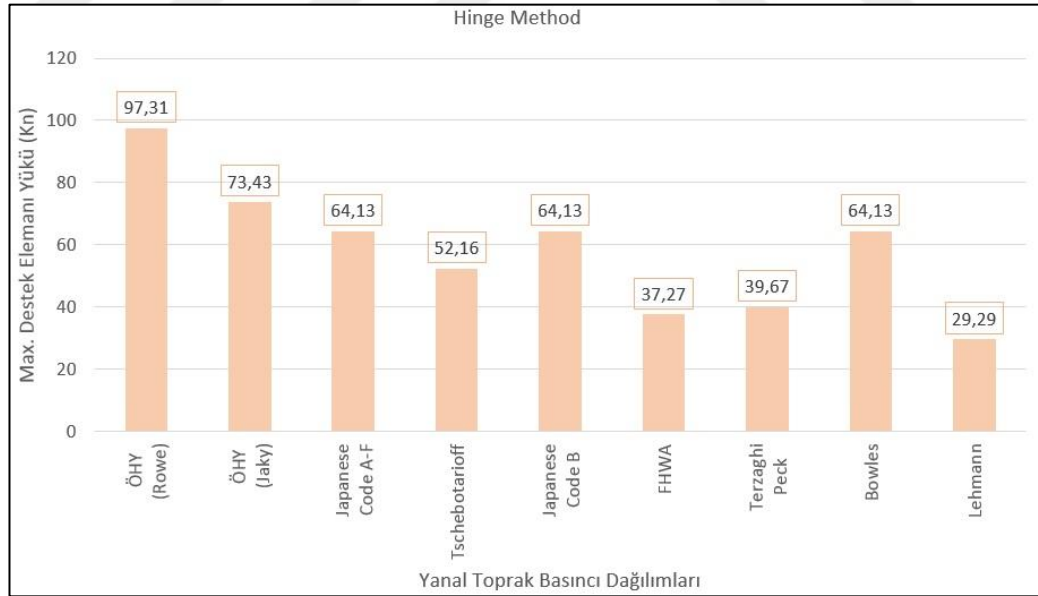
Şekil 6.23. Tablo 6.1’de özellikleri verilen orta sıkı kum zemin için tez kapsamında önerilen yöntemle göre hesaplanan bileşke kuvvetin literatürdeki diğer yöntemlerle karşılaştırması

Şekil 6.24’te görüleceği üzere önerilen hesap yöntemi ile başlangıç birim şekil değiştirme değeri için 4.2.3.1’de anlatılan Rowe yaklaşımı kullanılarak “Tributary Area Method” ile hesaplanan en büyük destek elemanı yükleri 2.Bölümde anlatılan ve literatürde yaygınca kullanılan yöntemlerle elde edilen en büyük destek elemanı yüklerinden ortalama olarak %80 daha fazladır. Başlangıç birim şekil değiştirme değeri için Jaky yaklaşımı kullanıldığında ise bu fazlalık %36 mertebesindedir.

Şekil 6.25’te görüleceği üzere önerilen hesap yöntemi ile başlangıç birim şekil değiştirme değeri için 4.2.3.1’de anlatılan Rowe yaklaşımı kullanılarak “Tributary Area Method” ile hesaplanan en büyük destek elemanı yükleri 2.Bölümde anlatılan ve literatürde yaygınca kullanılan yöntemlerle elde edilen en büyük destek elemanı yüklerinden ortalama olarak % 94 daha fazladır. Başlangıç birim şekil değiştirme değeri için Jaky yaklaşımı kullanıldığında ise bu fazlalık %47 mertebesindedir.



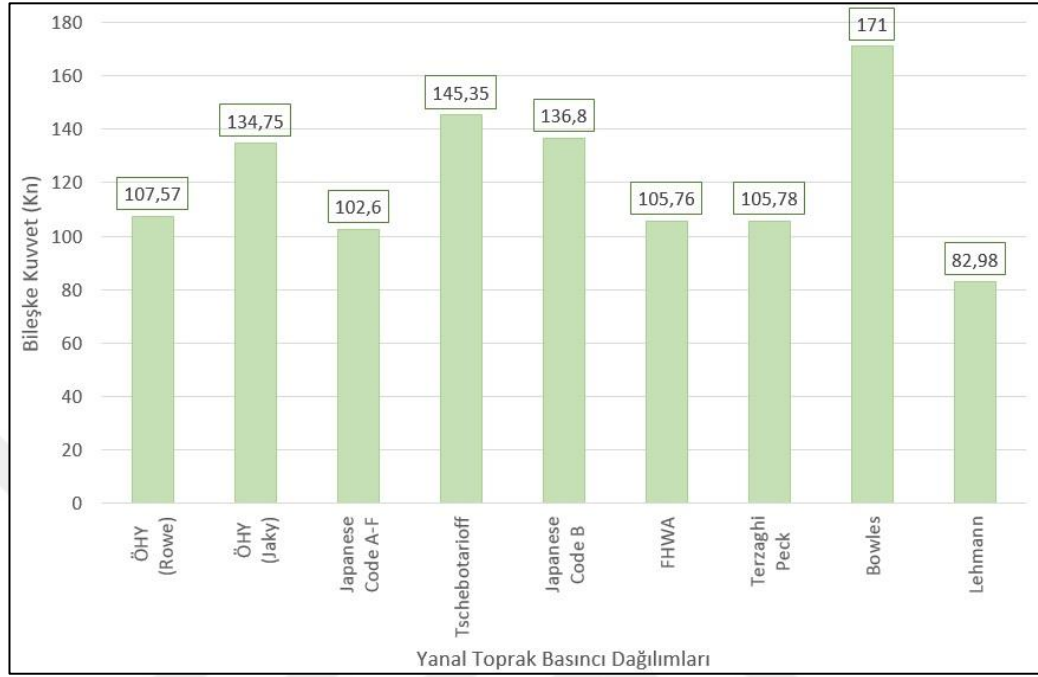
Şekil 6.24. Tablo 6.1’de özellikleri verilen sıkı kum zemin için tez kapsamında önerilen yöntemle göre “tributary area method” ile hesaplanan maksimum destek elemanı yükünün literatürdeki diğer yöntemlerle karşılaştırması



Şekil 6.25. Tablo 6.1’de özellikleri verilen sıkı kum zemin için tez kapsamında önerilen yöntemle göre “hinge method” ile hesaplanan maksimum destek elemanı yükünün literatürdeki diğer yöntemlerle karşılaştırması

Şekil 6.26’te görüleceği üzere önerilen hesap yöntemi ile başlangıç birim şekil değiştirme değeri için 4.2.3.1’de anlatılan Rowe yaklaşımı kullanılarak hesaplanan

bileşke kuvvet 2.Bölümde anlatılan ve literatürde yaygınca kullanılan yöntemlerle elde bileşke kuvvet değerinden ortalama olarak %12 daha küçüktür.



Şekil 6.26. Tablo 6.1’de özellikleri verilen sıkı kum zemin için tez kapsamında önerilen yöntemlere göre hesaplanan bileşke kuvvetin literatürdeki diğer yöntemlerle karşılaştırması

Başlangıç birim şekil değiştirme değeri için 4.2.3.1’de anlatılan Jaky yaklaşımı kullanıldığında ise elde edilen bileşke kuvvet değeri literatürde yaygınca kullanılan yöntemlerle elde bileşke kuvvet değerinden ortalama olarak %13 daha büyüktür. Başlangıç birim şekil değiştirme değeri gevşek kum ve orta sıkı kum zeminde olduğu gibi sıkı kum zeminde de elde edilen sonuçlarda önemli rol oynamaktadır.



## 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tez kapsamında yapılan çalışma neticesinde önerilen hesap yönteminin uygunluğu ve kullanılabilirliği detaylı olarak irdelenerek aşağıda sıralanan çıkarımlara varılmıştır:

- Önerilen hesap yönteminin içten destekli iksa sistemlerinin tasarımında kullanılabilirliği irdelenmiş ve olumlu olduğu görülmüştür. Literatürde kabul gören ve yaygınca kullanılan yöntemlerle kıyaslanabilir sonuçlar üretmektedir.
- Önerilen hesap yöntemi iksa sistemlerinin tasarımında kullanılan ve belli kabullere dayanan çözümlerden farklı olarak, Rowe tarafından önerilen kayma düzeleminde birim şekil değiştirme (“slip strain”) teorisine dayanmaktadır.
- Teorik bir bakış açısıyla geliştirilen önerilen hesap yöntemi, probleme özel olmayıp tüm deformasyon modlarını kapsayan ancak deneysel çalışmalar ile elde edilen evrensel ve geliştirilebilir bağıntılar kullanarak tasarıma olanak sağlamaktadır.
- Hâlihazır yöntemler herhangi bir yer değiştirme kıstası içermezken önerilen hesap yöntemi ile tasarımcı tarafından öngörülen deformasyon şartlarında tasarım yapılabilir olup, önerilen hesap yöntemi tasarımcıya daha gerçekçi koşullarda hesaplama imkânı kazandırmaktadır.
- Önerilen hesap yöntemi deplasman ölçütlü yanal toprak basıncı hesabı ile sadece içten destekli iksa sistemlerinde değil geoteknik mühendisliğinde yanal toprak basınçlarını içeren pek çok uygulamada performansa dayalı tasarımın nispeten basitçe yapılabilmesine olanak sağlayabilecek potansiyele sahiptir.
- Önerilen hesap yöntemi; günümüzde hızlı sonuç vermesi bakımından yaygın olarak kullanılan, sonlu elemanlar bazlı çalışan programlar için bir bünye bağıntısı geliştirmeye uygundur.

Yapılan çalışma kapsamında önerilen hesap yönteminin geliştirilmesinde fayda olan hususlar ile ilgili çeşitli öneriler aşağıda maddeler halinde sıralanmaktadır:

- Çalışma kapsamında önerilen hesap yöntemi ile belirlenen derinliklerdeki yanal toprak basınçları hesaplanmış olup, söz konusu noktalar arasında yanal toprak

basıncının doğrusal olarak değiştiği kabul edilmiştir. Hassas sonuçlar elde etmek için hesap derinliklerinin sayısının artırılmasında yarar vardır.

▪ Önerilen hesap yöntemi zeminin birim şekil değiştirme değerini baz aldığından getirilen önerilerde birim şekil değiştirme değeri oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Başlangıç birim şekil değiştirme değerini elde etmek için kullanılan ve sınırlı sayıda deneysel veriye dayalı olarak çalışmada faydalanılmış olan Rowe abakları yeniden ele alınırsa daha güvenilir sonuçlar elde edilebilir.

▪ Başlangıç birim şekil değiştirme değerleri yenilme anındaki kayma direnci açısına göre belirlenen zemin tipleri (gevşek kum, orta sıkı kum, sıkı kum) baz alınarak hesaplanmış olup bunun yerine yenilme anındaki kayma direnci açısının bir fonksiyonu olarak hesaplamak için bir yaklaşım gerçekleştirilerek sonuçlar gerçeğe daha yakın hale getirilebilir.

▪ Granüler zemine yapılan kompaksiyon işleminin birim şekil değiştirme değerine etkisi gözönüne alınarak önerilen hesap yöntemi istinat duvarı tasarımında da kullanılabilir.

▪ Ayrıca dayanma duvarı ve iksa sistemlerine bazı bölgelerde etkiyebilecek olan pasif toprak basınçları da Rowe tarafından sunulan denklemler kullanılarak önerilen hesap yöntemi ile belirlenebilir.

▪ Rowe tarafından önerilen kayma düzleminde birim şekil değiştirme teorisi kohezyonlu zeminleri de kapsayacak şekilde geliştirilebilirse önerilen hesap yöntemi tüm zemin koşulları için kullanılabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Uzuner B.A, *Çözümlü Örneklerle Temel Zemin Mekaniği*, 2.Baskı, Derya Kitabevi, Trabzon, 2014.
- [2] Ranjan G., Rao A.S.R., *Basic And Applied Soil Mechanics*, rev. 2n. ed., New Age International Publisher; New Delhi, 2005.
- [3] Canadian Foundation Engineering Manual, *Canadian Geotechnical Society*, 2006.
- [4] Dr. Arora K.R., *Soil Mechanich and Foundation Engineering*, rev. 6th ed., Standart Publishers Distributors, Delhi, 2004.
- [5] Prof.Dr. Yıldırım S., *Zemin İncelemesi ve Temel Tasarımı*, günc. yeni baskı, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2004.
- [6] Yılmaz Z., *Çeşitli Toprak Basıncı Dağılımları için Ankrajlı Perde Hesabı Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2001, 104236.
- [7] Terzaghi K., and Peck, R.B., *Soil Mechanics in Engineering Practice*, John Wiley Sons Inc., New York, 1967.
- [8] FHWA-IF-99-015, Ground Anchors And Anchored Systems, *U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration*, Washington 1999.
- [9] Karray M., Gobrial F., Morsi M.M., Fayed A.L., Numerical analysis of the effect of Wall roughness in deep excavation in sand, *International Journal of Geotechnical Engineering*, 2011, DOI:10.3328/IJGE.2011.05.03.315-327.
- [10] Tschebotarioff G. P., *Foundation, Retaining and Earth Structures*, 2nd ed., Mc Graw Hill, New York, 1973.
- [11] Hanna H.T., *Foundations in Tension – Ground Anchors*, McGraw Hill Book Co. Inc., New York, 1982.
- [12] Katsura Y., Kohsaka, N., Ishizuka, K., „External Forces Acting on Walls during Deep Excavations- A Survey on Japanese Codes, 1995, *Underground Construction in Soft Ground, Proc. Of the Inter. Symposium*, Rotterdam, 1995.
- [13] Terzaghi K., Peck R.B., and Mesri G., *Soil Mechanics in Engineering Practice*, 3rd ed., John Wiley Sons Inc., New York,1996.

- [14] Rowe, P. W. A Stress–Strain Theory for Cohesionless Soil with Applications to Earth Pressure at Rest and Moving Walls. *Geotechnique*, **Vol. 4**, No. 2, 1954, pp. 70–88.
- [15] Arsoy S., Granüler Zeminlerde Kayma Direnci Açısının Deformasyonla Değişmesi ve Potansiyel Kullanım Alanları, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 10. Ulusal Kongresi*, İstanbul, 2004.
- [16] Meyerhof, G.G., Penetration Tests and Bearing Capacity of Cohesionless Soils, *Journal of the Soils Mechanics and Foundation Division*, **Vol.82**, Issu 1 , 1956, pp. 1-19.

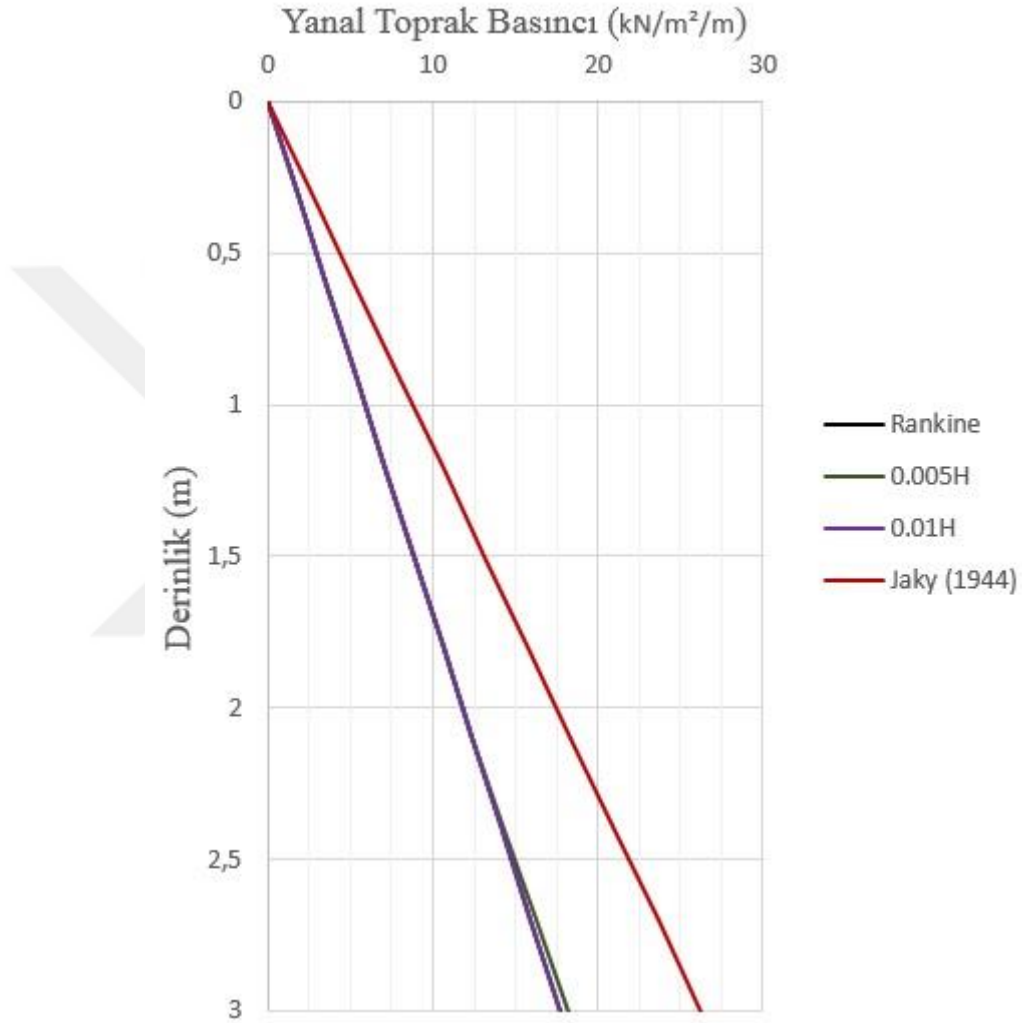




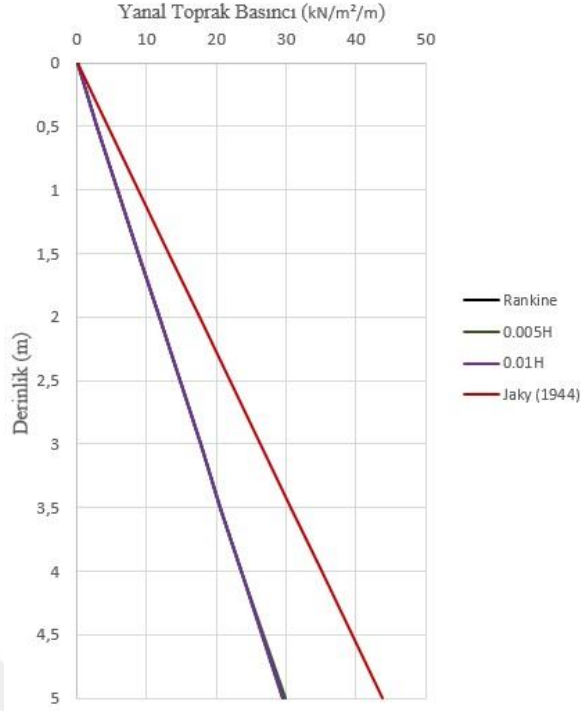
**EKLER**

## Ek-A

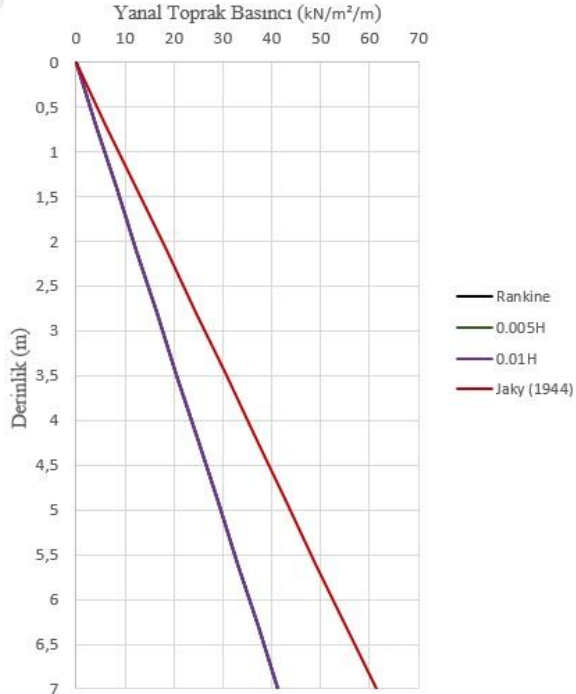
### Önerilen Hesap Yöntemiyle Kayma Hareketinden Dolayı Çeşitli Duvar Yüksekliklerinde Elde Edilen Aktif Yanal Toprak Basınçları ve Bileşke Kuvvet Değerleri



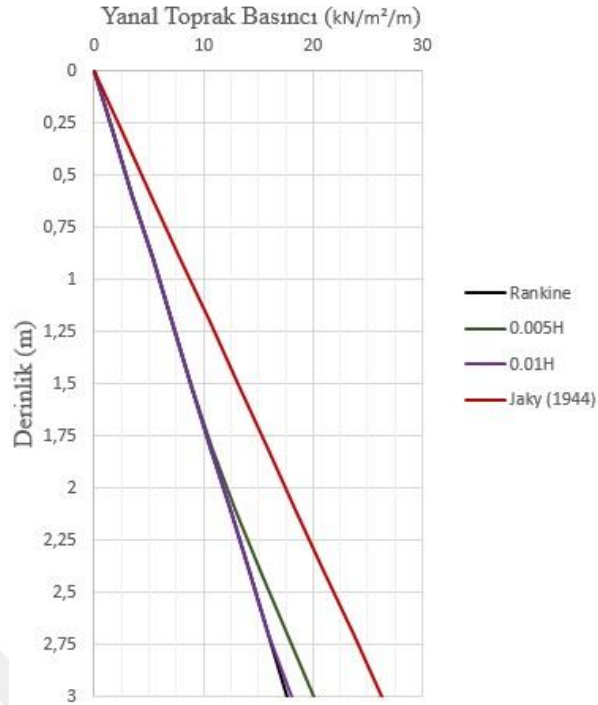
Şekil A.1. Tablo 6.1'deki gevşek kum zemin için 3 m yükseklikli iksa sisteminde çeşitli kayma deformasyonlarında ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri Rowe yaklaşımı kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanal toprak basınçları



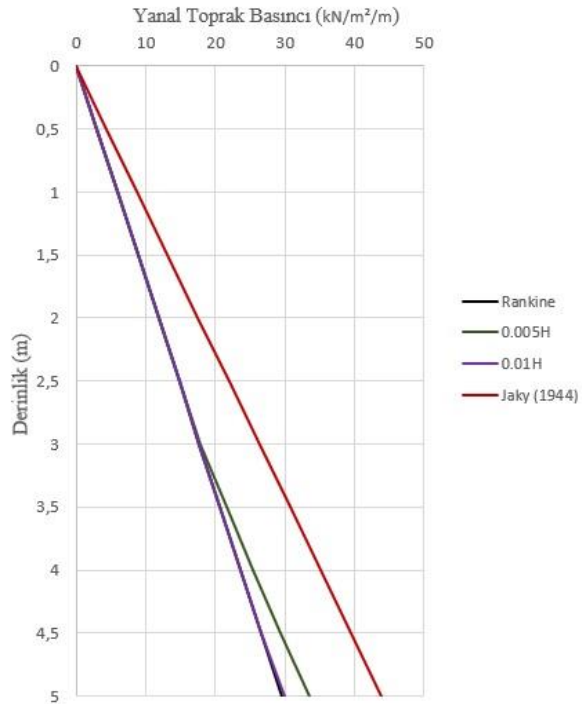
Şekil A.2. Tablo 6.1'deki gevşek kum zemin için 5 m yükseklikli iksa sisteminde çeşitli kayma deformasyonlarında ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri Rowe yaklaşımı kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanal toprak basınçları



Şekil A.3. Tablo 6.1'deki gevşek kum zemin için 7 m yükseklikli iksa sisteminde çeşitli kayma deformasyonlarında ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri Rowe yaklaşımı kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanal toprak basınçları

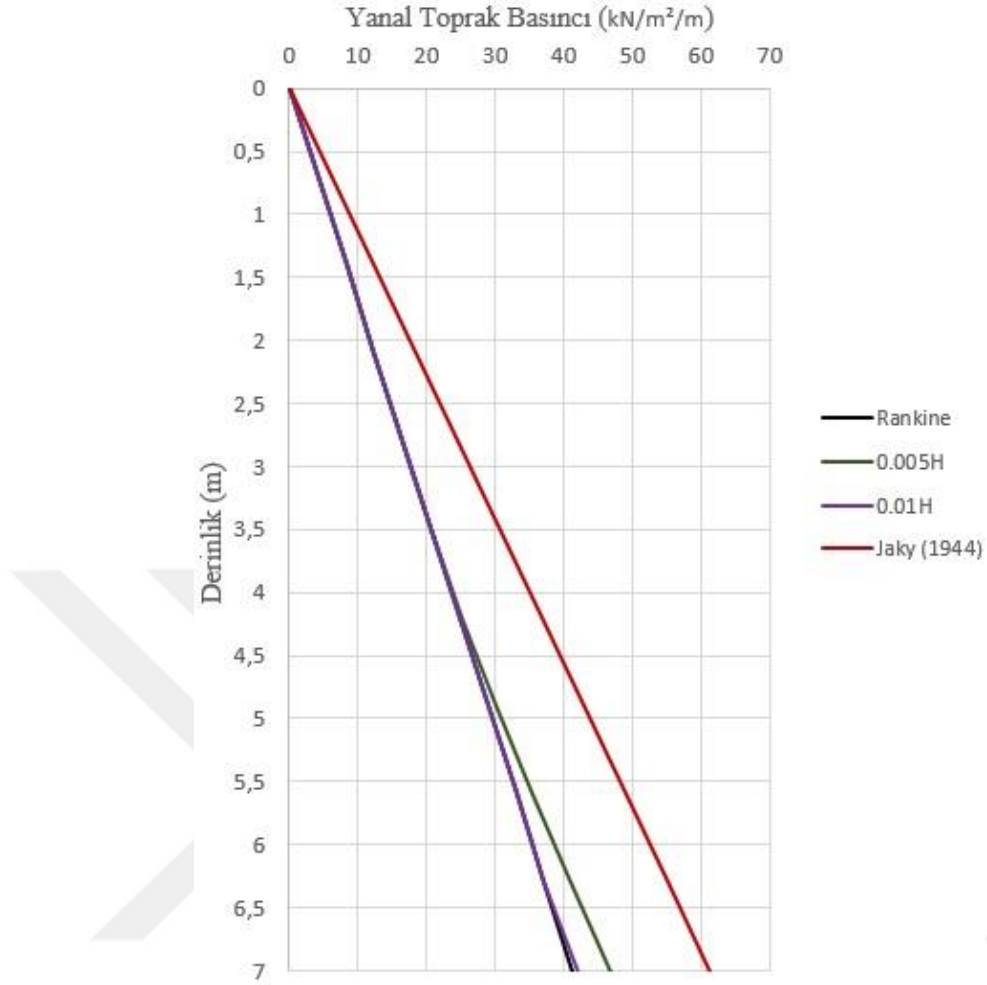


Şekil A.4. Tablo 6.1'deki gevşek kum zemin için 3 m yükseklikli iksa sisteminde çeşitli kayma deformasyonlarında ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri Jaky yaklaşımı kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanlal toprak basınçları



Şekil A.5. Tablo 6.1'deki gevşek kum zemin için 5 m yükseklikli iksa sisteminde çeşitli kayma deformasyonlarında ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri Jaky yaklaşımı kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanlal toprak basınçları





Şekil A.6. Tablo 6.1'deki gevşek kum zemin için 7 m yükseklikli iksa sisteminde çeşitli kayma deformasyonlarında ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri Jaky yaklaşımı kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanal toprak basınçları

Tablo A.1. Tablo 6.1'deki gevşek kum zemin için çeşitli yüksekliklerdeki iksa sistemlerinde çeşitli kayma deformasyonlarında ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri Rowe yaklaşımı kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanal toprak basınçlarının bileşkelerinin karşılaştırılması

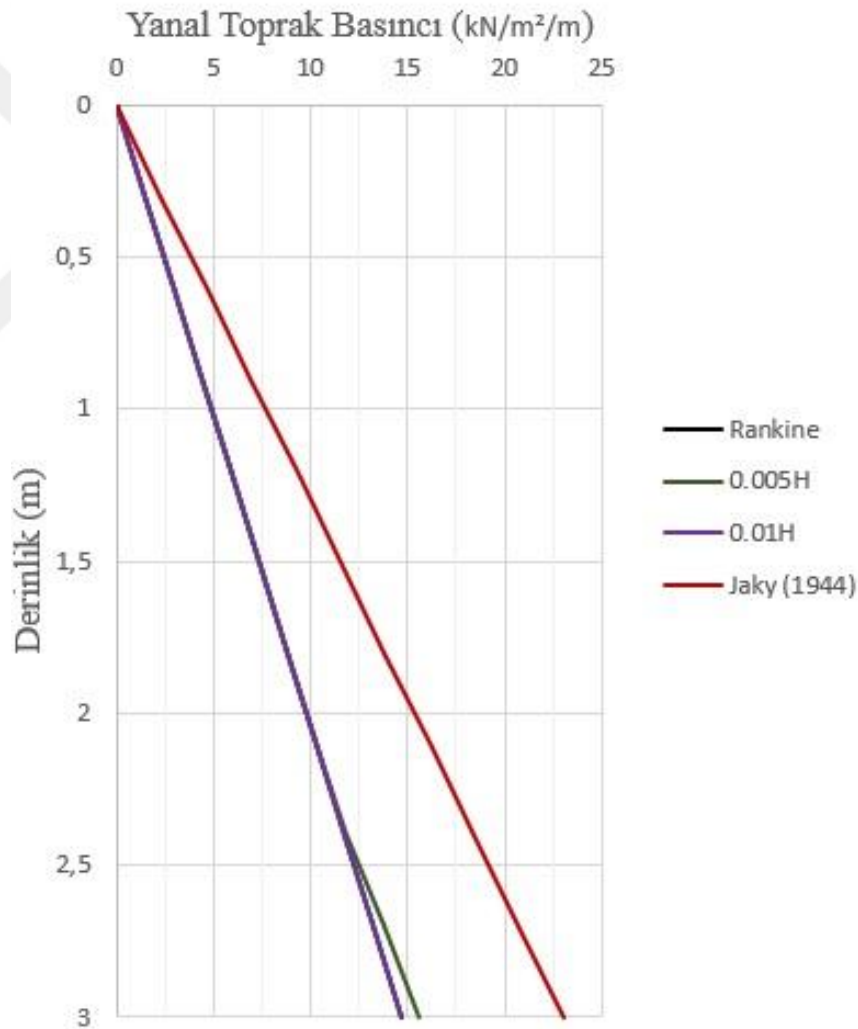
İksa Derinliği	Yanal Toprak Basıncı Bileşke Kuvvet (Kn)			Rankine Aktif Durum Bil. Kuvvet (kN)	Jaky Sükûnet Hâli Bil. Kuvvet (kN)
	0,005H	0,01H	0,015H		
3	26,73	26,55	26,55	26,55	39,41
4	47,34	47,19	47,19	47,19	70,07
5	73,85	73,73	73,73	73,73	109,48
6	106,22	106,17	106,17	106,17	157,64
7	144,51	144,51	144,51	144,51	214,57

\*H duvar yüksekliğini, 0,005H-0,01H-0,015H ifadeleri kayma deplasman miktarını temsil etmektedir.

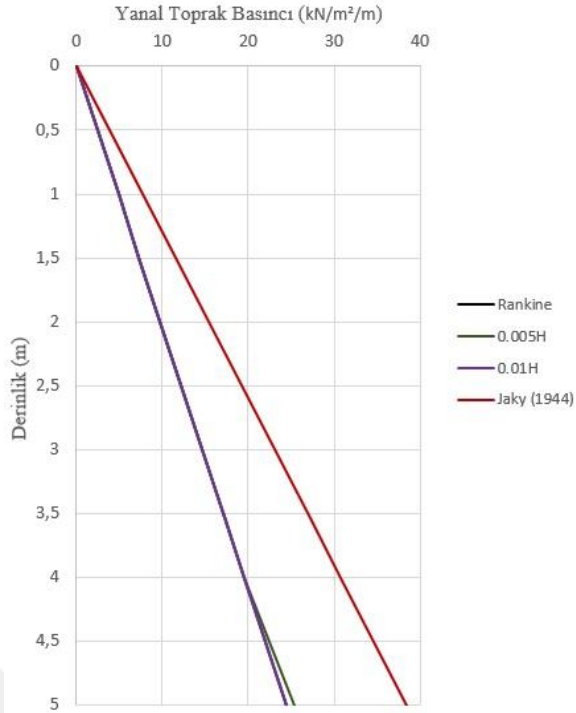
Tablo A.2. Tablo 6.1'deki gevşek kum zemin için çeşitli yüksekliklerdeki iksa sistemlerinde çeşitli kayma deformasyonlarında ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri Jaky yaklaşımı kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanal toprak basınçlarının bileşkelerinin karşılaştırılması

İksa Derinliği	Yanal Toprak Basıncı Bileşke Kuvvet(Kn)			Rankine Aktif Durum Bil. Kuvvet (kN)	Jaky Sükûnet Hâli Bil. Kuvvet (kN)
	0,005H	0,01H	0,015H		
3	27,93	26,6	26,55	26,55	39,41
4	49,66	47,28	47,19	47,19	70,07
5	77,59	73,87	73,73	73,73	109,48
6	111,73	106,37	106,17	106,17	157,64
7	152,07	144,77	144,51	144,51	214,57

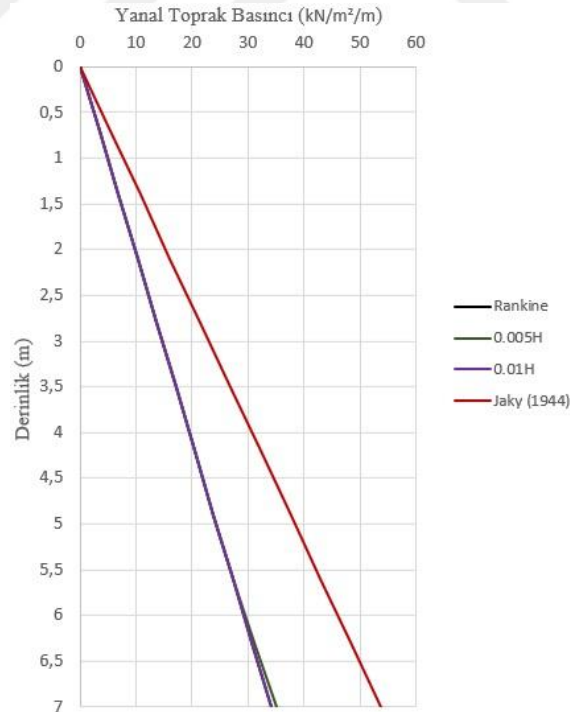
\*H duvar yüksekliğini, 0,005H-0,01H-0,015H ifadeleri kayma deplasman miktarını temsil etmektedir.



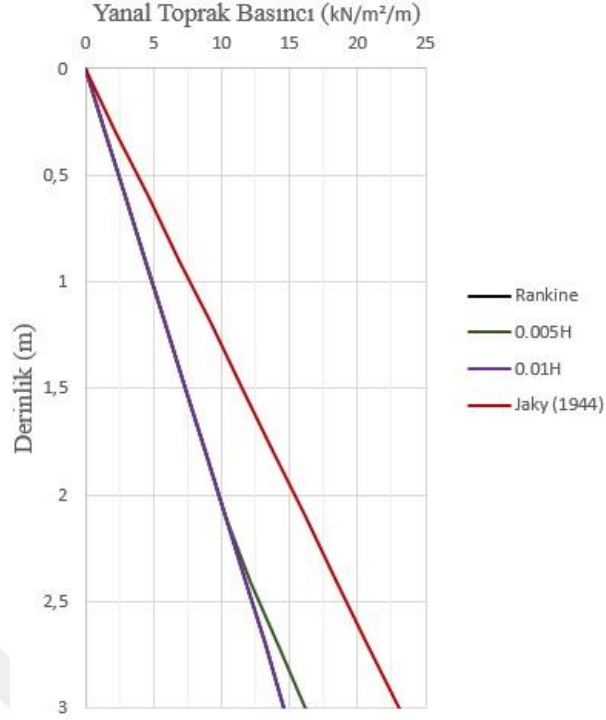
Şekil A.7. Tablo 6.1'deki orta sıkı kum zemin için 3 m yükseklikli iksa sisteminde çeşitli kayma deformasyonlarında ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri Rowe yaklaşımı kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanal toprak basınçları



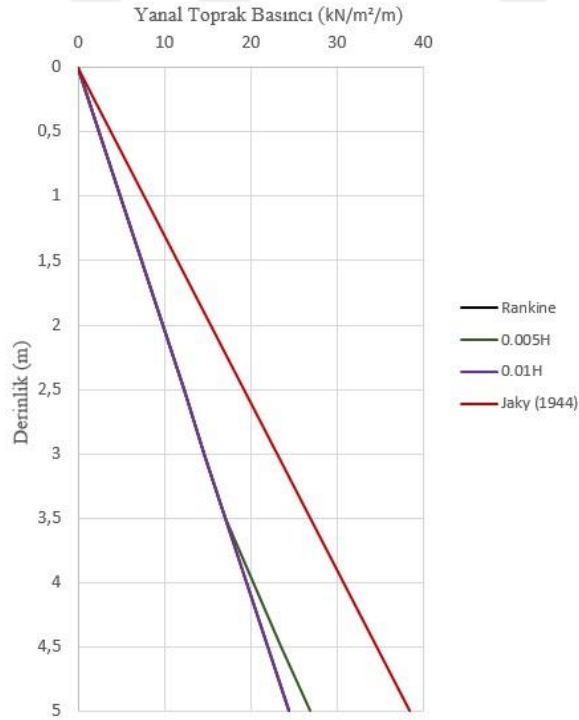
Şekil A.8. Tablo 6.1'deki orta sıkı kum zemin için 5 m yükseklikli iksa sisteminde çeşitli kayma deformasyonlarında ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri Rowe yaklaşımı kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanal toprak basınçları



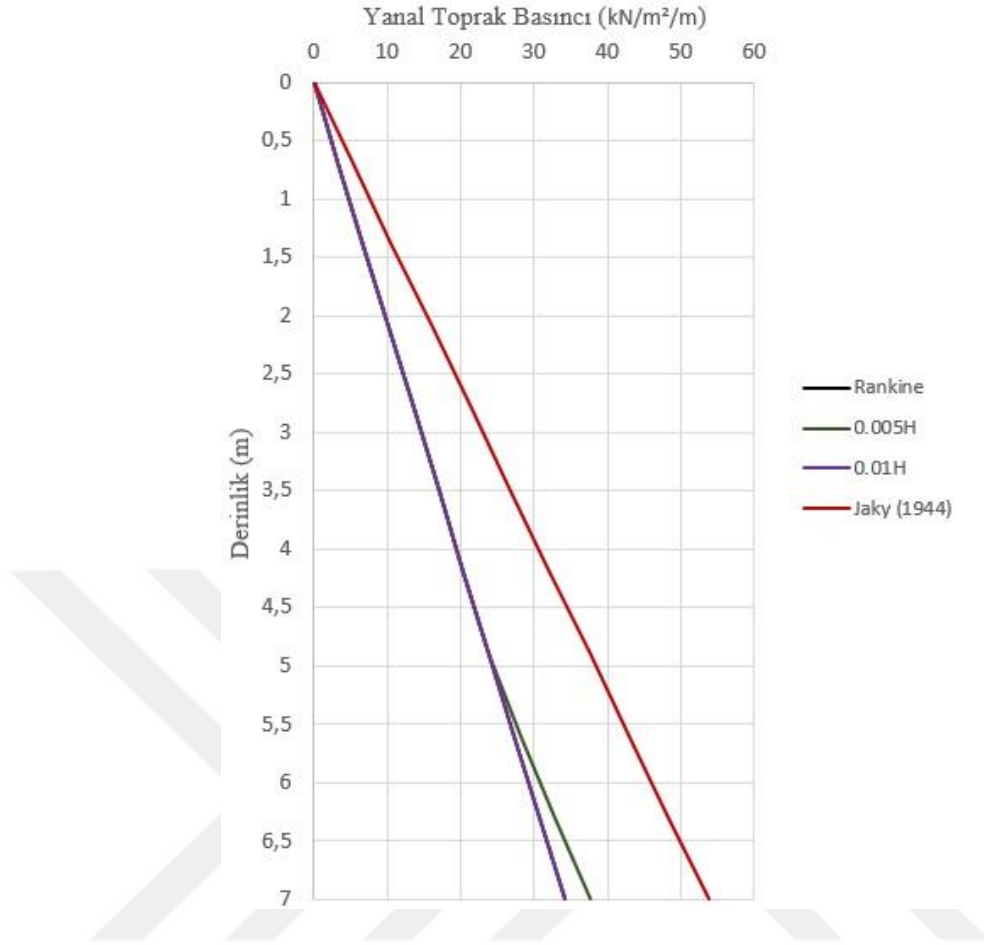
Şekil A.9. Tablo 6.1'deki orta sıkı kum zemin için 7 m yükseklikli iksa sisteminde çeşitli kayma deformasyonlarında ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri Rowe yaklaşımı kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanal toprak basınçları



Şekil A.10. Tablo 6.1'deki orta sıkı kum zemin için 3 m yükseklikli iksa sisteminde çeşitli kayma deformasyonlarında ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri Jaky yaklaşımı kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanal toprak basınçları



Şekil A.11. Tablo 6.1'deki orta sıkı kum zemin için 5 m yükseklikli iksa sisteminde çeşitli kayma deformasyonlarında ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri Jaky yaklaşımı kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanal toprak basınçları



Şekil A.12. Tablo 6.1'deki orta sıkı kum zemin için 7 m yükseklikli iksa sisteminde çeşitli kayma deformasyonlarında ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri Jaky yaklaşımı kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanal toprak basınçları

Tablo A.3. Tablo 6.1'deki orta sıkı kum zemin için çeşitli yüksekliklerdeki iksa sistemlerinde çeşitli kayma deformasyonlarında ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri Rowe yaklaşımı kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanal toprak basınçlarının bileşkelerinin karşılaştırılması

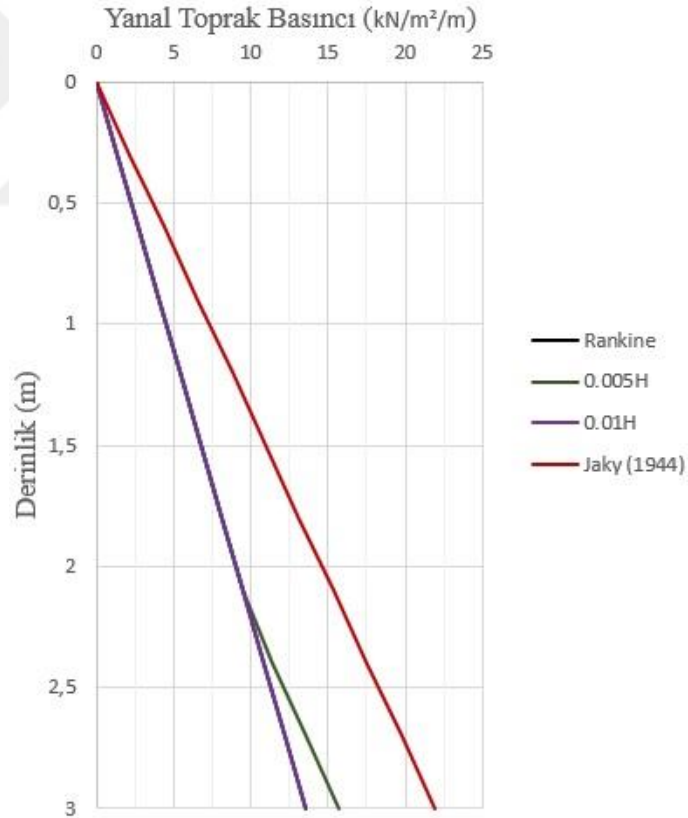
İksa Derinliği	Yanal Toprak Basıncı Bileşke Kuvvet (Kn)			Rankine Aktif Durum Bil. Kuvvet (kN)	Jaky Sükûnet Hâli Bil. Kuvvet (kN)
	0,005H	0,01H	0,015H		
3	22,32	21,95	21,95	21,95	34,54
4	39,48	39,02	39,02	39,02	61,40
5	61,48	60,97	60,97	60,97	95,95
6	88,35	87,80	87,80	87,80	138,17
7	120,06	119,50	119,50	119,50	188,05

\*H duvar yüksekliğini, 0,005H-0,01H-0,015H ifadeleri kayma deplasman miktarını temsil etmektedir.

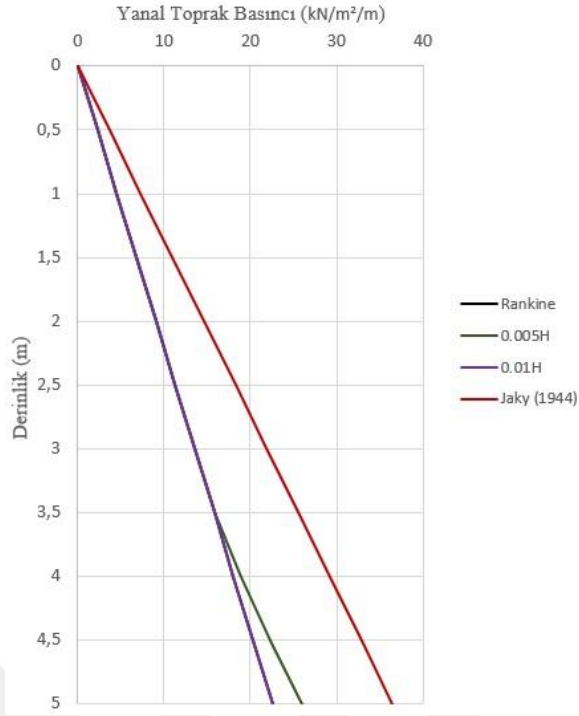
Tablo A.4. Tablo 6.1'deki orta sıkı kum zemin için çeşitli yüksekliklerdeki iksa sistemlerinde çeşitli kayma deformasyonlarında ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri Jaky yaklaşımı kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanal toprak basınçlarının bileşkelerinin karşılaştırılması

İksa Derinliği	Yanal Toprak Basıncı Bileşke Kuvvet(Kn)			Rankine Aktif Durum Bil. Kuvvet (kN)	Jaky Sükûnet Hâli Bil. Kuvvet (kN)
	0,005H	0,01H	0,015H		
3	22,57	21,95	21,95	21,95	34,54
4	40,13	39,02	39,02	39,02	61,40
5	62,70	60,97	60,97	60,97	95,95
6	90,29	87,80	87,80	87,80	138,17
7	122,89	119,50	119,50	119,50	188,05

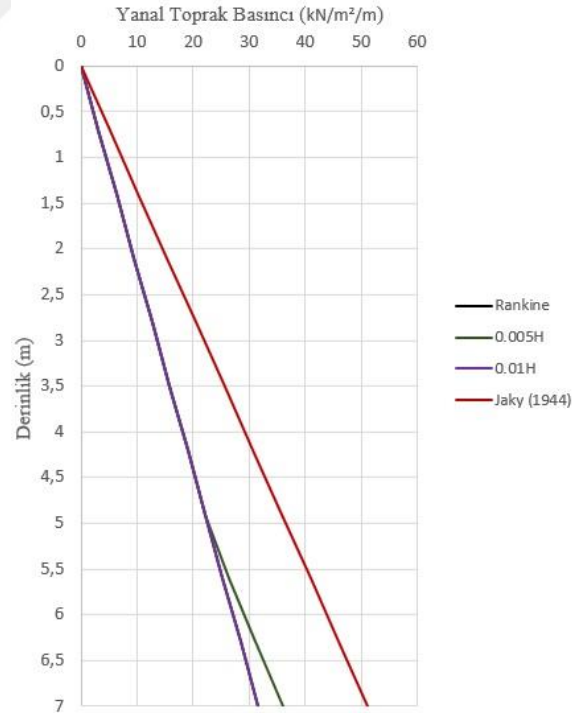
\*H duvar yüksekliğini, 0,005H-0,01H-0,015H ifadeleri kayma deplasman miktarını temsil etmektedir.



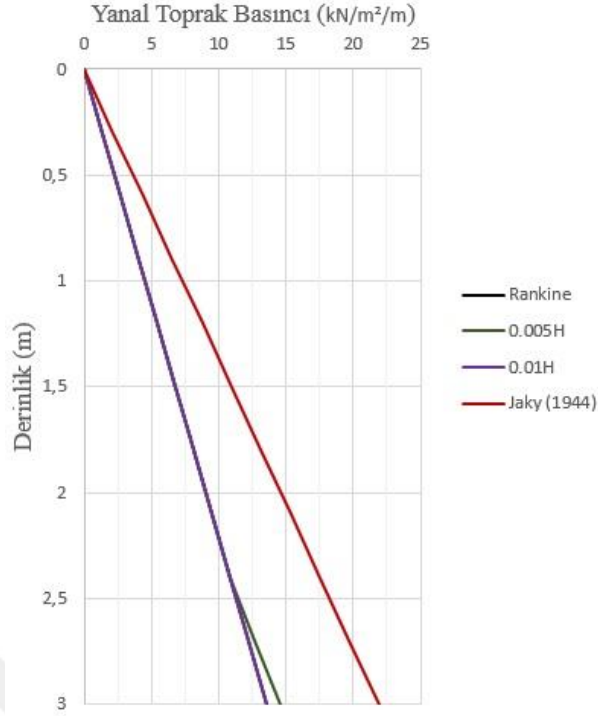
Şekil A.13. Tablo 6.1'deki sıkı kum zemin için 3 m yükseklikli iksa sisteminde çeşitli kayma deformasyonlarında ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri Rowe yaklaşımı kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanal toprak basınçları



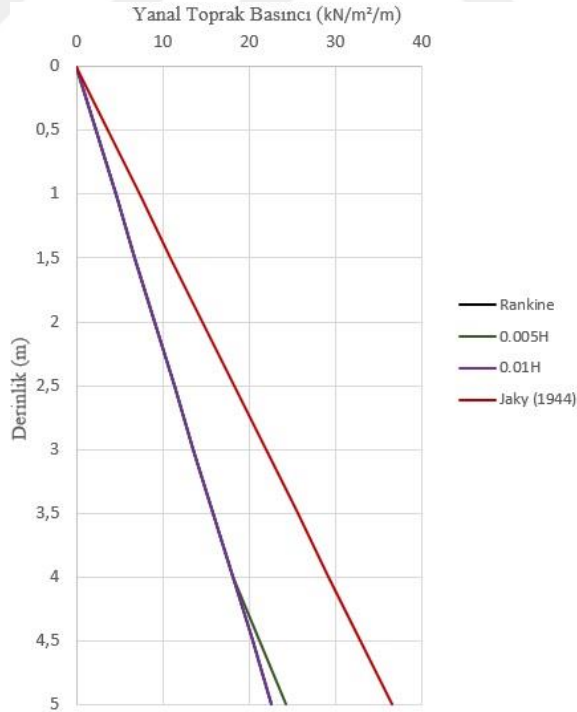
Şekil A.14. Tablo 6.1'deki sıkı kum zemin için 5 m yükseklikli iksa sisteminde çeşitli kayma deformasyonlarında ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri Rowe yaklaşımı kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanal toprak basınçları



Şekil A.15. Tablo 6.1'deki sıkı kum zemin için 7 m yükseklikli iksa sisteminde çeşitli kayma deformasyonlarında ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri Rowe yaklaşımı kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanal toprak basınçları

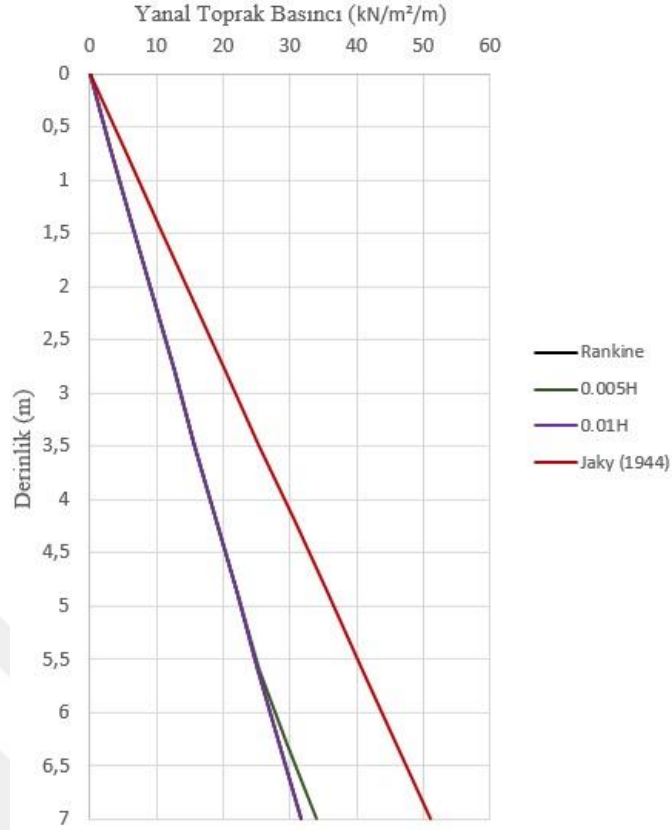


Şekil A.16. Tablo 6.1'deki sıkı kum zemin için 3 m yükseklikli iksa sisteminde çeşitli kayma deformasyonlarında ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri Jaky yaklaşımı kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanal toprak basınçları



Şekil A.17. Tablo 6.1'deki sıkı kum zemin için 5 m yükseklikli iksa sisteminde çeşitli kayma deformasyonlarında ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri Jaky yaklaşımı kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanal toprak basınçları





Şekil A.18. Tablo 6.1'deki sıkı kum zemin için 7 m yükseklikli iksa sisteminde çeşitli kayma deformasyonlarında ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri Jaky yaklaşımı kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanal toprak basınçları

Tablo A.5. Tablo 6.1'deki sıkı kum zemin için çeşitli yüksekliklerdeki iksa sistemlerinde çeşitli kayma deformasyonlarında ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri Rowe yaklaşımı kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanal toprak basınçlarının bileşkelerinin karşılaştırılması

İksa Derinliği	Yanal Toprak Basıncı Bileşke Kuvvet (Kn)			Rankine Aktif Durum Bil. Kuvvet (kN)	Jaky Sükûnet Hâli Bil. Kuvvet (kN)
	0,005H	0,01H	0,015H		
3	21,24	20,34	20,34	20,34	32,86
4	37,68	36,16	36,16	36,16	58,42
5	58,77	56,50	56,50	56,50	91,28
6	84,50	81,35	81,35	81,35	131,44
7	114,88	110,73	110,73	110,73	178,91

\*H duvar yüksekliğini, 0,005H-0,01H-0,015H ifadeleri kayma deplasman miktarını temsil etmektedir.

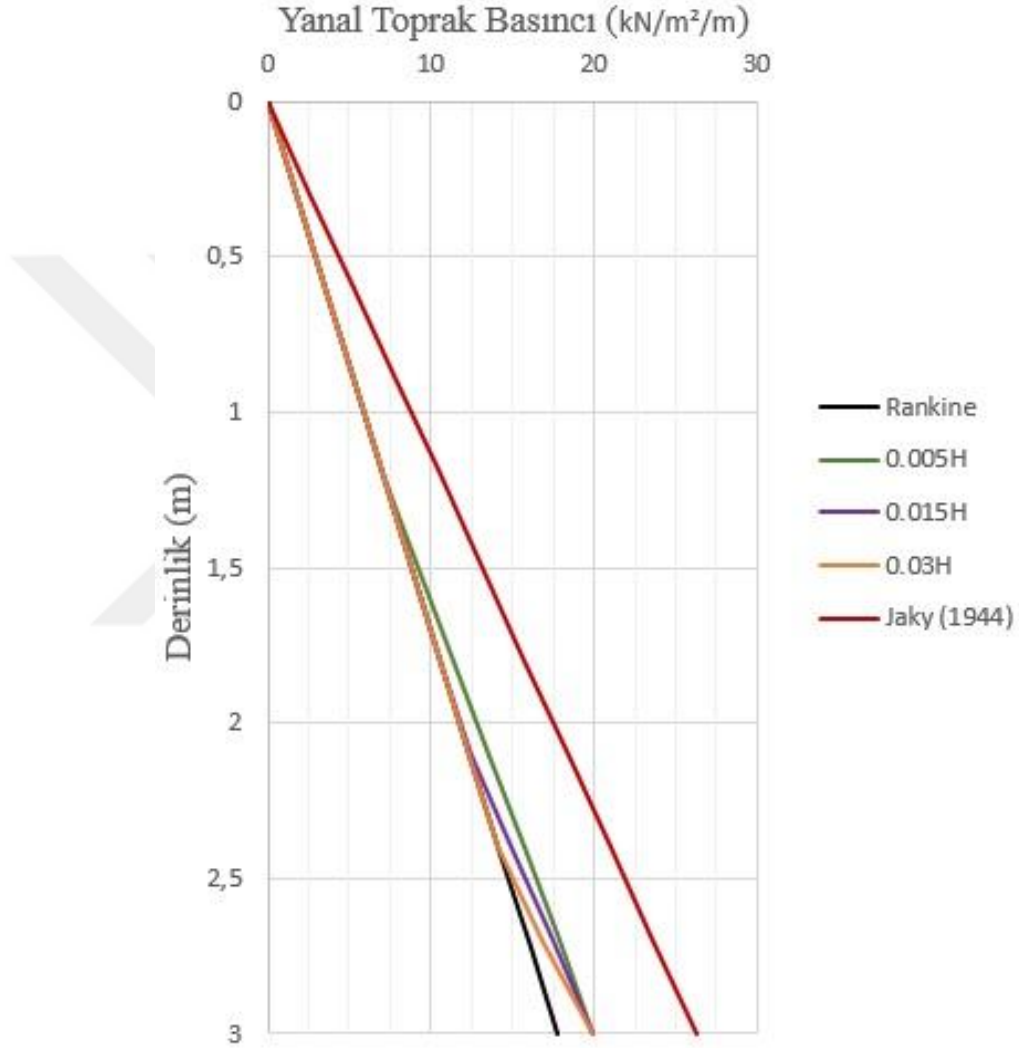
Tablo A.6. Tablo 6.1'deki sıkı kum zemin için çeşitli yüksekliklerdeki iksa sistemlerinde çeşitli kayma deformasyonlarında ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri Jaky yaklaşımı kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanal toprak basınçlarının bileşkelerinin karşılaştırılması

İksa Derinliği	Yanal Toprak Basıncı Bileşke Kuvvet(Kn)			Rankine Aktif Durum Bil. Kuvvet (kN)	Jaky Sükûnet Hâli Bil. Kuvvet (kN)
	0.005H	0.01H	0.015H		
3	20,66	20,34	20,34	20,34	32,86
4	36,73	36,16	36,16	36,16	58,42
5	57,38	56,50	56,50	56,50	91,28
6	82,63	81,35	81,35	81,35	131,44
7	112,47	110,73	110,73	110,73	178,91

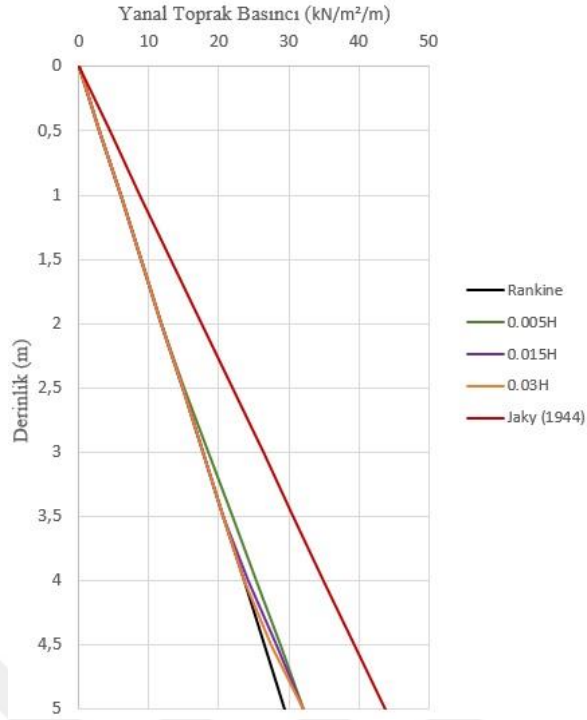
\*H duvar yüksekliğini, 0.005H-0.01H-0.015H ifadeleri kayma deplasman miktarını temsil etmektedir.

## Ek-B

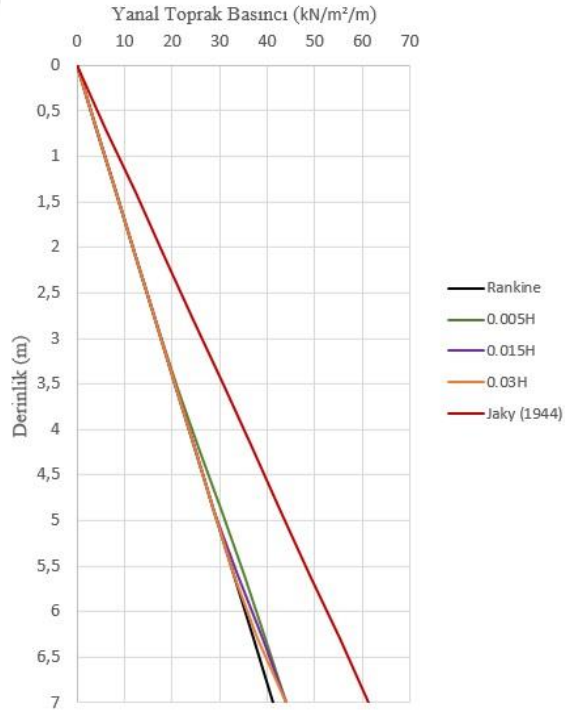
### Önerilen Hesap Yöntemiyle Dönme Hareketinden Dolayı Çeşitli Duvar Yüksekliklerinde Elde Edilen Aktif Yanal Toprak Basınçları ve Bileşke Kuvvet Değerleri



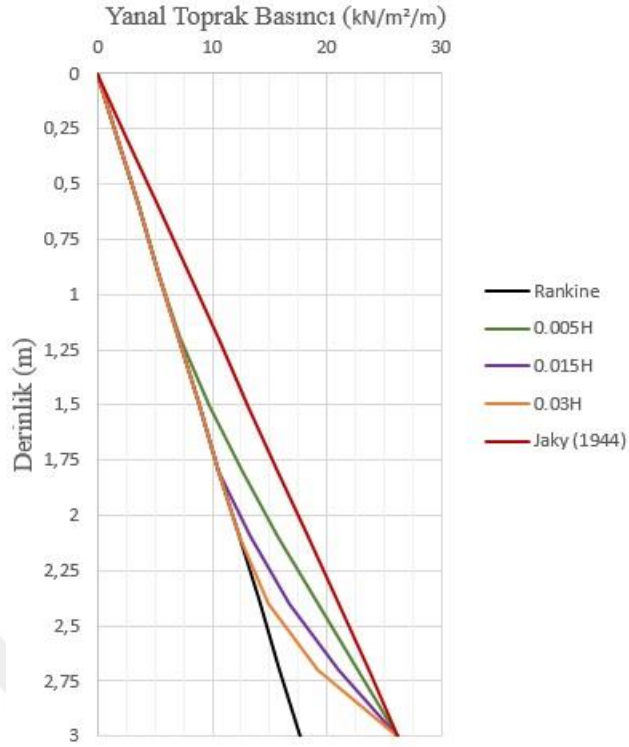
Şekil B.1. Tablo 6.1'deki gevşek kum zemin için 3 m yükseklikli iksa sisteminde çeşitli dönme deformasyonlarında ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri Rowe yaklaşımı kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanal toprak basınçları



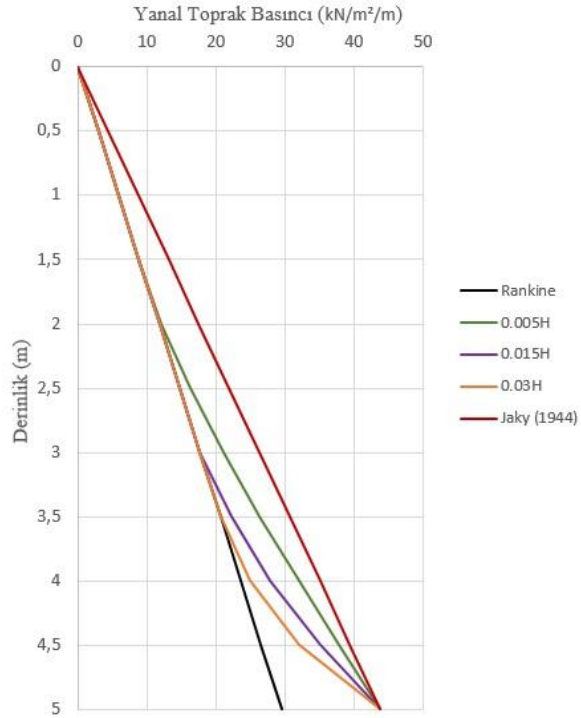
Şekil B.2. Tablo 6.1'deki gevşek kum zemin için 5 m yükseklikli iksa sisteminde çeşitli dönme deformasyonlarında ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri Rowe yaklaşımı kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanal toprak basınçları



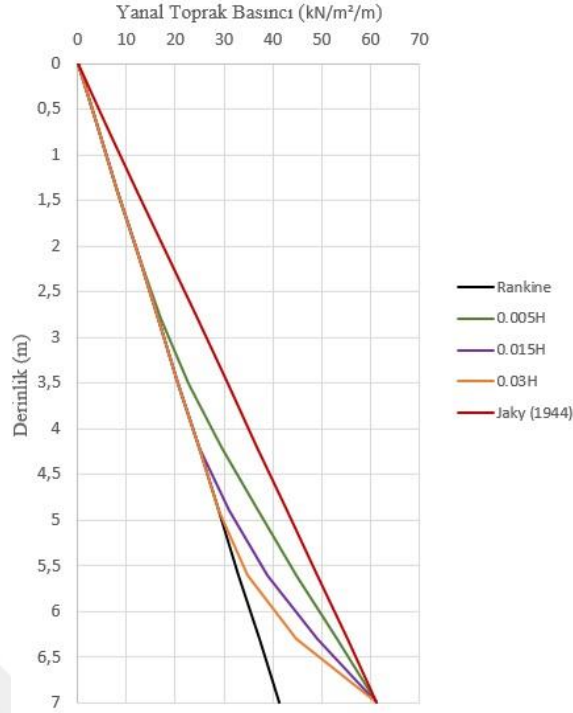
Şekil B.3. Tablo 6.1'deki gevşek kum zemin için 7 m yükseklikli iksa sisteminde çeşitli dönme deformasyonlarında ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri Rowe yaklaşımı kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanal toprak basınçları



Şekil B.4. Tablo 6.1'deki gevşek kum zemin için 3 m yükseklikli iksa sisteminde çeşitli dönme deformasyonlarında ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri Jaky yaklaşımı kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanal toprak basınçları



Şekil B.5. Tablo 6.1'deki gevşek kum zemin için 5 m yükseklikli iksa sisteminde çeşitli dönme deformasyonlarında ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri Jaky yaklaşımı kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanal toprak basınçları

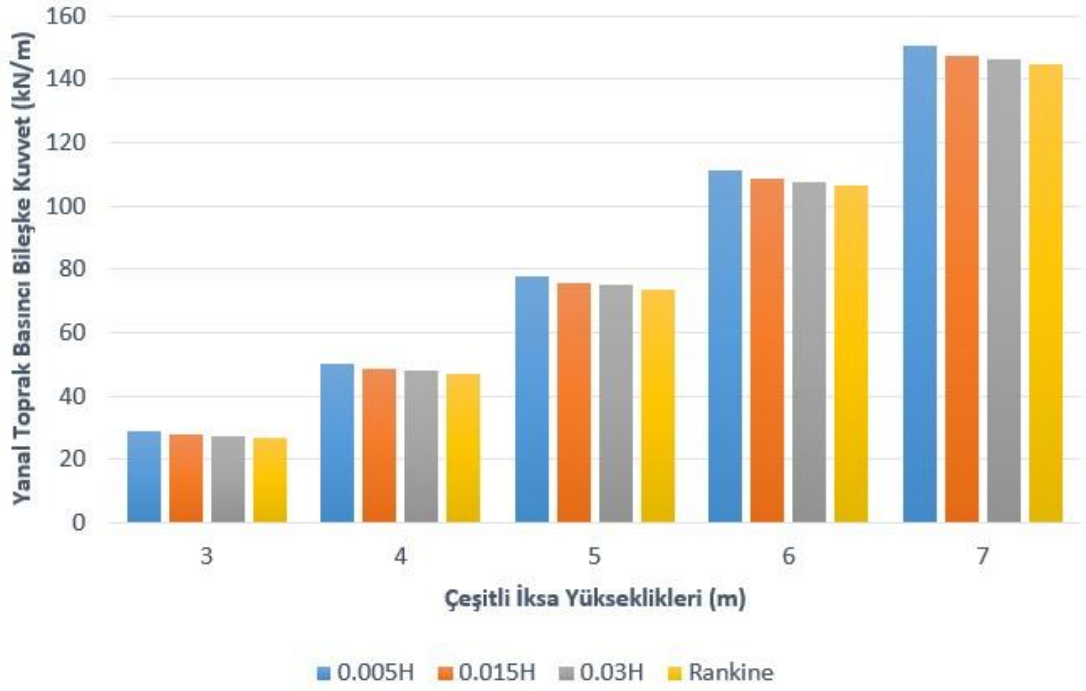


Şekil B.6. Tablo 6.1'deki gevşek kum zemin için 7 m yükseklikli iksa sisteminde çeşitli dönme deformasyonlarında ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri Jaky yaklaşımı kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanal toprak basınçları

Tablo B.1. Tablo 6.1'deki gevşek kum zemin için çeşitli yüksekliklerdeki iksa sistemlerinde çeşitli dönme deformasyonlarında ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri Rowe yaklaşımı kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanal toprak basınçlarının bileşkelerinin karşılaştırılması

İksa Derinliği	Yanal Toprak Basıncı Bileşke Kuvvet(Kn)			Rankine Aktif Durum Bil. Kuvvet (kN)	Jaky Sükûnet Hâli Bil. Kuvvet (kN)
	0,005H	0,015H	0,03H		
3	28,63	27,6	27,16	26,55	39,41
4	50,18	48,63	48,05	47,19	70,07
5	77,69	75,64	74,88	73,73	109,48
6	111,11	108,53	107,56	106,17	157,64
7	150,30	147,18	146,06	144,51	214,57

\*H duvar yüksekliğini, 0,005H-0,015H-0,030H ifadeleri duvarın topuk noktası etrafındaki deplasman miktarını temsil etmektedir.

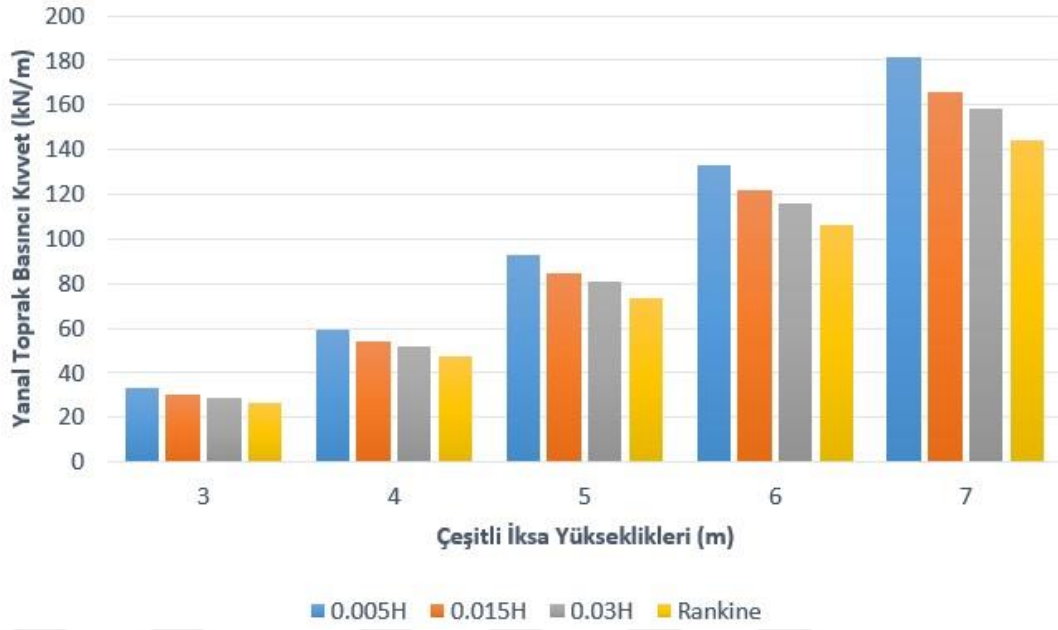


Şekil B.7. Tablo 6.1'deki gevşek kum zemin için çeşitli yüksekliklerdeki iksa sistemlerinde çeşitli dönme deformasyonlarında ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri Rowe yaklaşımı kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanıl toprak basınçlarının bileşkelerinin karşılaştırılması grafik gösterimi

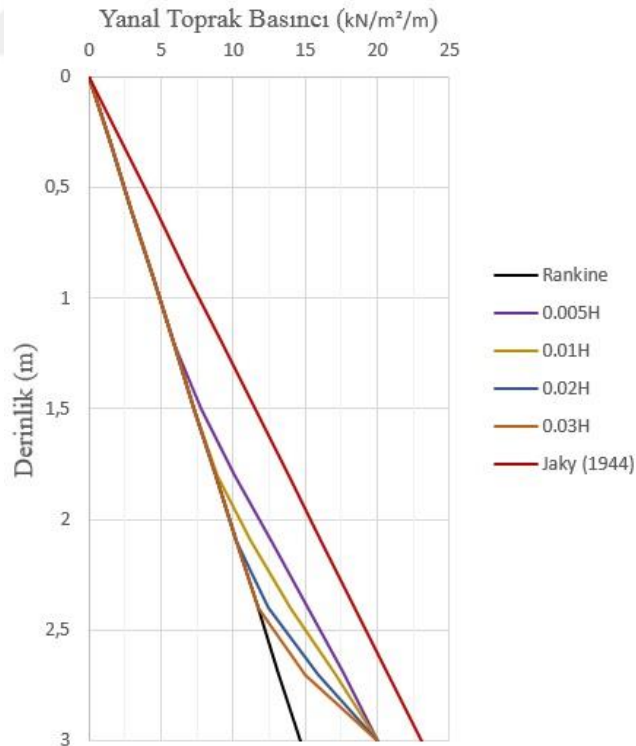
Tablo B.2. Tablo 6.1'deki gevşek kum zemin için çeşitli yüksekliklerdeki iksa sistemlerinde çeşitli dönme deformasyonlarında ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri Jaky yaklaşımı kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanıl toprak basınçlarının bileşkelerinin karşılaştırılması

İksa Derinliği	Yanal Toprak Basıncı Bileşke Kuvvet(Kn)			Rankine Aktif Durum Bil. Kuvvet (kN)	Jaky Sükûnet Hâli Bil. Kuvvet (kN)
	0,005H	0,015H	0,03H		
3	33,33	30,41	29,05	26,55	39,41
4	59,25	54,06	51,64	47,19	70,07
5	92,58	84,47	80,69	73,73	109,48
6	133,33	121,64	116,18	106,17	157,64
7	181,47	165,55	158,13	144,51	214,57

\*H duvar yüksekliğini, 0,005H-0,015H-0,030H ifadeleri duvarın toprak noktası etrafındaki deplasman miktarını temsil etmektedir.

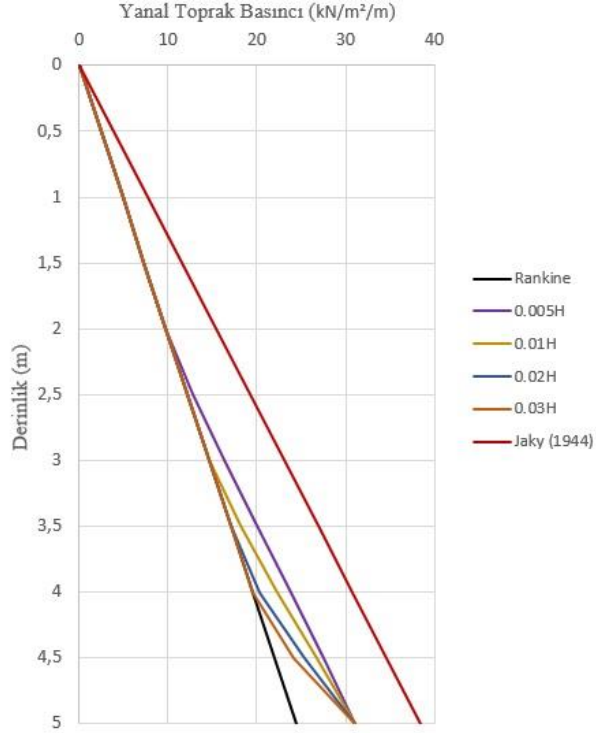


Şekil B.8. Tablo 6.1'deki gevşek kum zemin için çeşitli yüksekliklerdeki iksa sistemlerinde çeşitli dönme deformasyonlarında ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri Jaky yaklaşımı kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanıl toprak basınçlarının bileşkekelerinin karşılaştırılması grafik gösterimi

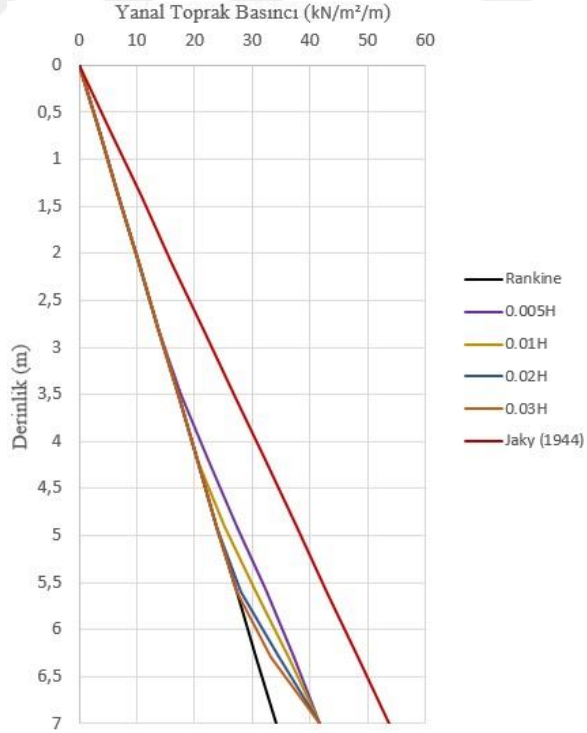


Şekil B.9. Tablo 6.1'deki orta sıkı kum zemin için 3 m yükseklikli iksa sisteminde çeşitli dönme deformasyonlarında ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri Rowe yaklaşımı kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanıl toprak basınçları

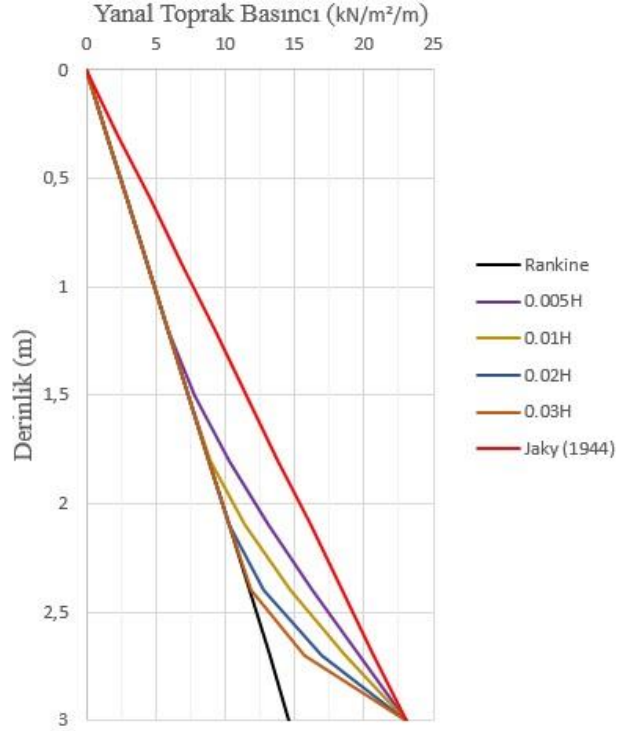




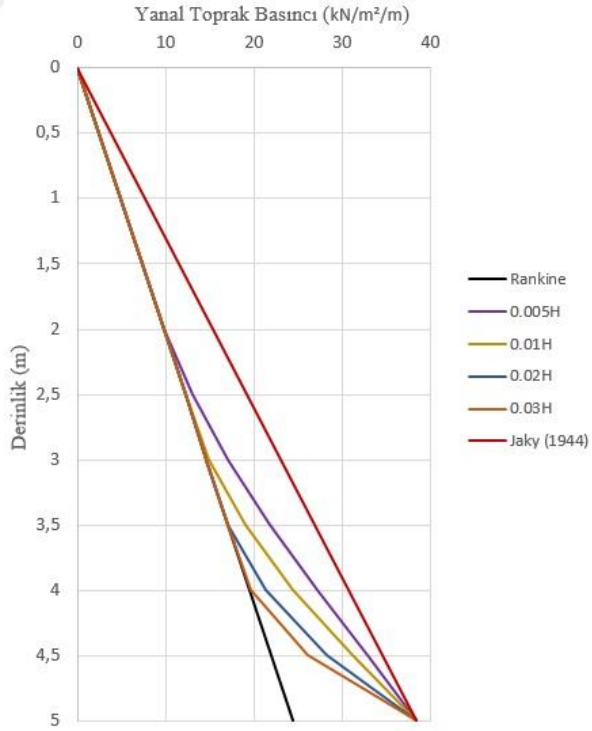
Şekil B.10. Tablo 6.1’deki orta sıkı kum zemin için 5 m yükseklikli iksa sisteminde çeşitli dönme deformasyonlarında ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri Rowe yaklaşımı kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanal toprak basınçları



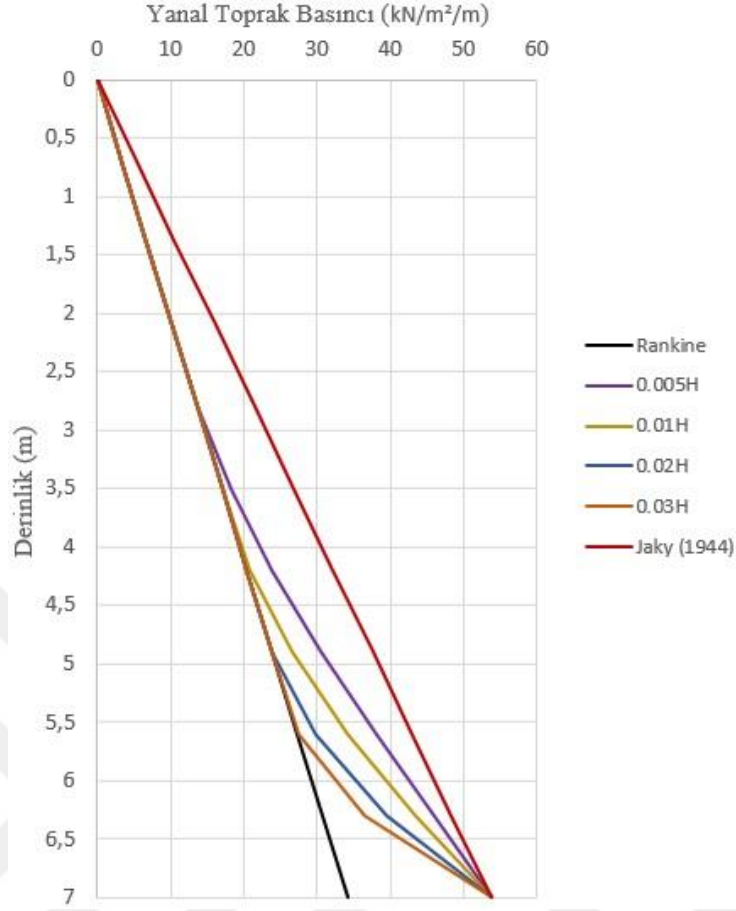
Şekil B.11. Tablo 6.1’deki orta sıkı kum zemin için 7 m yükseklikli iksa sisteminde çeşitli dönme deformasyonlarında ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri Rowe yaklaşımı kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanal toprak basınçları



Şekil B.12. Tablo 6.1'deki orta sıkı kum zemin için 3 m yükseklikli iksa sisteminde çeşitli dönme deformasyonlarında ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri Jaky yaklaşımı kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanıl toprak basınçları



Şekil B.13. Tablo 6.1'deki orta sıkı kum zemin için 5 m yükseklikli iksa sisteminde çeşitli dönme deformasyonlarında ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri Jaky yaklaşımı kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanıl toprak basınçları

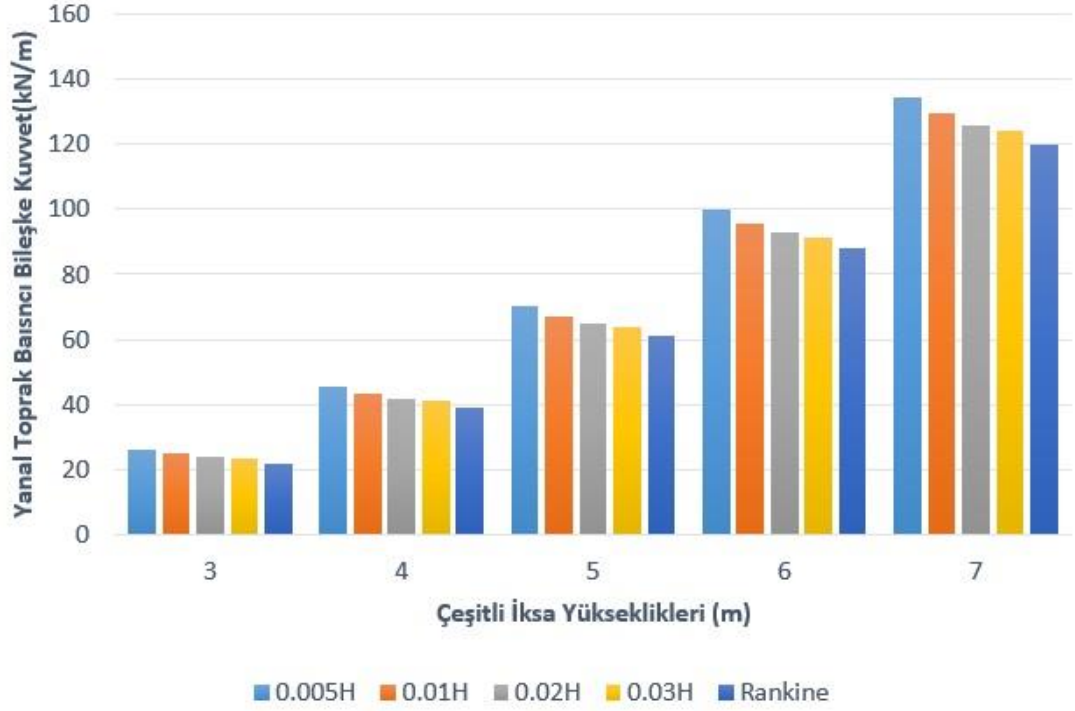


Şekil B.14. Tablo 6.1’deki orta sıkı kum zemin için 7 m yükseklikli iksa sisteminde çeşitli dönme deformasyonlarında ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri Jaky yaklaşımı kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanal toprak basınçları

Tablo B.3. Tablo 6.1’deki orta sıkı kum zemin için çeşitli yüksekliklerdeki iksa sistemlerinde çeşitli dönme deformasyonlarında ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri Rowe yaklaşımı kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanal toprak basınçlarının bileşkelerinin karşılaştırılması

İksa Derinliği	Yanal Toprak Basıncı Bileşke Kuvvet(Kn)				Rankine Aktif Durum Bil. Kuvvet (kN)	Jaky Sükûnet Hâli Bil. Kuvvet (kN)
	0,005H	0,01H	0,02H	0,03H		
3	26,41	24,93	23,81	23,30	21,95	34,54
4	45,71	43,45	41,77	41,03	39,02	61,40
5	70,16	67,03	64,73	63,74	60,97	95,95
6	99,71	95,65	92,63	91,36	87,80	138,17
7	134,26	129,20	125,43	123,90	119,50	188,05

\*H duvar yüksekliğini, 0,005H-0,01H-0,02H-0,03H ifadeleri duvarın topuk noktası etrafındaki deplasman miktarını temsil etmektedir.

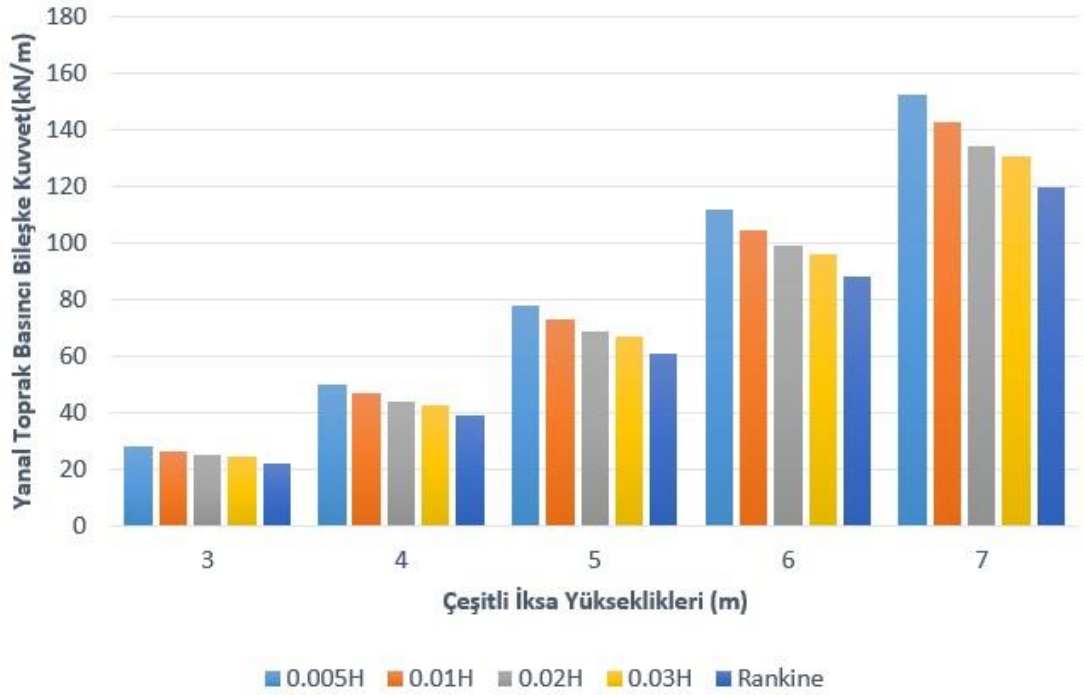


Şekil B.15. Tablo 6.1'deki orta sıkı kum zemin için çeşitli yüksekliklerdeki iksa sistemlerinde çeşitli dönme deformasyonlarında ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri Rowe yaklaşımı kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanal toprak basınçlarının bileşkelerinin karşılaştırılması grafik gösterimi

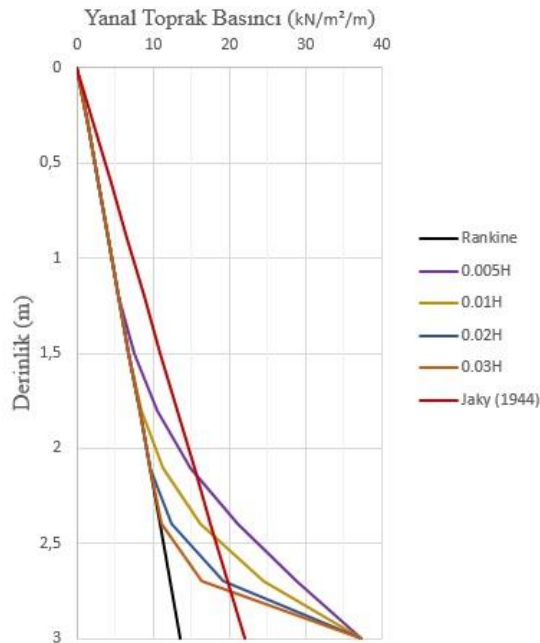
Tablo B.4. Tablo 6.1'deki orta sıkı kum zemin için çeşitli yüksekliklerdeki iksa sistemlerinde çeşitli dönme deformasyonlarında ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri Jaky yaklaşımı kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanal toprak basınçlarının bileşkelerinin karşılaştırılması

İksa Derinliği	Yanal Toprak Basıncı Bileşke Kuvvet(Kn)				Rankine Aktif Durum Bil. Kuvvet (kN)	Jaky Sükûnet Hâli Bil. Kuvvet (kN)
	0,005H	0,01H	0,02H	0,03H		
3	27,99	26,16	24,66	24,00	21,95	27,99
4	49,76	46,49	43,84	42,67	39,02	49,76
5	77,76	72,66	68,5	66,67	60,97	77,76
6	111,96	104,61	98,64	96,00	87,80	111,96
7	152,39	142,38	134,26	130,67	119,50	152,39

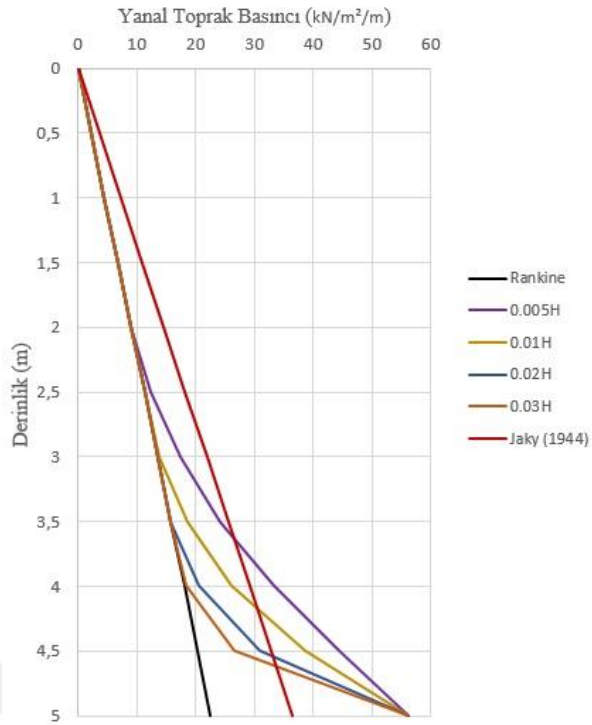
\*H duvar yüksekliğini, 0.005H-0.01H-0.02H-0.03H ifadeleri duvarın topuk noktası etrafındaki deplasman miktarını temsil etmektedir.



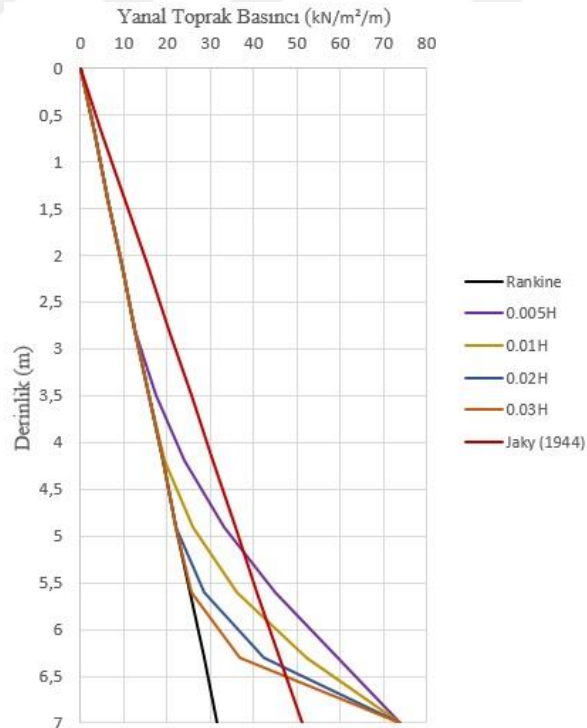
Şekil B.16. Tablo 6.1'deki orta sıkı kum zemin için çeşitli yüksekliklerdeki iksa sistemlerinde çeşitli dönme deformasyonlarında ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri Jaky yaklaşımı kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanal toprak basınçlarının bileşeklerinin karşılaştırılması grafik gösterimi



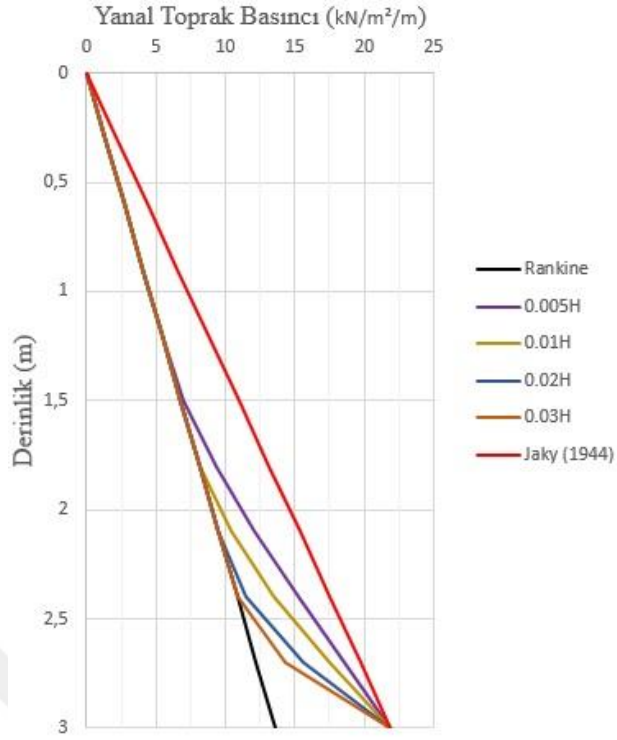
Şekil B.17. Tablo 6.1'deki sıkı kum zemin için 3 m yükseklikli iksa sisteminde çeşitli dönme deformasyonlarında ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri Rowe yaklaşımı kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanal toprak basınçlar



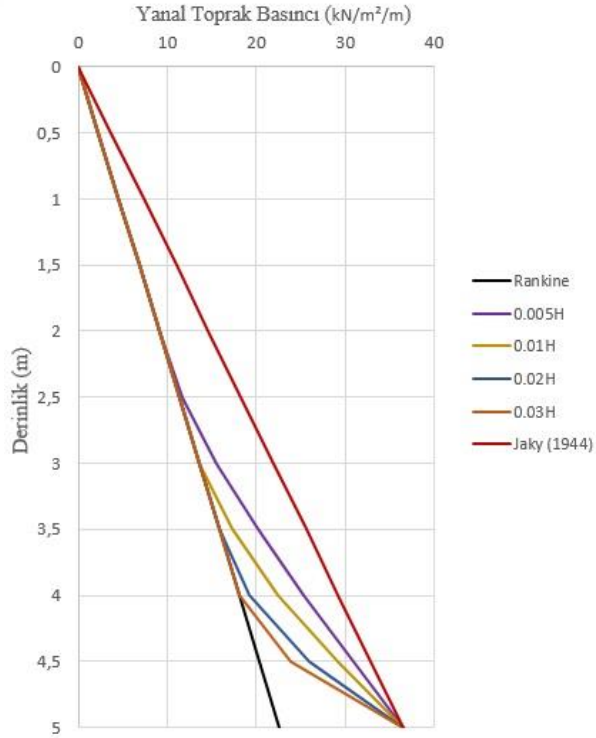
Şekil B.18. Tablo 6.1'deki sıkı kum zemin için 5 m yükseklikli iksa sisteminde çeşitli dönme deformasyonlarında ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri Rowe yaklaşımı kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanlal toprak basınçları



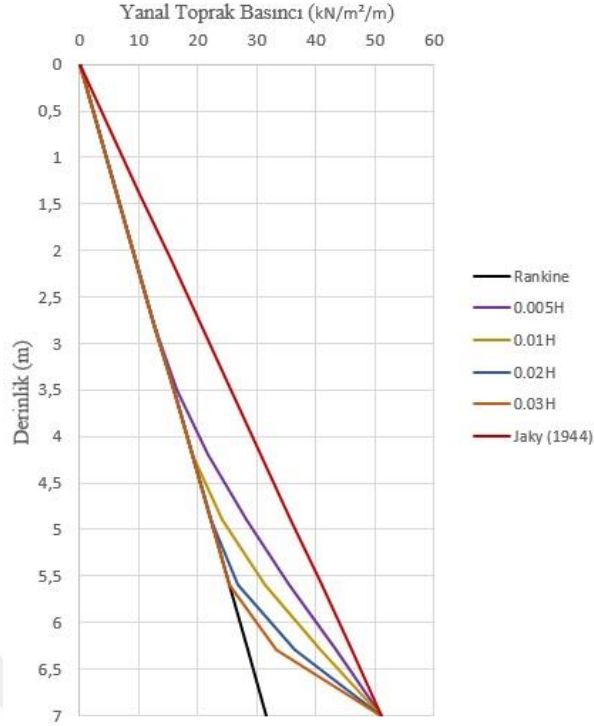
Şekil B.19. Tablo 6.1'deki sıkı kum zemin için 7 m yükseklikli iksa sisteminde çeşitli dönme deformasyonlarında ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri Rowe yaklaşımı kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanlal toprak basınçları



Şekil B.20. Tablo 6.1'deki sıkı kum zemin için 3 m yükseklikli iksa sisteminde çeşitli dönme deformasyonlarında ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri Jaky yaklaşımı kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanlal toprak basınçları



Şekil B.21. Tablo 6.1'deki sıkı kum zemin için 5 m yükseklikli iksa sisteminde çeşitli dönme deformasyonlarında ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri Jaky yaklaşımı kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanlal toprak basınçları



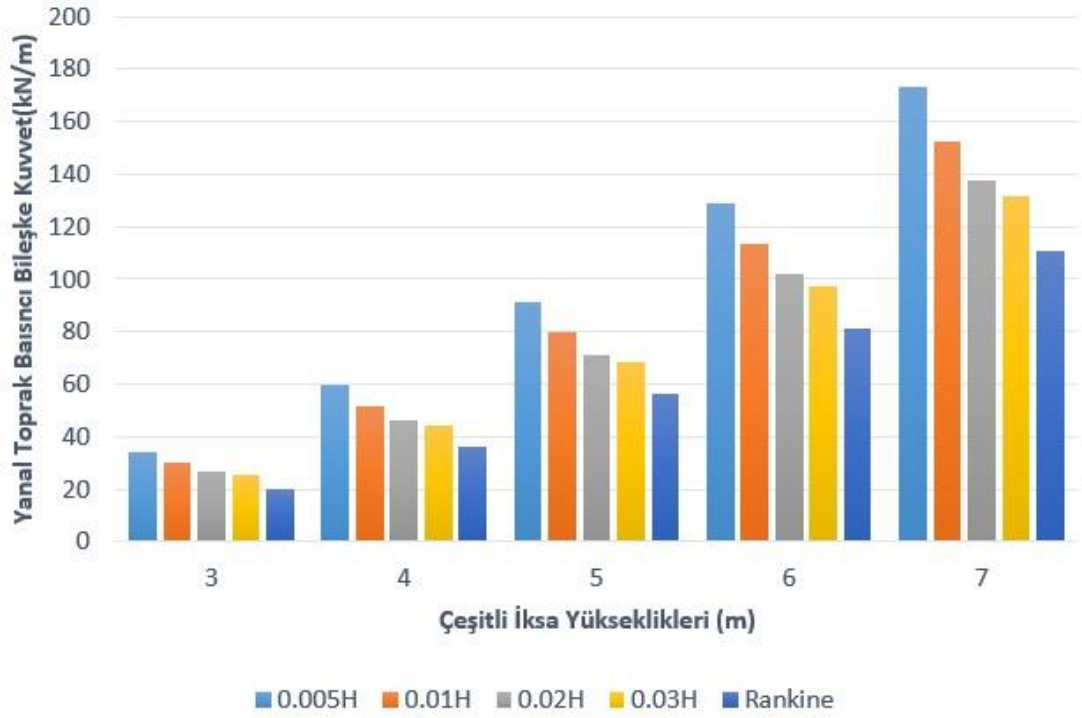
Şekil B.22. Tablo 6.1'deki sıkı kum zemin için 7 m yükseklikli iksa sisteminde çeşitli dönme deformasyonlarında ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri Jaky yaklaşımı kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanal toprak basınçları

Tablo B.5. Tablo 6.1'deki sıkı kum zemin için çeşitli yüksekliklerdeki iksa sistemlerinde çeşitli dönme deformasyonlarında ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri Rowe yaklaşımı kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanal toprak basınçlarının bileşkelerinin karşılaştırılması

İksa Derinliği	Yanal Toprak Basıncı Bileşke Kuvvet(Kn)				Rankine Aktif Durum Bil. Kuvvet (kN)	Jaky Sükûnet Hâli Bil. Kuvvet (kN)
	0,005H	0,01H	0,02H	0,03H		
3	34,44	29,77	26,42	25,17	20,34	34,44
4	59,57	51,81	46,22	44,09	36,16	59,57
5	91,16	79,68	71,38	68,17	56,50	91,16
6	129,11	113,3	101,81	97,33	81,35	129,11
7	173,26	152,59	137,49	131,56	110,73	173,26

\*H duvar yüksekliğini, 0,005H-0,01H-0,02H-0,03H ifadeleri duvarın topuk noktası etrafındaki deplasman miktarını temsil etmektedir.



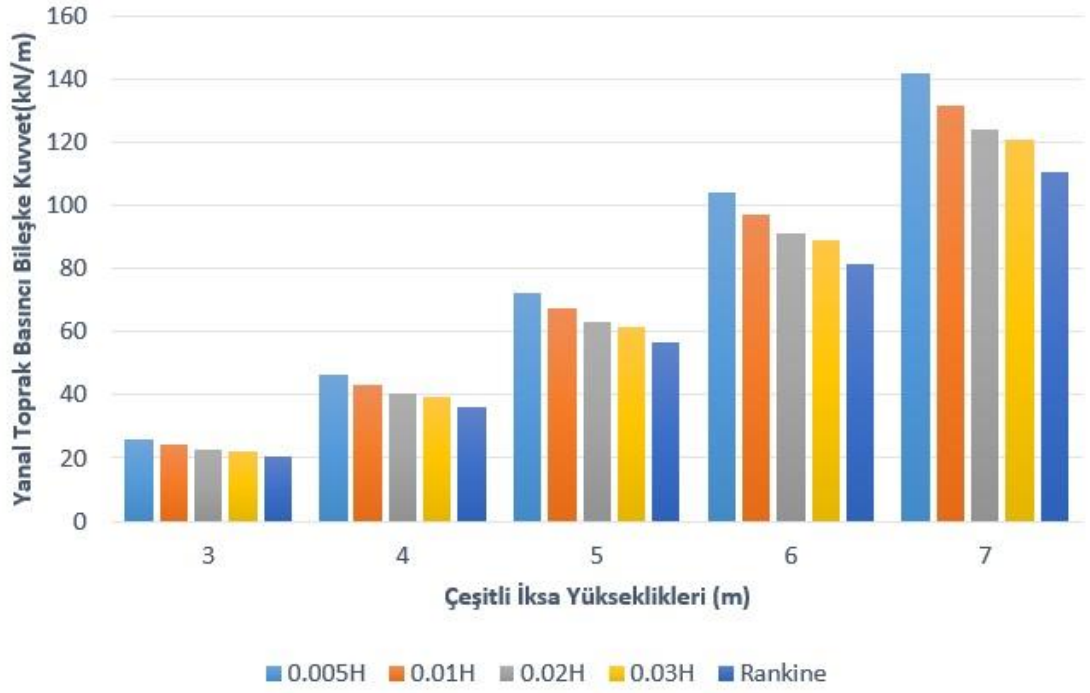


Şekil B.23. Tablo 6.1'deki sıkı kum zemin için çeşitli yüksekliklerdeki iksa sistemlerinde çeşitli dönme deformasyonlarında ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri Rowe yaklaşımı kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanal toprak basınçlarının bileşkeilerinin karşılaştırılması grafik gösterimi

Tablo B.6. Tablo 6.1'deki sıkı kum zemin için çeşitli yüksekliklerdeki iksa sistemlerinde çeşitli dönme deformasyonlarında ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri Jaky yaklaşımı kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanal toprak basınçlarının bileşkeilerinin karşılaştırılması

İksa Derinliği	Yanal Toprak Basıncı Bileşke Kuvvet(Kn)				Rankine Aktif Durum Bil. Kuvvet (kN)	Jaky Sükûnet Hâli Bil. Kuvvet (kN)
	0,005H	0,01H	0,02H	0,03H		
3	26,02	24,21	22,81	22,22	20,34	26,02
4	46,25	43,04	40,56	39,50	36,16	46,25
5	72,26	67,24	63,37	61,72	56,50	72,26
6	104,06	96,83	91,25	88,86	81,35	104,06
7	141,64	131,80	124,20	120,96	110,73	141,64

\*H duvar yüksekliğini, 0.005H-0.01H-0.02H-0.03H ifadeleri duvarın topuk noktası etrafındaki deplasman miktarını temsil etmektedir.



Şekil B.24. Tablo 6.1'deki sıkı kum zemin için çeşitli yüksekliklerdeki iksa sistemlerinde çeşitli dönme deformasyonlarında ( $\epsilon_{int.}$ ) değeri Jaky yaklaşımı kullanılarak önerilen hesap yöntemiyle elde edilen aktif durum yanal toprak basınçlarının bileşkelerinin karşılaştırılması grafik gösterimi

## KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] Arsoy S., **Odabaşı B.**, Granüler Zeminler için Deplasman Ölçütlü Dayanma Yapısı Tasarımı, *8.Uluslararası Geoteknik Sempozyumu*, İstanbul, 13-15 Kasım 2019



## ÖZGEÇMİŞ

1993 Yılında Trabzon’da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Ordu’da Lise öğrenimini ise Kocaeli’de tamamladı. 2010 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden 2015 yılında mezun oldu. 2016 yılında İzmit Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSU) Plan Proje Daire Başkanlığı’nda İnşaat mühendisi olarak başladığı meslek hayatını aynı konumda sürdürmektedir.

