İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAZI ÇUKURLARINDA KÖŞE ETKİSİ ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sercan ÖZKORKMAZ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. M.Tuğrul ÖZKAN

HAZİRAN 2013

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAZI ÇUKURLARINDA KÖŞE ETKİSİ ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sercan ÖZKORKMAZ
(501081310)

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. M. Tuğrul ÖZKAN

HAZİRAN 2013

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501081310 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Sercan ÖZKORKMAZ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **"KAZI ÇUKURLARINDA KÖŞE ETKİSİ ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA"** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Doç. Dr.M.Tuğrul ÖZKAN** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Doç. Dr. İ. Hakkı AKSOY** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Doç. Dr. Sadık ÖZTOPRAK İstanbul Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : **03 Mayıs 2013**
Savunma Tarihi : **11 Haziran 2013**

ÖNSÖZ

Tez çalışmalarım boyunca engin bilgisi ve tecrübelerinden yararlandığım, maddi manevi desteğini esirgemeyen değerli hocam Sayın Doç. Dr. M. Tuğrul ÖZKAN'a teşekkürü borç bilirim.

Tezin oluşturulmasında destek ve yardımlarından dolayı Sayın İnşaat Mühendisi Berkay KOÇAK ve Sayın İnşaat Mühendisi Berra GÜRGÜÇ'e ve Terra Zemin A.Ş. çalışanlarına teşekkür ederim.

Ayrıca herzaman beni destekleyen aileme şükranlarımı sunarım.

Haziran 2013

Sercan ÖZKORKMAZ
İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER ..... **vii**
KISALTMALAR ..... **ix**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xi**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xiii**
ÖZET ..... **xix**
SUMMARY ..... **xxi**
1. GİRİŞ **1**
2. YANAL TOPRAK BASINÇLARI **3**
2.1 Giriş 3
2.2 Rankine Teorisi 3
2.2.1 Sükunetteki Toprak Basıncı 4
2.2.2 Aktif Toprak Basıncı 5
2.2.3 Pasif Toprak Basıncı 7
2.3 Cloumb Teorisi 9
2.4 Toprak Basıncına İlave Yükler 10
2.4.1 Sürşarj yükleri 10
2.4.2 Yeraltı su seviyesi 10
2.5 İksa Sistemlerine Etkileyen Toprak Basınçları 11
3. KONU İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR **15**
4. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZ **61**
4.1 Sonlu Elemanlar Yöntemi 61
4.2 Programın Özellikleri 62
5. PARAMETRİK ÇALIŞMA **67**
5.1 Modelin Sonlu Elemanlar Ağ Boyutlarının Seçimi 67
5.2 Malzeme Özellikleri 70
5.3 Hesap Aşamaları 73
5.4 Yapılan Analizler 73
5.4.1 80.0 x 80.0 metre boyutlarındaki kazı çukurunda yapılan analizler 74
5.4.1.1 Gevşek kum H=5.0 m için yapılan analiz 74
5.4.1.2 Gevşek kum H=8.0 m'lik kesit için yapılan analiz 77
5.4.1.3 Orta sıkı kum H=5.0 m'lik kesit için yapılan analiz 81
5.4.1.4 Orta sıkı kum H=8.0 m'lik kesit için yapılan analiz 84
5.4.1.5 Yumuşak kil H=5.0 m'lik kesit için yapılan analiz 87
5.4.1.6 Yumuşak kil H=8.0 m'lik kesit için yapılan analiz 90
5.4.1.7 Yarı katı kil H=5.0 m'lik kesit için yapılan analiz 94
5.4.1.8 Yarı katı kil H=8.0 m'lik kesit için yapılan analiz 97
5.4.2 100.0 x 100.0 m kazı çukurunda gevşek kum H=5.0 m için yapılan analiz 100
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER **105**
EKLER **113**
ÖZGEÇMİŞ **133**

KISALTMALAR

AKO : Aşırı konsolidasyon oranı
c : Kohezyon
C_c : Sıkışma indeksi
C_s : Şişme indeksi
E_i : Başlangıç elastisite modül değeri
e_{init} : Başlangıç boşluk oranı
E_{oed} : Ödometre deneyinden elde edilen elastisite modülü
E_{oed}^{ref} : Birincil ödometre yüklemesinden elde tanjant rijitlik değeri
E_{ur} : Yükleme-boşaltma gerilme izi, elastisite modülü
E_{ur}^{ref} : Referans basınç değerine (p_{ref}) karşılık gelen E_{ur} değeri
E_{50} : Göçme gerilme değerinin %50'sine karşılık gelen elastisite modulü
E_{50}^{ref} : Referans basınç değerine (p_{ref}) karşılık gelen E_{50} değeridir
h : Zemin tabakasının toplam derinliği
I : Atalet momenti
K : Yanal toprak basıncı katsayısı
K_a : Aktif toprak basıncı katsayısı
K_o : Sükunetteki toprak basıncı katsayısı
K_0^{nc} : Normal konsolide zeminler için sükunetteki toprak basıncı kat sayısı
K_p : Pasif toprak basıncı katsayısı
m : Gerilme katsayısı
P_a : Aktif toprak basıncı
P_h : Yanal toprak basıncı
PSR : İki boyut oranı
P_p : Pasif toprak basıncı
p_{ref} : Referans basınç değeri
P_v : Düşey basınç
R_f : Göçme oranı
R_{inter} : Yüzey elemanı faktörü
ν : Poisson oranı
z : Zeminin serbest yüzeyinden itibaren aşağıya doğru ölçülen derinlik
α : Duvarın yatay ile yaptığı açı
β : Zemin yüzeyinin yatay ile yaptığı açı
γ_w : Suyun birim haci ağırlığı
γ : Zeminin birim hacim ağırlığı
ψ : Dilatasyon açısı
ϕ : İçsel sürtünme açısı
δ : Kazık ve zemin arasındaki sürtünme açısı
δ_{hmax} : Maksimum yanal deplasman
δ_{vmax} : Maksimum düşey deplasman
δ_{3B} : Üç boyutlu analizlerden elde edilen maksimum deplasman
δ_{2B} : İki boyutlu analizlerden elde edilen maksimum deplasman
σ : Gerilme

$\sigma_{d,f}$: Standart üç eksenli deneyde göçme anındaki deviatör gerilme
$\sigma_{d,ult}$: Standart üç eksenli deneyde nihai deviatör gerilme
σ_v' : Efektif gerilme
σ_3' : Standart üç eksenli deney için efektif minimum asal gerilme değeri

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Değişik zemin türleri için alınabilecek K_o katsayıları (Yıldırım, 2004) 5
Çizelge 3.1 : Bitişik binalar ve temelleri (Whittle ve diğ., 1993)..... 25
Çizelge 3.2 : Merkez Sigorta binası kazısı analizinde kullanılan zemin parametleri (Ou ve Shiau, 1998) 28
Çizelge 3.3 : Chi-Ching binası kazısı analizinde kullanılan zemin parametreleri (Ou ve Lai, 1994) 32
Çizelge 3.4 : Hai-Hua binası kazısı analizinde kullanılan zemin parametreleri (Ou ve diğ., 1996) 39
Çizelge 3.5 : İmmigration binasının üç boyutlu analizinde kullanılan zemin parametreleri (Lee ve diğ., 1998)..... 49
Çizelge 5.1 : Analizde kullanılan zemin parametreleri 71
Çizelge 5.2 : Zemin tipine göre aktif toprak basıncında oluşan deplasmanlar (Bowles, J. E, 1998)..... 74
Çizelge 5.3 : Zemin tipine göre oluşan deplasmanlar (NAVFAC DM7.2, 1982)..... 74

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Sukünetteki yatay zemin itkisi (Yıldırım, 2004) 4
Şekil 2.2 : Aktif toprak basıncı (Coduto, 2001) 5
Şekil 2.3 : Rankine aktif toprak basınçları (Kumbasar ve Kip, 1999) 7
Şekil 2.4 : Pasif toprak basıncı (Coduto, 2001) 7
Şekil 2.5 : Rankine pasif toprak basınçları (Kumbasar ve Kip, 1999) 8
Şekil 2.6 : Cloumb kama yöntemi ile aktif itki (Yıldırım, 2004). 10
Şekil 2.7 : Çok sıra ankrajlı bir duvarda toprak basıncı dağılımı (Bowles, J. E, 1996) 12
Şekil 2.8 : Terzaghi ve Peck (1967) tarafından basitleştirilmiş toprak basıncı dağılımları (Yıldırım, 2004) 13
Şekil 2.9 : Tschebotarioff tarafından önerilen toprak basınç dağılımları Tschebotarioff (1951) (Yıldırım, 2004). 14
Şekil 2.10: Kohezyonsuz zeminler için İsveç Yapı Standartı tarafından önerilen toprak basınç dağılımları (a) Düşük Relatif Sıkılıklı, (b) Yüksek Relatif Sıkılıklı (Günsever, 1999). 14
Şekil 3.1 : Duvar hareketleri tahmini için sistem rijitliğine bağlı abak (Clough ve O‟Rourke, 1990) 16
Şekil 3.2 : Kazı tarafında gözlenen düşey yerdeğiştirmeler (Yıldırım,2002) 16
Şekil 3.3 : Değişen köşe açılarına karşılık gelen stabilite faktörleri (Giger ve Krizek, 1975) 17
Şekil 3.4 : Central Expressway (CTE) Phase II yapısı güzergahı (Wong ve diğ., 1997) 18
Şekil 3.5 : 1. Sınıf için dört farklı duvar tipinde gözlenen maksimum yatay deplasmanlar (Wong ve diğ., 1997) 19
Şekil 3.6 : 2. Sınıf için dört farklı duvar tipinde gözlenen maksimum yatay deplasmanlar (Wong, ve diğ., 1997) 20
Şekil 3.7 : 1. Sınıf için yatay destek elemanına göre gözlenen maksimum yatay deplasmanlar (Wong, ve diğ., 1997) 21
Şekil 3.8 : 2. Sınıf için yatay destek elemanına göre gözlenen maksimum yatay deplasmanlar (Wong, ve diğ., 1997) 21
Şekil 3.9 : 1. Sınıf için dört farklı duvar tipinde gözlenen toprak basınçları (Wong ve diğ., 1997) 22
Şekil 3.10: 2. Sınıf için dört farklı duvar tipinde gözlenen toprak basınçları (Wong ve diğ., 1997) 23
Şekil 3.11: Arazi konumu (Whittle ve diğ., 1993) 24
Şekil 3.12: Otopark kazısı sonlu eleman ağı sıkılığı ve sınır koşulları görüşü (Whittle ve diğ., 1993) 26
Şekil 3.13: Ölçülen ve hesaplanan iksa duvar yanal deplasmanlarının karşılaştırılması (Whittle ve diğ., 1993) 26
Şekil 3.14: Merkez Sigorta binası kazı alanı ve inklinometre yerleşimi (Ou ve Shiau, 1998) 27

Şekil 3.15 : Merkez Sigorta binası kazısı analizinde kullanılan sonlu eleman ağı sıklığı görünümü (Ou ve Shiau, 1998) 29
Şekil 3.16 : Merkez Sigorta binası kazısında gözlemlenen ve hesaplanan deplasmanların karşılaştırılması (Ou ve Shiau, 1998) 30
Şekil 3.17 : Chi-Ching binası kazı alanı ve inklinometre yerleşimi (Ou ve Lai, 1994) 31
Şekil 3.18 : Chi-Ching binası kazısı analizinde kullanılan sonlu eleman ağı sıkılığı görünümü (Ou ve Shiau, 1998) 32
Şekil 3.19 : Chi-ching binası kazısında gözlemlenen ve hesaplanan deplasmanların karşılaştırılması (Ou ve Shiau, 1998) 33
Şekil 3.20 : Parametrik çalışmada kullanılan model geometrisi (Ou ve diğ., 1996) . 35
Şekil 3.21 : Parametrik kazı modeli analizinde kullanılan üç boyutlu sonlu eleman ağı görünümü (Ou ve diğ., 1996) 35
Şekil 3.22 : Çeşitli ikincil duvar uzunluklarında değişen birincil duvar uzunluklarının köşeye olan mesafesine bağlı maksimum deplasmanları (Ou ve diğ., 1996) 36
Şekil 3.23 : Çeşitli birincil duvar uzunluklarında değişken ikincil duvar uzunluklarının köşeye olan mesafesine bağlı PSR oranları (Ou ve diğ., 1996) 37
Şekil 3.24 : B/L ve köşeye olan mesafeye karşılık gelen PSR oranları (Ou ve diğ., 1996) 38
Şekil 3.25 : Hai-Hua binası kazı alanı ve inklinometre yerleşimi (Ou ve diğ., 1996) 39
Şekil 3.26 : Hai-Hua binası kazısı iki boyutlu analizinde kullanılan sonlu eleman ağı görünümü (Ou ve diğ., 1996) 40
Şekil 3.27 : Hai-Hua binası kazısı üç boyutlu analizinde kullanılan sonlu eleman ağı görünümü (Ou ve diğ., 1996) 40
Şekil 3.28 : Hai-Hua binası kazısı I1,I2 ve I3 noktalarının iki boyutlu analizinden elde edilen ve arazi ölçümlerinden elde edilen deplasmanların karşılaştırılması (Ou ve diğ., 1996) 41
Şekil 3.29 : Hai-Hua binası kazısı I4 noktasının iki boyutlu ve üç boyutlu analizlerden elde edilen ve arazi ölçümlerinden elde edilen deplasmanların karşılaştırılması (Ou ve diğ., 1996) 42
Şekil 3.30 : Hai-Hua binası kazısı I5 noktasının iki boyutlu ve üç boyutlu analizlerden ve arazi ölçümlerinden elde edilen deplasmanların karşılaştırılması (Ou, ve diğ., 1996) 42
Şekil 3.31 : Hai-Hua binası kazısı I4 ve I5 noktasının iki boyutlu ve üç boyutlu analizlerden ve arazi ölçümlerinden elde edilen deplasmanlarının karşılaştırılması (Ou ve diğ., 1996) 43
Şekil 3.32 : İmmigration binası kazı plan görünüşü (Lee ve diğ., 1998) 44
Şekil 3.33 : İmmigration binasının komşu yapı LAVENDER MRT istasyonu ile ilişkisi (Lee ve diğ., 1998) 44
Şekil 3.34 : İmmigration binasının iksa kesiti ve zemin yapısı (Lee ve diğ., 1998) .. 45
Şekil 3.35 : İmmigration binası dört kademeli kazısının deplasman ölçümleri (a) IW4 A kesiti (b) IW3 B kesiti (c) IW2 C kesiti (d) IW1 D kesiti (e) IS15 E kesiti (f) IS4 C kesiti (Lee ve diğ., 1998) 46
Şekil 3.36 : İmmigration binasının düşey yerdeğiştirme ölçüm sonuçları (Lee ve diğ., 1998) 47
Şekil 3.37 : İmmigration binasının üç boyutlu analizinde kullanılan model plan görünümü (Lee ve diğ., 1998) 47

Şekil 3.38 : İmmigration binasının üç boyutlu analizinde kullanılan model plan görünümü (Lee ve diğ., 1998) 48
Şekil 3.39 : İmmigration binasının üç boyutlu analizinde kullanılan sonlu eleman ağı görünümü (Lee ve diğ., 1998) 48
Şekil 3.40 : İmmigration binasının a) Kesit C ve b) kesit D için iki boyutlu, üç boyutlu analizlerden elde edilen deplasman değerleri ile aletsel gözlem ile elde edilen deplasman değerlerinin karşılaştırılması (Lee ve diğ., 1998) 49
Şekil 3.41 : Ankara Çankaya Ticaret ve Konut İnşaatı İnklinometre yerleşimi ve kazı plan görünüşü Ünlü (2008) 51
Şekil 3.42 : Ankara Çankaya Ticaret ve Konut İnşaatı geri analizinde kullanılan zemin parametreleri Ünlü (2008) 52
Şekil 3.43 : Ankara Çankaya Ticaret ve Konut İnşaatı derin kazısı iksa kesitleri Ünlü (2008) 52
Şekil 3.44 : Ankara Çankaya Ticaret ve Konut İnşaatı derin kazısı iki boyutlu geri analizinde kullanılan sonlu eleman ağı görünüşü Ünlü (2008) 53
Şekil 3.45 : Ankara Çankaya Ticaret ve Konut İnşaatı derin kazısı üç boyutlu geri analizinde kullanılan sonlu eleman ağı görünüşü Ünlü (2008) 53
Şekil 3.46 : Ankara Çankaya Ticaret ve Konut İnşaatı derin kazısı iki boyutlu ve üç boyutlu analizler ve inklinometre 1 ile elde edilen deplasman değerlerinin karşılaştırılması Ünlü (2008) 54
Şekil 3.47 : Ankara Çankaya Ticaret ve Konut İnşaatı derin kazısı iki boyutlu ve üç boyutlu analizler ve inklinometre 2 ile elde edilen deplasman değerlerinin karşılaştırılması Ünlü (2008) 55
Şekil 3.48 : Ankara Çankaya Ticaret ve Konut İnşaatı derin kazısı iki boyutlu ve üç boyutlu analizler ve inklinometre 3 ile elde edilen deplasman değerlerinin karşılaştırılması Ünlü (2008) 56
Şekil 3.49 : Ankara Çankaya Ticaret ve Konut İnşaatı derin kazısı iki boyutlu ve üç boyutlu analizler ve inklinometre 4 ile elde edilen deplasman değerlerinin karşılaştırılması Ünlü (2008) 57
Şekil 4.1 : E_{oed}^{ref} değerinin ödometre testinden hesaplanması (Plaxis 3D Foundation V2 Material Manual, 2007). 63
Şekil 4.2 : Standart drenajlı üç eksenli deney için birincil yüklemeden elastisite modülü değerlerinin hesaplanması (Plaxis 3D Foundation V2 Material Manual, 2007). 65
Şekil 5.1 : Analiz yapılan 80.0 x 80.0 m kazı çukurunun plan görünüşü 67
Şekil 5.2 : Analiz yapılan 100.0 x 100.0 m kazı çukurunun plan görünüşü 68
Şekil 5.3 : Modelin sonlu eleman ağı iki boyut görünüşü 69
Şekil 5.4 : Modelin sonlu eleman ağı sıklığı üç boyut görünüşü 69
Şekil 5.5 : Sınır koşullarının incelenmesi için toplam deplasman çıktılarının analizi. 70
Şekil 5.6 : İksa elemanı kesitleri 72
Şekil 5.7 : Gevşek kum H=5.0 m köşeden mesafe - deplasman ilişkisi 75
Şekil 5.8 : Gevşek kum H=5.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi 75
Şekil 5.9 : Gevşek kum H=5.0 m derinlik - deplasman ilişkisi 76
Şekil 5.10 : Gevşek kum H=5.0 m derinlik - gerilme ilişkisi 77
Şekil 5.11 : Gevşek kum H=5.0 m köşeye olan mesafe – toprak basıncı katsayıları ilişkisi 77
Şekil 5.12 : Gevşek kum H=8.0 m köşeden mesafe - deplasman ilişkisi 78
Şekil 5.13 : Gevşek kum H=8.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi 79
Şekil 5.14 : Gevşek kum H=8.0 m derinlik - deplasman ilişkisi 79

Şekil 5.15 : Gevşek kum H=8.0 m derinlik - gerilme ilişkisi 80
Şekil 5.16 : Gevşek kum H=8.0 m köşeye olan mesafe – toprak basıncı katsayıları ilişkisi 80
Şekil 5.17 : Orta sıkı kum H=5.0 m köşeden mesafe - deplasman ilişkisi 81
Şekil 5.18 : Orta sıkı kum H=5.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi 82
Şekil 5.19 : Orta sıkı kum H=5.0 m derinlik - deplasman ilişkisi 82
Şekil 5.20 : Orta sıkı kum H=5.0 m derinlik - gerilme ilişkisi 83
Şekil 5.21 : Orta sıkı kum H=5.0 m köşeye olan mesafe – toprak basıncı katsayıları ilişkisi 84
Şekil 5.22 : Orta sıkı kum H=8.0 m köşeden mesafe - deplasman ilişkisi 85
Şekil 5.23 : Orta sıkı kum H=8.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi 85
Şekil 5.24 : Orta sıkı kum H=8.0 m derinlik - deplasman ilişkisi 86
Şekil 5.25 : Orta sıkı kum H=8.0 m derinlik - gerilme ilişkisi 86
Şekil 5.26 : Orta sıkı kum H=8.0 m köşeye olan mesafe – toprak basıncı katsayıları ilişkisi 87
Şekil 5.27 : Yumuşak kil H=5.0 m köşeden mesafe - deplasman ilişkisi 88
Şekil 5.28 : Yumuşak kil H=5.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi 88
Şekil 5.29 : Yumuşak kil H=5.0 m derinlik - deplasman ilişkisi 89
Şekil 5.30 : Yumuşak kil H=5.0 m derinlik - gerilme ilişkisi 90
Şekil 5.31 : Yumuşak kil H=5.0 m köşeye olan mesafe – toprak basıncı katsayıları ilişkisi 90
Şekil 5.32 : Yumuşak kil H=8.0 m köşeden mesafe - deplasman ilişkisi 91
Şekil 5.33 : Yumuşak kil H=8.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi 92
Şekil 5.34 : Yumuşak kil H=8.0 m derinlik - deplasman ilişkisi 92
Şekil 5.35 : Yumuşak kil H=8.0 m derinlik - gerilme ilişkisi 93
Şekil 5.36 : Yumuşak kil H=8.0 m köşeye olan mesafe – toprak basıncı katsayıları ilişkisi 93
Şekil 5.37 : Yarı katı kil H=5.0 m Köşeden mesafe - deplasman ilişkisi 94
Şekil 5.38 : Yarı katı kil H=5.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi 95
Şekil 5.39 : Yarı katı kil H=5.0 m derinlik - deplasman ilişkisi 95
Şekil 5.40 : Yarı katı kil H=5.0 m derinlik - gerilme ilişkisi 96
Şekil 5.41 : Yarı katı kil H=5.0 m köşeye olan mesafe – toprak basıncı katsayıları ilişkisi 97
Şekil 5.42 : Yarı katı kil H=8.0 m köşeden mesafe - deplasman ilişkisi 97
Şekil 5.43 : Yarı katı kil H=8.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi 98
Şekil 5.44 : Yarı katı kil H=8.0 m derinlik - deplasman ilişkisi 99
Şekil 5.45 : Yarı katı kil H=8.0 m derinlik - gerilme ilişkisi 99
Şekil 5.46 : Yarı katı kil H=8.0 m köşeye olan mesafe – toprak basıncı katsayıları ilişkisi 100
Şekil 5.47 : 100.0 x 100.0 m kazı çukurunda gevşek kum H=5.0 m köşeden mesafe - deplasman ilişkisi 101
Şekil 5.48 : 100.0 x 100.0 m kazı çukurunda gevşek kum H=5.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi 101
Şekil 5.49 : 100.0 x 100.0 m kazı çukurunda gevşek kum H=5.0 m derinlik - deplasman ilişkisi 102
Şekil 5.50 : 100.0 x 100.0 m kazı çukurunda gevşek kum H=5.0 m derinlik - gerilme ilişkisi 103
Şekil 5.51 : 100.0 x 100.0 m kazı çukurunda gevşek kum H=5.0 m köşeye olan mesafe – toprak basıncı katsayıları ilişkisi 103
Şekil A.1 : Gevşek kum H=8.0 m köşeden mesafe - deplasman ilişkisi 114
Şekil A.2 : Gevşek kum H=8.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi 114

Şekil A.3 : Gevşek kum H=8.0 m derinlik - deplasman ilişkisi 115
Şekil A.4 : Gevşek kum H=8.0 m derinlik - gerilme ilişkisi 115
Şekil A.5 : Gevşek kum H=8.0 m köşeye olan mesafe toprak basıncı katsayıları ilişkisi 116
Şekil A.6 : Orta sıkı kum H=5.0 m köşeden mesafe - deplasman ilişkisi 116
Şekil A.7 : Orta sıkı kum H=5.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi 117
Şekil A.8 : Orta sıkı kum H=5.0 m derinlik - deplasman ilişkisi 117
Şekil A.9 : Orta sıkı kum H=5.0 m derinlik - gerilme ilişkisi 118
Şekil A.10 : Orta sıkı kum H=5.0 m köşeye olan mesafe toprak basıncı katsayıları ilişkisi 118
Şekil A.11 : Orta sıkı kum H=8.0 m köşeden mesafe - deplasman ilişkisi 119
Şekil A.12 : Orta sıkı kum H=8.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi 119
Şekil A.13 : Orta sıkı kum H=8.0 m derinlik - deplasman ilişkisi 120
Şekil A.14 : Orta sıkı kum H=8.0 m derinlik - gerilme ilişkisi 120
Şekil A.15 : Orta sıkı kum H=8.0 m köşeye olan mesafe toprak basıncı katsayıları ilişkisi 121
Şekil A.16 : Yumuşak kil H=5.0 m köşeden mesafe - deplasman ilişkisi 121
Şekil A.17 : Yumuşak kil H=5.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi 122
Şekil A.18 : Yumuşak kil H=5.0 m derinlik - deplasman ilişkisi 122
Şekil A.19 : Yumuşak kil H=5.0 m derinlik - gerilme ilişkisi 123
Şekil A.20 : Yumuşak kil H=5.0 m köşeye olan mesafe toprak basıncı katsayıları ilişkisi 123
Şekil A.21 : Yumuşak kil H=8.0 m köşeden mesafe - deplasman ilişkisi 124
Şekil A.22 : Yumuşak kil H=8.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi 124
Şekil A.23 : Yumuşak kil H=8.0 m derinlik - deplasman ilişkisi 125
Şekil A.24 : Yumuşak kil H=8.0 m derinlik - gerilme ilişkisi 125
Şekil A.25 : Yumuşak kil H=8.0 m köşeye olan mesafe toprak basıncı katsayıları ilişkisi 126
Şekil A.26 : Yarı katı kil H=5.0 m köşeden mesafe - deplasman ilişkisi 126
Şekil A.27 : Yarı katı kil H=5.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi 127
Şekil A.28 : Yarı katı kil H=5.0 m derinlik - deplasman ilişkisi 127
Şekil A.29 : Yarı katı kil H=5.0 m derinlik - gerilme ilişkisi 128
Şekil A.30 : Yarı katı kil H=5.0 m köşeye olan mesafe toprak basıncı katsayıları ilişkisi 128
Şekil A.31 : Yarı katı kil H=8.0 m köşeden mesafe - deplasman ilişkisi 129
Şekil A.32 : Yarı katı kil H=8.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi 129
Şekil A.33 : Yarı katı kil H=8.0 m derinlik - deplasman ilişkisi 130
Şekil A.34 : Yarı katı kil H=8.0 m derinlik - gerilme ilişkisi 130
Şekil A.35 : Yarı katı kil H=8.0 m köşeye olan mesafe toprak basıncı katsayıları ilişkisi 131

KAZI ÇUKURLARINDA KÖŞE ETKİSİ ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA

ÖZET

Derin kazılar sırasında oluşan yatay hareketlenmeler, oturmalar gibi olumsuzlukları güvenli bir şekilde karşılamak için iksa yapılarına ihtiyaç duyulmaktadır. İksa sisteminin güvenli ve ekonomik tasarımında zemin türü, komşu yapıların konumu, yeraltı suyu koşulları ve kazı geometrisi gibi parametrenin bilinmesi gerekmektedir. Birçok kazı çukuru kazı köşesine sahiptir. Kazı çukurlarında köşenin etkisi birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir.

Teknolojinin gelişmesi ile birlikte sonlu elemanlar ile çözüm yapan bilgisayar programları kullanılmaya başlanmıştır. Önceleri iki boyutlu çözüm yapan programlar kullanılmış daha sonra ise üç boyutlu çözüm yapan programların gelişmesi ile üç boyutlu çözüm yapan programlar kullanılmaya başlanmıştır. Üç boyutlu sonlu eleman analizinden elde edilen sonuçlar aletsel gözlemler ile elde edilen veriler ile karşılaştırılıdığında iki boyutlu analizler ile elde edilen sonuçlara göre daha yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Bu çalışma kapsamında, üç boyutlu sonlu elemanlar programı olan Plaxis 3D Foundation V2.2 programı kullanılarak, dört farklı zemin tipi için değişik kazı derinliklerinde modeller kurulup köşe etkisinin deplasman ve yanal toprak gerilmeleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Önceki çalışmalar bölümünde, konuya ilişkin gerçekleştirilen çalışmalar alınmış ve sunulmuş, ardından üç boyutlu sonlu elemanlar çözümüne ve teorik zemin modellerine ilişkin kısa bilgiler verilmiştir. Son bölümde ise kurulan modeller analiz edilmiş, bu analizlerin sonuçları grafiksel olarak sunularak konuya ilişkin değerlendirmeler yapılmıştır.

Analizler için iki farklı kazı boyutlarına sahip kazı çukurlarında dört farklı zemin tipi kullanılmış olup her zemin tipi için iki ayrı kazı derinliği olan modeller kurulmuştur. İksa yapısının konsol olduğu durum incelenmiştir. Analizde bütün modeller tek tabakalı zeminde kurulmuştur. Analiz sonuçlarında deplasmanlar, gerilmeler ve toprak basıncı katsayıları incelenmiştir.

Analizlerde köşe noktalarında deplasmanların 0.000 m değerinde olduğu köşeden uzaklaşıldıkça deplasmanın arttığı ve belirli bir mesafeden sonra yakın değerlere ulaştığı görülmüştür.

Gerilmeler incelendiğinde en büyük gerilmelerin köşe noktalarında oluştuğu köşeden uzaklaşıldıkça gerilmenin azaldığı ve köşe etkisi etki mesafesinden sonra da gerilmelerinin bir birine yakın değerler aldığı görülmüştür.

Yanal toprak gerilmelerinin derinlik ve zeminin birim hacim ağırlığına bölünmesi ile K_{hesap} yanal toprak basıncı katsayıları bulunmuş olup her modelde kazı taban kotu için köşeye değişen mesafelerde hesaplanmıştır. K_o ve K_a ile ilişkiside analiz grafiklerinde verilmiştir. Her model için hesaplanan değerlerin köşeye yakın

noktalarda büyük olduğu bu mesafe arttıkça K_{hesap} değerininin azaldığı ve köşe etkisi etki mesafesinden sonra K_a durumuna ulaştığı görülmüştür.

Derinliğin artmasının ve zeminin rijitliğininin artmasının köşe etkisi etki mesafesine etkisi olduğu görülmüştür.

A STUDY ABOUT THE EFFECT OF CORNER IN THE EXCAVATION PITS

SUMMARY

Nowadays, there came out a demand about building high-rise buildings, roads, bridges, subways and structures such as parking lots in order to meet the need of rapid population growth in large cities. Building high-rise buildings, car parks, subways and structures and so on, lead to the excavation of deep construction pits.

To resist the horizontal pressures and settlements of the soil that occur during deep excavations, in a safe way, retaining structures must be constructed. For safe and economic design of the retaining structures, parameters such as soil type, the location of the adjacent structures, groundwater conditions and the geometry of the excavation must be known. In addition, many excavation pits include corners as well.

Many researchers investigated the effect of the corner of the excavation pits. The accurate analysis of the corner effect may provide economic impact of the projects.

With the development of technology, the computer programs that monitor the solutions using finite element methods are started to be used. At first, software programs that give two-dimensional solutions were used, however, the three-dimensional programs have been used with the development of three-dimensional software programs. By the way, naturally excavations are three-dimensional.

When the results obtained by three-dimensional finite element analysis are compared with the results obtained by the instrumental observations; it was obvious that the results of three-dimensional analysis were more accurate than the two-dimensional analysis.

In the present study, three-dimensional finite element program Plaxis 3D Foundation V2.2 software program has been used. PLAXIS 3D V2.2 finite element program was developed to be used solving geotechnical engineering problems in the University of Delft located in the Netherlands. Using this software program, foundations and retaining walls can be analyzed in different soil conditions.

When the models have been established, the region that the model has not been affected from the boundary conditions was detected and the dimensions of the model were determined.

Mesh was selected as the most stringent in terms of frequency. What is more, to shorten the length of the solution and to obtain the right solution, the mesh are selected as more stringent in excavation areas and by distance from the excavation they were selected as more open.

The models are solved using Hardening soil model. In the present thesis, the Hardening soil model was used, which shows the feature of consolidating soil. The biggest advantage of Hardening soil model in comparison with the Mohr-Coulomb

model is the increase of rigidity of soil with the increase of stresses in the soil. In addition, in this model, the initial loading modules, loading and unloading stiffness rigidity modules and pre-consolidation modules can be defined separately.

The corner effect on displacements and lateral soil stresses are analyzed using four different soil types in different excavation depths. At first, in the previous studies section, the studies about this topic are presented and then a short description about three-dimensional finite element models and theoretical soil models are given. In the last section, the established models have been analyzed using the results of these analysis were evaluated graphically presented on the subject, assessment about this topic took place.

For the analyses, four different soil types, having two different excavation depths have been used and for each soil type, the models which have different excavation depths have been established. Furthermore, the situation where the retaining structure was a console was studied as well.

For the first model, the supporting of an excavation pit which is 80.0 m in length and 80 m in width with a retaining structure element that has 5 meters console length and 5 meters socket length have been modelled. For another model, the supporting of an excavation pit which is 80.0 m in length and 80 m in width with a retaining structure element that has 8 meters console length and 8 meters socket length has been modelled. For this excavation pit, the analyses have been performed for four different soil types.

Furthermore, the supporting of an excavation pit which is 100 m in length and 100 m in width with a retaining structure element that has 5 meters console length and 5 meters socket length has been modelled. For another model, the supporting of an excavation pit which is 100 m in length and 100 m in width with a retaining structure element that has 8 meters console length and 8 meters socket length has been modelled.

For the analysis, all models are located in a single soil layer. And the ground water table is located below the final excavation depth.

Before the analysis are performed for the four soil types, during the excavation steps for the displacements with active earth pressure to be in a range; the analyses were performed with different thicknesses.

In the analysis results, displacements, stresses and earth pressure coefficients are examined.

When the analysis for the excavation pit, which is 80.0 m in length and 80 m in width is examined, that is investigated that, the displacements at the corner point are 0.00 m, and by the distance from the corner, displacements increase and after a certain distance, the displacements reach the value that is nearly maximum and finally that reaches the maximum value.

For loose sandy soils for model 1 the maximum displacement is δh_{max} = 0,016 meters, for model 2 the maximum displacement is δh_{max} = 0,031 meters. These values are in the range of used displacement.

For medium stiff sandy soils for model 1 the maximum displacement is δh_{max} = 0,009 meters, for model 2 the maximum displacement is δh_{max} =0,016 meters. These values are in the range of used displacement.

For soft clay soils for model 1 the maximum displacement is δh_{max} = 0,158 meters, for model 2 the maximum displacement is δh_{max} =0,356 meters. These values are in the range of used displacement.

For semi-solid clay soils for model 1 the maximum displacement is δh_{max}= 0,068 meters, for model 2 the maximum displacement is δh_{max}=0,113 meters. These values are in the range of used displacement.

When the stresses are analyzed, the stress value had the biggest value at the corner point, and the stresses increased by the increased depth. Also corner effect was seen further away the corner as the depth increased.

For loose sandy soils, when model 1 and model 2 are examined, at the point that is 30 meter distant from the corner, the stress values are nearly reached for both models.

For medium stiff sandy soils, when model 1 and model 2 are examined, at the point that is 25 meter distant from the corner, the stress values are nearly reached for both models.

For soft clay soils, when model 1 and model 2 are examined, at the point that is 30 meter distant from the corner, the stress values are nearly reached for both models.

For semi-solid clay soils, when model 1 and model 2 are examined, at the point that is 25 meter distant from the corner, the stress values are nearly reached for both models.

Based on these results, the increase in the rigidity of the soil decrease the effectiveness distance of the corner effect.

Lateral earth pressure coefficients, K_{count}, have been determined by dividing the lateral soil stresses by unit weight of soil. For each model, for each excavation elevations, K_{count} has been calculated at varying distances from the corner. And also its relationship with the K_a and the K_0 has been located in the analyses charts. The values which are calculated for each model, are greater at the points which are near the corner point and by the increase of the distance the K_{count} value decreased. What is more, after the effective corner effect distance K_{count} value reaches to K_a.

For loose sandy soils, for both models, model 1 and model 2, the earth pressure coefficient K_{count} which was obtained from stresses, change from the earth pressure coefficient K_0 to the earth pressure coefficient K_a by the increase of distance from the corner point. 30,00 meters distance from the corner, K_a condition is reached.

For medium stiff sandy soils, for both models, model 1 and model 2, the earth pressure coefficient K_{count} which was obtained from stresses, change from the earth pressure coefficient K_0 to the earth pressure coefficient K_a by the increase of distance from the corner point. 25,00 meters distance from the corner, K_a condition is reached.

For soft clay soils, for both models, model 1 and model 2, the earth pressure coefficient K_{count} which was obtained from stresses, change from the earth pressure coefficient K_0 to the earth pressure coefficient K_a by the increase of distance from the corner point. 30,00 meters distance from the corner, K_a condition is reached.

For semi-solid clay soils, for both models, model 1 and model 2, the earth pressure coefficient K_{count} which was obtained from stresses, change from the earth pressure

coefficient K_0 to the earth pressure coefficient K_a by the increase of distance from the corner point. 20,00 meters distance from the corner, K_a condition is reached.

Moreover, in this study, in order to check the effect of the changes in dimensions of excavation, another analysis was performed using the same parameters, for 100 x 100 m, and the same results have been obtained.

1. GİRİŞ

Günümüzde büyük şehirlerde hızla artan nüfusun ihtiyacını karşılayabilmek için yüksek katlı yapılar, yollar, köprüler, metrolar ve otoparklar gibi yapıların yapılması ihtiyacı doğmuştur. Yüksek katlı yapılar, otoparklar, metrolar gibi yapıların yapılması derin inşaat çukurları açılmasına sebep olur.

Yapılan derin kazılar sırasında oluşan yatay hareketlenmeler, oturmalar gibi olumsuzlukları güvenli bir şekilde karşılamak için iksa yapılarına ihtiyaç duyulmaktadır. İksa sisteminin güvenli ve ekonomik tasarımında zemin türü, komşu yapıların konumu, yeraltı suyu koşulları ve kazı geometrisi gibi parametrenin bilinmesi gerekmektedir. Birçok kazı çukuru kazı köşesine sahiptir.

Özellikle derin kazılar üzerine birçok araştırmacı çalışmıştır. Analizlerinde iki boyutlu sonlu eleman analizi kullanmışlardır. Fakat kazı doğada üç boyutlu bir durumdur. Gelişen teknoloji sayesinde üç boyutlu sonlu eleman analizleri bilgisayar programları ile bütünleştirilmiş ve iki boyutlu analizlere göre gerçeğe yakın sonuçlar bulunmasına olanak sağlamıştır.

Birçok araştırmacı aletsel gözlemlerden elde ettikleri değerleri üç boyutlu analizler ve iki boyutlu analilerden elde ettikleri değerler ile kıyaslamış ve üç boyutlu analizlerin aletsel gözlemler ile elde edilen verilere daha yakın sonuçlar verdiğini bulmuşlardır.

Köşe etkisinin doğru analizi projelere ekonomi sağlayabilir. Kazı çukurlarında köşenin etkisi birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir.

Özetle bu çalışma kapsamında, üç boyutlu sonlu elemanlar programı olan Plaxis 3D Foundation V2.2 programı kullanılarak, dört farklı zemin tipi için değişik kazı derinliklerinde modeller kurulup köşe etkisinin deplasman ve yanal toprak gerilmeleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Önceki çalışmalar bölümünde, konuya ilişkin gerçekleştirilen çalışmalar alınmış ve sunulmuş, ardından üç boyutlu sonlu elemanlar çözümüne ve teorik zemin modellerine ilişkin kısa bilgiler verilmiştir. Son

bölümde ise kurulan modellerin analiz edilmiş, bu analizlerin sonuçları grafiksel olarak sunularak konuya ilişkin değerlendirmeler yapılmıştır.

2. YANAL TOPRAK BASINÇLARI

2.1 Giriş

Herhangi bir derinlikte destekleme sistemi ve zemin arasında oluşan basınca "yanal toprak basıncı" denir. Yanal toprak basıncı, **(2.1)** bağıntısı ile hesaplanır.

$$p_h = K.p_v \qquad \textbf{(2.1)}$$

Bu bağıntıda p_h yanal toprak basıncını, p_v düşey basıncı K ise yanal toprak basıncı katsayısını ifade eder.

İstinat yapılarına etkiyen toprak basınçlarının hesaplanmasında, plastisite teorisinden hareket eden Rankine Teorisi, Coulomb tarafından kurulan ve sonraları geliştirilen Kama Teorisi kullanılmaktadır. Ayrıca ilave yüklerden doğan yanal basınçların hesaplanmasında, elastisite teorisinden istifade ile elde olunan formüller de mevcuttur. Arkasında zemin tutan bir perde (istinat yapısı arka yüzü) topraktan ileriye yeter miktarda hareket ederse Aktif Toprak Basıncı, perde toprağa doğru yeter miktarda hareket ederse, Pasif Toprak Basıncı doğar. Perdenin hareket etmemesi halinde doğacak basınca, Sükunetteki Toprak Basıncı adı verilir (Kumbasar ve Kip, 1999)

2.2 Rankine Teorisi

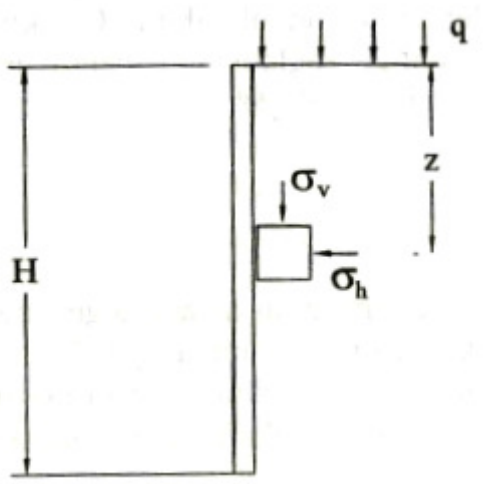
Rankine Teorisi, bir zemin ortamda, zemin ortamın plastik denge durumuna ulaştığı andaki gerilmeleri dikkate alır. Zemin ortamın her noktasında kırılma varsa, böyle bir duruma, plastik denge denilir. Rankine durumunda yanal zemin basınçları düşey yüzlü duvar arkasına yatay olarak etkir. Diğer bir değişle, Rankine Teorisinde duvar arkası ile zemin arasında bir sürtünmenin olmadığı (δ=0º), duvar arka yüzünün pürüzsüz olduğu kabul edilir. Bu kabul, yanal zemin basınçlarının hesaplanmasını son derece kolaylaştırırken, gerçekte duvar arkası ile zemin arasında bir miktar sürtünme vardır. Rankine aşağıdaki kabulleri yapar,

- Duvarla zemin ortamda bir sürtünme yoktur (δ=0º),
- Zemin isotroptur,
- Zemin homojendir,

Kabullerini yapar (Kumbasar ve Kip, 1999).

2.2.1 Sükunetteki Toprak Basıncı

Şekil 2.1' de gösterildiği gibi düşey ve sürtünmesiz bir eleman zemine sokulur da yer değiştirme olmaksızın önü boşaltılırsa bu elemana etkiyen yanal gerilmeler sükunetteki yanal zemin gerilmesi adını alır.



Şekil 2.1 : Sükunetteki yatay zemin itkisi (Yıldırım, 2002)

Sükunetteki toprak basınç dağılımı (**2.1**) bağıntısı ile hesaplanırken, sükunetteki toprak direnci, K_o katsayısının hesabı için (**2.2**) bağıntısı kullanılır.

$$K_o = (1-\sin\varphi)(AKO)^{\sin\varphi} \qquad \textbf{(2.2)}$$

Bu bağıntıda K_o sükunetteki toprak basıncı katsayısı, Ø terimi zeminin içsel sürtünme açısı, AKO ise zeminin aşırı konsolidasyon oranıdır.

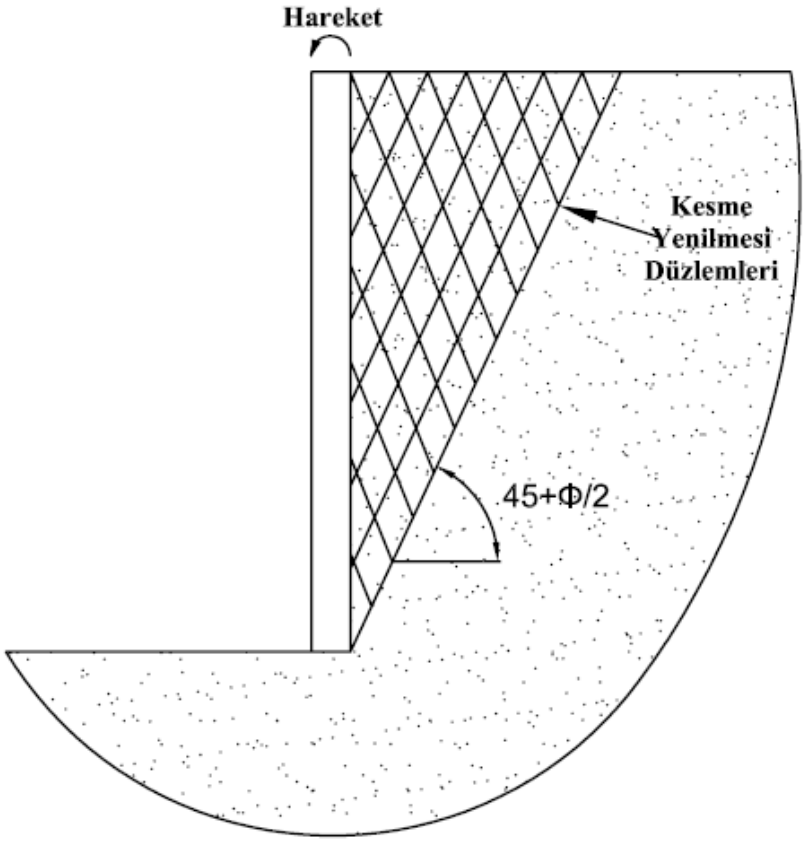
Değişik zemin türleri için alınabilecek K_o katsayıları Çizelge 2.1' de verilmektedir (Yıldırım, 2002).

Çizelge 2.1 : Değişik zemin türleri için alınabilecek K_o katsayıları (Yıldırım, 2002)

Zemin Türü	K_o
Gevşek Kum	0.50
Sıkı Kum	0.35
Sıkıştırılmış Kum	1.00-1.50
Normal konsolide kil	0.50-0.70
Aşırı konsolide kil	1.00-4.00
Sıkıştırılmış kil	1.00-2.00

2.2.2 Aktif Toprak Basıncı

Arkasında zemin tutan bir perde (istinat yapısı arka yüzü) topraktan ileriye yeter miktarda hareket ederse Aktif Toprak Basıncı oluşur. Şekil 2.2' de aktif toprak basıncı şematik biçimde gösterilmiştir.



Şekil 2.2 : Aktif toprak basıncı (Coduto, 2001).

Arkasında zemin tutan bir perde düşey, arkasındaki zemin yatay ve duvar/zemin arasındaki sürtünme açısı δ =0 ise herhangi bir z derinliğindeki noktaya etkiyen aktif toprak basıncı p_a ile gösterilirse (α=90°, β=0°, δ=0°), kumlu zeminlerde (c=0, Φ hali) aşağıdaki bağıntı yazılabilmektedir (**2.3**). (Şekil 2.3 a) (Kumbasar ve Kip, 1999)

$$p_a = \gamma.z.tg^2\left(45-\frac{\varphi}{2}\right) \qquad \textbf{(2.3)}$$

Killi zeminlerde (c, Φ hali) aşağıdaki bağıntı yazılabilmektedir (**2.4**). (Şekil 2.3 b) (Kumbasar ve Kip, 1999)

$$p_a = \gamma.z.tg^2\left(45-\frac{\varphi}{2}\right)-2ctg(45-\frac{\varphi}{2}) \qquad \textbf{(2.4)}$$

Aktif toprak basıncı katsayısı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır (**2.5**).

$$K_a = tg^2\left(45-\frac{\varphi}{2}\right) \qquad \textbf{(2.5)}$$

Buna göre p_a =0 olan derinlik aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır (**2.6**).

$$z_0 = 2c / \gamma\sqrt{K_a} \qquad \textbf{(2.6)}$$

Bu seviye ile zemin yüzü arasında çekme gerilmeleri yer alır. Zemin yüzünde (z=0 için) çekme gerilmesi maksimum (**2.7**),

$$P_a = -2c / \gamma\sqrt{K_a} \qquad \textbf{(2.7)}$$

değerine ulaşır.

Φ=0 olması halinde ise (**2.8**) ve (**2.9**),

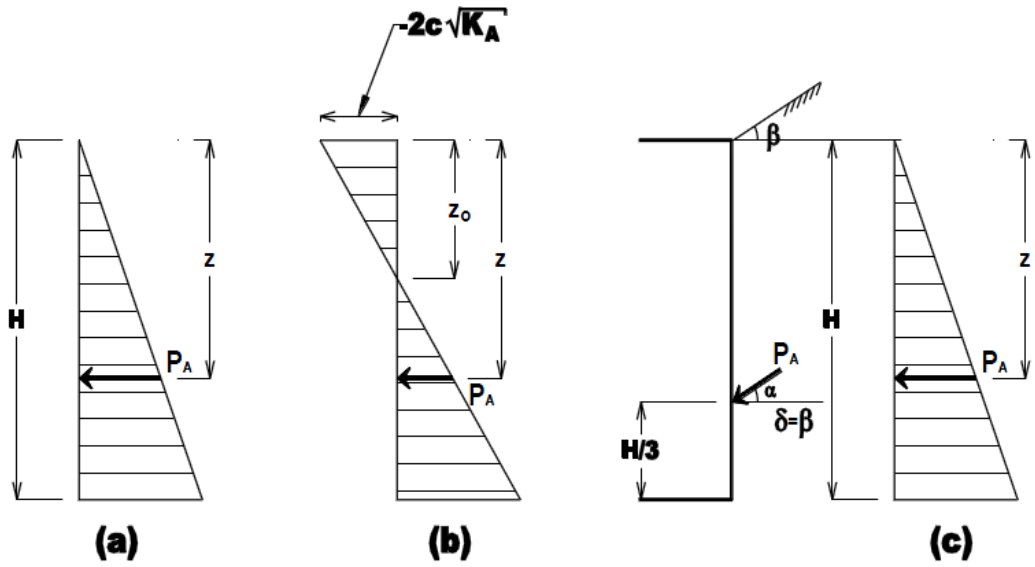
$$P_a = \gamma.z - 2.c \qquad \textbf{(2.8)}$$

$$z_0 = 2.c / \gamma \qquad \textbf{(2.9)}$$

olur.

Kumlu zeminlerde eğik duvar arkası dolgusu halinde (β≠0), zemin yüzüne parelel aktif toprak basıncı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır (**2.10**). (Şekil 2.3 c) (Kumbasar ve Kip, 1999)

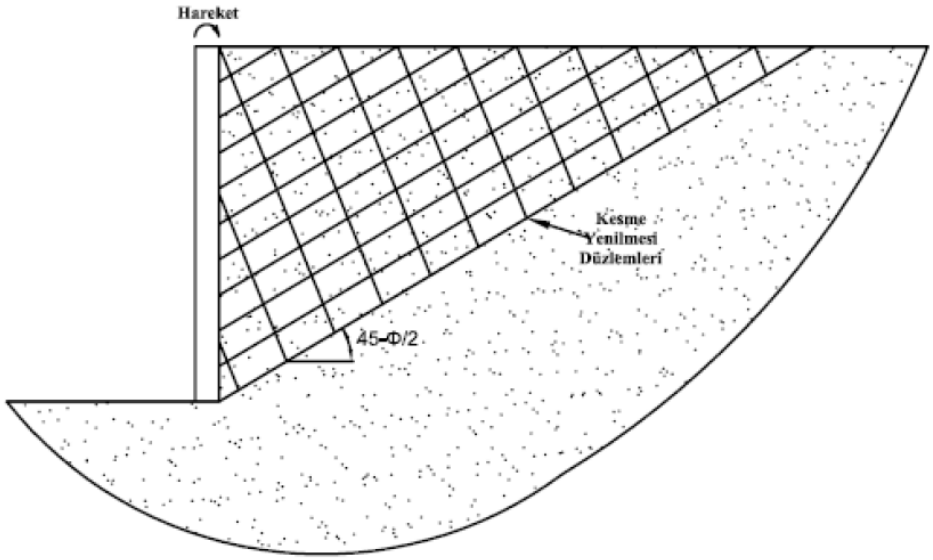
$$P_a = \gamma.z.\frac{\cos\beta - \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\varphi}}{\cos\beta + \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\varphi}}.\cos\beta \qquad \textbf{(2.10)}$$



Şekil 2.3 : Rankine aktif toprak basınçları (Kumbasar ve Kip, 1999).

2.2.3 Pasif Toprak Basıncı

Perde toprağa doğru yeter miktarda hareket ederse, Pasif Toprak Basıncı doğar. Şekil 2.4' de pasif toprak basıncı şematik biçimde gösterilmiştir.



Şekil 2.4 : Pasif toprak basıncı (Coduto, 2001).

Arkasında üst yüzü yatay bir zemin taşıyan sürtünmesiz düşey bir duvarın (α=90°, β=0°, δ=0°) herhangi bir z derinliğindeki noktasına etkiyen aktif toprak basıncı p_p ile gösterilirse kumlu zeminlerde (c=0, Φ hali) aşağıdaki bağıntı yazılabilmektedir. (**2.11**). (Şekil 2.5 a) (Kumbasar ve Kip, 1999)

$$p_a = \gamma.z.tg^2\left(45+\frac{\varphi}{2}\right) \qquad \textbf{(2.11)}$$

Killi zeminlerde (c, Φ hali) aşağıdaki bağıntı yazılabilmektedir (**2.12**). (Şekil 2.5 b) (Kumbasar ve Kip, 1999)

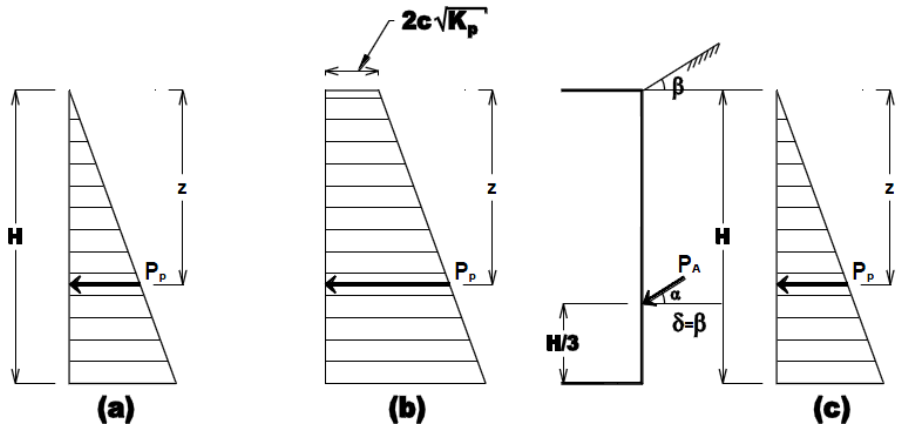
$$p_a = \gamma.z.tg^2\left(45+\frac{\varphi}{2}\right)+2.c.tg(45+\frac{\varphi}{2}) \qquad \textbf{(2.12)}$$

Pasif toprak basıncı katsayısı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır (**2.13**).

$$K_p = tg^2\left(45+\frac{\varphi}{2}\right) \qquad \textbf{(2.13)}$$

Kumlu zeminlerde eğik duvar arkası dolgusu halinde (β≠0), zemin yüzüne parelel pasif toprak basıncı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır (**2.14**). (Şekil 2.5 c) (Kumbasar ve Kip, 1999)

$$P_p = \gamma.z.\frac{\cos\beta+\sqrt{\cos^2\beta-\cos^2\varphi}}{\cos\beta-\sqrt{\cos^2\beta-\cos^2\varphi}}.\cos\beta \qquad \textbf{(2.14)}$$



Şekil 2.5 : Rankine pasif toprak basınçları (Kumbasar ve Kip, 1999).

2.3 Cloumb Teorisi

Coulomb, arkasında yatay olmayan zemin taşıyan eğik bir sürtünmeli perdeye gelen yanal basınçları, ($\alpha \neq 0$, $\beta \neq 0$, $\delta = 0°$) kumlu zemin ($c = 0$) halinde bir formülle verilmektedir. Cloumb'a göre aktif basınç (**2.15**) bağıntısı ile bulunur.

$$P_a = \frac{1}{2}\gamma \frac{1}{\sin\theta\cos\delta} K_a h^2 \qquad \textbf{(2.15)}$$

Aktif toprak basıncı katsayısı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır (**2.16**) (Kumbasar ve Kip, 1999).

$$K_a = \frac{\sin^2(\theta+\phi)\cos\delta}{\sin\theta\sin(\theta-\delta)\left[1+\sqrt{\frac{\sin(\phi+\delta)\sin(\phi-\beta)}{\sin(\theta-\delta)\sin(\theta+\beta)}}\right]^2} \qquad \textbf{(2.16)}$$

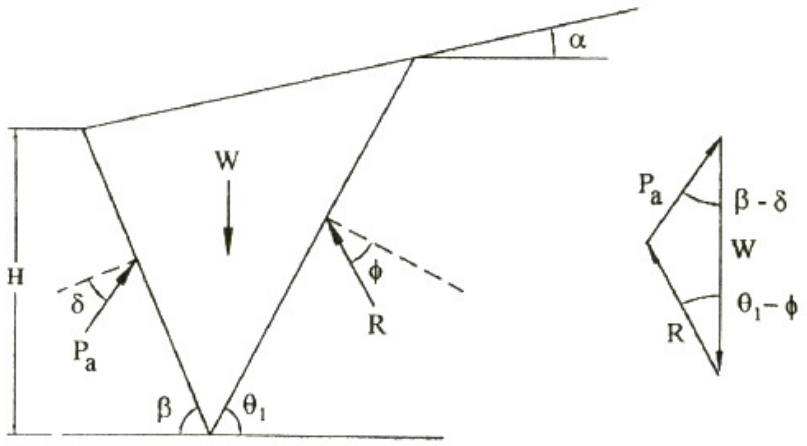
Pasif basınç ise (**2.17**) bağıntısı ile bulunur.

$$P_p = \frac{1}{2}\gamma \frac{1}{\sin\theta\cos\delta} K_p h^2 \qquad \textbf{(2.17)}$$

Pasif toprak basıncı katsayısı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır (**2.18**).

$$K_p = \frac{\sin^2(\theta-\varphi)\cos\delta}{\sin\theta\sin(\theta+\delta)\left[1+\sqrt{\frac{\sin(\varphi+\delta)\sin(\varphi+\beta)}{\sin(\theta+\delta)\sin(\theta+\beta)}}\right]^2} \qquad \textbf{(2.18)}$$

Şekil 2.6' da kohezyonsuz zemin için Cloumb kaması gösterilmiştir (Yıldırım, 2002).



Şekil 2.6 : Cloumb kama yöntemi ile aktif itki (Yıldırım, 2002).

2.4 Toprak Basıncına İlave Yükler

Toprak basıncı dağılımın belirlenmesinde, sürşarj yükleri, yeraltı suyunun durumu da dikkate alınmalıdır.

2.4.1 Sürşarj yükleri

İksa yapısı üzerinde çeşitli nedenlerden dolayı sürşarj yükü oluşabilir. Bu yükler yapısal yükler olabildiği gibi, araçlardan, yerüstü depolamalarından, arka dolgu sıkıştırma ekipmanlarından veya diğer nedenlerden ileri gelebilir. İksa duvarı üzerine etkiyen yükün çizgi, nokta ve şerit yük tipleri için, yükün belli bir yatay uzaklığından, derinlikten etkilemesine ve yükün şiddetine göre toprak basıncına olan ilave etkisi abaklardan veya yarı ampirik hesap metotlarından hesaplanabilmektedir.

Duvar arkasında zemin yüzeyini tamamen kaplayan bir yayılı yük (q) mevcut ise, z derinliğinde etki eden ilave aktif toprak basıncı (**2.19**) bağıntısı ile hesaplanır.

$$P_a = K_a \cdot q \qquad \textbf{(2.19)}$$

2.4.2 Yeraltı su seviyesi

İksa yapısının yapılacağı zemin çevresinde yeraltı suyunun bulunması halinde toprak basıncına ilave bir su basıncı etkileyecektir. Su seviyesine kadar (**2.20**) bağıntısı ile hesaplanır.

$$P_a = K_a\left[\gamma_w z_w + \gamma'\left(z - z_w\right)\right] \qquad \textbf{(2.20)}$$

2.5 İksa Sistemlerine Etkileyen Toprak Basınçları

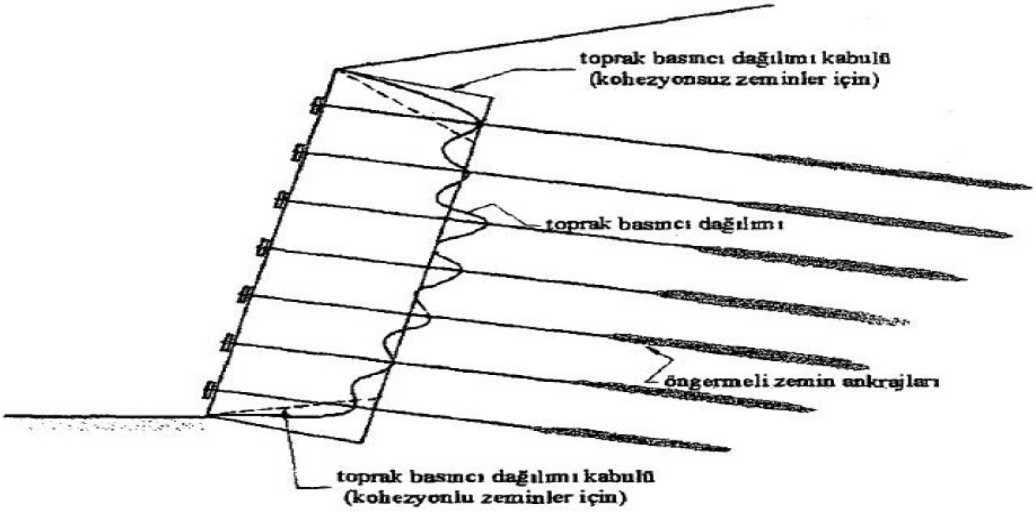
Rankine ve Coulomb tarafından geliştirilen toprak basıncı teorileri dayanma duvarlarına, zemine ankastre perde duvarlara, tek sıra yatay destekli veya ankrajlı zemine sabit mesnetli veya ankastre perde duvarlara uygulanabilmekle beraber, çok sıra yatay destekli veya ankrajlı destekleme sistemlerine uygulanamazlar. Bu çok sıra destekli sistemlerin yapılış aşamalarının, deformasyon biçiminin ve sistemin göçme mekanizmasının diğerlerinden farklı olması ile açıklanabilir (Özbek, 2009).

Derin kazı destekleme sistemlerinin rijitlikleri istinat yapılarına göre daha azdır. Ayrıca destekleme sistemlerinde, bölgesel toprak basıncı yığılması sonucu destekleme sistemlerinin elemanlarında çok büyük yükler oluşmakta ve bunun sonucunda da sistemin toptan göçmesine neden olabilecek bir ardışık göçme mekanizması meydana gelebilmektedir. Bu sebepten desteklerin tasarımı, desteklere gelebilecek yüklerin ortalamasına göre değil de oluşabilecek maksimum yatay destek yüklerine göre yapılmalıdır. Çok sıra ankrajlı destekleme sistemlerinin yapım aşamasındaki davranışı şu şekilde açıklanabilir (Berilgen, 1996);

Düşey destekleme sistemi yapıldıktan sonra birinci sıra ankrajın yerleştirileceği kota kadar kazılır. Bu aşama sırasında sistem ankastre konsol gibi çalışır ve bunun sonucu olarak destekleme sistemi, aşağı doğru lineer olarak artan aktif toprak basıncına maruz kalır. Bu aşamada sistem kazı tabanı civarındaki bir nokta etrafında dönerek hareket eder. İkinci aşamanın başlangıcında ilk sıra ankraj yerleştirilir. Bunun uygulayacağı itki ne kadar büyük olursa olsun destekleme sistemini ve zemini, kazı yapılmadan önceki durumuna döndüremez, ancak, ankrajdaki itki aktif toprak basıncından büyükse, destekleme sistemine etkiyen basıncı arttırır. Ankrajın yerleştirilmesi ile oluşan toprak itkisi yaklaşık olarak ankraj kuvvetine eşittir (Özbek, 2009).

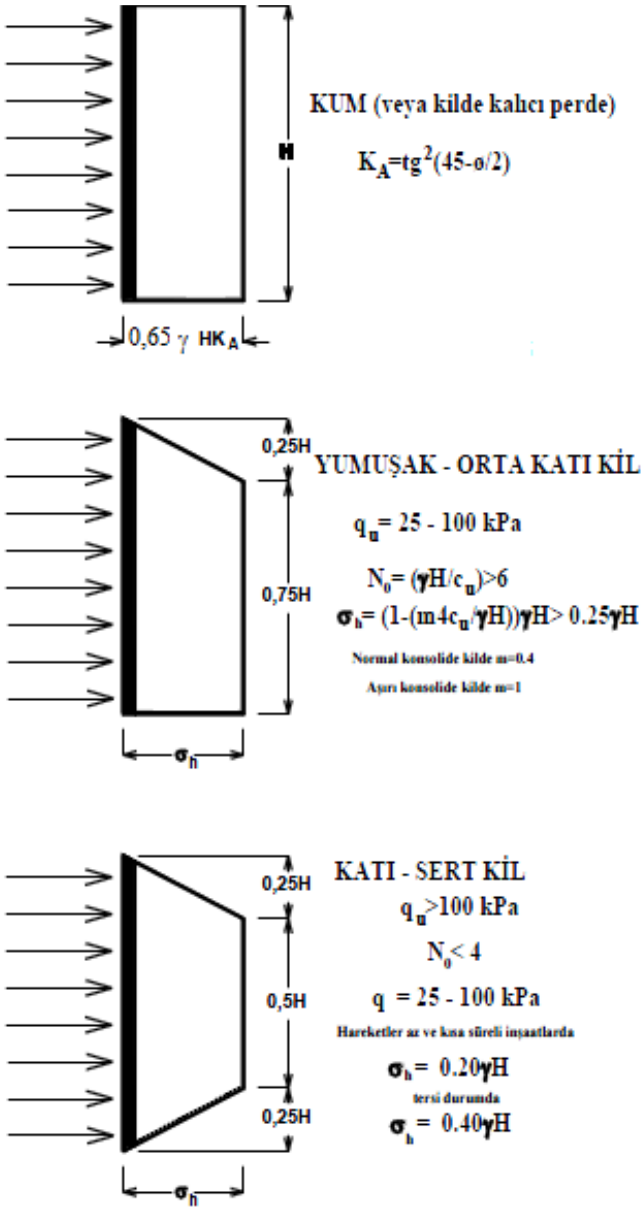
Aradaki fark kazı tabanı seviyesi ve altındaki toprak basıncı dağılımının tam olarak belirlenememesinden kaynaklanmaktadır. İkinci sıra ankrajı yerleştirmek için yapılan kazı yeni yatay hareketlere yol açar ve oluşan bu hareketlerde ilk ankrajda yük kaybına ve bununla birlikte zeminde akmaya neden olur. İkinci sıra ankrajın gerilmesi, birinci sıra ankrajın tekrar gerilmesi ve bunun ardından yapılacak kazı nedeniyle oluşacak yatay hareketler kabaca, parabolik olarak nitelendirilebilecek basınç dağılımının oluşmasına yol açar. Bu da destekleme sisteminin arkasında

oluşan toprak basıncı dağılımının, sistemin kazıya doğru hareketine yol açan gerçek toprak basıncı dağılımından çok, ankraj kuvvetlerine bağlı olduğunu ortaya koyar (Özbek, 2009) (Şekil 2.7).



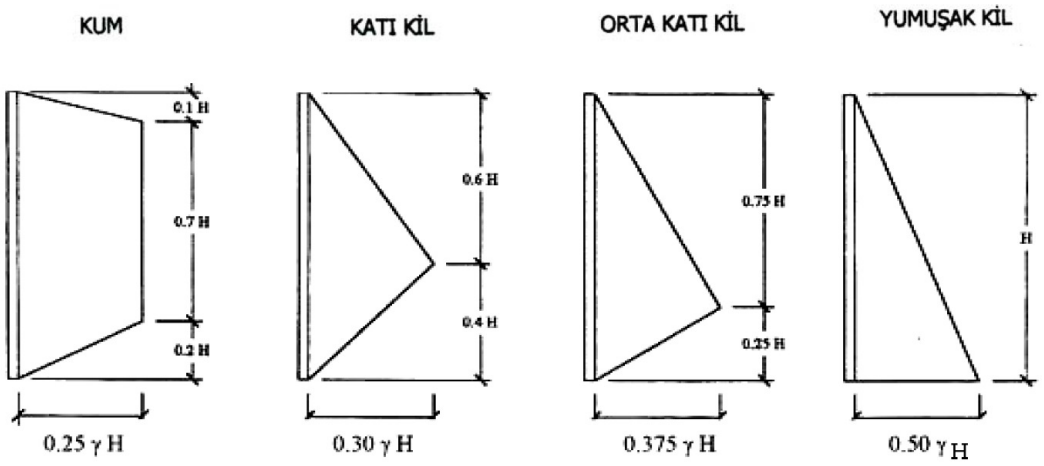
Şekil 2.7 : Çok sıra ankrajlı bir duvarda toprak basıncı dağılımı (Bowles, J. E, 1998).

Şekil 2.8' de Terzaghi ve Peck (1967) tarafından önerilen basitleştirilmiş toprak basıncı dağılımları gösterilmektedir (Yıldırım, 2002).



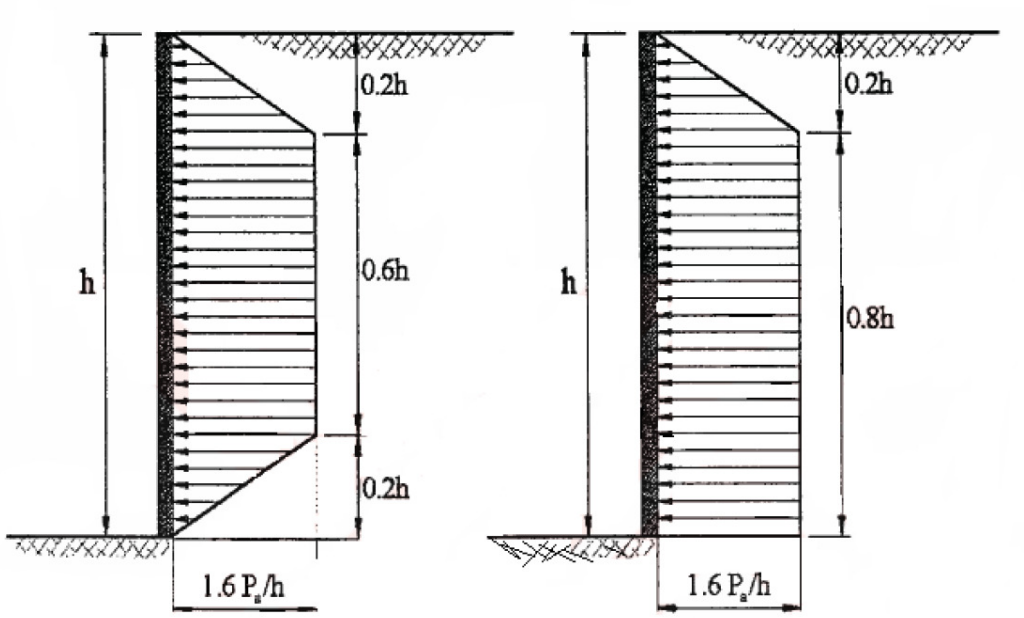
Şekil 2.8 : Terzaghi ve Peck (1967) tarafından basitleştirilmiş toprak basıncı dağılımları (Yıldırım, 2002).

Tschebotarioff (1951) tarafından önerilen toprak basıncı dağılımları ise Şekil 2.9' da verilmektedir.



Şekil 2.9 : Tschebotarioff tarafından önerilen toprak basınç dağılımları Tschebotarioff (1951) (Yıldırım, 2004).

İsveç Yapı Şartnamesi (1974)'ince önerilen toprak basıncı dağılımı Şekil 2.10' da gösterilmektedir.(Günsever, 1999).



Şekil 2.10 : Kohezyonsuz zeminler için İsveç Yapı Standartı tarafından önerilen önerilen toprak basınç dağılımları (a) Düşük Relatif Sıkılıklı, (b) Yüksek Relatif Sıkılıklı (Günsever, 1999).

3. KONU İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Kazı doğada var olan üç boyutlu bir durumdur. Derin kazılar sırasında açığa çıkan gerilmeler deplasmana sebep olur. Kazı köşesinin deplasman ve gerilme üzerinde çeşitli etkileri vardır. Bu araştırma konusu ile bir çok araştırmacı ilgilenmiştir.

Geçmiş çalışmalarda araştırmacılar aletsel gözlemlere dayanarak iksa duvarların yatay deplasmanları hakkında bazı öngörülerde bulunmuşlardır. Clough ve O'Rourke (1990), Ou ve diğ.(1994), Wong ve diğ. (1997), Carder (1995), Fernie ve diğ. Suckling (1996).

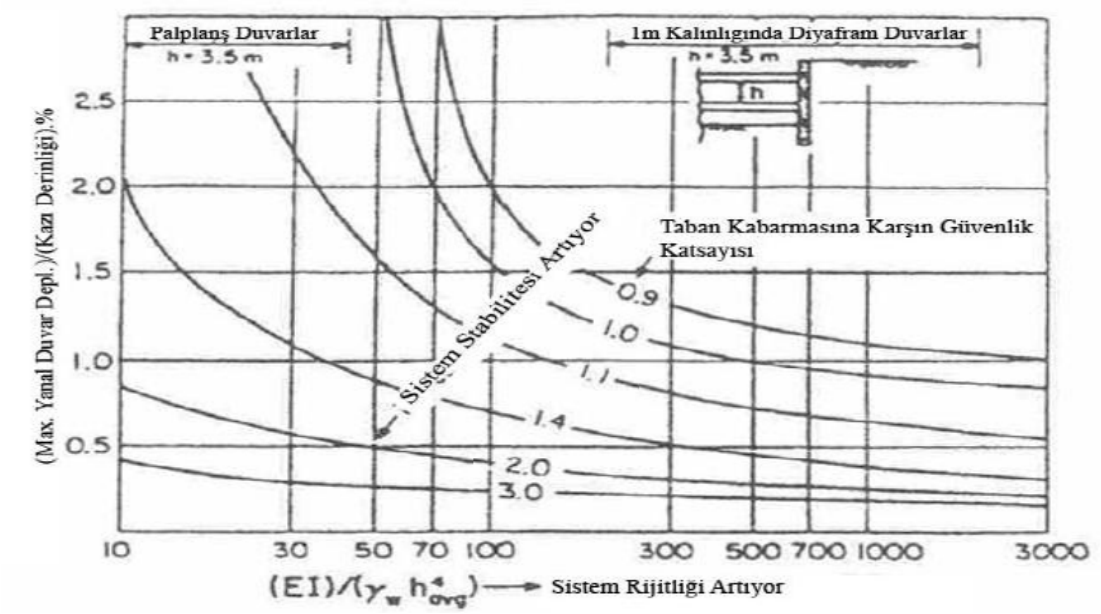
Clough ve O'Rourke (1990) tarafından verilen Şekil 3.1'de gösterilen abak yardımıyla sistem rijitliğine bağlı olarak iksa duvar yer değiştirmeleri hakkında önceden bir fikir sahibi olunabilmektedir. Clough ve O"Rourke (1990) tarafından yapılan çalışmada zemin,

- Katı killer/ çökel zeminler/ kumlar
- Orta katı kil olmak üzere,

iki ana kategoriye ayrılmaktadır.

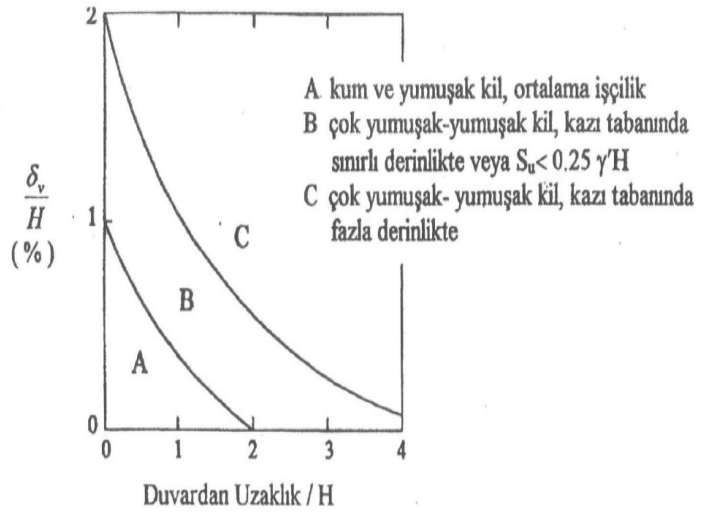
Buna göre yatay ve düşey yer değiştirme değerleri 1. kategori zeminler için (δ_{hmax}) 0,2%H ve (δ_{vmax}) 0,15%H olarak belirtilmektedir. 2. kategori zeminler için ise taban kabarması için güvenlik katsayısının ve sistem rijitliğinin tanımlanması gerekmektedir. Sistem rijitliğinin Clough ve diğerleri (1990) tarafından aşağıdaki (**3.1**) bağıntısı ile hesaplanacağı bildirilmiştir.

$$(EI)/(\gamma_w h^4) \qquad \textbf{(3.1)}$$



Şekil 3.1 : Duvar hareketleri tahmini için sistem rijitliğine bağlı abak (Clough ve O‟Rourke, 1990).

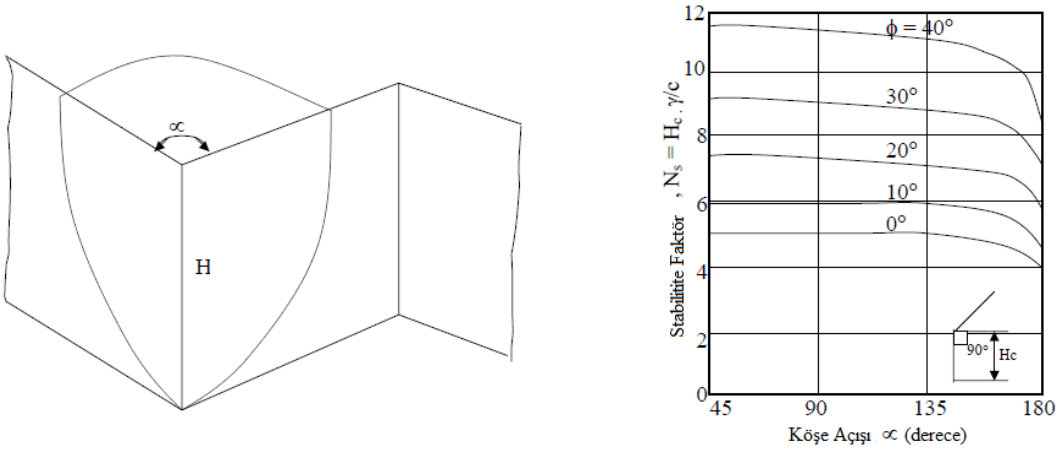
Peck (1969) tarafından derin kazılar üzerinde yapılan çalışmada, derin kazıların yatay desteklenmesi incelenip ve destekleme sisteminin özelliklerinin zemin tipine, kazı derinliğine ve yapım hızına bağlı olduğu bildirmektedir. Ayrıca palplanş duvar ve ahşap göğüslemeli çelik kazıklı duvarlar üzerinde üç farklı zemin sınıfı tanımlanıp kazı derinliğine göre normalize edilen maksimum düşey yer değiştirmenin (δ_{vmax}) kazıdan uzaklaştıkça değişen değerleri verildi. Bu üç tanımlamaya göre (δ_{vmax})/H değeri A grup zemin tanımlaması için 1.0%, B grup tanımlaması için ise >2% değerleri bulunmaktadır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 : Kazı tarafında gözlenen düşey yerdeğiştirmeler (Yıldırım,2002).

Carder (1995) tarafından sert zeminlerde iksa duvarında meydan gelen en büyük yatay yerdeğiştirmeler çalışılmıştır. Öngörüsüne göre maksimum yatay deplasmanlar iksa duvarının rijitliğine bağlıdır.Yaptığı çalışmada duvar deplasmanlarının üst limitleri gösterilmektedir. Aşırı rijit iksa duvarında meydana gelen deplasmanlar kazı derinliğinin (δ_{vmax}) 0,125%H, orta rijirlikte (δ_{vmax}) 0,20%H , düşük rijitlikte (δ_{vmax}) 0,40%H değerlerinde olduğunu bildirir.

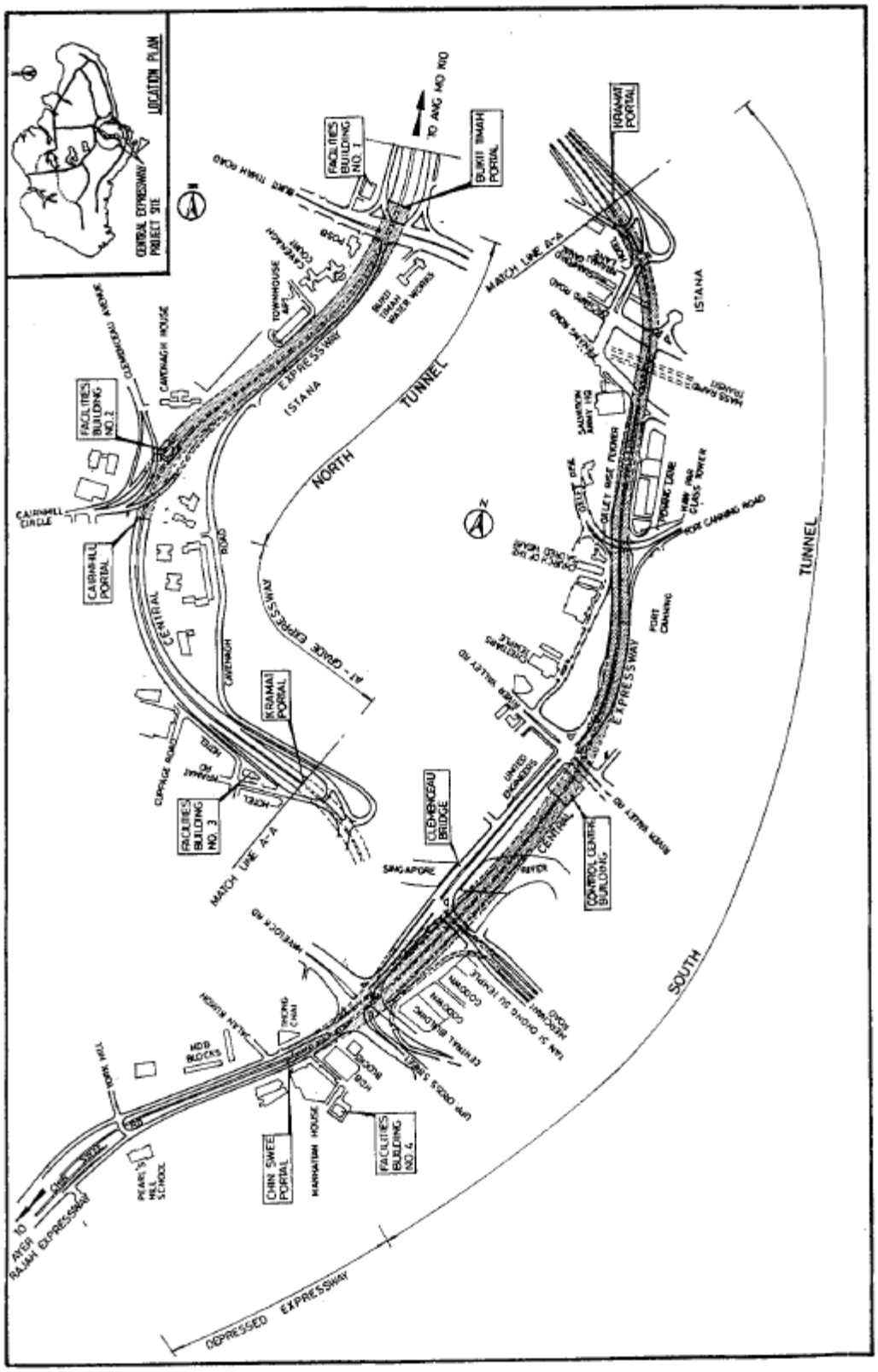
Üç boyut etkisi 1970'lerin başında çalışılmaya başlanmıştır. Giger ve Krizek (1975) yaptıkları çalışmada desteksiz bir kazının köşesinin 90.0 derece ile 180.0 derece arasında olduğu zaman kazının stabilitesini incelemişlerdir (Şekil 3.3). Köşe açısının 180.0 dereceye ulaştığı durumda iki boyutlu analizle elde edilen verilere ulaşıldığını görmüşlerdir. Burdan yola çıkarak kazı köşesinin açısının artmasının deplasmanı arttırıcı köşe etkisini azaltıcı bir etkisi olduğu sonucuna varmaktadırlar.



Şekil 3.3 : Değişen köşe açılarına karşılık gelen stabilite faktörleri (Giger ve Krizek, 1975).

Fernie ve Suckling (1996) İngiltere zeminlerinde yapılan kazıları incelemiş ve maksimum iksa duvar deplasmanının 0,15%H /0,20%H değeri aralığında olduğunu belirtmektedirler.

Singapur'da bulunan Central Expressway (CTE) Phase II yapısı kazısı üzerine Wong ve diğ.(1997) çalışmıştır. Projenin güzergahı ve yerleşimi Şekil 3.4' de gösterilmektedir.



Şekil 3.4 : Central Expressway (CTE) Phase II yapısı güzergahı (Wong ve diğ., 1997).

İksa yapısı olarak diyafram duvarlar, teğet kazıklar,asker kazıklar, palplanj ve H kazık duvarları kullanılmıştır.

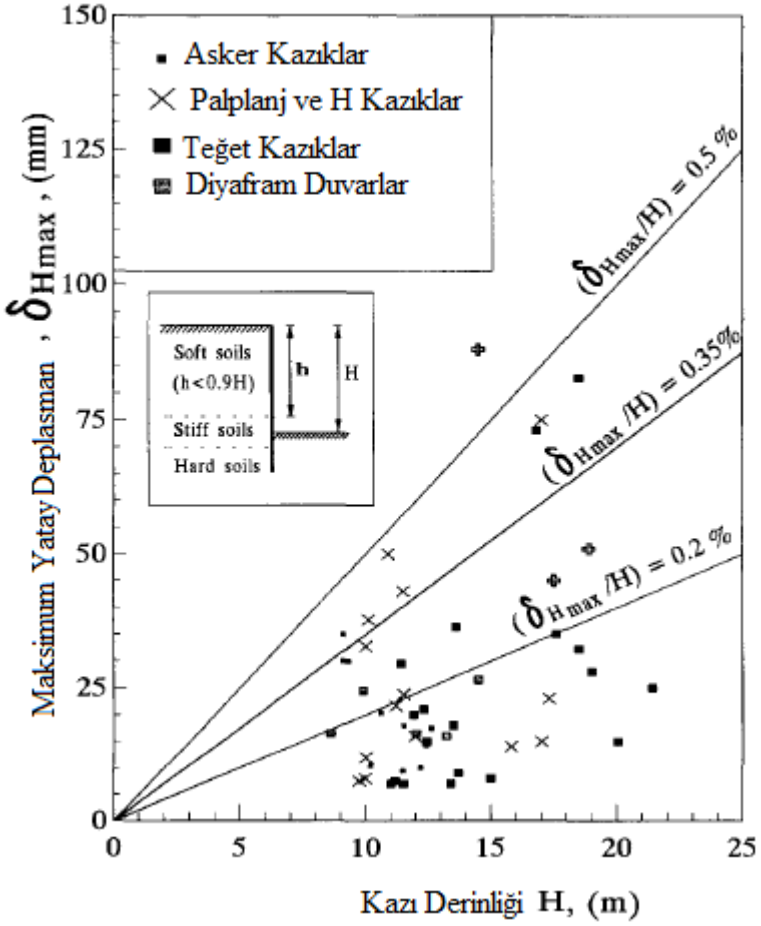
İnceleme alanındaki zemin üstte yumuşak zemin altta ise ayrışmış grovaktan oluşur.

Çalışmada kazılar,

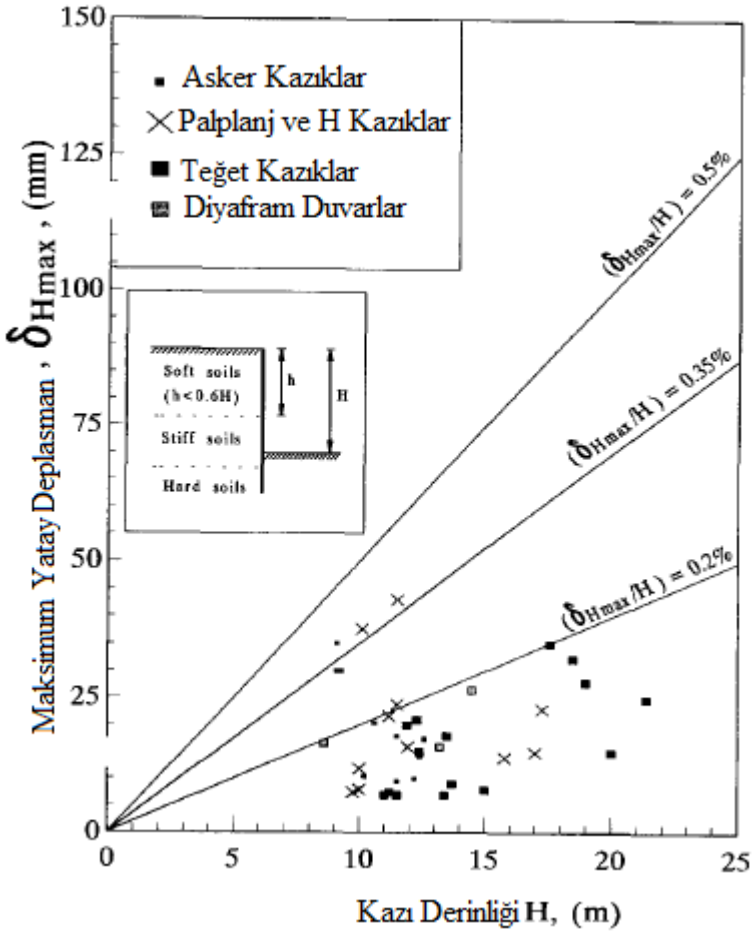
- Kazı derinliğinin % 90.0'dan azı yumuşak zemin tabakasından oluşan zemin tabakalaşmasına sahip olan,
- Kazı derinliğinin %60.0'dan azı yumuşak zemin tabakasından oluşan zemin tabakalaşmasına sahip olan olmak üzere,

iki ayrı sınıfa ayrılmaktadır.

Aletsel gözlemlerden elde edilen yatay deplasman ve toprak basınçları incelenmiştir. Maksimum yatay deplasman her sınıf için ayrı ayrı olmak üzere Şekil 3.5 ve Şekil 3.6' da incelenmiştir.

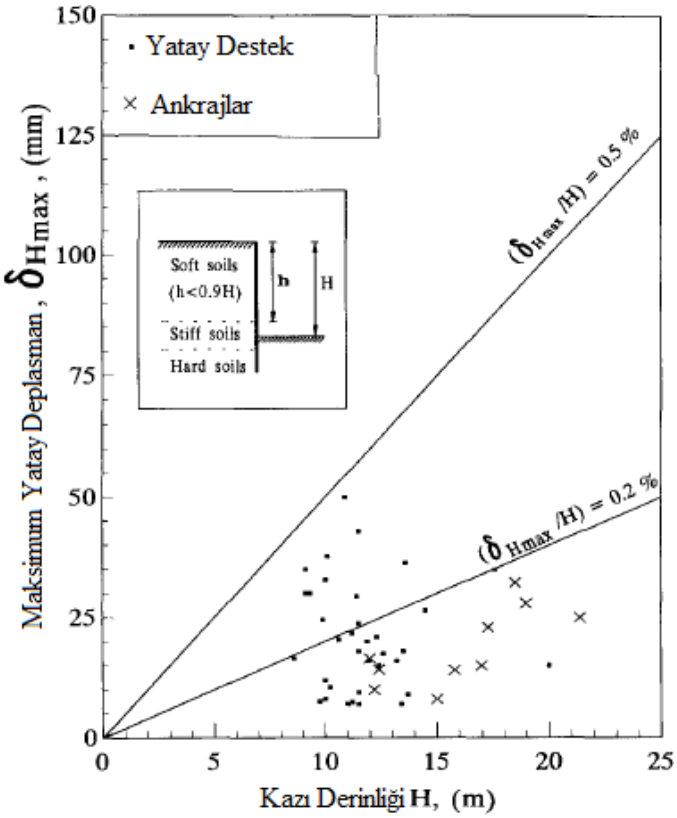


Şekil 3.5 : 1. Sınıf için dört farklı duvar tipinde gözlenen maksimum yatay deplasmanlar (Wong ve diğ., 1997) .

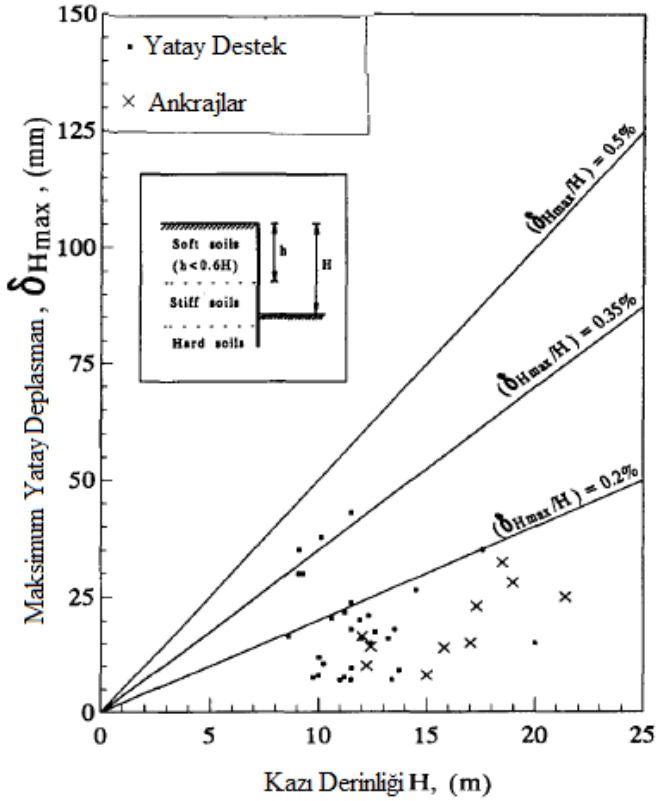


Şekil 3.6 : 2. Sınıf için dört farklı duvar tipinde gözlenen maksimum yatay deplasmanlar (Wong, ve diğ., 1997).

Şekil 3.5 ve Şekil 3.6' da görüldüğü gibi maksimum yatay deplasmanlar birinci sınıf için % 0,50 ile % 0,20 H arasında ikinci sınıf için ise genellikle % 0,20 H'dan küçük çıkmaktadır. Ayrıca araştırmacılar yatay elemanların deplasmana olan etkisi üzerine çalışma yapmışlar ve yapılan araştırmalar Şekli 3.7 ve Şekil 3.8' de gösterilmektedir.



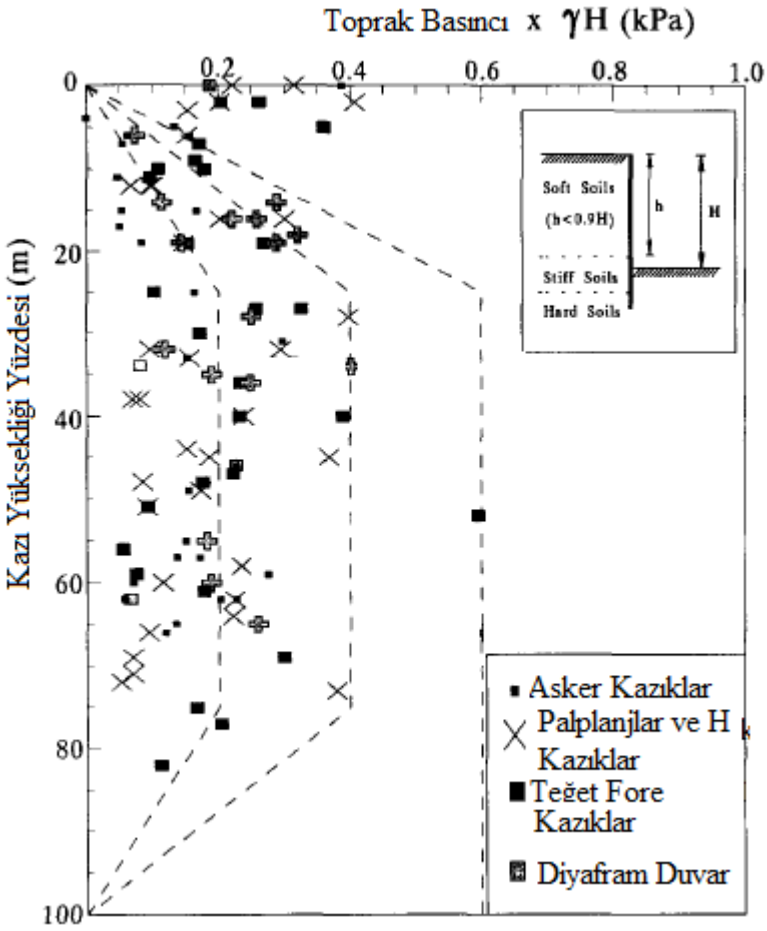
Şekil 3.7 : 1. Sınıf için yatay destek elemanına göre gözlenen maksimum yatay deplasmanlar (Wong, ve diğ., 1997) .



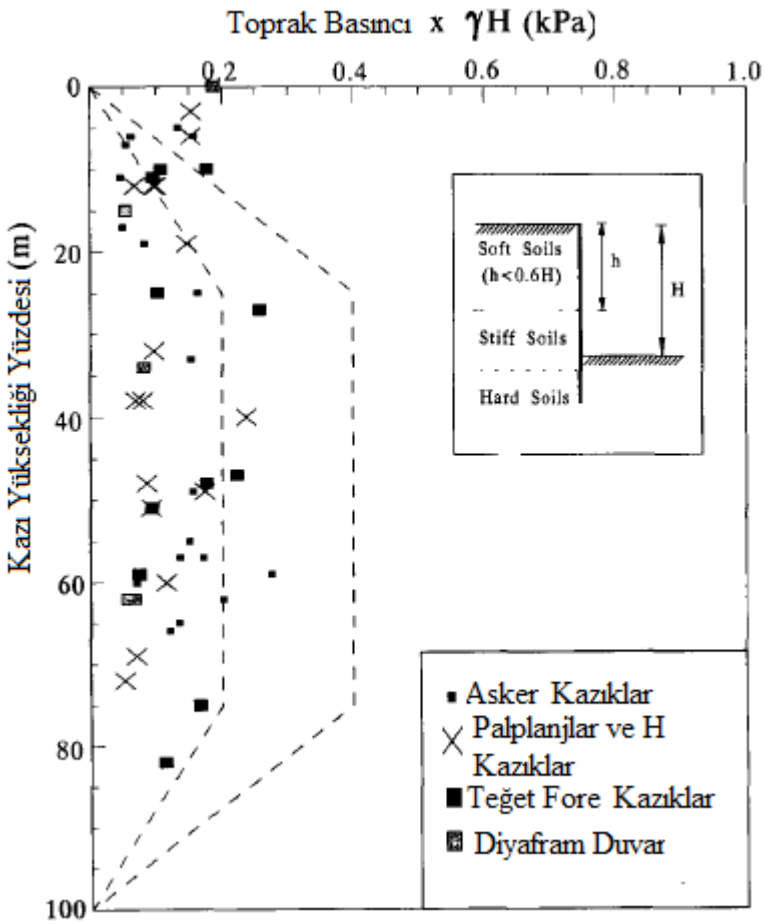
Şekil 3.8 : 2. Sınıf için yatay destek elemanına göre gözlenen maksimum yatay deplasmanlar (Wong, ve diğ., 1997).

Şekil 3.7 ve Şekil 3.8 incelendiğinde ankrajlı iksalarda çelik destek yatay elemanlı(strut) iksalara göre daha az yatay yerdeğiştirme gözlenmektedir.

Ayrıca yanal toprak basınçları iki sınıf içinde ayrı ayrı olmak üzere Şekil 3.9 ve Şekil 3.10' da incelenmektedir.



Şekil 3.9 : 1. Sınıf için dört farklı duvar tipinde gözlenen toprak basınçları (Wong ve diğ., 1997) .



Şekil 3.10 : 2. Sınıf için dört farklı duvar tipinde gözlenen toprak basınçları (Wong ve diğ., 1997) .

Şekil 3.9 ve Şekil 3.10 incelendiğinde birini sınıf için görülen maksimum toprak basıncı $0.6\gamma H$ ikinci sınıf için ise $0.25\gamma H$ değerleri bulunmaktadır.

Bir başka çalışmada Whittle ve diğ. (1993) iksa duvarında meydana gelen deplasmanların analitik olarak tespitinin zor olduğundan bahsetmektedir.

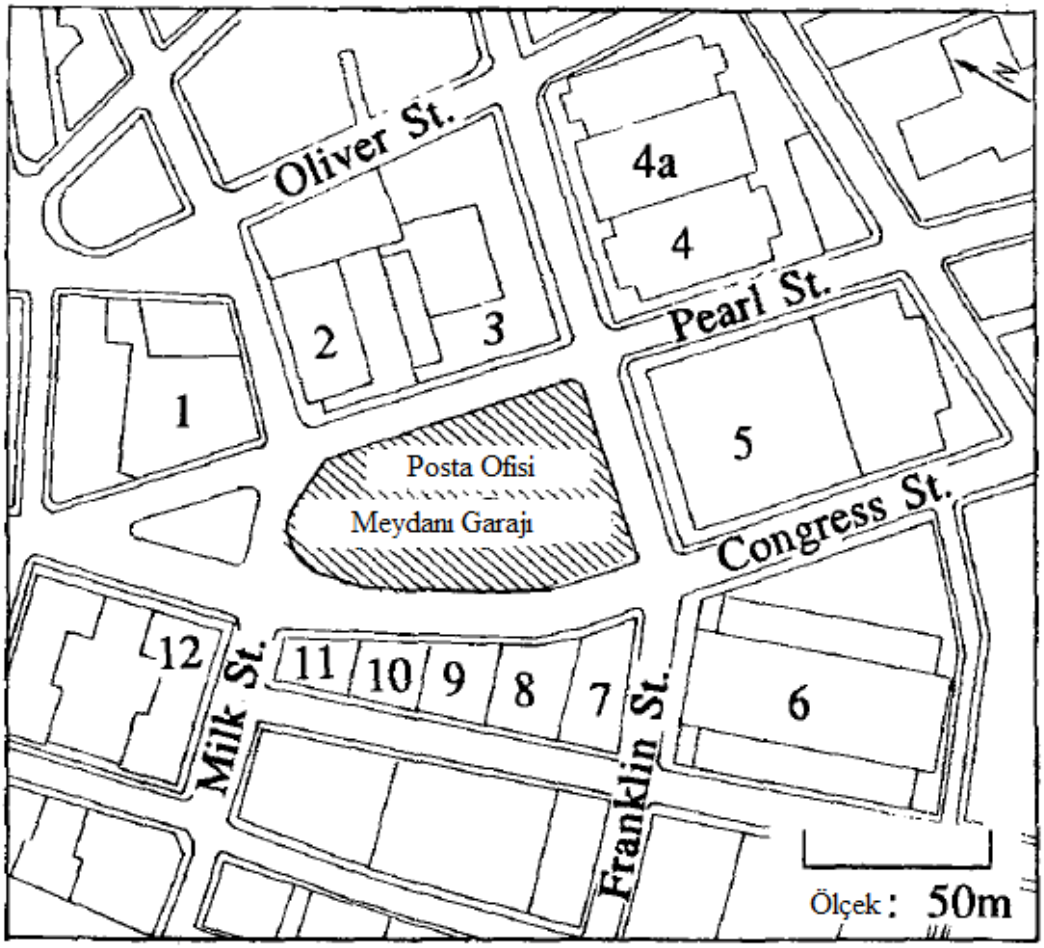
Bu zorlukları aşağıdaki şekilde sıralamaktadır.

- Saha gözlemlerinin kısıtlı olması ve analitik model kurarken geometrik yaklaşımlar kullanılması,
- Yetersiz laboratuvar ve arazi çalışmalarının mühendislik özelliklerinin seçimini belirsiz kılması,
- Sonlu eleman metodunun yaklaşık davranışı,
- Bazı inşaat safhalarının sonlu elemanlar modeli ile kolayca analiz edilememesi.

Whittle ve diğ. (1993) tarafından yapılan vaka analizi sonlu elemanlar modeli ile gözlemlenen sonuçların kıyası için iyi bir örnek teşkil eder.

Whittle ve diğ. (1993) Boston'da bulunan Posta Ofisi Meydanınında yapılan yedi katlı yeraltı otoparkı kazısını sonlu elemanlar modeli ile analiz etmişlerdir.

Arazi 6,880 m^2 üzerine oturur. Şekil 3.11' de gösterildiği gibi arazi önemli komşu binalarla çevirilidir.



Şekil 3.11 : Arazi konumu (Whittle ve diğ., 1993).

Çizelge 3.1' de komşu binaların bazı özellikleri verilmektedir.

Çizelge 3.1 : Bitişik binalar ve temelleri (Whittle ve diğ., 1993)

Numara	Kat Sayısı	Temel Tipi	Taşıyıcı Zemin
1	14	Keson	Sert Kil
2	40	PIF	Sert Kil
3	5	Papuç	Kil
4	12	Keson	Kil
4a	34	Radye	Sert Kil
5	21	Papuç	Sert Kil
6	38	Radye	Sert Kil
7	7	Radye	Kil
8	11	Papuç	Kil
9	7	Papuç(?)	Kil(?)
10	12	Mütemadi Temel	Kil
11	11	Radye	Kil
12	17	Radye	Kil

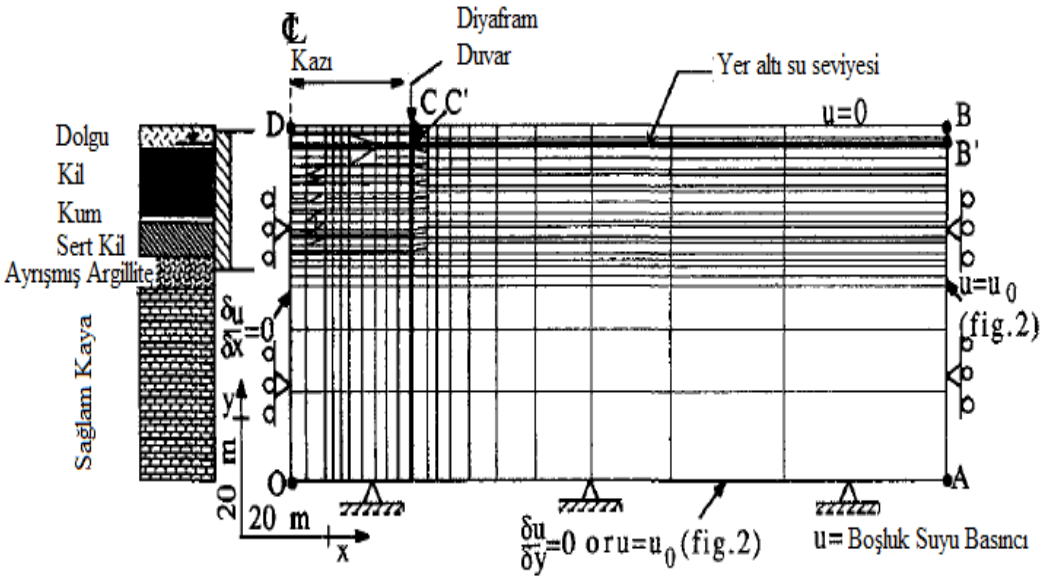
Zemin yapısını anlamak için beş adet sondaj yapılmıştır. Yapılan sondajlar sonucunda zeminin tabakalarının yukarıdan aşağıya dolgu, düşük plastisiteli kil, sıkıdan çok sıkıya giden kum, yer yer ayrışmış argillite kalıntıları ve sağlam kayadan oluştuğunu görmüşlerdir. Ayrıca yer altı su seviyesinin 2.30-2.90 metrelerde olduğunu görmüşlerdir.

İki boyutlu analiz çözümü yapmak için sonlu eleman modeli ile çözüm yapan ABAQUS programını kullanmışlardır.

Kazı yukardan aşağıya inşaat yapım metod ile modellenmiştir. Modelde üç faz kullanılmıştır. Bunlar

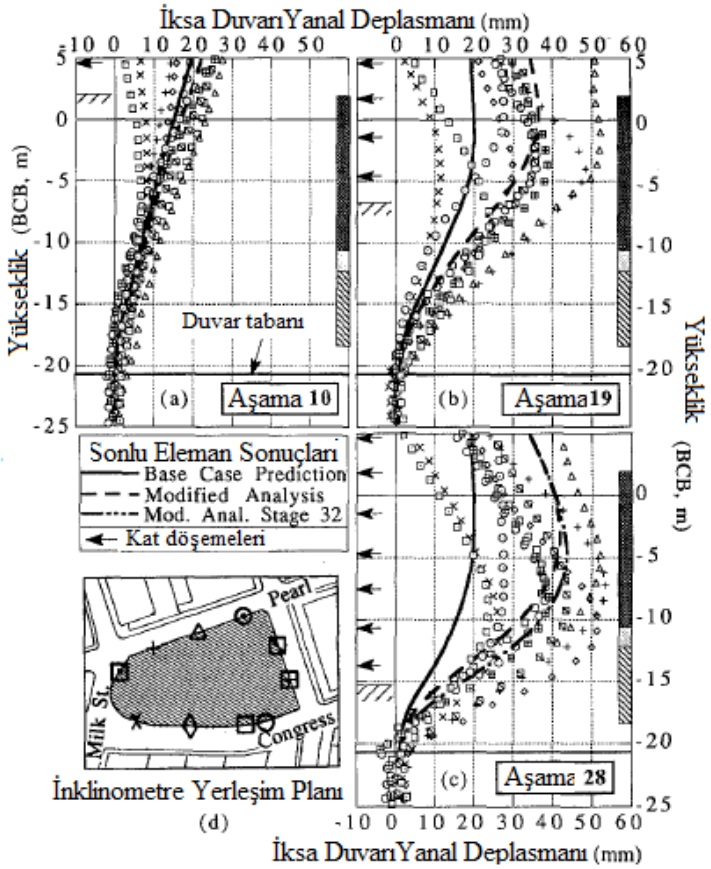
- Drenajsız kazı,
- Zamana bağlı drenajlı kazı,
- Yapının yapılması.

Analizde kullanılan sonlu eleman ağı ağ sıkılığı ve sınır koşulları görüşü Şekil 3.12' de verilmektedir.



Şekil 3.12 : Otopark kazısı sonlu eleman ağı sıkılığı ve sınır koşulları görüşü (Whittle ve diğ., 1993).

Aşama on (çatı katı), aşama on dokuz (üçüncü kat) ve aşama yirmi sekizden(altıncı kat) alınan arazi ölçümlerin karşılaştırılması Şekil 3.13' de gösterilmektedir.



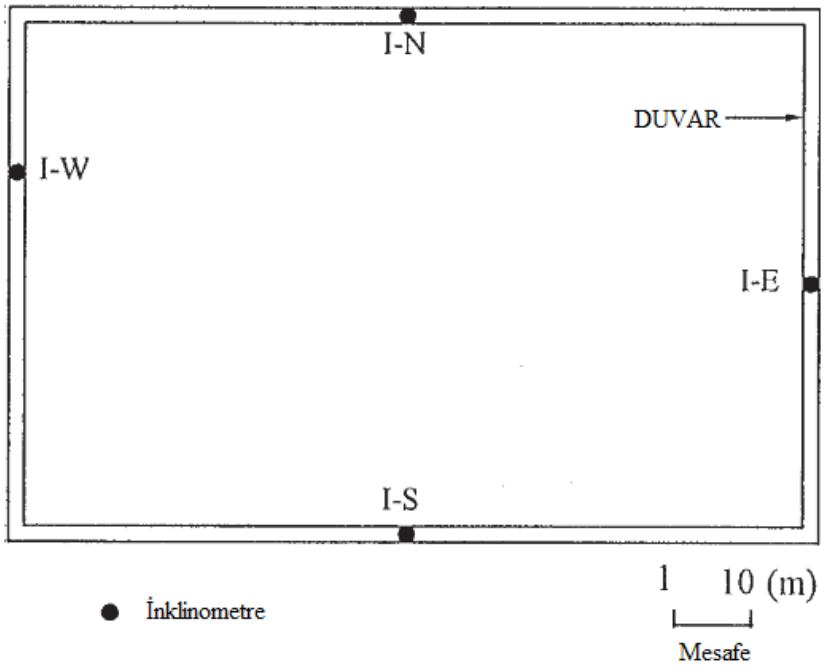
Şekil 3.13 : Ölçülen ve hesaplanan iksa duvar yanal deplasmanlarının karşılaştırılması (Whittle ve diğ., 1993).

Aşama onda diyafram duvar konsol durumdadır. Şekil 3.13' de görüldüğü gibi bu aşamada ölçülen ve hesaplanan iksa duvar yanal deplasmanlarının birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür. Aşama on dokuzda en fazla iksa duvar yanal deplasmanların meydana geldiği gözlenmiştir. Ayrıca aşama yirmi sekizde ise maksimum deplasman kil tabakasında meydana geldiği gözlenmiştir.

Son iki aşamada ölçülen ve hesaplanan iksa duvar yanal deplasmanlarının birbirilerinden farklı olduğu görülmüştür. Bu farkın çatı kat ve normal katların modellemedeki farklılıklardan dolayı olduğuna karar verip modeli yeniden oluşturmuşlardır. Yeniden oluşturulan modelin analiz sonuçlarıda Şekil 3.13' de gösterilmektedir.

Bir başka çalışmada Ou, Shiau (1998) tarafından Taipei Chung-Hsiao W. yolu üzerinde bulunan merkez sigorta binası derin kazısı incelenmiştir.

İnşaa edilen bina on dokuz katlı olup, 33.70 x 51.90 metre karelik bir alanı oturur. İksa yapısı olarak 0.6 m kalınlığı 23.0 m derinliği olan diyafram perde kullanılmıştır. İnklinometre yerleşimi ve kazı plan görünüşü Şekil 3.14' de gösterilmektedir.



Şekil 3.14 : Merkez Sigorta binası kazı alanı ve inklinometre yerleşimi (Ou ve Shiau, 1998).

Merkez Sigorta binası derin kazısında diyafram duvar üç kademeli çelik yatay eleman ile desteklenmiştir. Yeraltı su seviyesi kazı öncesi kazı üst kotundan 4.0 m aşağıdayken kazı sonrası kazı üst kotundan 11.40 metre aşağıya düşürülmüştür.

Bu çalışmada üç boyutlu sonlu eleman analiz yapan CUT3D programını kullanmışlardır.

Yapılan sondajlarda siltli kil ve siltli kumdan oluşan altı farklı zemin tabakası ile karşılaşılmıştır. Sonlu eleman analizlerinde kullanılan zemin parametreleri Çizelge 3.2' de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2 : Merkez Sigorta binası kazısı analizinde kullanılan zemin parametleri (Ou ve Shiau, 1998)

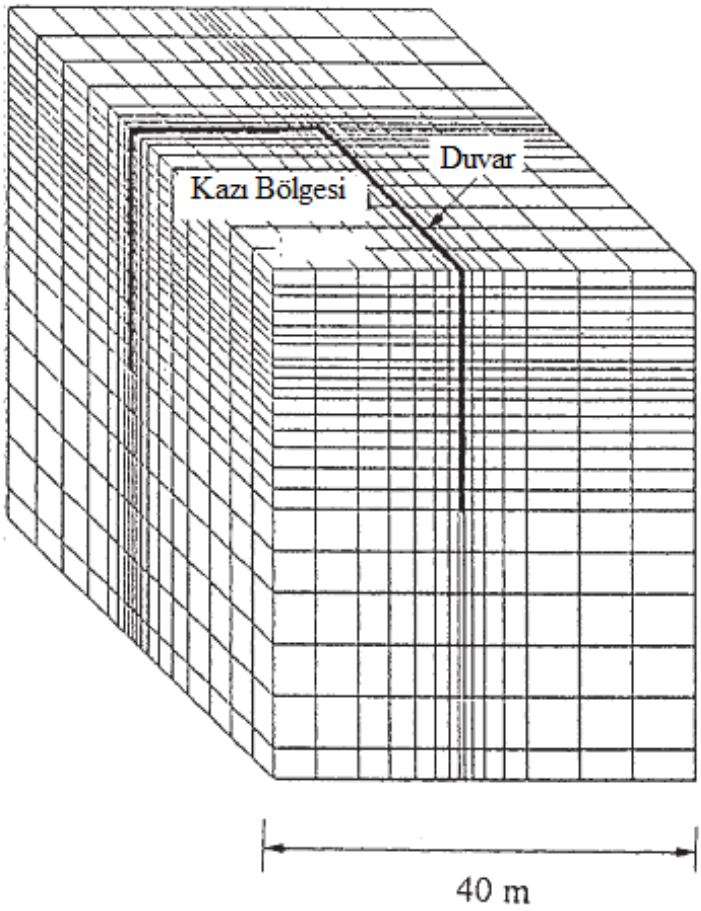
Drenajlı Malzeme										
Tabaka No	Derinlik (m)	γ (kN/m^3)	c' (kPa)	ϕ'	R_f	K	K_{ur}	n	v_t	v_f
2	7,0-17,0	19,4	0,0	32	0,6	500	500	0,5	0,3	0,49
4	24,0-31,0	18,8	0,0	32	0,6	1500	1500	0,5	0,3	0,49
6	46,0-49,0	20,3	0,0	32	0,6	2900	2900	0,5	0,3	0,49
Drenajsız Malzeme										
Tabaka No	Derinlik (m)	γ (kN/m^3)	S_u (kPa)		R_f	E_{ui}/S_u	E_{ur}/S_u		v_t	v_f
1	0,0-7,0	18,7	20-0,1$\delta_{v'}$		0,9	600	600		0,48	0,49
3	17,0-24,0	18,9	0,32$\delta_{v'}$		0,9	650	650		0,48	0,49
5	31,0-46,0	19,7	0,32$\delta_{v'}$		0,9	700	750		0,48	0,49

v_t Göçme öncesi posison oranı

v_f Göçme anına yakın poison oranı

$\delta_{v'}$ Effektif jeolojik yük

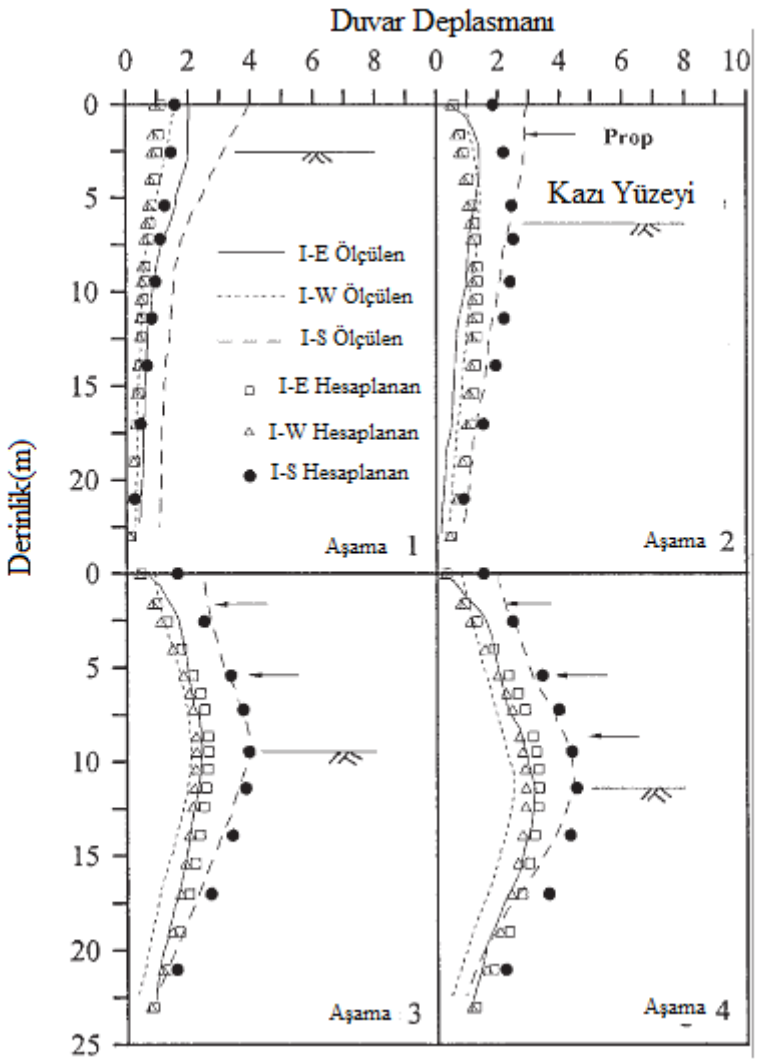
Sonlu eleman analizde kullanılan sonlu eleman ağı sıklığı görünümü Şekil 3.15' de verilmektedir.



Şekil 3.15 : Merkez Sigorta binası kazısı analizinde kullanılan sonlu eleman ağı sıklığı görünümü (Ou ve Shiau, 1998).

Yapılan analizlerden elde edilen ve (çatı katı), aşama on dokuz (üçüncü kat) ve aşama yirmi sekizden (altıncı kat) alınan arazi ölçümleri deplasman değerlerininin karşılaştırılması Şekil 3.16' de gösterilmektedir.

Şekilde 3.16'de görüldüğü gibi inklinometre okumalarından elde edilen deplasman değerleri ve hesaplanan deplasman değerleri birbirine çok yakın çıkmıştır. I-W ve I-E noktalarındaki deplasman değerleri bu noktaların köşeye daha yakın mesafede olmaları sebebi ile I-S noktasında okunan deplasman değerine göre daha küçük çıkmıştır.

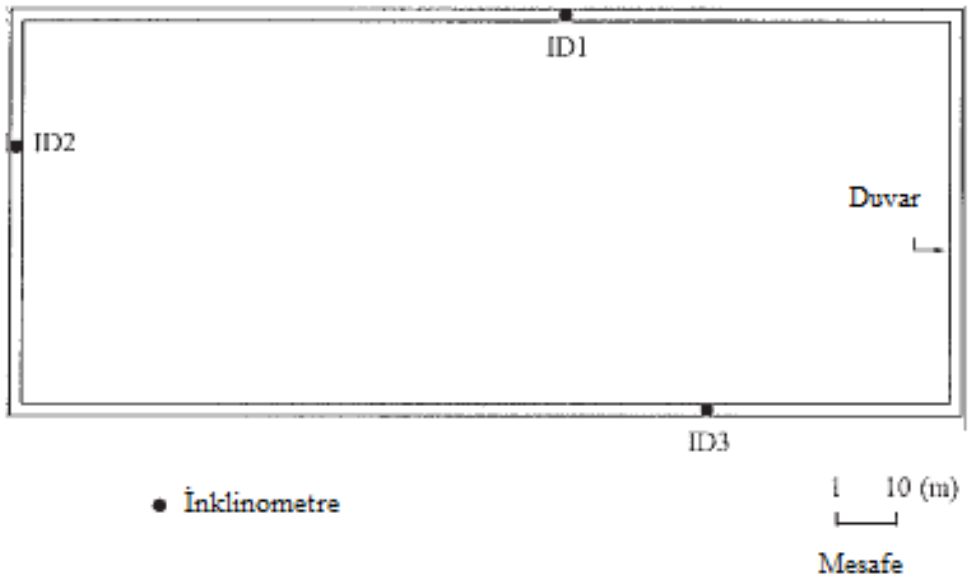


Şekil 3.16 : Merkez Sigorta binası kazısında gözlemlenen ve hesaplanan deplasmanların karşılaştırılması (Ou ve Shiau, 1998).

Ou ve Lai (1994) araştırmalarında vaka analizlerini incelemişler ve arazi ölçümleri ile elde ettikleri değerleri ile hesapladıkları deplasman değerlerini kıyaslamışlardır.

Ou, Lai (1994) Taipei Sung-Jiang ve Min-Sheng E. yollarının kesiştiği yerde bulunan Chi-Ching binası derin kazısını incelemişlerdir.

İnşaa edilen bina on dört katlı olup, 33.00 x 80.00 metre karelik bir alanı oturur. İksa yapısı olarak 0.7 m kalınlığı 28.0 m derinliği olan diyafram perde kullanılmıştır. İnklinometre yerleşimi ve kazı plan görünüşü Şekil 3.17’ de gösterilmektedir.



Şekil 3.17 : Chi-Ching binası kazı alanı ve inklinometre yerleşimi (Ou ve Lai, 1994).

Maksimum kazı derinliği 13.9 m'dir.

Kazı çalışması dört kademeli yukardan aşağı inşaa metodu uygulanarak yapılmıştır. İlk kademe beton döşeme ile desteklenmiş olup, son kademe kalıcı çelik elemanlar ile desteklenmiştir.

Yeraltı su seviyesi kazı öncesi kazı üst kotundan 3.0 metre aşağıdayken kazı sonrası kazı üst kotundan 12.0 metre aşağıya düşürülmüştür.

Yapılan sondaj çalışmalarında beş farklı zemin tabakası ile karşılaşılmıştır. Bütün tabakaların analizlerinde kullanılan zemin parametreleri Çizelge 3.3' de gösterilmiştir.

Çizelge 3.3 : Chi-Ching binası kazısı analizinde kullanılan zemin parametreleri (Ou ve Lai, 1994)

Drenajlı Malzeme										
Tabaka No	Derinlik (m)	γ (kN/m^3)	c' (kPa)	ϕ'	Rf	K	Kur	n	v_t	v_f
1	0,0-12,0	19,13	0,0	31	0,6	550	550	0,5	0,3	0,49
4	24,0-50,0	19,62	0,0	32,5	0,6	1200	1200	0,5	0,3	0,49

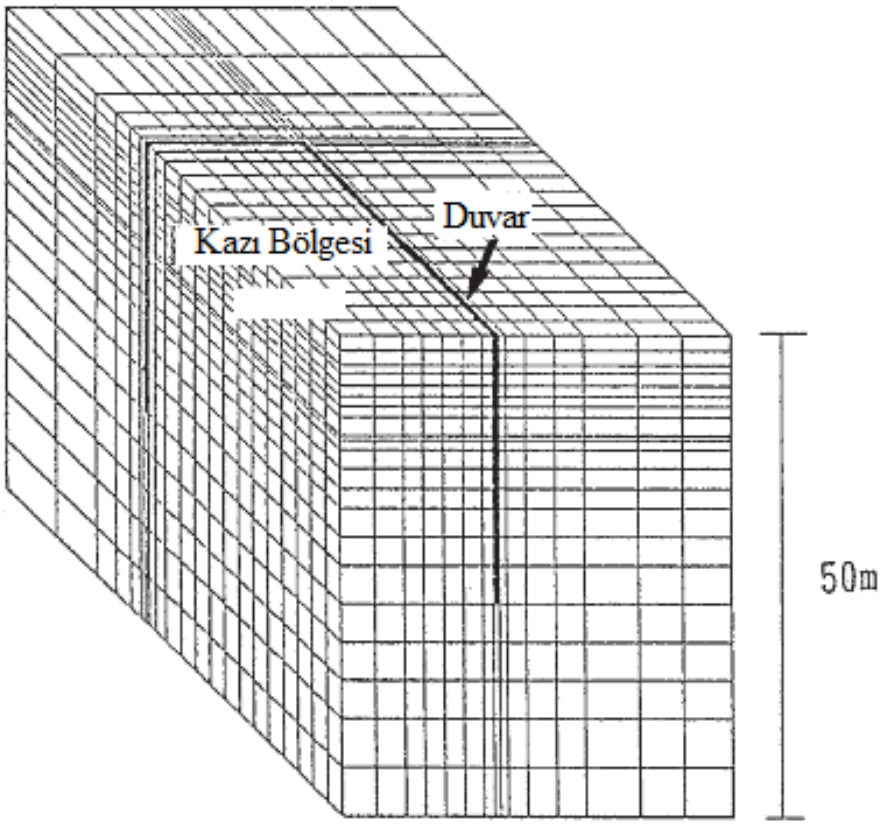
Drenajsız Malzeme								
Tabaka No	Derinlik (m)	γ (kN/m^3)	S_u (kPa)	R_f	E_{ui}/S_u	E_{ur}/S_u	v_t	v_f
2	12,0-16,0	18,64	0,275δv'	0,9	650	650	0,49	0,49
3	16,0-24,0	18,64	0,275δv'	0,9	700	700	0,49	0,49

v_t Göçme öncesi posison oranı

v_f Göçme anına yakın poison oranı

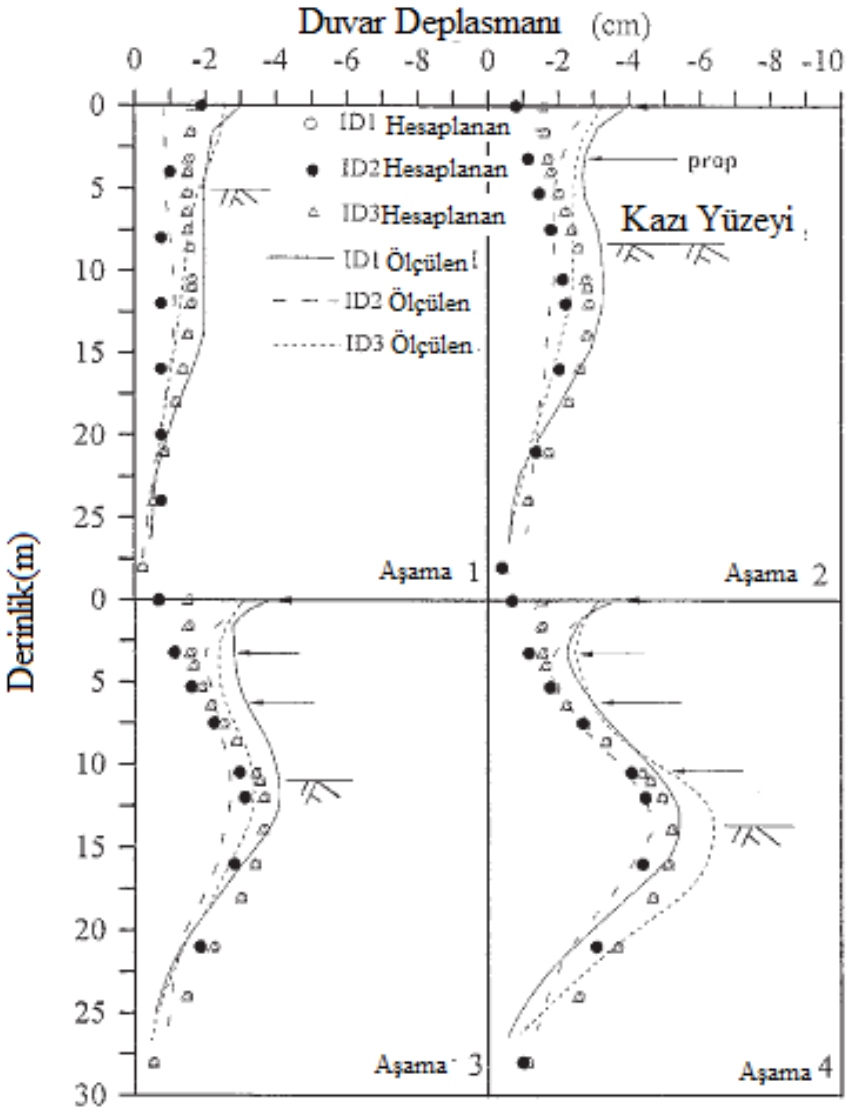
$\delta_{v'}$ Effektif jeolojik yük

Sonlu eleman analizde kullanılan sonlu eleman ağı sıkılığı görünüşü Şekil 3.18' de verilmektedir.



Şekil 3.18 : Chi-Ching binası kazısı analizinde kullanılan sonlu eleman ağı sıkılığı görünümü (Ou ve Shiau, 1998) .

Yapılan analizden elde edilen ve ölçülen arazi deplasmanları karşılaştırılması Şekil 3.19' de gösterilmektedir.



Şekil 3.19 : Chi-ching binası kazısında gözlemlenen ve hesaplanan deplasmanların karşılaştırılması (Ou ve Shiau, 1998) .

Şekil 3.19' da görüldüğü gibi inklinometre okumalarından elde edilen deplasman değerleri ve öngörülen deplasman değerleri birbirine çok yakın çıkmıştır. ID2 noktasındaki deplasman değerleri bu noktanın köşeye diğer noktalara göre daha yakın olması sebebi ile (köşe etkisi) diğer noktalarda okunan deplasman değerlerine göre daha küçük çıkmıştır.

Bu çalışma köşeye olan mesafe arttıkça deplasmanın köşe etkisinin varlığından daha az etkilendiği ve arttığını göstermektedir.

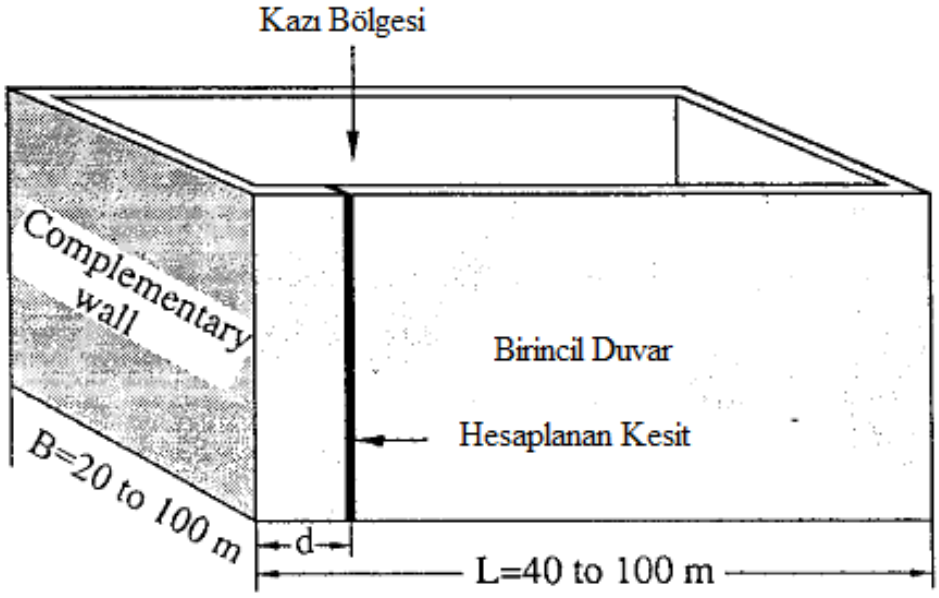
I-W ve I-E noktalarındaki deplasman değerleri bu noktaların köşeye daha yakın mesafede olmaları sebebi ile I-S noktasında okunan deplasman değerine göre daha küçük çıkmıştır.

Clough, Denby (1977); Clough, Hansen (1981); Clark,Wroth (1984); Borja (1990); Finno ve Harahap (1991); Whittle vd, (1993) gibi birçok araştırmacı iki boyutlu sonlu eleman analizi kullanılarak bir kazının merkezinden alınan iksa duvarı kesitinin düşey ve yatay hareketini incelemişlerdir.

Bu incelemelerin sonucunda dikdörtgen derin kazılarda, özellikle kısa iksa duvarları olan derin kazılarda hesaplanan deplasman değerlerinin doğruluğunun kazı köşesinin varlığından etkilendiğini görmüşlerdir. İki boyutlu analiz sonucunda kazının merkezindeki kısa iksa duvarından kesit alınıp incelendiğinde yetersiz sonuçlar verebildiği ve üç boyut etkisi hesaba katılmadığı için özellikle kazı köşesine yakın kesitlerde analizin çok daha yetersiz sonuçlar verdiğini görmüşlerdir.

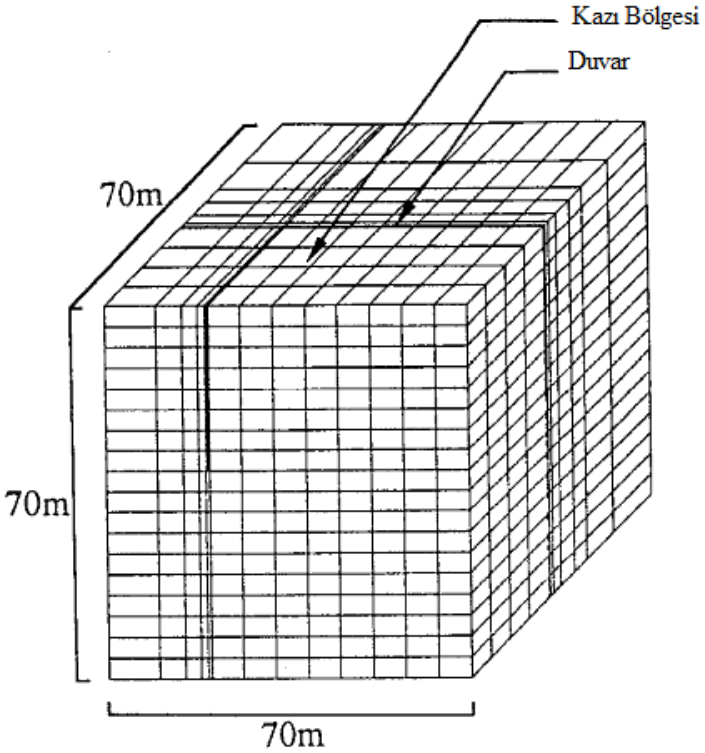
Ou ve diğ. (1996) bu konu üzerine yaptıkları araştırmada iki boyutlu sonlu elaman analizi ve üç boyutlu sonlu eleman analiz arasında bir karşılaştırma yapabilmek için bir model tasarlamışlardır.

Bu araştırma kapsamında yapılan parametrik çalışmada kurulan modelde zemin düşük plastisiteliden orta plastisiteye giden siltli kil tabakalarından oluşuyor gibi modellenmiştir. Kazı 40.0 metreden 100.0 metreye varan uzunluğu olan birincil duvar ve 20.0 metreden 100.0 metreye varan uzunluğu olan ikincil duvarlara sahip dikdörtgen geometrili olarak modellenmiştir. Şekil 3.20' de parametrik kazı geometrisi gösterilmiştir.



Şekil 3.20 : Parametrik çalışmada kullanılan model geometrisi (Ou ve diğ., 1996).

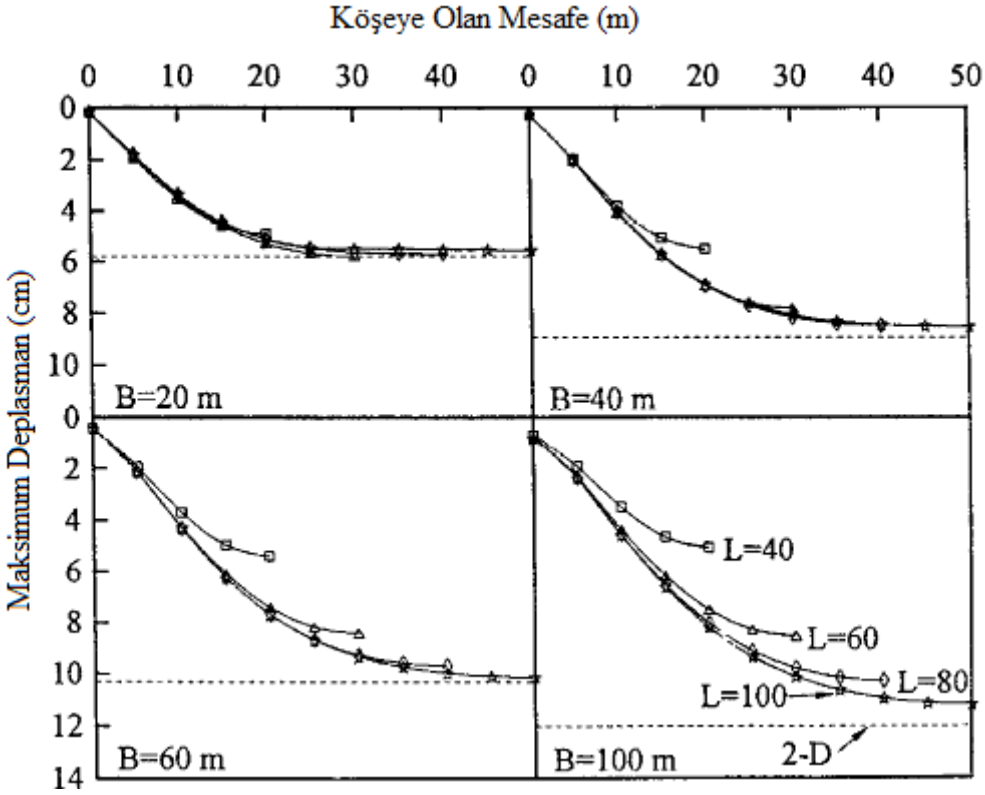
Sonlu eleman analizde kullanılan sonlu eleman ağı sıklığı görünüşü Şekil 3.21' de verilmektedir.



Şekil 3.21 : Parametrik kazı modeli analizinde kullanılan üç boyutlu sonlu eleman ağı görünümü (Ou ve diğ., 1996).

İksa yapısı olarak 0.7 m kalınlığında 32.0 m uzunluğunda diyafram perde seçilmiştir. Maksimum kazı derinliği 16.0 metredir. Kazı'nın üç kademeli yukardan aşağıya inşaat metodu ile yapılacağı kabul edilmiştir.

Birincil duvar için köşeden her on metre mesafede iksa duvar deplasmanları hesaplanmıştır. Çeşitli ikincil duvar uzunluklarında değişen birincil duvar uzunluklarının köşeye olan mesafesine bağlı maksimum deplasmanları Şekil 3.22' de verilmektedir.



Şekil 3.22 : Çeşitli ikincil duvar uzunluklarında değişen birincil duvar uzunluklarının köşeye olan mesafesine bağlı maksimum deplasmanları (Ou ve diğ., 1996).

Şekil 3.22' de görüldüğü gibi daha kısa tamamlayıcı duvar uzunluklarında birincil duvarların uzunluğunun etkisi görülmeksizin maksimum deplasman değerleri bir birine çok yakın olduğu ayrıca köşeden 25.0 m mesafeden sonra iki boyutlu analizden elde edilen sonuçlar ile çok yakın sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Ayrıca tamamlayıcı duvar uzunluğu arttıkça iki boyutlu analizden elde edilen veriler üç boyutlu analizlerden elde edilen değerlerden uzaklaştığı görülmüştür

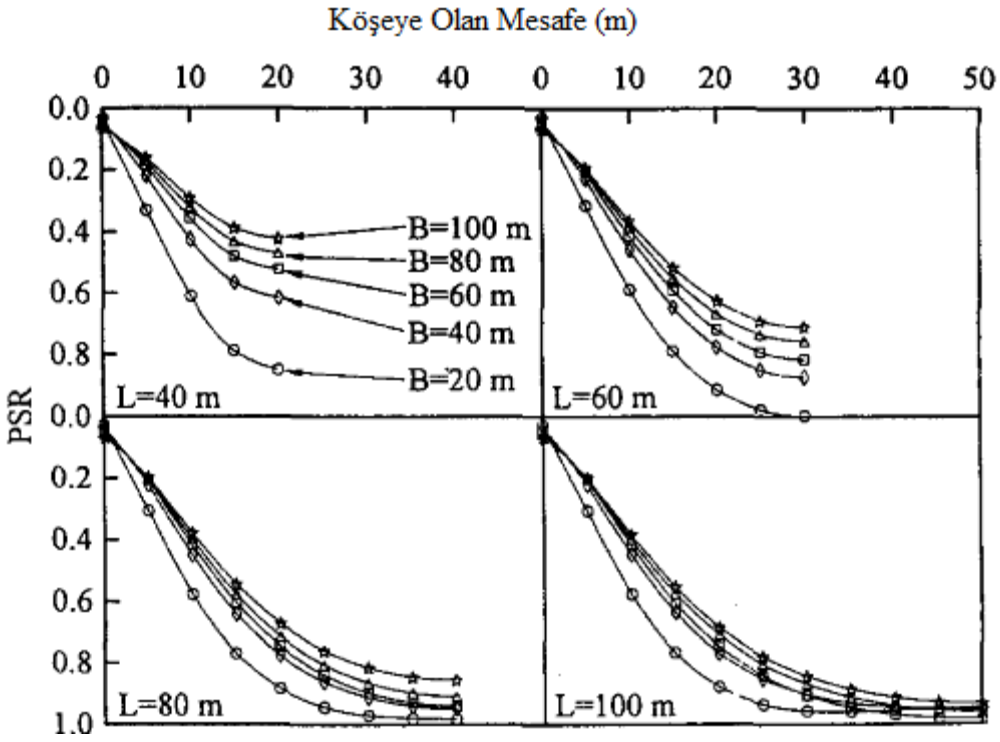
Bu sonuçlardan yola çıkarak Ou ve diğ. (1996) deplasman davranışını tanımlamak amacı ile bu çalışmada PSR (iki boyut oranını) bulmuşlardır.

PSR oranı köşeye mesafesi x olan bir kesitin üç boyutlu analizden elde edilen maksimum deplasmanının iki boyutlu analizden elde edilen maksimum deplasmana oranı olarak tanımlanmaktadır. PSR oranı **(3.2)** bağıntısı ile bulunmaktadır.

$$PSR = \frac{\delta_{3B}}{\delta_{2B}} \qquad \textbf{(3.2)}$$

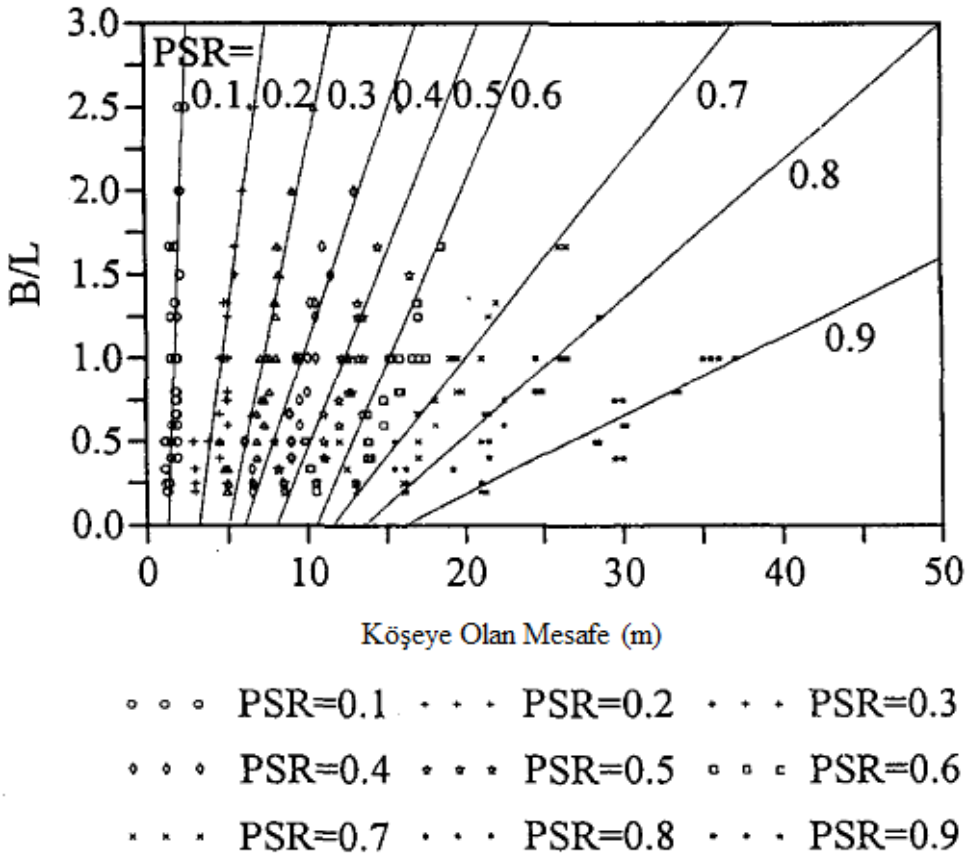
Bu bağıntıda, δ_{3B} köşeye mesafesi x olan bir kesitin üç boyutlu analizden elde edilen maksimum deplasmanını , δ_{2B} iki boyutlu analizden elde edilen maksimum deplasmanı tanımlar.

Çeşitli birincil duvar uzunluklarında değişken ikincil duvar uzunluklarının köşeye olan mesafesine bağlı PSR oranları Şekil 3.23' de verilmektedir.



Şekil 3.23 : Çeşitli birincil duvar uzunluklarında değişken ikincil duvar uzunluklarının köşeye olan mesafesine bağlı PSR oranları (Ou ve diğ., 1996).

Bu çalışmanın sonucunda ikincil duvar uzunluğunun (B) birincil duvar uzunluğuna (L) oranına karşılık gelen PSR oranlarının olduğu bir abak hazırlamışlardır. Bu abak Şekil 3.24' de gösterilmektedir.



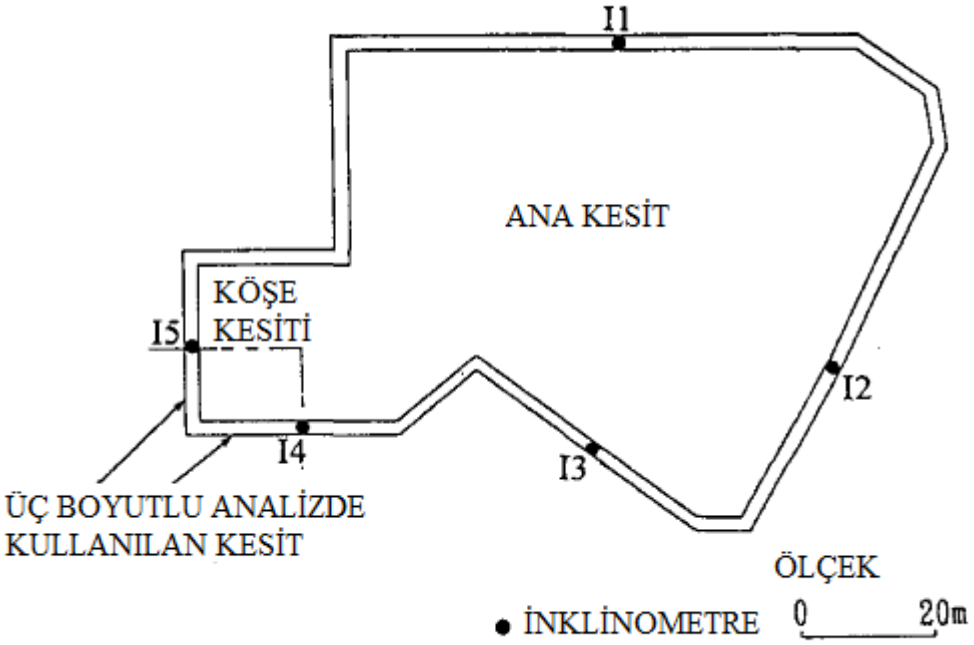
Şekil 3.24 : B/L ve köşeye olan mesafeye karşılık gelen PSR oranları (Ou ve diğ., 1996).

Ou ve diğ. (1996) Taipede Chung-Hsiao E. ve Chin-San yollarının kesiştiği yerde bulunan Hai-Hua binası kazısını incelemişlerdir. Yakınsama çalışmaları ile elde edile PSR oranı Hai Hui binası kazısı analizinde kullanılmıştır.

Maksimum 20.3 m derinliği bulunan kazıda iksa yapısı olarak 42.0 m uzunluğu olan 1.1 m kalınlığı olan diyafram perde kullanılmıştır.

Kazı yedi aşamada yukardan aşağı inşaa metodu uygulanarak yapılmıştır. Kazının analizinde iki ve üç boyutlu analizler yapılmış ayrıca inşaat yapımı sırasında ve sonrasında inklinometre ölçümleri alınmıştır.

İnklinometre yerleşimi ve kazı plan görünüşü Şekil 3.25' de gösterilmektedir.



Şekil 3.25 : Hai-Hua binası kazı alanı ve inklinometre yerleşimi (Ou ve diğ., 1996).

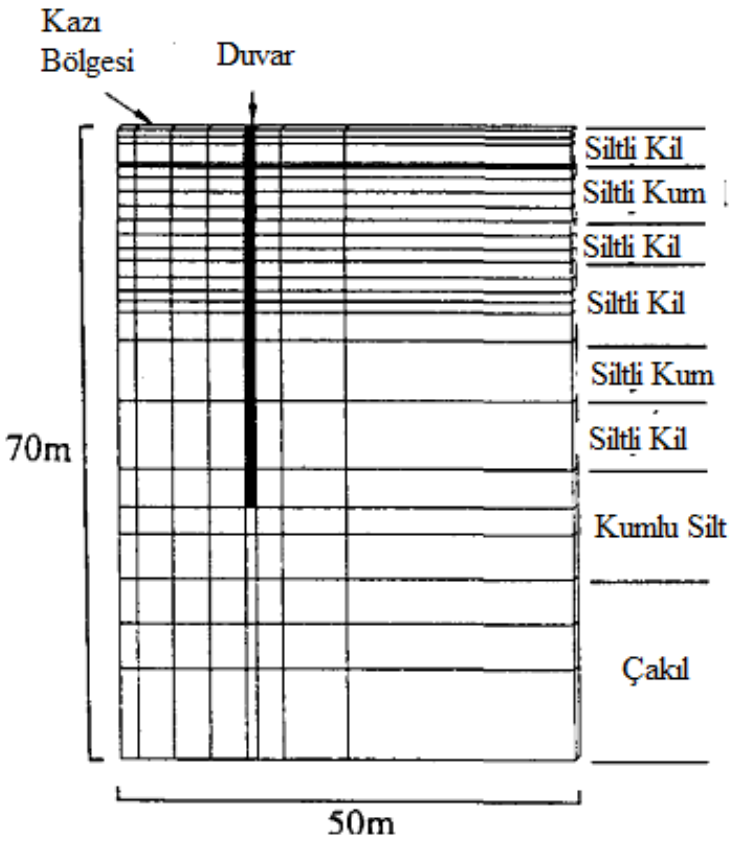
Sahada yapılan sondaj çalışmalarında siltli kil, siltli kum ve ince çakıl tabakalarından oluşan dokuz farklı zemin ile karşılaşılmıştır.

Bütün tabakaların analizlerinde kullanılan zemin parametreleri Çizelge 3.4' de gösterilmiştir.

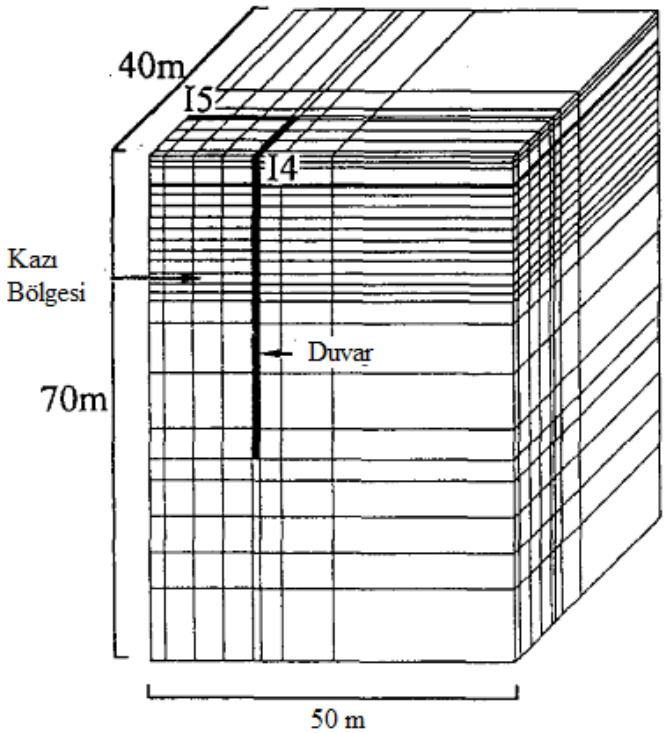
Çizelge 3.4 : Hai-Hua binası kazısı analizinde kullanılan zemin parametreleri (Ou ve diğ., 1996)

Zemin Tabakaları	Derinlik (m)	γ (kN/m^3)	c (kPa)	ϕ'	n	R_f	v_t	v_f	K	K_{ur}
Siltli Kil	4,2	19,4	50,0	0	0,0	0,7	0,49	0,49	225	225
Siltli Kum	10,5	20,1	6,0	35,8	0,5	0,9	0,30	0,49	650	650
Siltli Kil	15,0	19,4	49,7	0	0,0	0,7	0,49	0,49	610	610
Siltli Kil	24,0	19,4	72,0	0	0,0	0,7	0,49	0,49	560	560
Siltli Kum	30,2	20,0	25,0	20,8	0,5	0,9	0,30	0,49	600	600
Siltli Kil	37,8	19,8	121,0	0	0,0	0,7	0,49	0,49	680	680
Kumlu Silt	50,0	20,2	20,0	31,2	0,5	0,8	0,30	0,49	950	950
Çakıl	≥50	21,6	0,0	45	0,5	0,9	0,30	0,49	2000	2000

İki boyutlu ve üç boyutlu sonlu eleman analizlerinde kullanılan sonlu eleman ağı görünüşleri Şekil 3.26 ve Şekil 3.27' de sırasıyla gösterilmektedir.

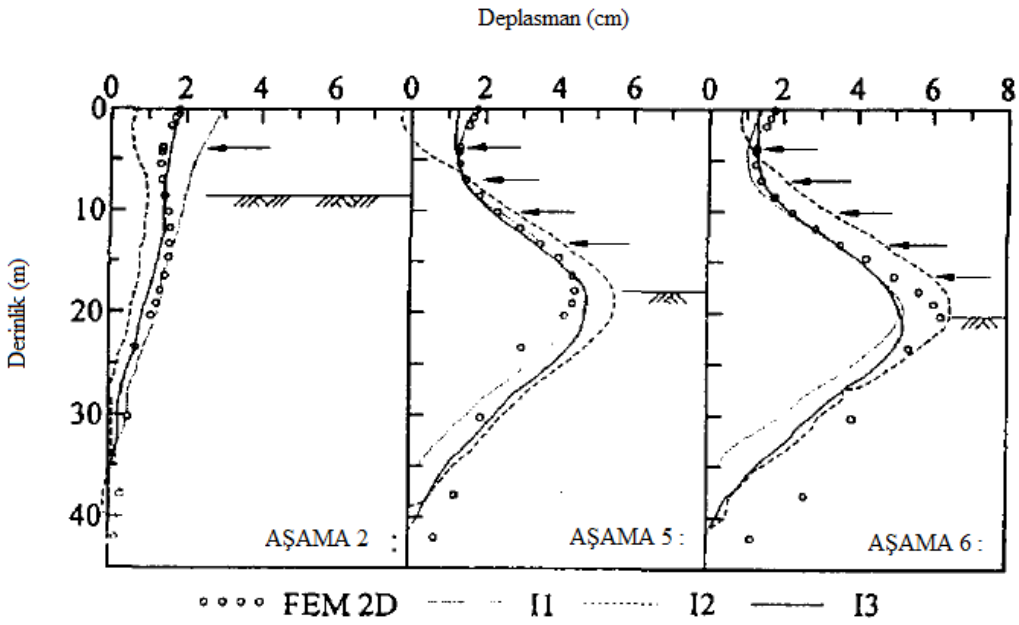


Şekil 3.26 : Hai-Hua binası kazısı iki boyutlu analizinde kullanılan sonlu eleman ağı görünümü (Ou ve diğ., 1996).



Şekil 3.27 : Hai-Hua binası kazısı üç boyutlu analizinde kullanılan sonlu eleman ağı görünümü (Ou ve diğ., 1996).

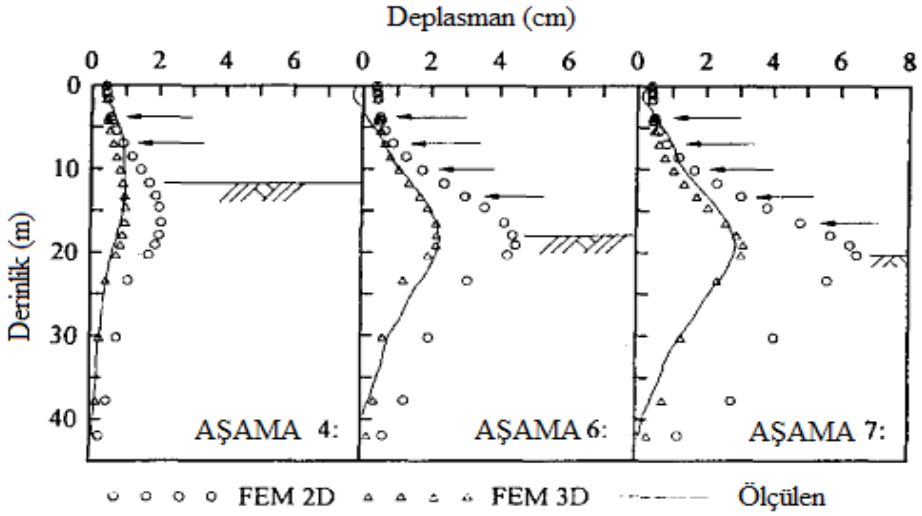
Yapılan analizden elde edilen ve beş noktadan arazi ölçümleri ile elde edilen deplasmanlar karşılaştırılmıştır. I1, I2 ve I3 noktalarının iki boyutlu analizden elde edilen ve arazi ölçümlerinden elde edilen deplasmanlarının karşılaştırılması Şekil 3.28' de gösterilmektedir.



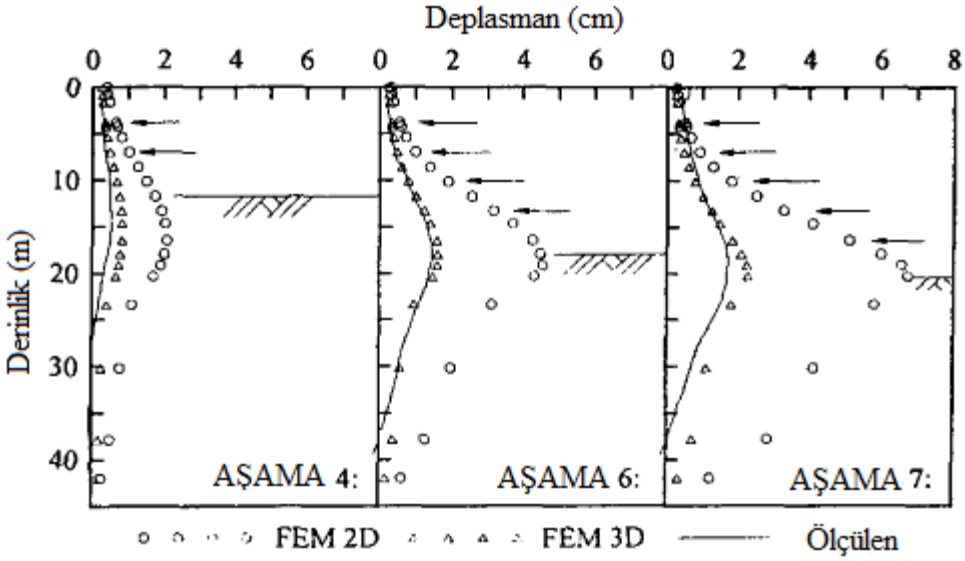
Şekil 3.28 : Hai-Hua binası kazısı I1,I2 ve I3 noktalarının iki boyutlu analizinden elde edilen ve arazi ölçümlerinden elde edilen deplasmanların karşılaştırılması (Ou ve diğ., 1996).

Şekil 3.28' de görüldüğü gibi köşeye uzak olan bu noktaların iki boyutlu analizden elde edilen deplasman değerleri ve arazi ölçümlerinde elde edilen deplasman değerlerinin bir birine yakın çıkmaktadır.

Köşeye daha yakın olan I4 ve I5 noktalarının deplasmanlarının kıyaslanması sırasıyla Şekil 3.29 ve Şekil 3.30' da gösterilmektedir.



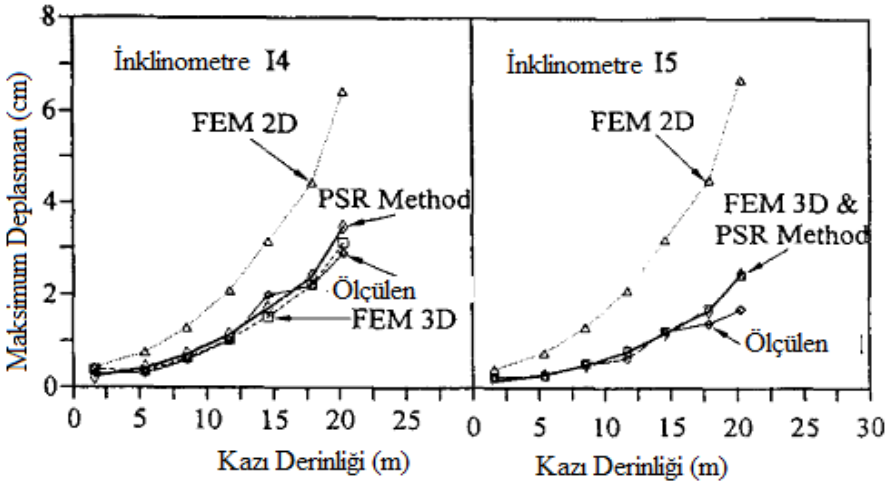
Şekil 3.29 : Hai-Hua binası kazısı I4 noktasının iki boyutlu ve üç boyutlu analizlerden elde edilen ve arazi ölçümlerinden elde edilen deplasmanların karşılaştırılması (Ou ve diğ., 1996).



Şekil 3.30 : Hai-Hua binası kazısı I5 noktasının iki boyutlu ve üç boyutlu analizlerden ve arazi ölçümlerinden elde edilen deplasmanların karşılaştırılması (Ou, ve diğ., 1996).

Şekil 3.29 ve 3.30' da görüldüğü gibi köşeye yakın olan bu noktaların iki boyutlu analizden elde edilen deplasman değerleri üç boyutlu analizden elde edilen ve arazi ölçümlerinde elde edilen deplasman değerlerinden uzak çıktığı görülmüştür. Arazi ölçümlerinden elde edilen deplasmanlar ile üç boyutlu analizlerden elde edilen deplasmanlar ise yakın sonuçlar vermiştir.

Şekil 3.31' de PSR oranı ile çarpılmış iki boyutlu analiz sonuçları ve diğer sonuçların karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 3.31 : Hai-Hua binası kazısı I4 ve I5 noktasının iki boyutlu ve üç boyutlu analizlerden ve arazi ölçümlerinden elde edilen deplasmanlarının karşılaştırılması (Ou ve diğ., 1996).

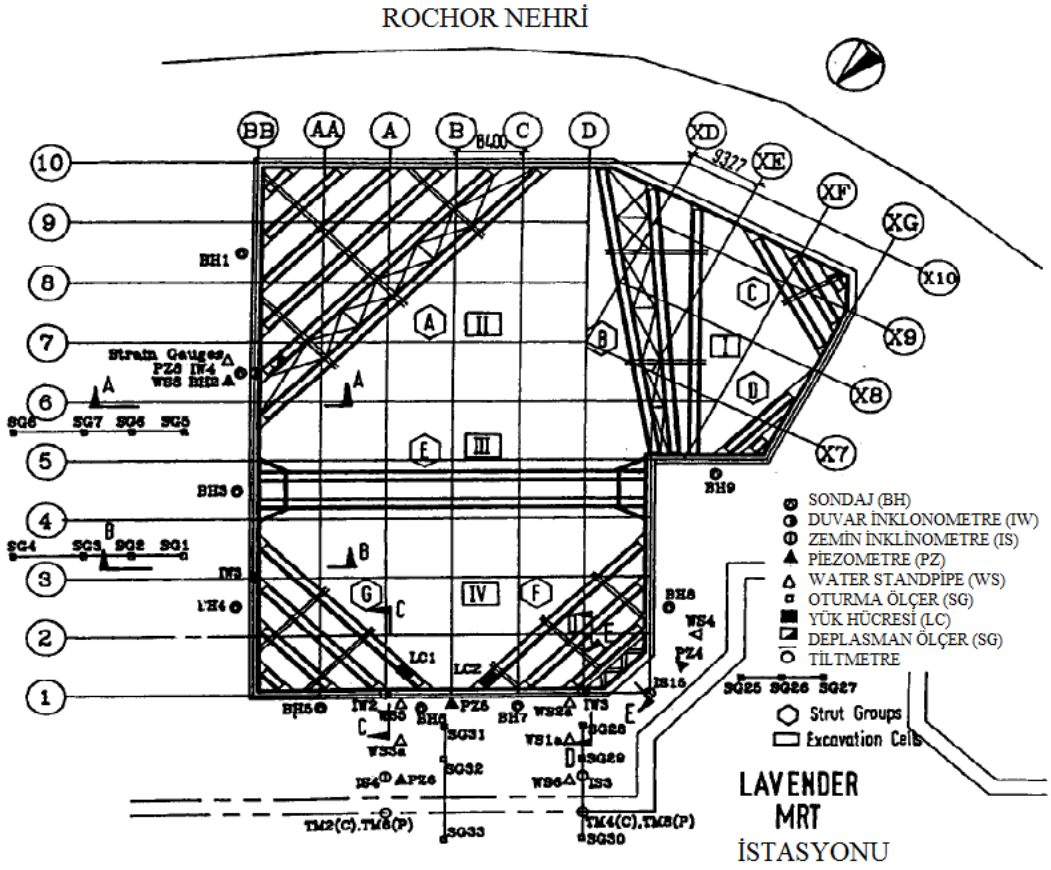
Şekil 3.31'den de görüldüğü gibi PSR metodu sonuçları üç boyutlu analizden elde edilen ve arazi ölçümlerinden elde edilen deplasman değerleri ile yakın çıktığı görülmüştür.

Lee ve diğ. (1998) köşe etkisinin çok kademeli yatay elemanlı iksa duvar deplasmanlarına etkisini, iki boyutlu ve üç boyutlu analizler ile ve aletsel ölçüm sonuçları ile kıyaslayarak incelemişlerdir.

Immigration binası on iki normal kat, dört bodrum kat ve radye temelden oluşur. Binanın güneyinde Rochor nehri vardır. Komşu yapı olan MRT istasyonuna 6.5 metre ile 15.0 metre arasında değişen uzaklıktadır.

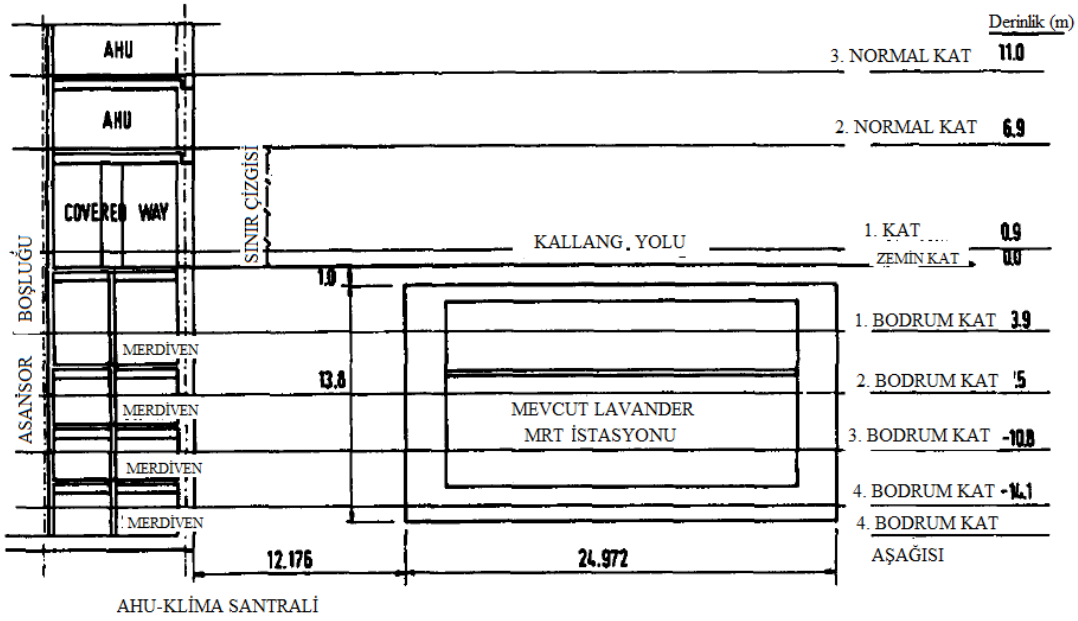
Maksimum 17.3 m derinliği olan kazıda iksa yapısı olarak 1.0 m kalınlığında diyafram perde kullanılmıştır. Ayarıca söz konusu diyafram perde beş kademeli yatay destek elemanları (çelik boru destekler) ile desteklenmiştir.

İmmigration binası kazı plan görünüşü Şekil 3.32' de gösterilmektedir.



Şekil 3.32 : İmmigration binası kazı plan görünüşü (Lee ve diğ., 1998).

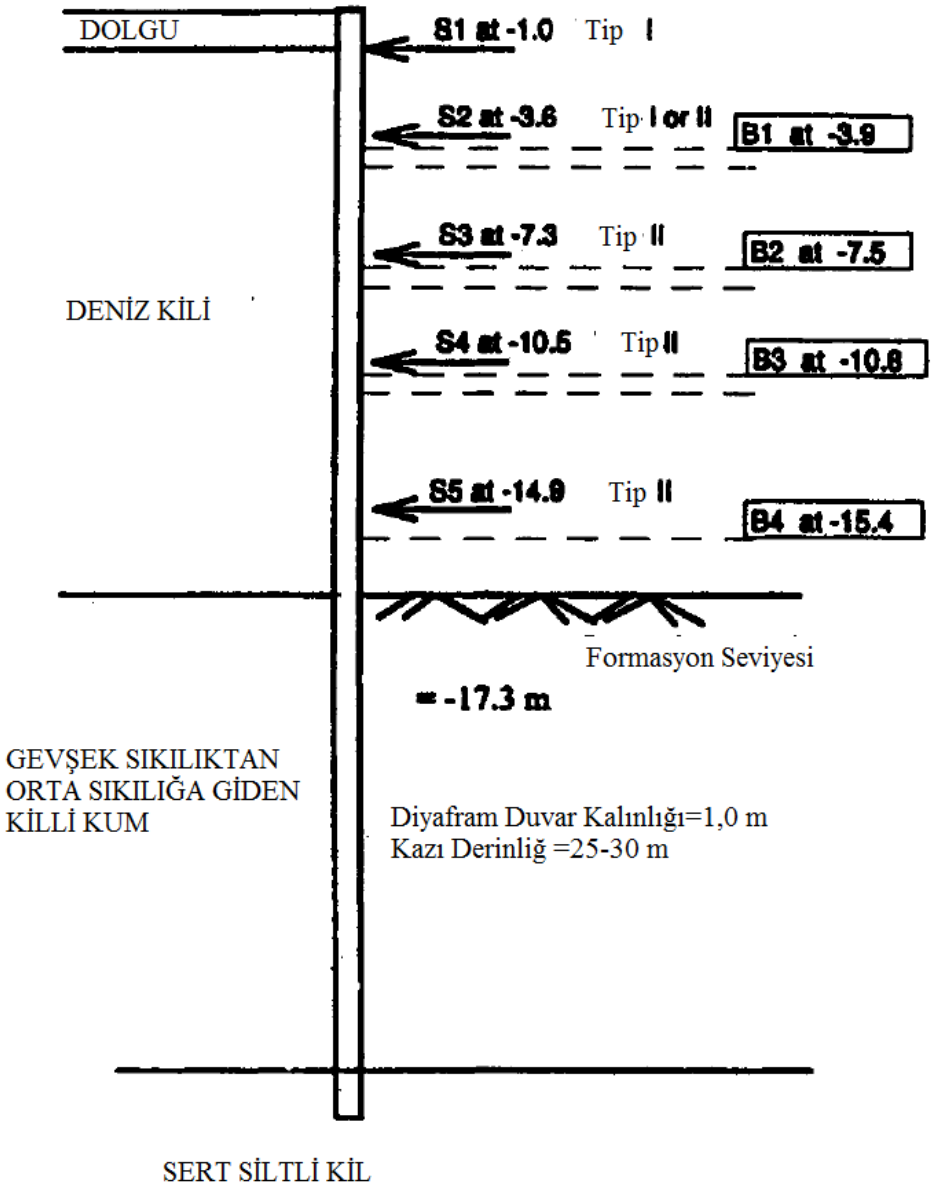
Komşu yapı ile ilişkisi Şekil 3.33' de gösterilmektedir.



Şekil 3.33 : İmmigration binasının komşu yapı LAVENDER MRT istasyonu ile ilişkisi (Lee ve diğ., 1998).

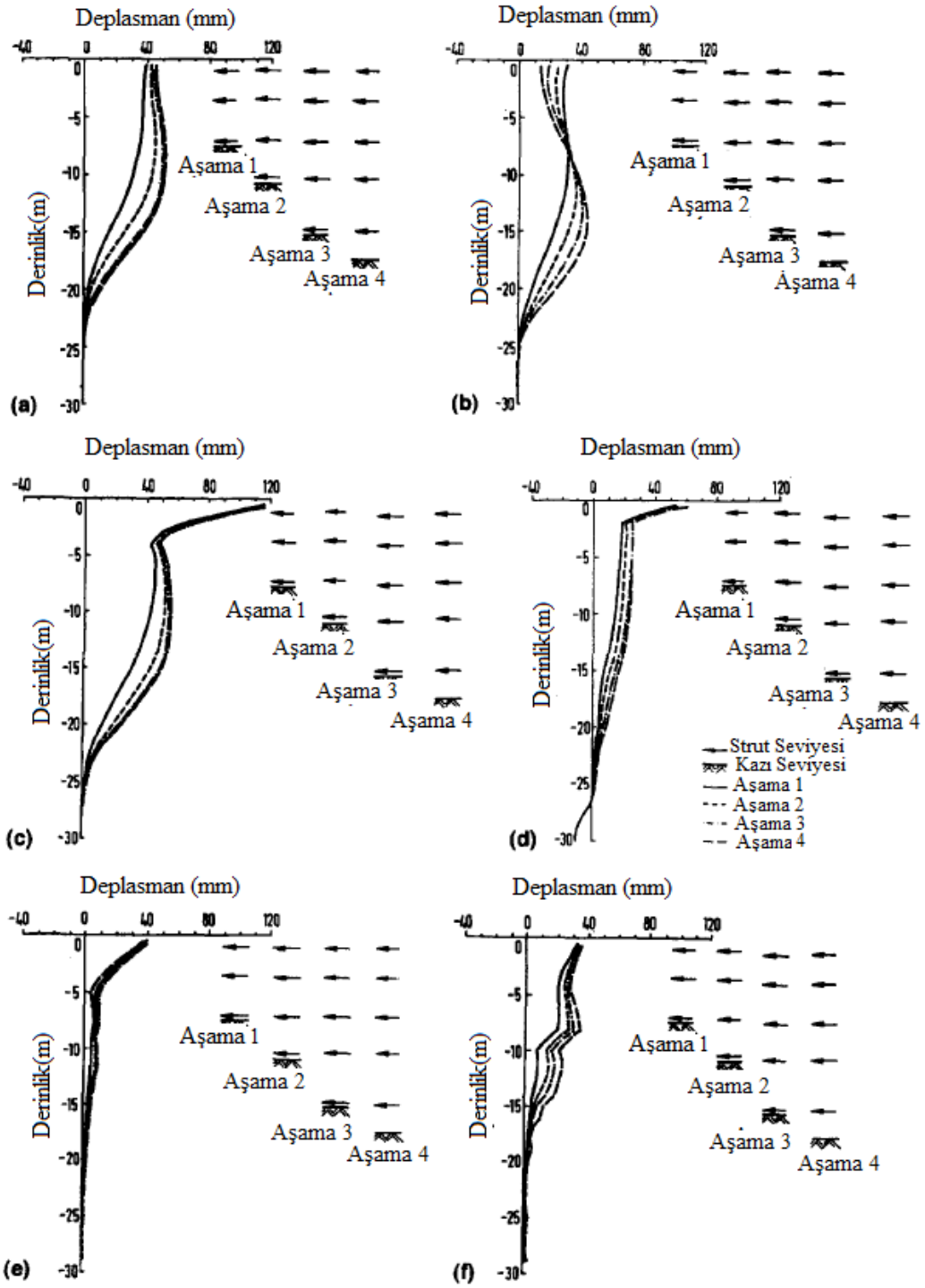
İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmalarında üstte deniz kili altında siltli kum ve onun altında yaşlı alivyondan oluşan bir zemin yapısı ile karşılaşılmıştır.

Aletsel gözlem yapabilmek için iksa duvarına dört adet zemine ise üç adet inklinometre yerleştirilmiştir. Kazı boyunca ve sonrasındaki aşamalarda düzenli ölçümler alınmıştır. İksa kesiti ve zemin yapısı Şekil 3.34' de gösterilmektedir.



Şekil 3.34 : İmmigration binasının iksa kesiti ve zemin yapısı (Lee ve diğ., 1998).

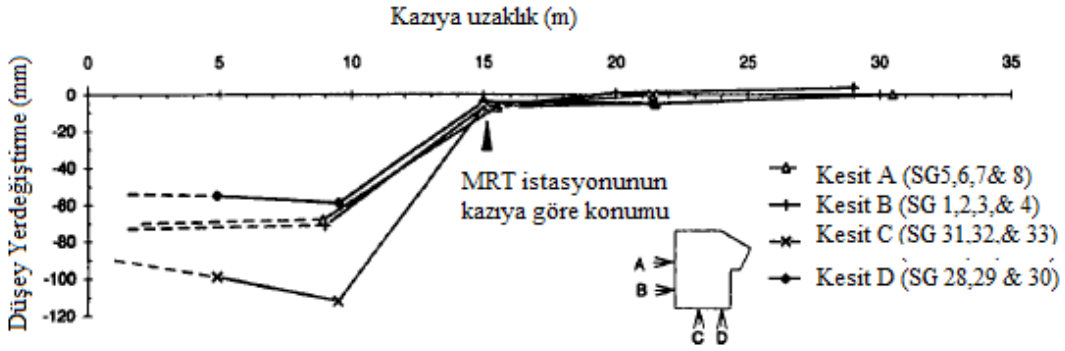
İnklinometre okumalarından elde edilen deplasman değerleri Şekil 3.35' de gösterilmektedir.



Şekil 3.35 : İmmigration binası dört kademeli kazısının deplasman ölçümleri (a) IW4 A kesiti (b) IW3 B kesiti (c) IW2 C kesiti (d) IW1 D kesiti (e) IS15 E kesiti (f) IS4 C kesiti (Lee ve diğ., 1998).

Şekil 3.35' de görüldüğü gibi en büyük iksa duvar deplasmanı kesit C de sonra kesit A ve kesit B de (kenar ortalarına yakın imal edilen inklinometreler) Köşeye çok yakın imal edilen inklinometrelerde ise (Kesit E ve Kesit D) nispetten daha küçük deplasmanlar gözlenmiştir.

Ayrıca bu çalışmada düşey yerdeğiştirmede (oturma) incelenmiştir. İnceleme sonuçları Şekil 3.36' da gösterilmektedir.



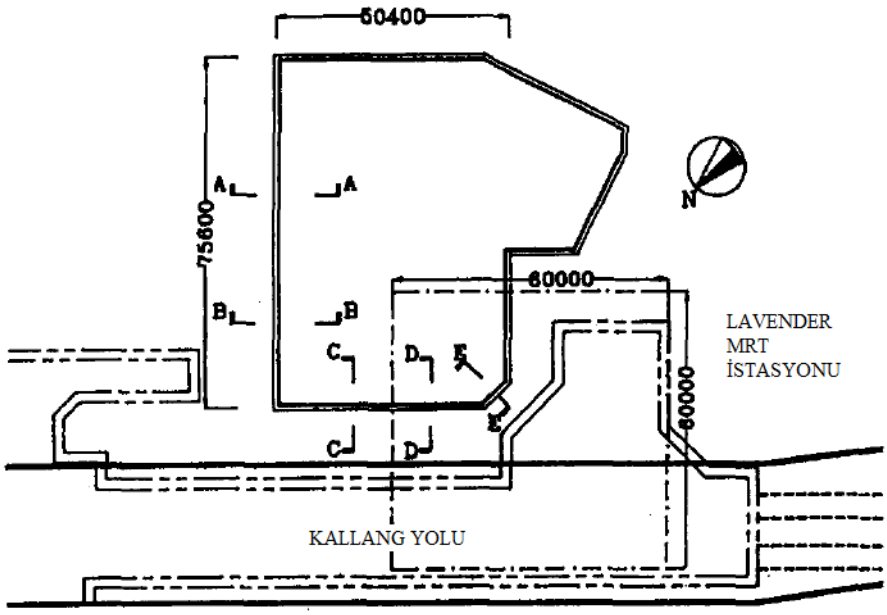
Şekil 3.36 : İmmigration binasının düşey yerdeğiştirme ölçüm sonuçları (Lee ve diğ., 1998).

Şekil 3.36' da görüldüğü ölçümlerden elde edilen sonuçlara göre köşeye en uzak mesafede olan Kesit C de en fazla oturma görülmüş ve onu kesit A ve B takip etmiştir. En küçük oturma ise köşeye en yakın olan kesit D de gözlenmiştir.

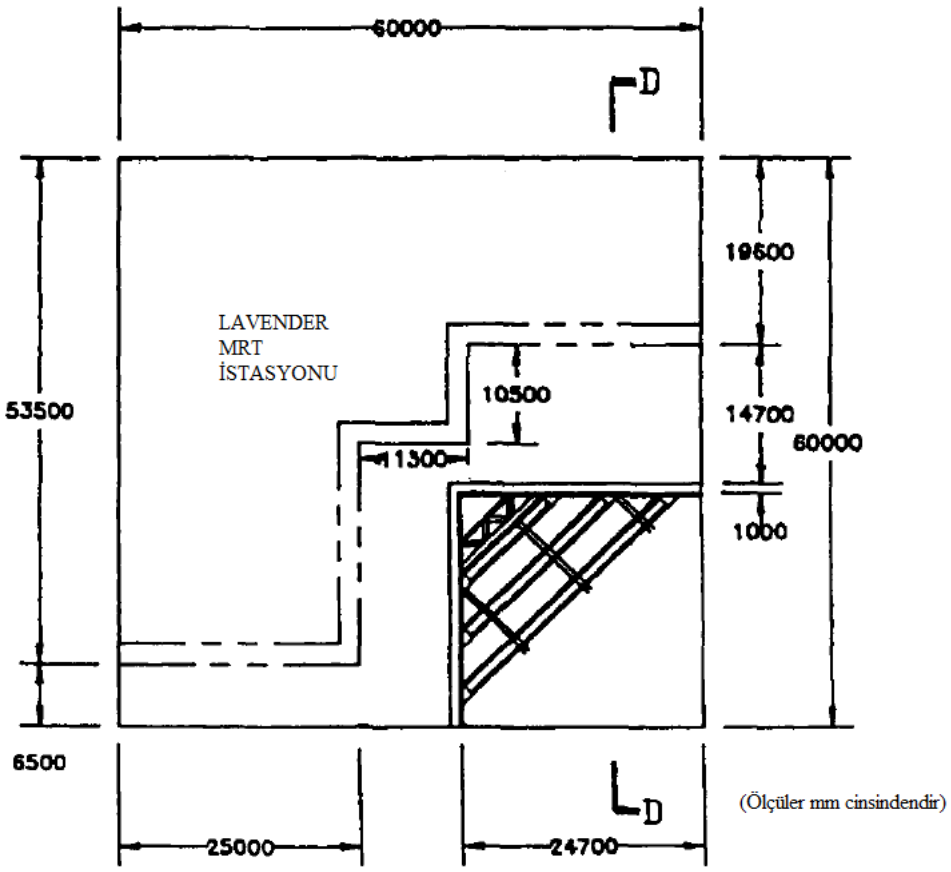
Bu çalışmada üç boyutlu sonlu eleman analiz yapan CRISP programını kullanmışlardır.

Kazı 60.0 x 60.0 metrelik bir alanı kaplar ve 30.0 m derinliği vardır.

Şekil 3.37 ve 3.38' de verilen model görünüşü komşu binanın olduğu yeri kapsar.

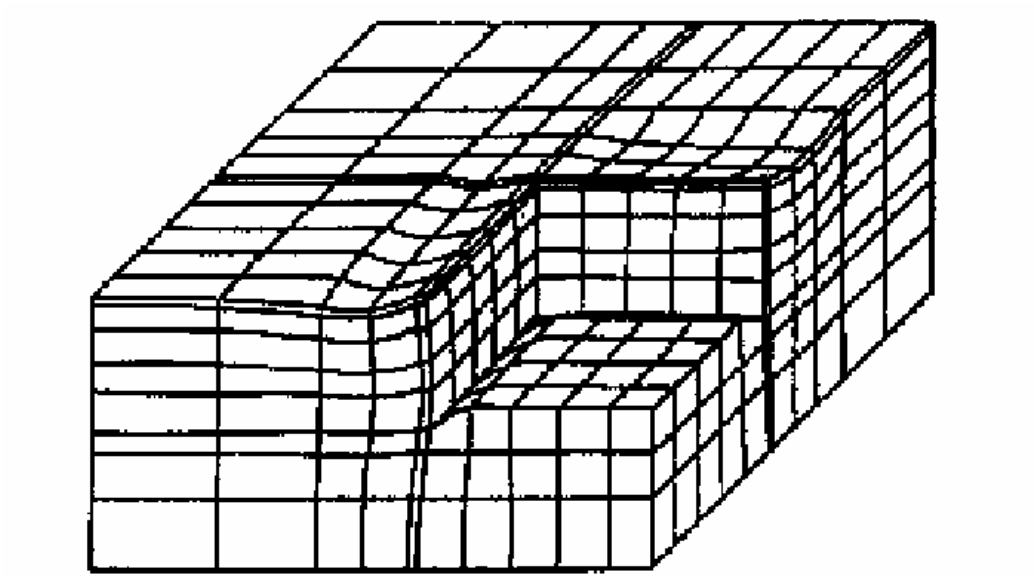


Şekil 3.37 : İmmigration binasının üç boyutlu analizinde kullanılan model plan görünümü (Lee ve diğ., 1998).



Şekil 3.38 : İmmigration binasının üç boyutlu analizinde kullanılan model plan görünümü (Lee ve diğ., 1998).

Üç boyutlu sonlu eleman analizde kullanılan sonlu eleman ağı Şekil 3.39' da verilmektedir.



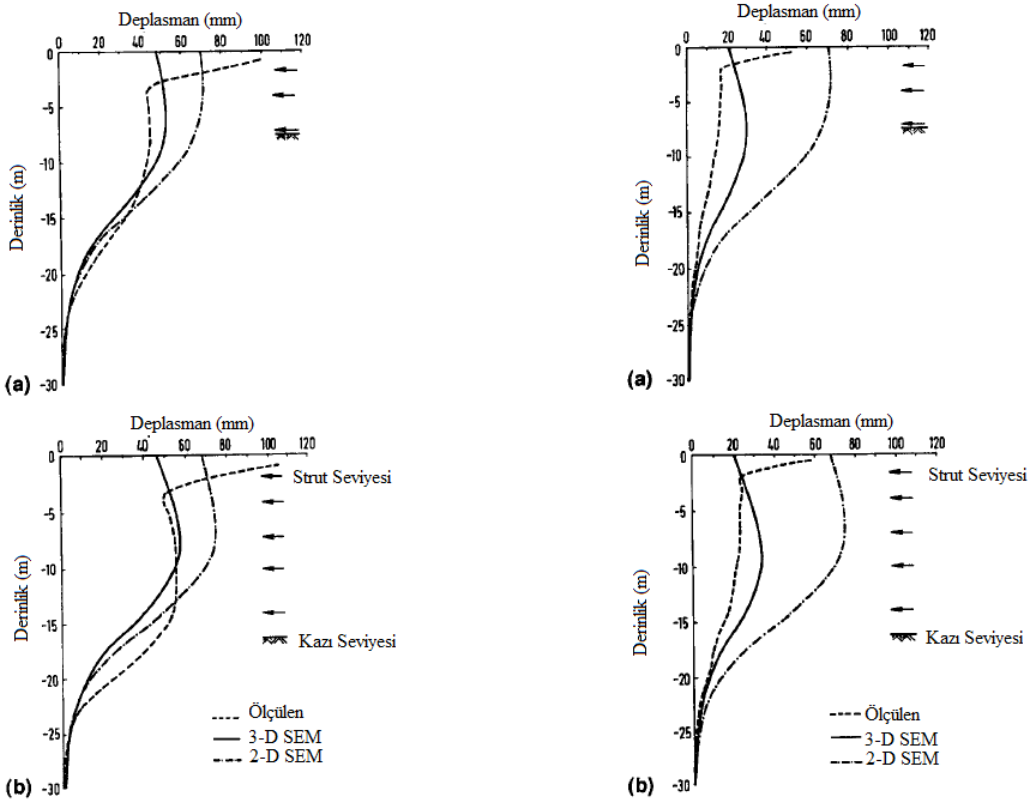
Şekil 3.39 : İmmigration binasının üç boyutlu analizinde kullanılan sonlu eleman ağı görünümü (Lee ve diğ., 1998) .

Üç boyutlu analiz modellinde kullanılan zemin parametreleri Çizelge 3.5'te gösterilmektedir.

Çizelge 3.5 : İmmigration binasının üç boyutlu analizinde kullanılan zemin parametreleri (Lee ve diğ., 1998).

Zemin Cinsi	C_s	C_c	ϕ'	v'	γ (kN/m^3)	k (m/s)	AKO	K_o
Dolgu	0,07	0,23	30,0	0,3	18,0	$1x10^{-7}$	3	1,0
Yumuşak deniz kili	0,23	0,87	25,0	0,3	16,0	$1x10^{-9}$	1	0,65
Gevşek orta sıkı killi kum	0,01	0,05	30,0	0,3	18,0	$1x10^{-8}$	2,5	0,8

Kesit C ve kesit D için iki boyutlu, üç boyutlu analizlerden elde edilen deplasman değerleri ile aletsel gözlem ile elde edilen deplasman değerlerinin karşılaştırılması Şekil 3.40' da verilmektedir.



Şekil 3.40 : İmmigration binasının a) Kesit C ve b) kesit D için iki boyutlu, üç boyutlu analizlerden elde edilen deplasman değerleri ile aletsel gözlem ile elde edilen deplasman değerlerinin karşılaştırılması (Lee ve diğ., 1998).

Şekil 3.40' da görüldüğü gibi aletsel gözlem ile elde edilen deplasman değerleri üç boyutlu ve iki boyutlu analiz sonuçları ile elde edilen deplasman değerlerden

farklıdır. Bununla beraber üç boyutlu analizden elde edilen sonuçların aletsel ölçüm sonuçlarına daha uyumlu çıktığı görülmektedir.

Kazının orta kesitinde bulunan Kesit C'de deplasman değerleri aletsel gözlem ile elde edilen veriler ve üç boyutlu analizden elde edilen veriler bir birine yakın sonuçlar vermiştir. Ayrıca iki boyutlu analizlerden elde edilen sonuçlar aletsel gözlem ile elde edilen değerlerden farklı olup %30.0 daha büyük çıkmaktadır.

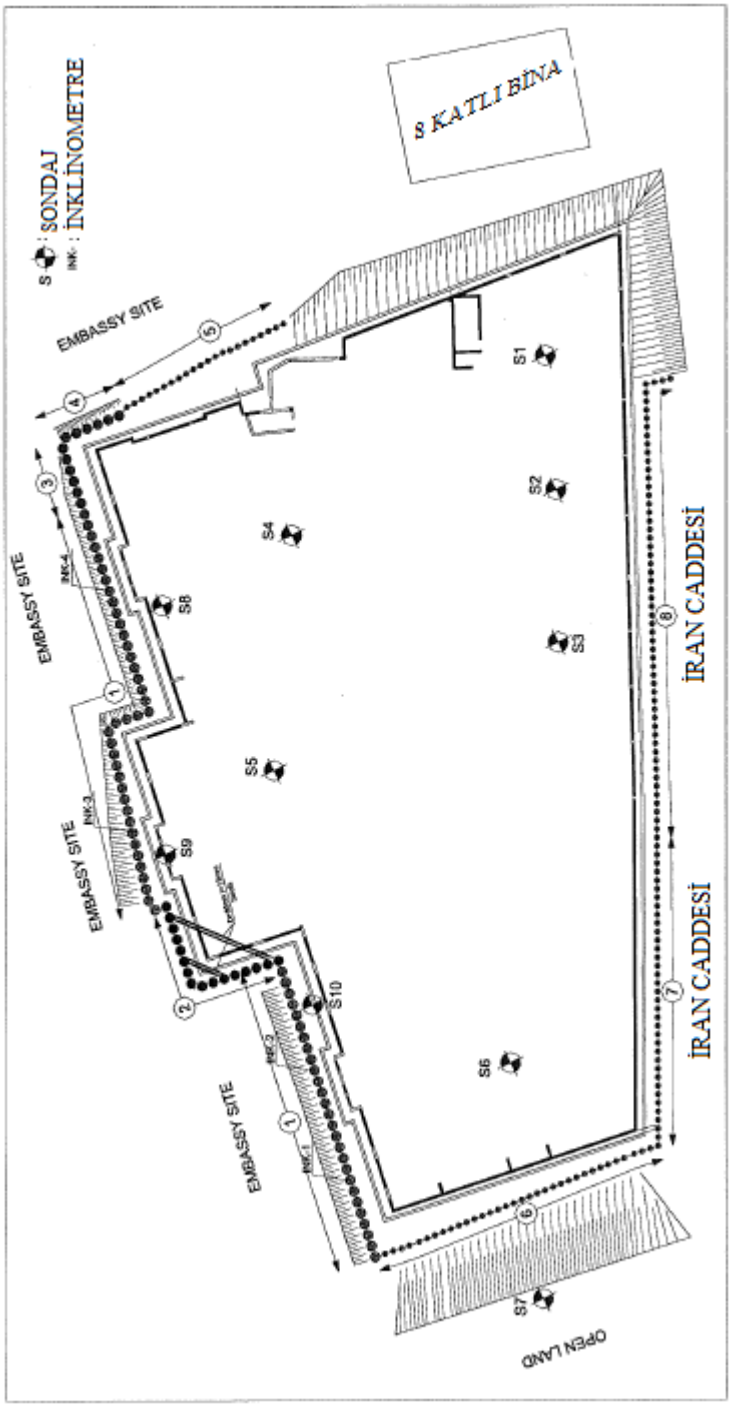
Kazı köşesine yakın yerde olan Kesit D için ise aletsel gözlem ile elde edilen deplasman değerleri iki boyutlu analizden elde edilen deplasman değerinin yarısı kadar bulunup, üç boyutlu analizlerden elde edilen sonuçlardan ise %20.0 daha az bulunmaktadır.

Ünlü (2008), yaptığı çalışmada geri analiz ile Ankara Çankaya Ticaret ve Konut İnşaatı derin kazısı incelemiştir.

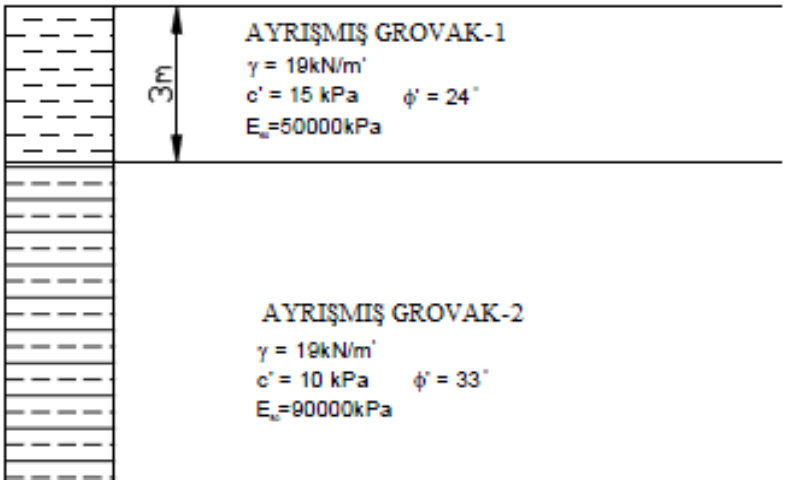
Kazı yaklaşık 5,500 m^2 lik bir alanda yapılmıştır ve kazı derinliği 6.0 ile 11.0 metre arasında değişmektedir.

İnklinometre yerleşimi ve kazı plan görünüşü Şekil 3.41' de gösterilmektedir.

İnceleme sahasında yapılan sondaj çalışmalarında dolgu, alüvyon, Ankara kili ve ayrışmış grovak tabakalarından oluşan bir zemin yapısı ile karşılaşılmıştır. Analizde kullanılan zemin parametreleri Şekil 3.42' de gösterilmektedir.

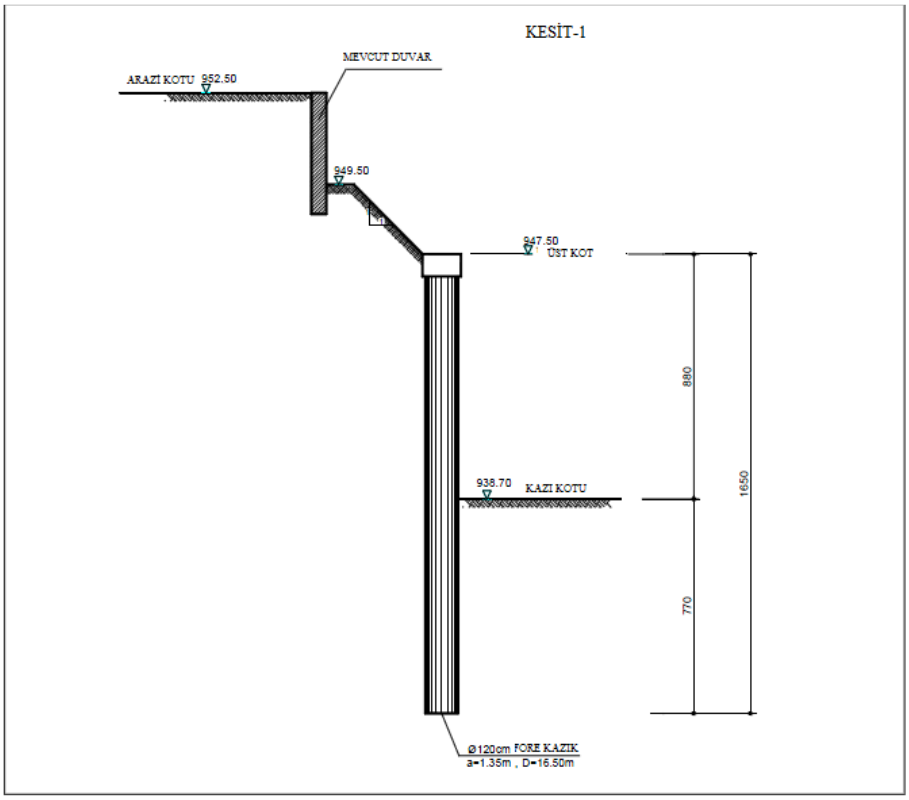


Şekil 3.41 : Ankara Çankaya Ticaret ve Konut İnşaatı İnklinometre yerleşimi ve kazı plan görünüşü (Ünlü, 2008).



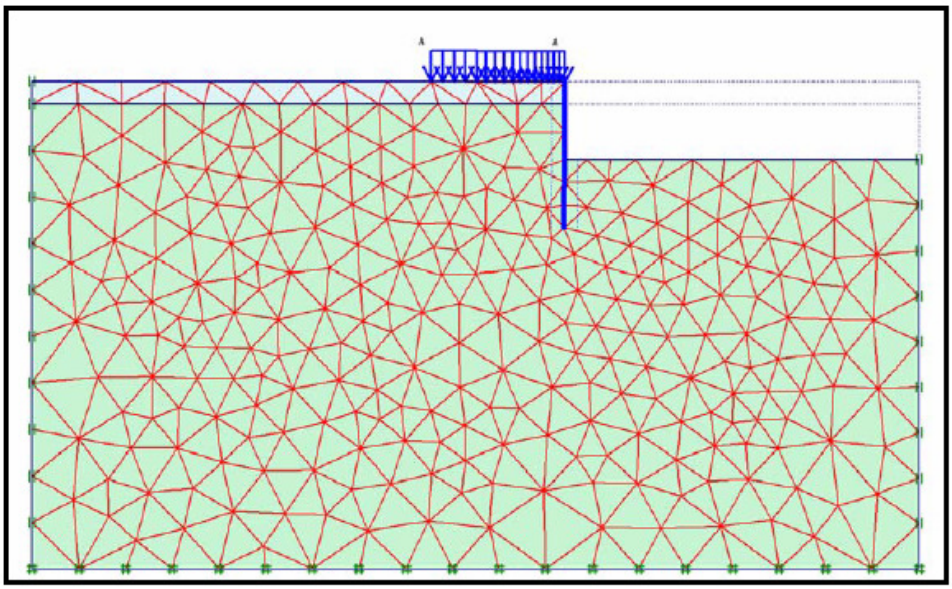
Şekil 3.42 : Ankara Çankaya Ticaret ve Konut İnşaatı geri analizinde kullanılan zemin parametreleri Ünlü (2008)

İnceleme arazisi kazı iksa kesitleri Şekil 3.43'de gösterilmiştir.

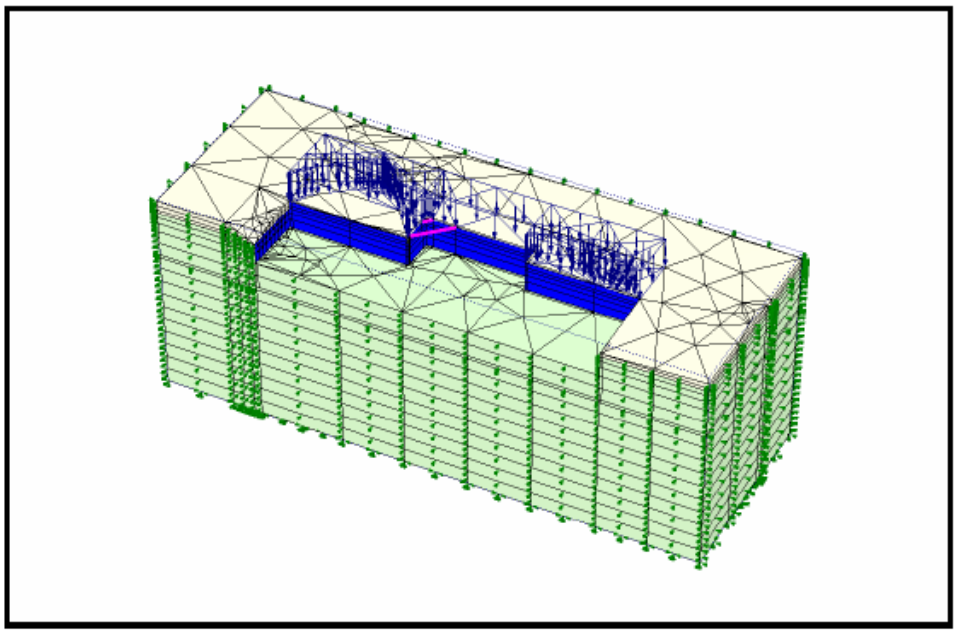


Şekil 3.43 : Ankara Çankaya Ticaret ve Konut İnşaatı derin kazısı iksa kesitleri (Ünlü, 2008).

İki boyutlu ve üç boyutlu analizlerin sonlu elaman ağı görünüşü Şekil 3.44 ve 3,45'te gösterilmektedir.

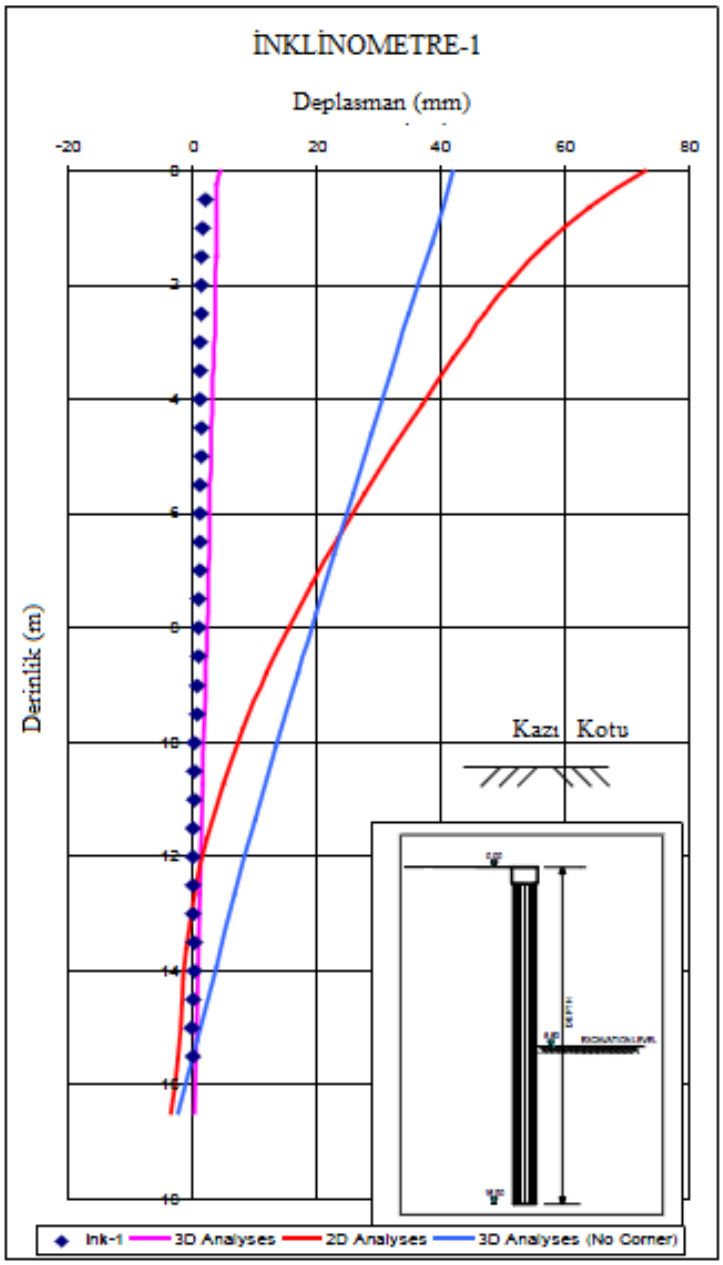


Şekil 3.44 : Ankara Çankaya Ticaret ve Konut İnşaatı derin kazısı iki boyutlu geri analizinde kullanılan sonlu eleman ağı görünüşü (Ünlü, 2008).

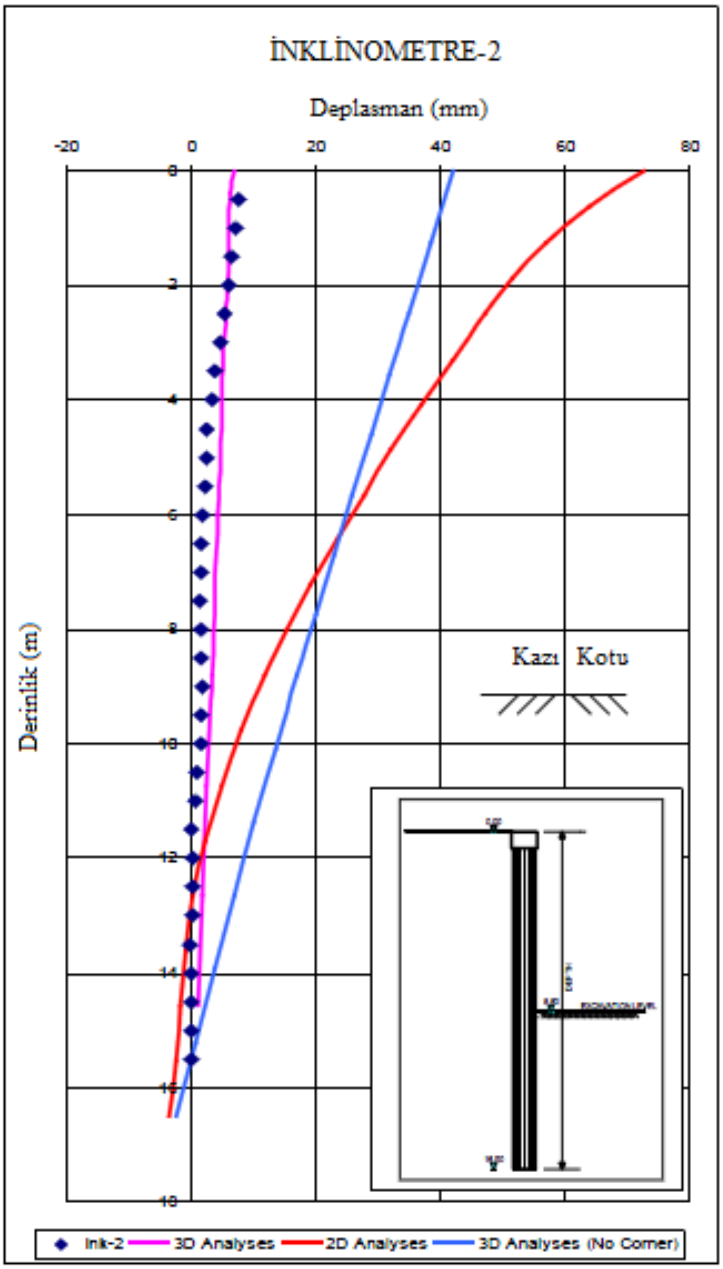


Şekil 3.45 : Ankara Çankaya Ticaret ve Konut İnşaatı derin kazısı üç boyutlu geri analizinde kullanılan sonlu eleman ağı görünüşü (Ünlü, 2008).

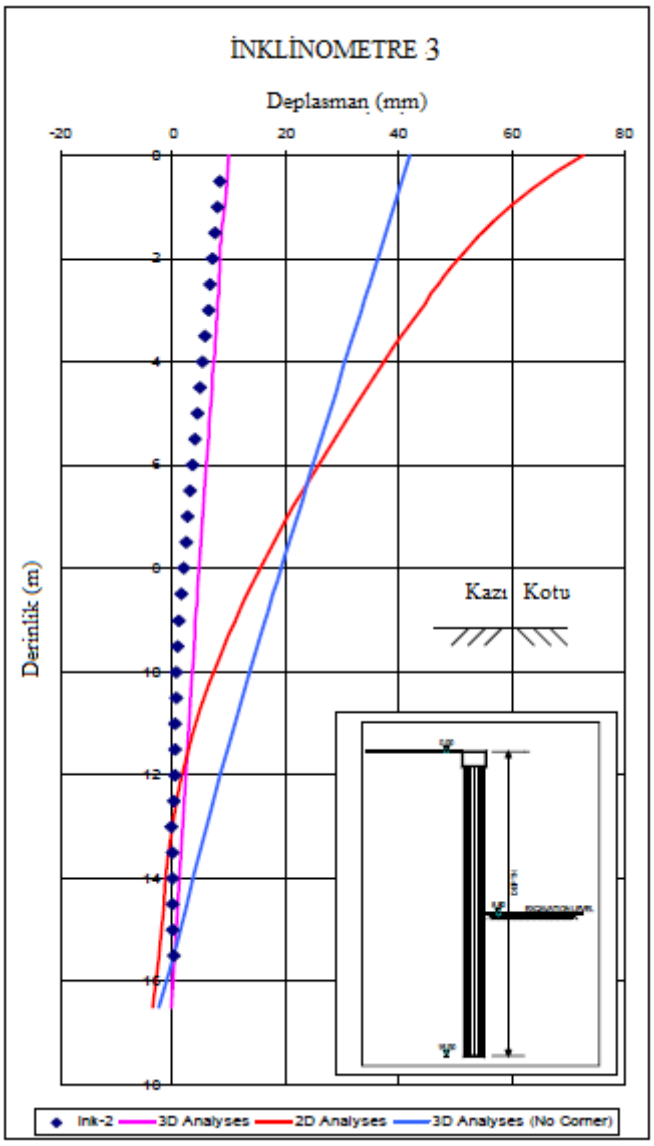
İnklinometre 1,2,3 ve 4 için iki boyutlu, üç boyutlu analizlerden elde edilen deplasman değerleri ile aletsel gözlem ile elde edilen deplasman değerlerinin karşılaştırılması sırasıyla Şekil 3.46, Şekil 3.47, Şekil 3.48, Şekil 3.49 ' da verilmektedir.



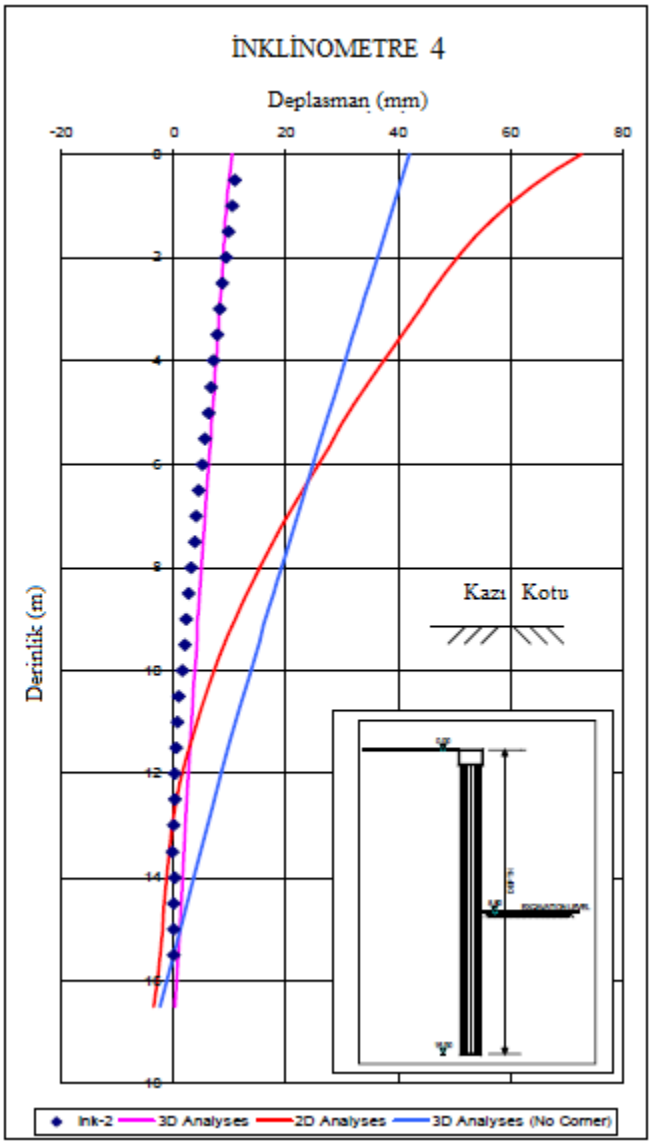
Şekil 3.46 : Ankara Çankaya Ticaret ve Konut İnşaatı derin kazısı iki boyutlu ve üç boyutlu analizler ve inklinometre 1 ile elde edilen deplasman değerlerinin karşılaştırılması (Ünlü, 2008).



Şekil 3.47 : Ankara Çankaya Ticaret ve Konut İnşaatı derin kazısı iki boyutlu ve üç boyutlu analizler ve inklinometre 2 ile elde edilen deplasman değerlerinin karşılaştırılması (Ünlü, 2008).



Şekil 3.48 : Ankara Çankaya Ticaret ve Konut İnşaatı derin kazısı iki boyutlu ve üç boyutlu analizler ve inklinometre 3 ile elde edilen deplasman değerlerinin karşılaştırılması (Ünlü, 2008).



Şekil 3.49 : Ankara Çankaya Ticaret ve Konut İnşaatı derin kazısı iki boyutlu ve üç boyutlu analizler ve inklinometre 4 ile elde edilen deplasman değerlerinin karşılaştırılması (Ünlü, 2008).

Ünlü (2008) yaptığı analiz sonucu üç boyutlu köşeli modelin sonuçlarının aletsel gözlem ile elde edilen değerlere yakın çıktığı iki boyutlu ve köşesiz kurulan üç boyutlu modellerin analizlerinden elde edilen deplasman değerlerinin ise farklı çıktığı sonucuna varmaktadır.

Köşe etkisinin etki mesafesi ile birçok araştırmacı ilgilenmiştir.

Lee ve diğ. (1998) kazı köşesi etkisinin kazı uzunluğunun (L) kazı derinliğine (h) bölünmesinden elde edilen oran ile kontrol edilebileceğini önermiştir.

Nath (1983) yaptığı hendek kazısı analizinde L/h oranının 2.0'den büyük olduğu değerlerde üç boyutlu analizin iki boyutlu analiz sonuçları ile benzer sonuçlar verdiğini söylemiştir.

Wong ve Patron (1993) Taipe de bulunan beş kademeli diyafram duvar destekli vaka kazısını raporlamışlardır. Köşe etkisinin köşeden derinliğin 1.0 katı kadar uzaklıkta gözlendiğini ileri sürmüşlerdir.

Simpson (1992) katı Londra kili vaka çalışmasını açıklamıştır. Bu çalışmada L/h oranı 3.0'tür ve hiçbir köşe etkisi gözlenmemiştir. Bu durumun yaptığı analizde kullanılan zeminin katı olması ve kazının sığ olmasından kaynaklanabileceğini belirtmiştir.

Ou, ve diğ. (1996) Taipeide bulunan Hai Hua binası vaka analizini incelemişlerdir. Buldukları sonuç L/h oranının 1.0 olduğu değerlerde iki boyutlu ve üç boyutlu analizleri kıyasladıklarında kayda değer köşe etkisi gözlemlediklerini söylemişlerdir.

Ou ve diğ. (1996) yaptıkları iki boyutlu parametrik çalışmada değişken birincil ve ikincil duvar uzunluklarınında köşe etkisini tanımlamada önemli olduğu belirtmişleridir. Üç boyutlu analizin ikincil duvar uzunluğunun B= 20.0 m, birincil duvar uzunluğunun L = 40.0 m olduğu durumda köşeden 40.0 m uzaklıkta iki boyutlu analiz durumuna ulaşıldığını görülmüştür. Ayrıca ikincil duvarın kısa olması durumunda köşeden 20.0 m uzaklıkta birincil duvar uzunluğunun değişmesinden bağımsız üç boyutlu analizin iki boyutlu analiz ile benzer deplasman değerleri verdiğini bildirmişlerdir.

Bununla birlikte ikincil duvarın B > 20.0 m den büyük olduğu durumlarda ise birincil duvar uzunluğunun azalmasının deplasmanın azalmasını gösterdiği ve birincil duvar uzunluğunun L= 100.0 m olduğu duruma kadar köşeden mesafeden bağımsız iki boyutlu analizden elde edilen deplasman değerlerine yakın değerler verdiğini bildirmişlerdir. Buradan yola çıkarak ikincil duvar uzunluğunun köşe etkisini belirlemede önemli bir faktör olduğunu söylemişlerdir.

Lee vd. (1998) de yaptıkları çalışmada ise bu oranın 2.0 katı kadar olduğu uzaklıkta gözlemlendiğini söylemiştir.

Fakat Lee vd. (1998)'nin çalışmasında birçok yatay eleman kullanılması köşenin rijitliğini artırmış ve köşe etkisinin daha uzak mesafelerde gözlemlenmesine olanak vermiş olabileceği unutulmamalıdır.

Lin vd. (2003) 10.0 m kazı derinliği olan Bangkok derin kazı projesi üzerinde yaptıkları iki boyutlu ve üç boyutlu analizlerde köşe etkisinin etki uzaklığının 25.0 ile 30.0 m arasında olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Ayrıca Ou (1996) yaptığı çalışmada bu oranı 3.12 bulmuştur.

Bunun dışında köşe etkisine etkiyen başka faktörler olduğu da tartışılmıştır.

Simpson (1992) de katı Londra kili vaka çalışmasında köşe etkisine rastlamamış bunun sağlam zemin özelliğinden kaynaklanabileceğini belirtmiştir. Ayrıca Lee (1998) sağlam zemin tabakalarında yapılan kazılarda köşe etkisinin zemin özelliklerinden etkilenebileceğini belirtmiştir.

4. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZ

4.1 Sonlu Elemanlar Yöntemi

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte mühendislik çözümleme yöntemlerinin de geliştiği görülmektedir. Bu gelişmeler ışığında sayısal modelleme adı verilen bir araştırma yöntemi oluşturulmuştur. Klasik sayısal analizide içeren bu yöntem her bilim dalında kullanılan önemli bir araç haline gelmiştir. Bu kapsamda, yeni oluşan yöntemlerinden başında kuşkusuz "Sonlu Elemanlar Yöntemi" gelmektedir (Hasanov, 2001).

Sonlu Elemanlar Yöntemi, çeşitli mühendislik problemlerine kabul edilebilir bir yaklaşımla çözüm arayan bir sayısal çözüm yöntemidir. Bu yöntem nümerik analiz yöntemleri arasında bilgisayar yazılımı için en uygun formülasyona sahiptir. Bunun nedeni, karmaşık sınır koşulları ve non-liner malzeme davranışı homojen olmayan malzemeler gibi zor ve karmaşık problemlerin çözümünde sistematik bir programlamaya müsaade etmesidir. Diğer yandan bu yöntem mühendisliğin çok geniş bir alanında sınır değer problemlerine uygulanabilmektedir (katı cisim mekaniği, termoelastisite, termodinamik, akışkanlar mekaniği v.b) (Berilgen, 1996).

Bu analiz metodu esas olarak fiziksel bir sistemin matematiksel olarak ifade edilmesine dayanmaktadır. Karmaşık sınır koşullarına sahip, düzgün olmayan geometriye sahip, zamana bağlı ve özdeğer problemlerine, lineer ve lineer olmayan problemlere uygulanabilir. Buna göre değişik ve karmaşık geometriye sahip sistemler, çok sayıda basit geometriye sahip parçacığa bölünerek bu parçacıkların ayrı ayrı çözülmesi ile analiz edilir. Bu sistemlerin parçalara bölünmesi ile elde edilen her bir parçacık eleman olarak isimlendirilmektedir ve her biri için matris çözümü gerçekleştirilir. Eleman sayısı yani parçaların küçüklüğü çözümün hassaslığını belirler. (Sert, 2003).

Sonlu eleman ağı ile analiz yapan programların ilk aşamasını çizimi oluşturulur. Üç boyutlu haldeki modelin malzeme değerleri girilir (elastiklik modülü, kohezyon, içsel sürtünme açısı vs.). Sınır koşulları, yükler belirlendikten sonra sonlu eleman ağı

sıklığı (mesh) kısmına geçilir. Parça basit bir şekle sahipse program tarafından otomatik olarak ayrılır. Kompleks bir şekle sahipse manüel olarak daha ufak parçalara bölünerek şekil basit parçalara ayrılır (Hasanov, 2001).

Geoteknik mühendisliği uygulamalarında sonlu elemanlar analizlerinde gerçek durumu modelleyebilmek açısından çözüm adım adım (aşamalı yükleme, aşamalı kazı) yapılmaktadır. Analizin adımlar halinde yapılabilmesi iki önemli avantaj sağlamaktadır,

1. Analizlerde dolgu yerleştirilmesi veya kaldırılması durumunda, geometri her bir adımda değişmektedir. Geometrideki değişim sonlu elemanlar ağına eleman ekleyerek veya kaldırarak modellenebilmektedir.
2. Analizlerde, zemin kütlesi içinde gerilmelerin değişimi sonucu her bir yükleme kademesinde zemin özellikleri değişmektedir (Çetin, 2001).

4.2 Programın Özellikleri

PLAXIS 3D foundation V2.2 yazılımı , Hollanda'da bulunan Delft Üniversitesi tarafından geoteknik mühendisliği problemlerinin çözümünden kullanılmak üzere geliştirilen bir sonlu eleman programıdır. Bu programla temel ve iksa sistemleri değişik zemin koşullarında analiz edilebilmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında pekleşen zemin özelliği gösteren Hardening Soil Model kullanıldı. Pekleşen zemin modelinin Mohr Coulomb zemin modeline göre en önemli artısı artan gerilmeler ile zemin rijitliğinin de artmasıdır. Ayrıca bu modelde ilk yükleme rijitlik modülleri ile yükleme boşaltma rijitlik modüllerinin ve ön konsolidasyon basıncı ayrı tanımlanabilmektedir.

Pekleşen zemin modelinde plastisite teorisi kullanılırak sünme yüzeyi hesaplanır (Plaxis Material Manual, 2012). Mükemmel plastik zemin modellerinden geliştirilen bu modelde sünme fonksiyonu pekleşme parametresi aracılığı ile sünme yüzeyi boyutlarını etkilemektedir. Pekleşme parametresi plastik şekil değişmelere bağlı olarak değişmektedir.

PLAXIS 3D Foundation V2.2, Pekleşen zemin modelinde kullanılan zemin parametreleri aşağıda verilmiştir:

$$E_{oed} = E_{oed}^{ref} \left(\frac{\sigma}{p_{ref}} \right)^{m} \tag{4.1}$$

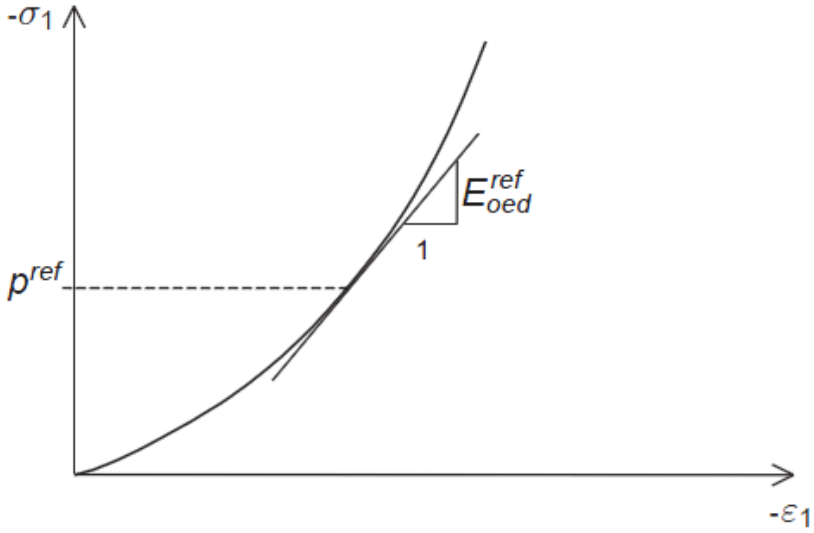
E_{oed} : Ödometre deneyinden elde edilen Elastisite Modülü

E_{oed}^{ref} : Birincil ödometre yüklemesinden elde tanjant rijitlik değeri (Şekil 4.1)

σ : Gerilme

p_{ref} : Referans basınç değeri

m : Gerilme katsayısı



Şekil 4.1 : E_{oed}^{ref} değerinin ödometre testinden hesaplanması (Plaxis 3D Foundation V2 Material Manual, 2007).

Ödometre deneyinden elde edilen elastisite modülünün bir diğer hesaplama şekli aşağıda verilmiştir.

$$E_{oed} = E_{oed}^{ref} \left(\frac{c\cos\varphi - \frac{\sigma_3^{'}}{K_0^{nc}}\sin\varphi}{c\cos\varphi + p^{ref}\sin\varphi} \right)^{m} \tag{4.2}$$

$$K_0^{nc} = 1 - \sin\phi \tag{4.3}$$

ϕ : İçsel sürtünme açısı

c : Kohezyon

K_0^{nc} : Normal konsolide zeminler için sükunetteki toprak basıncı kat sayısı

$$E_i = \frac{2E_{50}}{2 - R_f} \tag{4.4}$$

$$R_f = \frac{\sigma_{d,f}}{\sigma_{d,\text{ult}}} \tag{4.5}$$

$$E_{50} = E_{50}^{ref} \left(\frac{c\cos\varphi - \sigma_3^{'}\sin\varphi}{c\cos\varphi + p^{ref}\sin\varphi} \right)^m \tag{4.6}$$

E_i : Başlangıç rijitlik değeri (Şekil 4.2)

E_{50} : Çevre basıncına bağlı birincil yükleme durumu elastisite modulü, göçme anındaki gerilme değerinin %50'sine karşılık gelen elastisite modulü değeri olarak hesaplanır (Şekil 4.2)

E_{50}^{ref} : Referans basınç değerine (p_{ref}) karşılık gelen E_{50} değeridir.

R_f : Göçme oranı

$\sigma_{d,f}$: Standart üç eksenli deneyde göçme anındaki deviatör gerilme

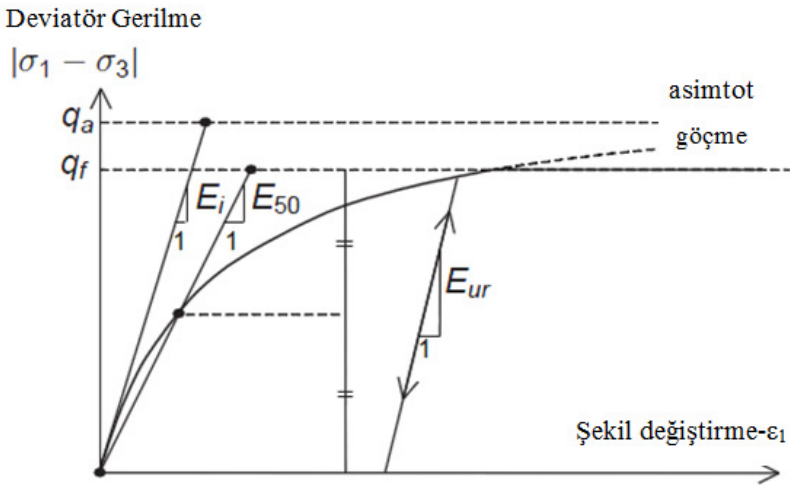
$\sigma_{d,ult}$: Standart üç eksenli deneyde nihai deviatör gerilme

$$E_{ur} = E_{ur}^{ref} \left(\frac{c\cos\varphi - \sigma_3^{'}\sin\varphi}{c\cos\varphi + p^{ref}\sin\varphi} \right)^m \tag{4.7}$$

E_{ur} : Yükleme-boşaltma gerilme izi, elastisite modülü (Şekil 4.2)

E_{ur}^{ref} : Referans basınç değerine (p_{ref}) karşılık gelen E_{ur} değeri

$\sigma_3^{'}$: Standart üç eksenli deney için efektif minimum asal gerilme değeri



Şekil 4.2 : Standart drenajlı üç eksenli deney için birincil yüklemeden elastisite modülü değerlerinin hesaplanması (Plaxis 3D Foundation V2 Material Manual, 2007).

Pekleşen zemin modellerinin kullanıldığı yumuşak zeminler için rijitlik parametreleri sıkışma indeksi, şişme indeksi ve başlangıç boşluk oranı kullanılarak hesaplanabilir. Kullanılan formüller aşağıda verilmiştir (Plaxis 3D Foundation V2 Material Manual, 2007).

$$C_c = \frac{2.3(1+e_{init})\,p_{ref}}{E_{oed}^{ref}} \tag{4.8}$$

$$C_S = \frac{2.3(1+e_{init})(1+\nu)(1-2\nu)\,p_{ref}}{(1-\nu)E_{ur}^{ref}} \tag{4.9}$$

C_c : Sıkışma indeksi
C_s : Şişme indeksi
ν : Poisson oranı
e_{init} : Başlangıç boşluk oranı

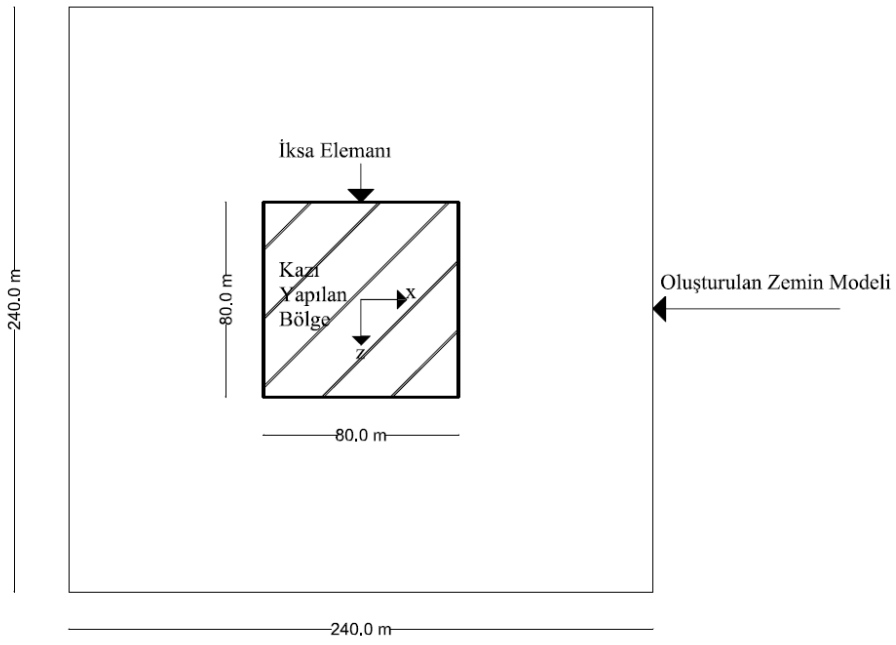
Sonlu eleman analizlerinde seçilen ağ sıkılığı; hem sonuçların doğruluğunun artırılabilmesi hem de hesaplama yükünün dengelenebilmesi açısından son derece önemlidir.

5. PARAMETRİK ÇALIŞMA

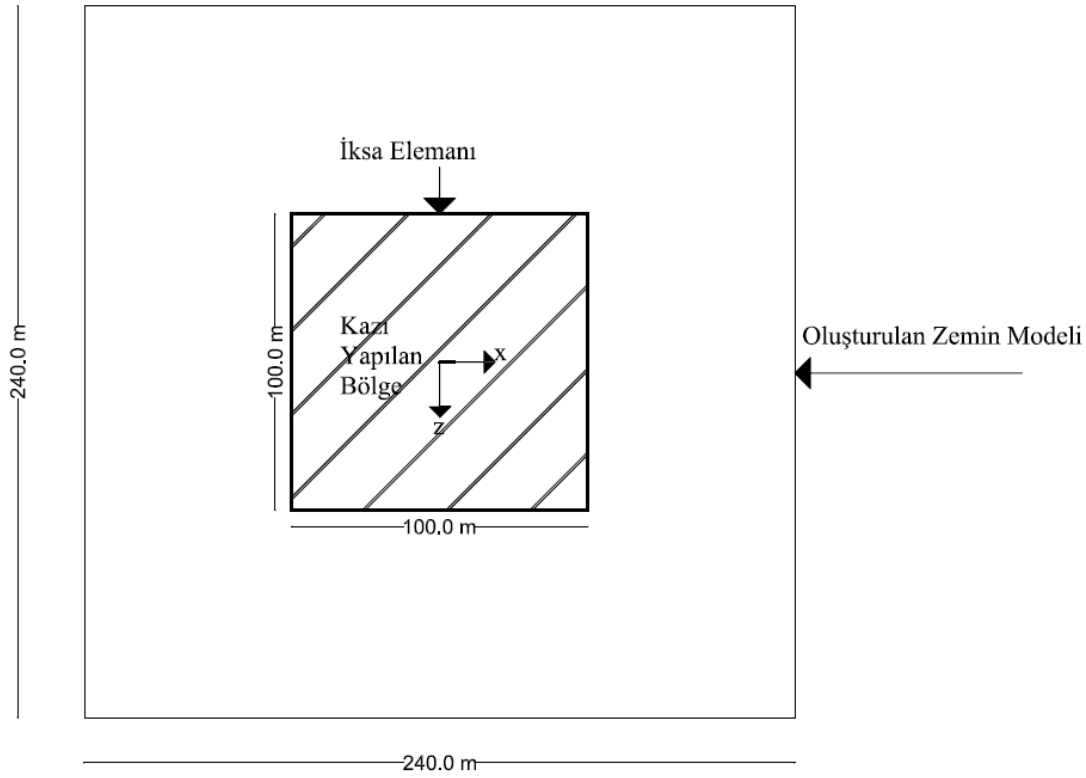
Kazı çukurlarıda köşe etkisi incelenmesi amacıyla Plaxis 3D Foundation V2.2 üç boyutlu sonlu elemanlar programı kullanılarak iki farklı boyuttaki kare kazı çukurlarında iki farklı kazı derinliği ve dört farklı özellikteki zemin için on altı adet model çözülmüştür.

5.1 Modelin Sonlu Elemanlar Ağ Boyutlarının Seçimi

Ou ve diğ. (1998) tarafından yapılan çalışma sonucunda zemin modelinin kazı çukurundan en az kazı derinliğinin iki katı kadar mesafeden sonra oluşturulmasını önermektedir. Modelin boyutları seçilirken sınır koşullarından etkilenmemesi için çeşitli boyutlar denenip ve bu doğrultuda 240.0 x 240.0 m kare zemin modeli içerisine 80.0 x 80.0 m boyutlarında ve 100.0 x 100.0 m boyutlarında iki farklı kazı çukuru modellendi. Zemin modelinin derinliği 40.0 m'dir. Sistem simetrisini sağlamak amacı ile kazı modelinin tam ortasına aks takımı yerleştirildi. Analizde kullanılan modelerin plan görünüşleri Şekil 5.1 ve Şekil 5.2' de gösterilmektedir.

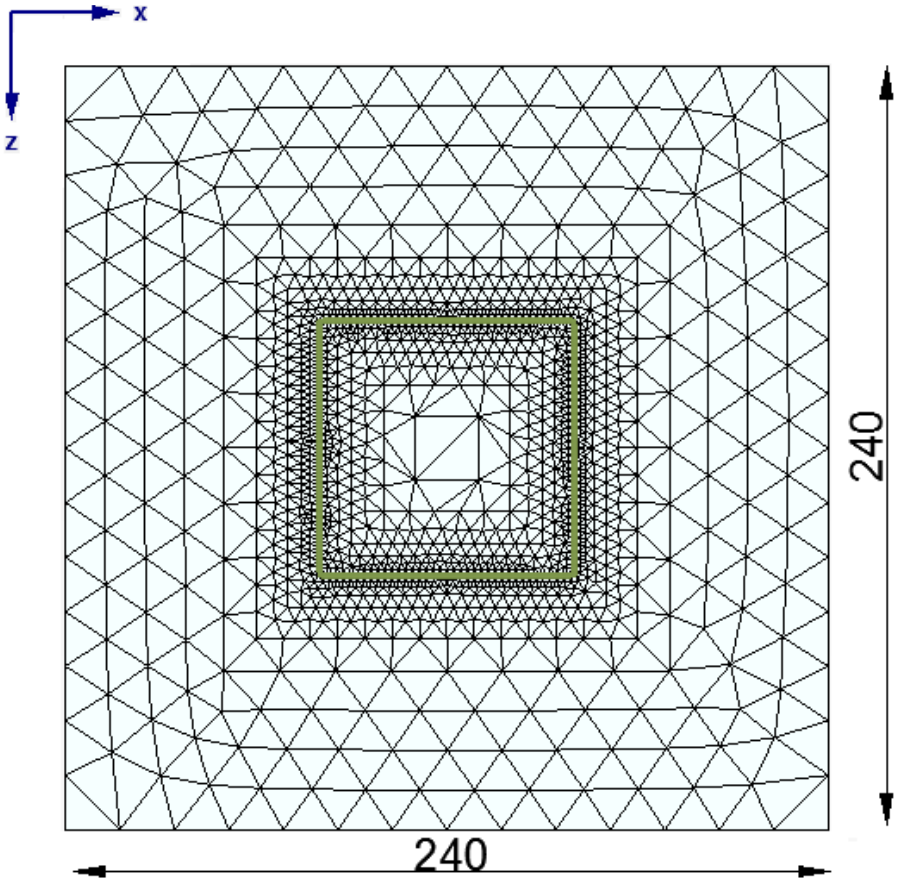


Şekil 5.1 : Analiz yapılan 80.0 x 80.0 m kazı çukurunun plan görünüşü.

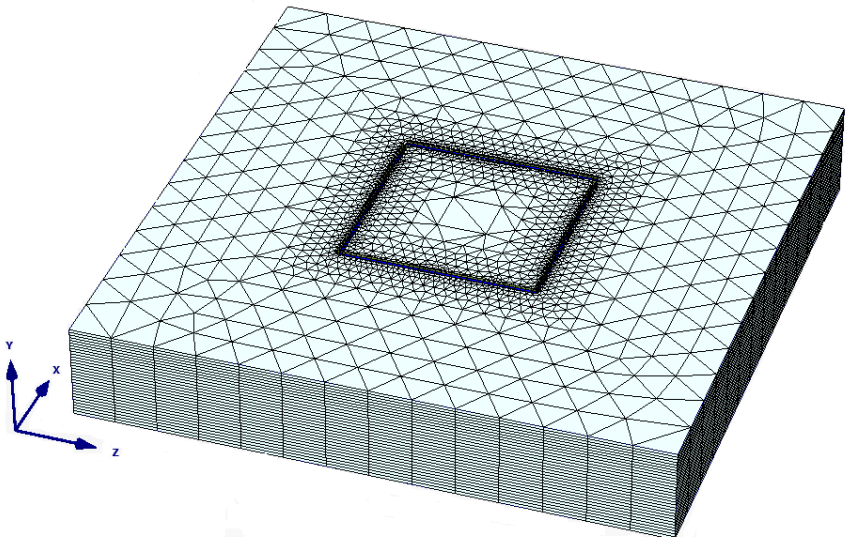


Şekil 5.2 : Analiz yapılan 100.0 x 100.0 m kazı çukurunun plan görünüşü.

Sonlu eleman ağı sıklığı oluşturulurken en doğru çözümü vermesi açısından düşey ve yatay doğrultuda en sıkı şeklinde tanımlanıp ayrıca kazı çukuru çevresi modelin diğer bölgelerine göre daha fazla sıklaştırıldı. Modelin sonlu eleman ağı sıklığı Şekil 5.3 ve Şekil 5.4' te verilmiştir.

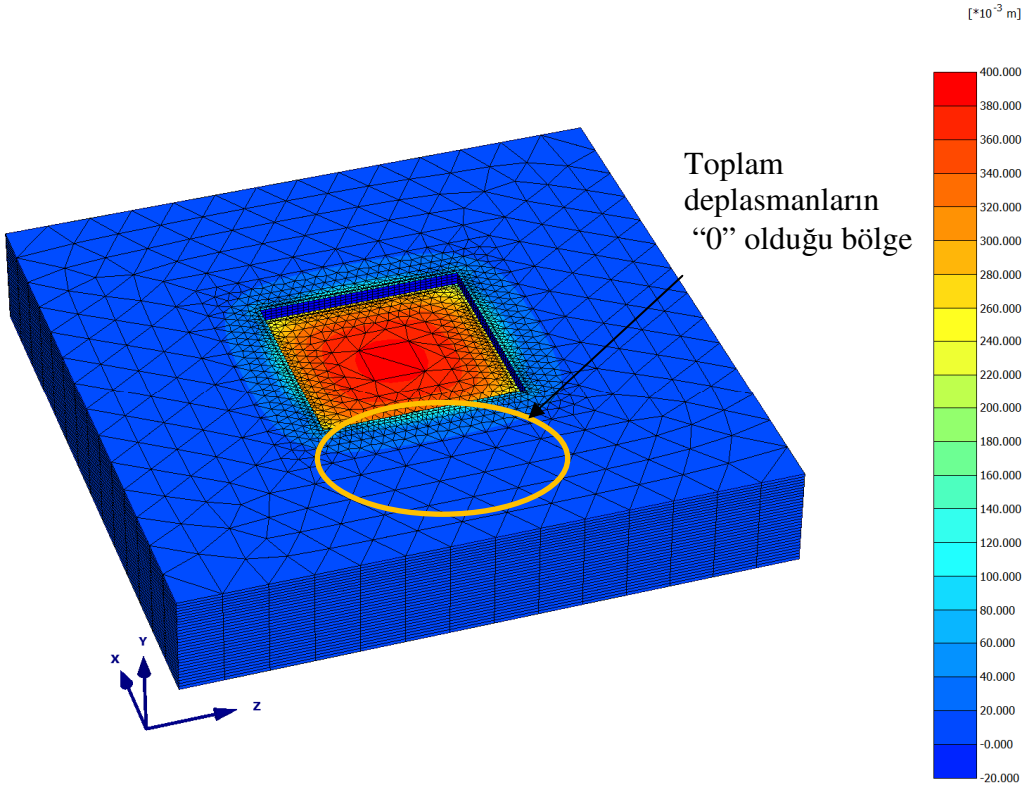


Şekil 5.3 : Modelin sonlu eleman ağı iki boyut görünüşü.



Şekil 5.4 : Modelin sonlu eleman ağı sıklığı üç boyut görünüşü.

Kurulan modellerin sınır koşullarından etkilenmediğini görmek için, kazı fazında duvar arkasında oluşan toplam deplasmanların "0" mertebisine yakın olup olmadığı kontrol edildi. Bu sayede modelin sınırlarının kazı çukurundan yeteri kadar uzakta olduğu görüldü. Yapılan incelemeye ilişkin örnek bir grafik Şekil 5.5' de gösterilmektedir.



Şekil 5.5 : Sınır koşullarının incelenmesi için toplam deplasman çıktılarının analizi.

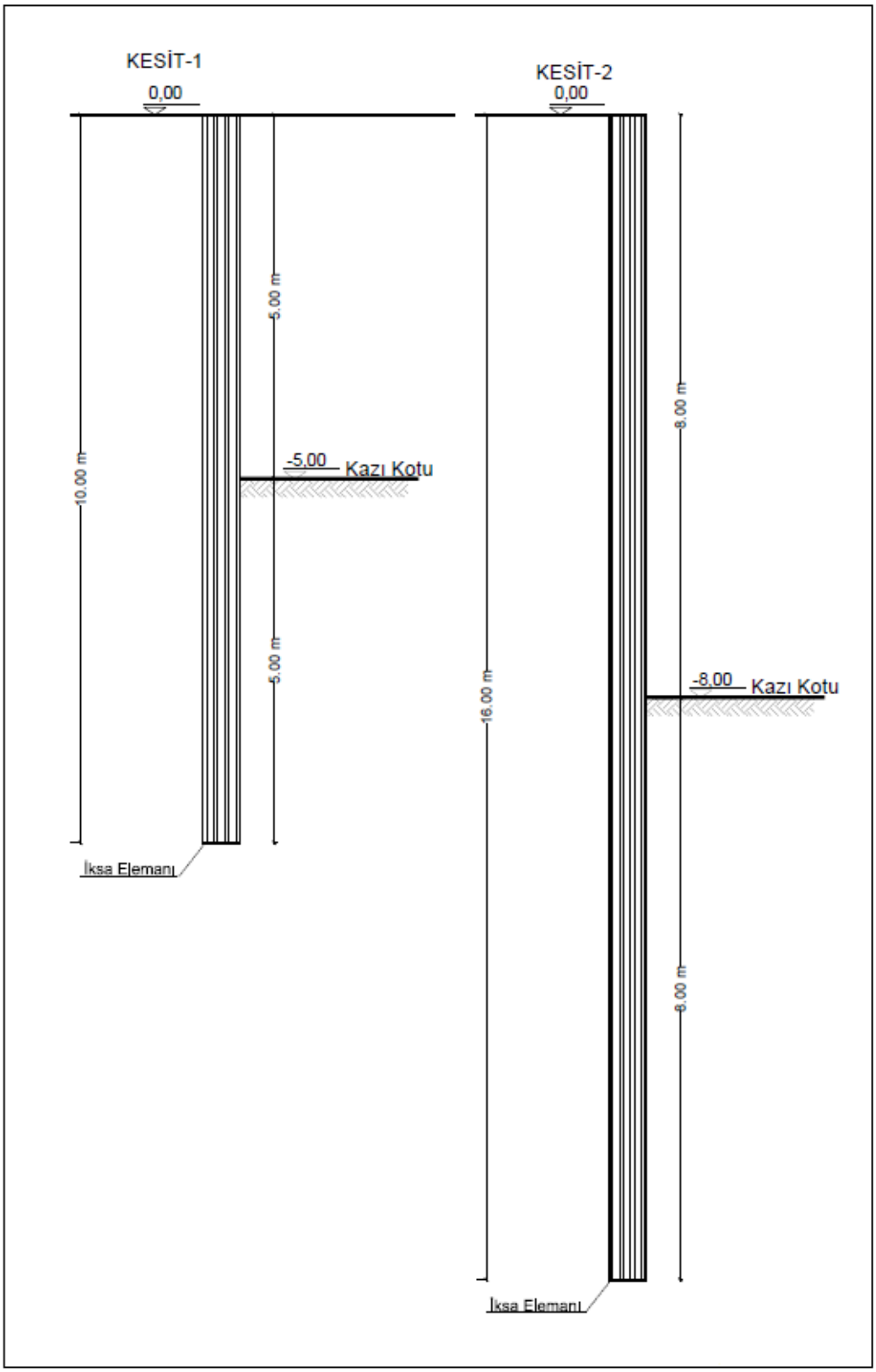
5.2 Malzeme Özellikleri

Zemin parametreleri ("Spundwand-Handbuch Teil 1, Grundlagen" 1986)'de belirtilen değerlerden alındı. Dört farklı zemin tipi seçilip bunlar sırasıyla gevşek kum, sıkı kum, yumuşak kil ve yarı katı kildir. Program kohezyonun sıfır değerini kabul etmediğinden, kumlarda kohezyon değeri 1 olarak alındı. Yapılan çalışmada yer altı su seviyesinin modellenen zemininin aşağısında olduğu varsayımı yapıldı. Analizlerde kullanılan iksa elemanı ve zemin parametreleri Çizelge 5.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 5.1 : Analizde kullanılan zemin parametreleri

Zemin Tipi	Gevşek Kum	Orta Sıkı Kum	Yumuşak Kil	Yarı Katı Kil	Dayanma Yapısı
Zemin Modeli		Pekleşen Zemin Modeli HS			Lin. Elastik
ϕ (°)	30	32,5	17,5	25	-
c (kN/m^2)	1	1	10	25	-
v					0,25
E_{50}^{ref} (kPa)	35000	75000	1750	7500	30000000
E_{oed}^{ref} (kPa)	35000	75000	1750	7500	-
E_{ur}^{ref} (kPa)	105000	225000	5250	22500	-
γ (kN/m^3)	18	19	17	19	25
p_{ref} (kPa)	100	100	100	100	-
K_0	0.500	0.463	0,699	0.577	-

Kazı çukurunda köşe etkisini incelemek için kazı derinlikleri farklı konsol iki model kullanılıp, her model için ayrı ayrı dört farklı zemin için analiz yapıldı. Bütün çözümlerde tek tabakalı zemin kullanıldı. İksa kesitleri Şekil 5.4' de gösterilmektedir.



Şekil 5.6 : İksa elemanı kesitleri.

5.3 Hesap Aşamaları

Yapılan analizlerde iksa elemanları lineer-elastik davranış özelliğine sahip duvarlar olarak tanımlandı. Tüm zemin sınıfları için pekleşen zemin özelliği gösteren HS model (Hardening Soil Model) kullanıldı. Sonlu elemanlar sistemi 15 düğümlü üçgen prizma elemanlardan (15 node wedge element) oluşturulmuştur. İksa elemanı ve zeminin etkileşiminin doğru şekilde yansıtılması amacı ile iksa elemanı ile zeminin arasına ara yüzey elemanları (Rinter) tanımlandı. Analizler drenajlı zemin koşulları için yapıldı. Hesap aşaması üç adımda tanımladı.

Hesap adımları:

1. Analizide başlangıç gerilme durumu K_0 yüklemesinin (sükûnetteki toprak basıncı durumu, K_0 durumu) yapılması,
2. İksa elemanlarının tanımlanması,
3. Kazının yapılması şeklindedir.

5.4 Yapılan Analizler

İki farklı boyuttaki kazı çukurunda dört farklı zemin tipi ve H=5.0 m ve H=8.0 m derinliği olan iki farklı kesit için on altı analiz yapıldı. 80.0 x 80.0 metrelik kazı çukurunun analizlerinden elde edilen grafikler aşağıda verilip 100.0 x 100.0 metrelik kazı çukurunun analizlerinden elde edilen grafikler den H=5.00 m gevşek kum için yapılan analizlerden elde edilen grafikler aşağıda verilirken diğer grafikler Ek-A' da verildi.

Model 1 için yapılan analizlerde kazı sonrasında oluşan deplasmanların Bowles, J. E, 1998 tarafından önerilen tablodaki deplasman aralığında olmasına dikkat edilip iksa elemanın kalınlığı deplasmanların verilen aralığa uyacağı şekilde seçildi.(Çizelge 5.2).

100.0 x 100.0 metrelik kazı çukurunun analizlerinde de 80.0 x 80.0 metrelik kazı çukurunun analizlerinde kullanılan dayanma yapısı parametreleri ve aynı zemin parametreleri kullanıldı.

Çizelge 5.2 : Zemin tipine göre aktif toprak basıncında oluşan deplasmanlar (Bowles, J. E, 1998)

Zemin Tipi ve Durumu	δh,a
Kohezyonsuz, Sıkı	0,001 - 0,002 H
Kohezyonsuz, Gevşek	0,002 0,004 H
Kohezyonlu, Katı	0,01 0,02 H
Kohezyonlu, Yumuşak	0,02 0,05 H

Ayrıca NAVFAC DM7.2, 1982 bu konu ile ilgili Çizelge 5.3 'de verilen tabloyu önermektedir.

Çizelge 5.3 : Zemin tipine göre oluşan deplasmanlar (NAVFAC DM7.2, 1982)

Zemin Tipi ve Durumu	δh,a/H	δh,p/H
Kohezyonsuz, Sıkı	0,0005	0,002 H
Kohezyonsuz, Gevşek	0,002	0,006 H
Kohezyonlu, Katı	0,01	0,02 H
Kohezyonlu, Yumuşak	0,02	0,04 H

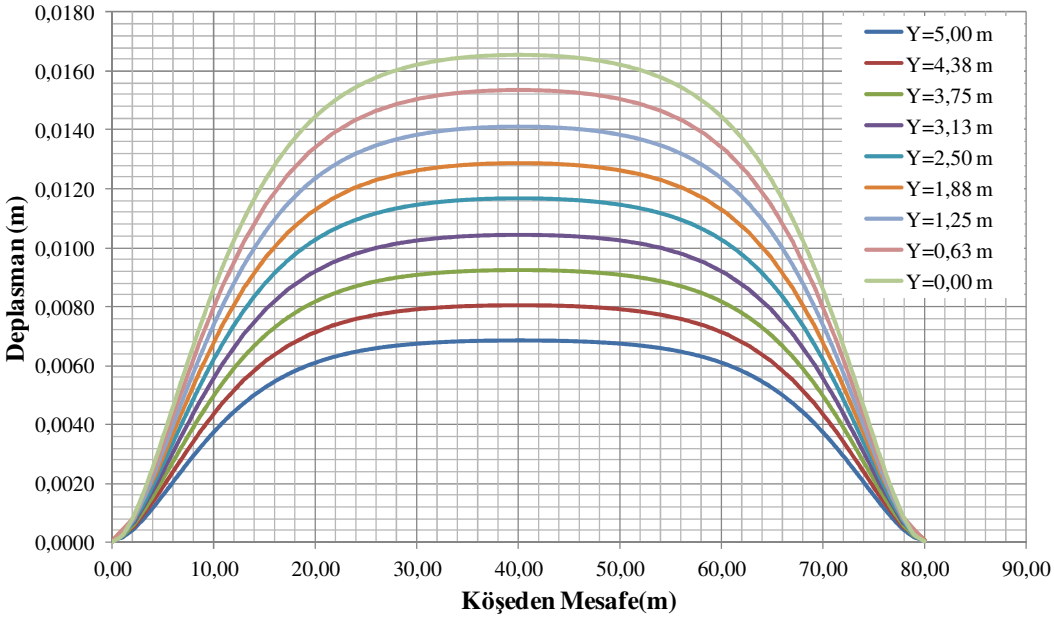
5.4.1 80.0 x 80.0 metre boyutlarındaki kazı çukurunda yapılan analizler

5.4.1.1 Gevşek kum H=5.0 m için yapılan analiz

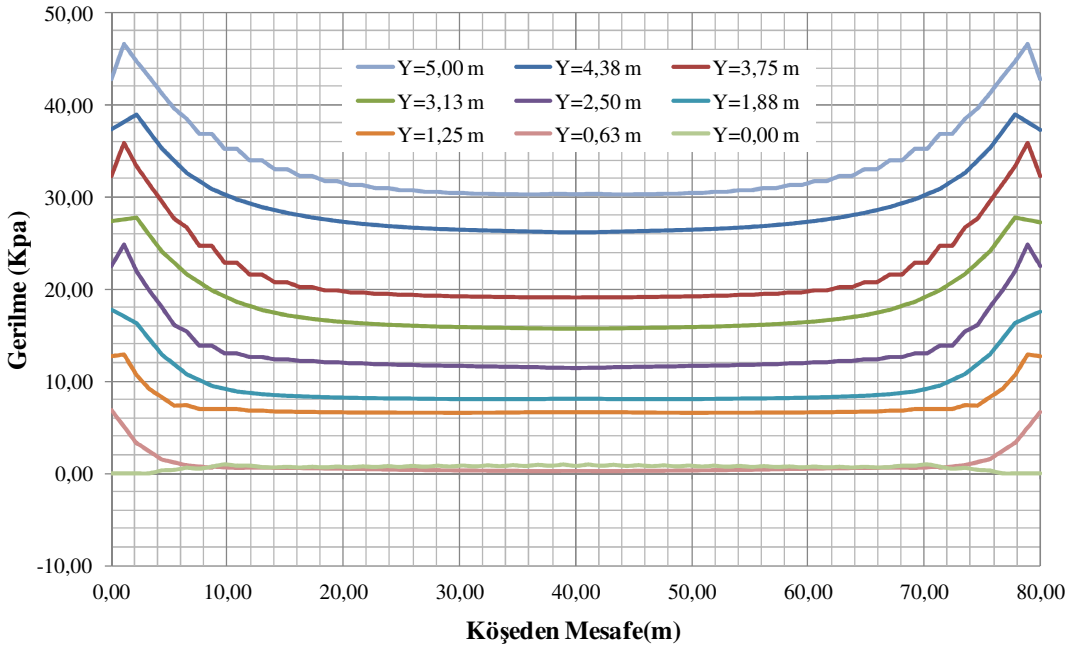
Kazı derinliği 5.0 m olan gevşek kumlu model için deplasman - köşeden mesafe ilişkisi Şekil 5.7' da verilmektedir. Şekilde farklı derinlikler için deplasman - köşeden mesafe ilişkisi çizdirildi. Değişen derinliklerde (Y= 0.0' dan Y= 5.0' e kadar) derinlik azaldıkça deplasmanın arttığı net bir şekilde görülmektedir. Maksimum deplasmanın H=0.0 metrede oluştuğu görülmektedir. Her derinlik için benzer davranış gözlemlenip, köşelerde deplasmanların 0.000 m değerlerinden başlayıp köşeden mesafenin iki köşeyede eşit olduğu orta kesitte maksimum deplasmana ulaştığı sonucuna varıldı.

Gerilme - köşeden mesafe ilişkisi ise Şekil 5.8' de gösterilmektedir. Farklı derinlikler için gerilme - köşeden mesafe ilişkisi çizdirilip, değişen derinliklerde (Y= 0.0' dan Y= 5.0' e kadar) derinlik arttıkça gerilmenin arttığı net bir şekilde görülmektedir. Her derinlik için benzer davranış gözlemlenip, köşelerde gerilmelerin en büyük değerlerde oldukları görülmektedir. Ayrıca köşe etkisinin derinlik arttıkça köşeden

daha uzakta hissedildiği görülmektedir. Kazı taban kotunda köşeden 30.0 m mesafeden sonra gerilmelerin yakın değerlerde ve köşede oluşan gerilmelerden daha küçük gerilme değerlerinde olduğu görülmektedir.



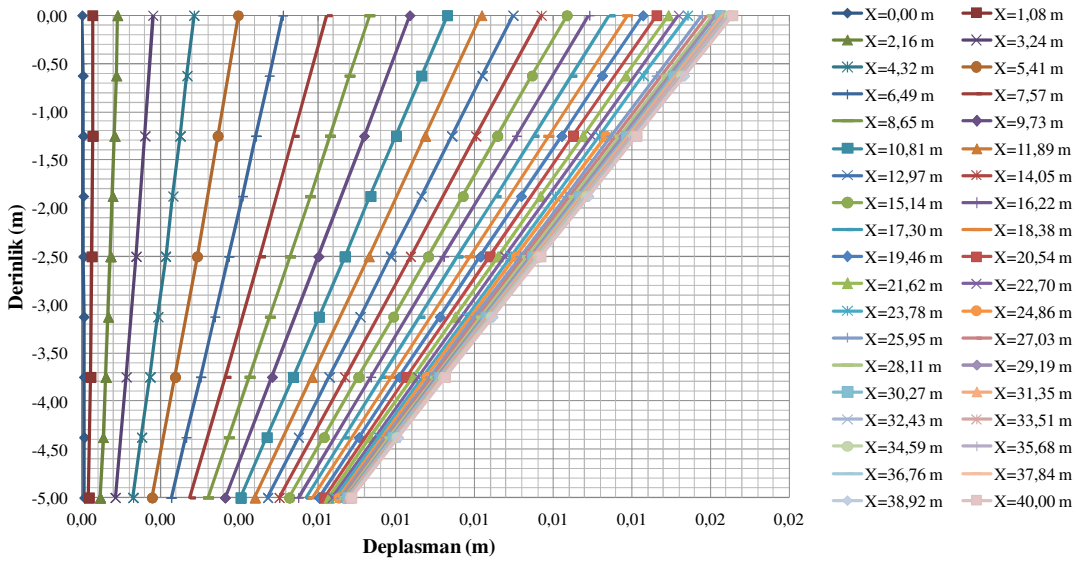
Şekil 5.7 : Gevşek kum H=5.0 m köşeden mesafe - deplasman ilişkisi



Şekil 5.8 : Gevşek kum H=5.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi

Ayrıca deplasman - derinlik ilişkisi Şekil 5.9' da verilmektedir. Köşeden değişen mesafeler için deplasman - derinlik ilişkisi çizdirilip, köşeye olan mesafenin artması (X= 0.0' dan X= 40.0' a kadar) ile deplasmanların arttığı net bir şekilde

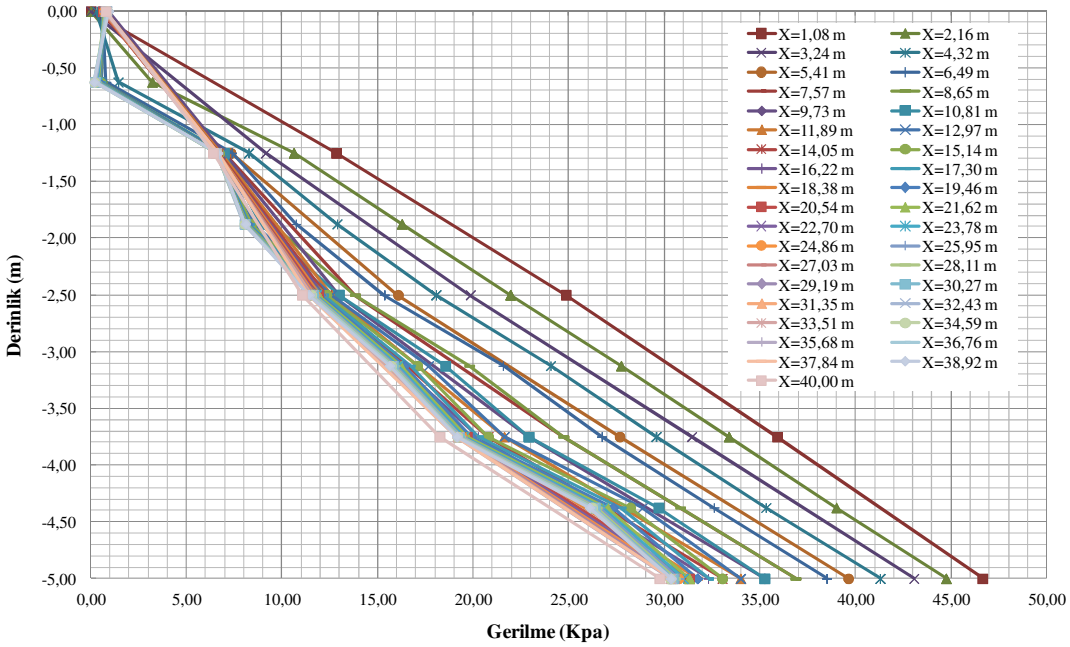
görülmektedir. Köşelerde deplasmanların 0.000 m değerlerinden başlayıp köşeden 25.0 m mesafeden sonra deplasman artışının azalarak yakın değerlerde olduğu ve orta kesitte maksimum deplasmana ulaştığı sonucuna varılmaktadır.



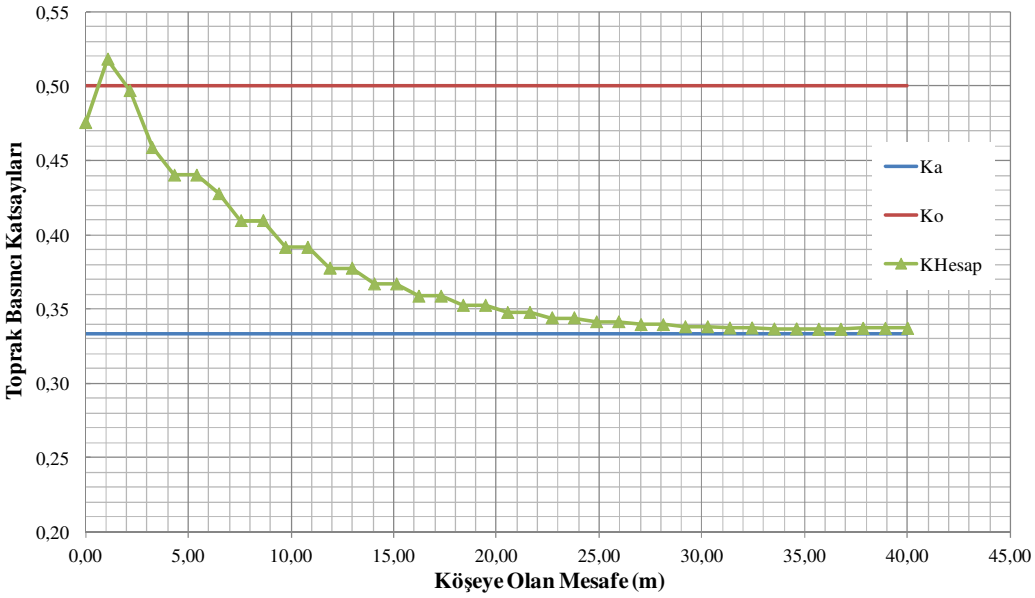
Şekil 5.9 : Gevşek kum H=5.0 m derinlik - deplasman ilişkisi

Bir diğer grafikte ise gerilme - derinlik ilişkisi gösterilmektedir (Şekil 5.10). Köşeden değişen mesafeler için gerilme - derinlik ilişkisi çizdirilip, köşeye olan mesafenin artması (X= 0.0' dan X= 40.0' a kadar) ile gerilmenin azaldığı net bir şekilde görülmektedir. Kazı taban kotunda köşeden yaklaşık 30.0 m sonraki mesafelerde ise köşeye olan mesafenin artmasının gerilmeyi değiştiren bir etkisi olmadığı görülmektedir.

Şekil 5.11' de H=5.0 m derinlikte elde edilen gerilme değerlerinin zeminin birim hacim ağırlığı ve derinliğine bölünmesi ile bulunan K_{hesap} değerlerinin K_a ve K_o ile ilişkisi verilmektedir. K_o (**2.2**) bağıntısı ile hesaplanırken, K_a değeri (**2.5**) bağıntısı ile hesaplanmaktadır. İlk metreler'de K_{hesap} değeri K_o değerinin üzerinde olup ikinci metrede K_o değerine ulaştığı görülmektedir 30.0 metreden sonra K_{hesap} değerinin K_a durumuna ulaştığı görülür.



Şekil 5.10 : Gevşek kum H=5.0 m derinlik - gerilme ilişkisi

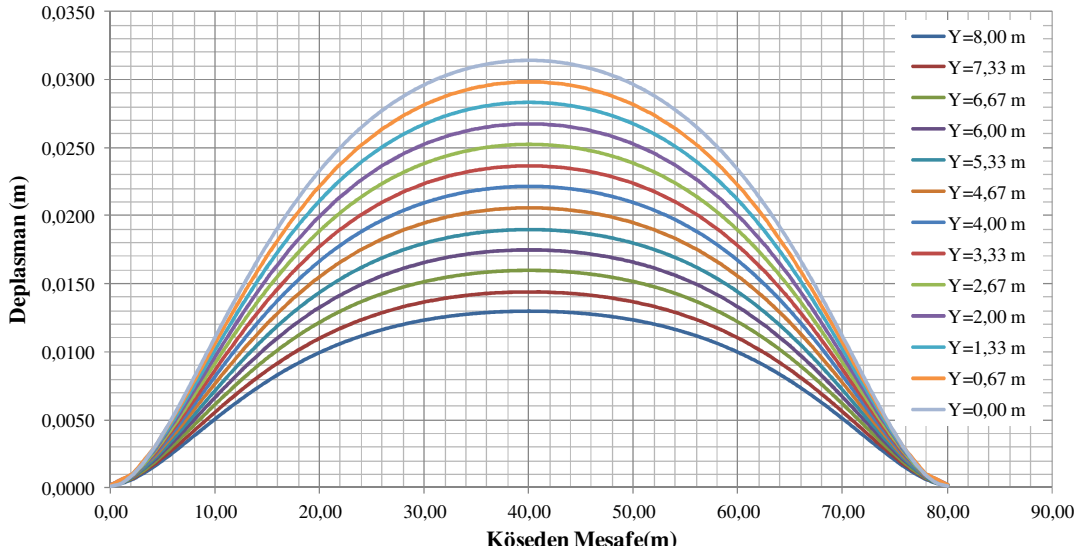


Şekil 5.11 : Gevşek kum H=5.0 m köşeye olan mesafe – toprak basıncı katsayıları ilişkisi

5.4.1.2 Gevşek kum H=8.0 m'lik kesit için yapılan analiz

Kazı derinliği 8.0 m olan gevşek kumlu model için deplasman - köşeden mesafe ilişkisi Şekil 5.12' de verilmektedir. Şekilde farklı derinlikler için deplasman - köşeden mesafe ilişkisi çizdirildi. Değişen derinliklerde (Y= 0.0' dan Y= 8.0' e kadar) derinlik azaldıkça deplasmanın arttığı net bir şekilde görülmektedir. Maksimum deplasmanın H=0.0 metrede oluştuğu görülmektedir. Her derinlik için

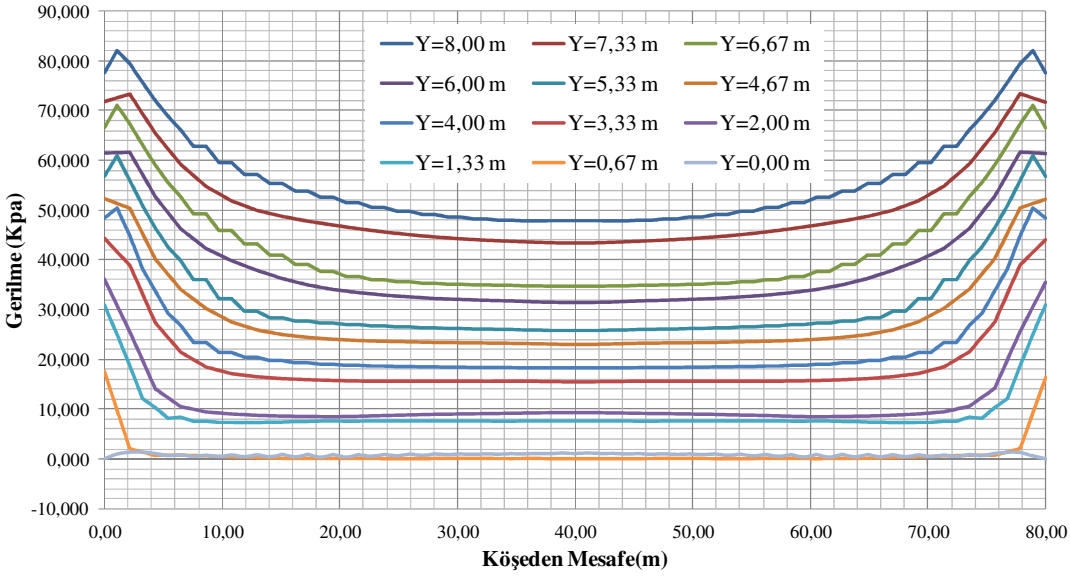
benzer davranış gözlemlenip, köşelerde deplasmanların 0.000 m değerlerinden başlayıp köşeden mesafenin iki köşeyede eşit olduğu kesitte maksimum deplasmana ulaştığı sonucuna varıldı.



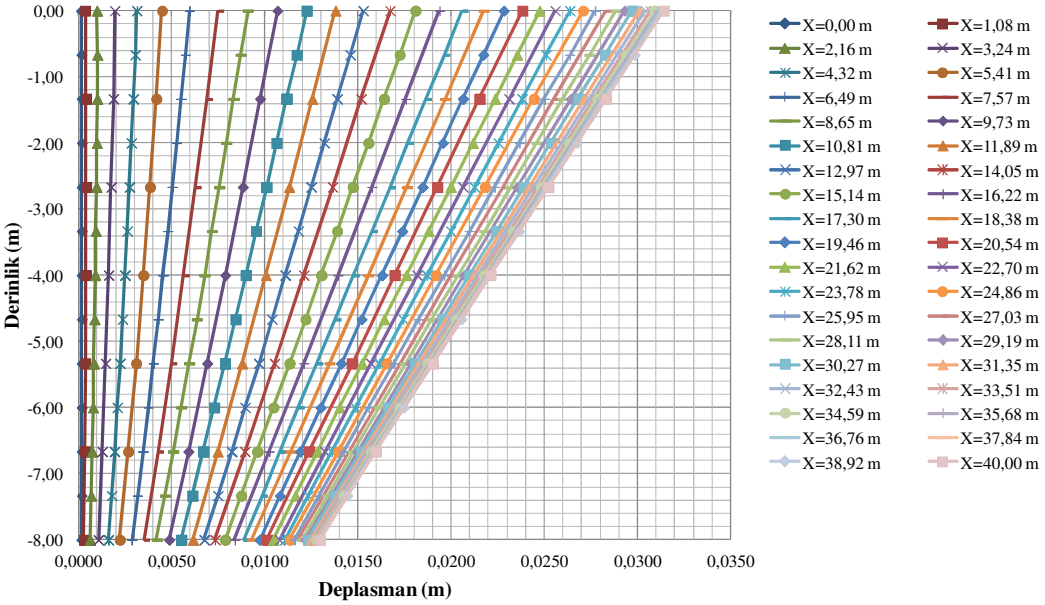
Şekil 5.12 : Gevşek kum H=8.0 m köşeden mesafe - deplasman ilişkisi

Gerilme - köşeden mesafe ilişkisi ise Şekil 5.13' de gösterilmektedir. Farklı derinlikler için gerilme - köşeden mesafe ilişkisi çizdirilip, değişen derinliklerde (Y= 0.0' dan Y= 8.0' e kadar) derinlik arttıkça gerilmenin arttığı net bir şekilde görülmektedir. Her derinlik için benzer davranış gözlemlenip, köşelerde gerilmelerin en büyük değerlerde oldukları görülmektedir. Ayrıca köşe etkisinin derinlik arttıkça köşeden daha uzakta hissedildiği görülmektedir. Kazı taban kotunda köşeden 30.0 m mesafeden sonra gerilmelerin yakın değerlerde ve köşede oluşan gerilmelerden daha küçük gerilme değerlerinde olduğu görülmektedir.

Ayrıca deplasman - derinlik ilişkisi Şekil 5.14' de verilmektedir. Köşeden değişen mesafeler için deplasman - derinlik ilişkisi çizdirilip, köşeye olan mesafenin artması (X= 0.0' dan X= 40.0' a kadar) ile deplasmanların arttığı net bir şekilde görülmektedir. Köşelerde deplasmanların 0.000 m değerlerinden başlayıp köşeden 25.0 m mesafeden sonra deplasman artışının azalarak yakın değerlerde olduğu ve orta kesitte maksimum deplasmana ulaştığı sonucuna varılmaktadır.

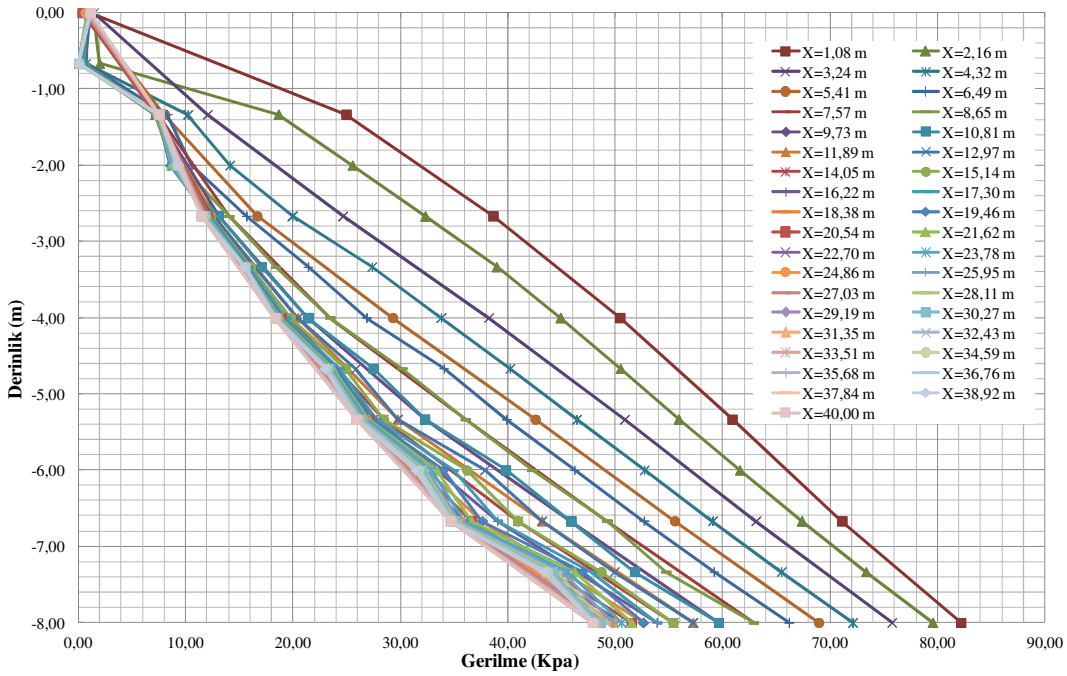


Şekil 5.13 : Gevşek kum H=8.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi



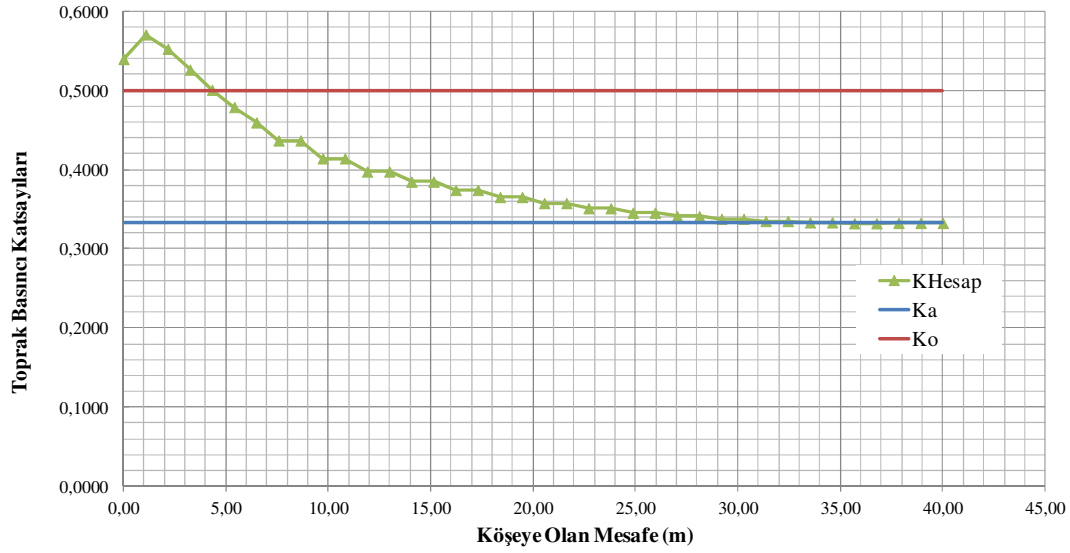
Şekil 5.14 : Gevşek kum H=8.0 m derinlik - deplasman ilişkisi

Bir diğer grafikte ise gerilme - derinlik ilişkisi gösterilmektedir (Şekil 5.15). Köşeden değişen mesafeler için gerilme - derinlik ilişkisi çizdirilip, köşeye olan mesafenin artması (X= 0.0' dan X= 40.0' a kadar) ile gerilmenin azaldığı net bir şekilde görülmektedir. Kazı taban kotunda köşeden yaklaşık 30.0 m sonraki mesafelerde ise köşeye olan mesafenin artmasının gerilmeyi değiştiren bir etkisi olmadığı görülmektedir.



Şekil 5.15 : Gevşek kum H=8.0 m derinlik - gerilme ilişkisi

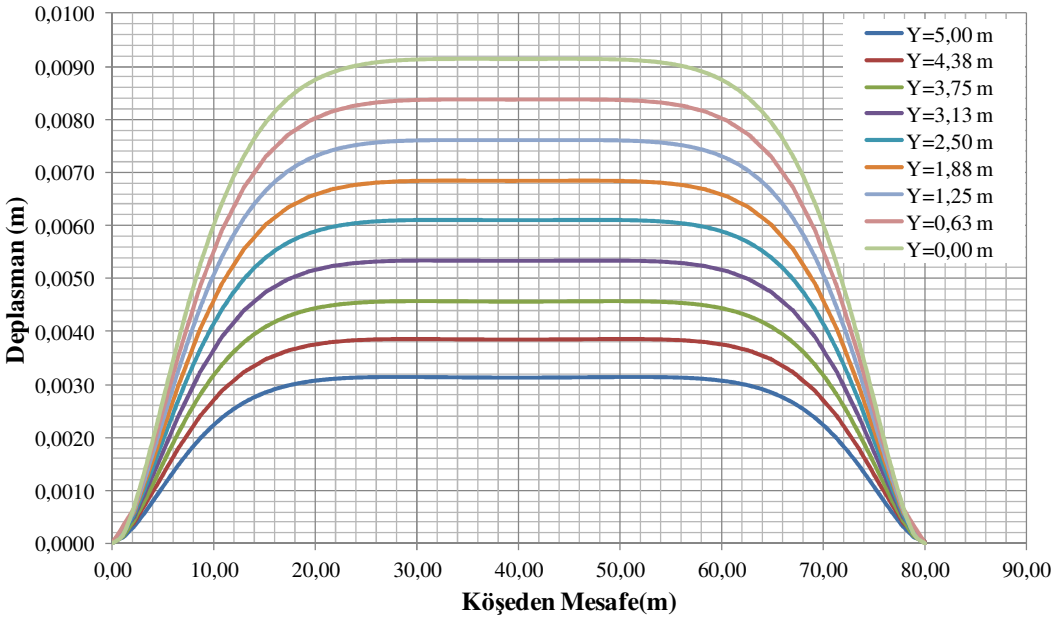
Şekil 5.16' da H=8.0 m derinlikte elde edilen gerilme değerlerinin zeminin birim hacim ağırlığı ve derinliğine bölünmesi ile bulunan K_{hesap} değerlerinin K_a ve K_o ile ilişkisi verilmektedir. K_o (**2.2**) bağıntısı ile hesaplanırken, K_a değeri (**2.5**) bağıntısı ile hesaplanmaktadır. İlk metreler'de K_{hesap} değeri K_o değerinin üzerinde olup dördüncü metrede K_o değerine ulaştığı görülmektedir. 30.0 metreden sonra K_{hesap} değerinin K_a durumuna ulaştığı görülür.



Şekil 5.16 : Gevşek kum H=8.0 m köşeye olan mesafe – toprak basıncı katsayıları ilişkisi

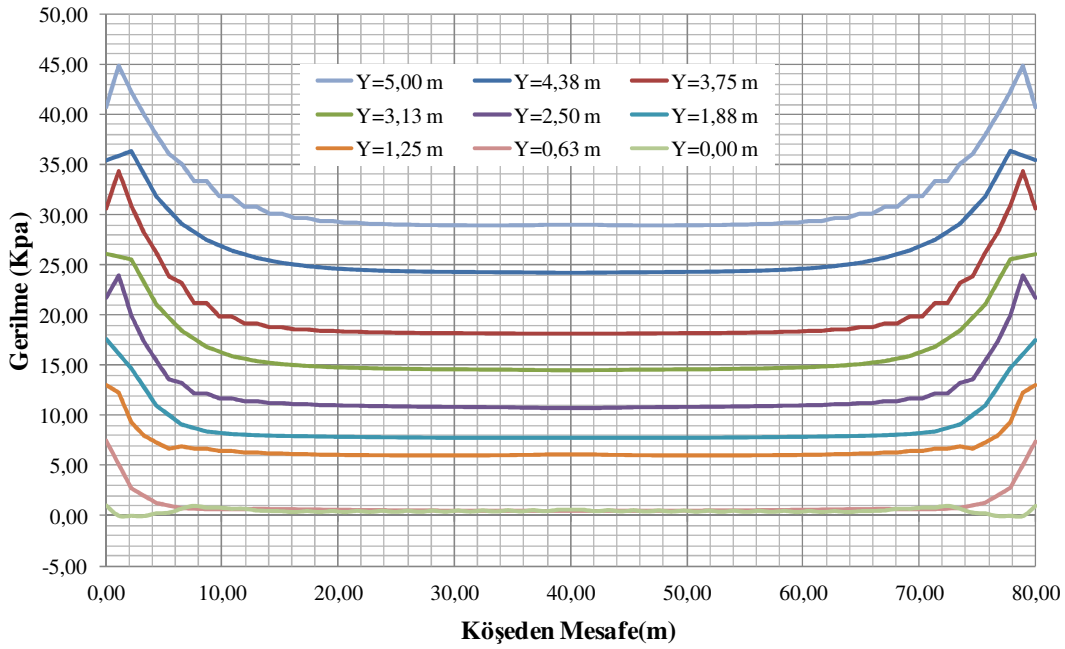
5.4.1.3 Orta sıkı kum H=5.0 m'lik kesit için yapılan analiz

Kazı derinliği 5.0 m olan orta sıkı kumlu model için deplasman - köşeden mesafe ilişkisi Şekil 5.17 ' de verilmektedir. Şekilde farklı derinlikler için deplasman - köşeden mesafe ilişkisi çizdirildi. Değişen derinliklerde (Y= 0.0' dan Y= 5.0' e kadar) derinlik azaldıkça deplasmanın arttığı net bir şekilde görülmektedir. Maksimum deplasmanın H=0.0 metrede oluştuğu görülmektedir. Her derinlik için benzer davranış gözlemlenip, köşelerde deplasmanların 0.000 m değerlerinden başlayıp köşeden mesafenin iki köşeyede eşit olduğu kesitte maksimum deplasmana ulaştığı sonucuna varıldı.



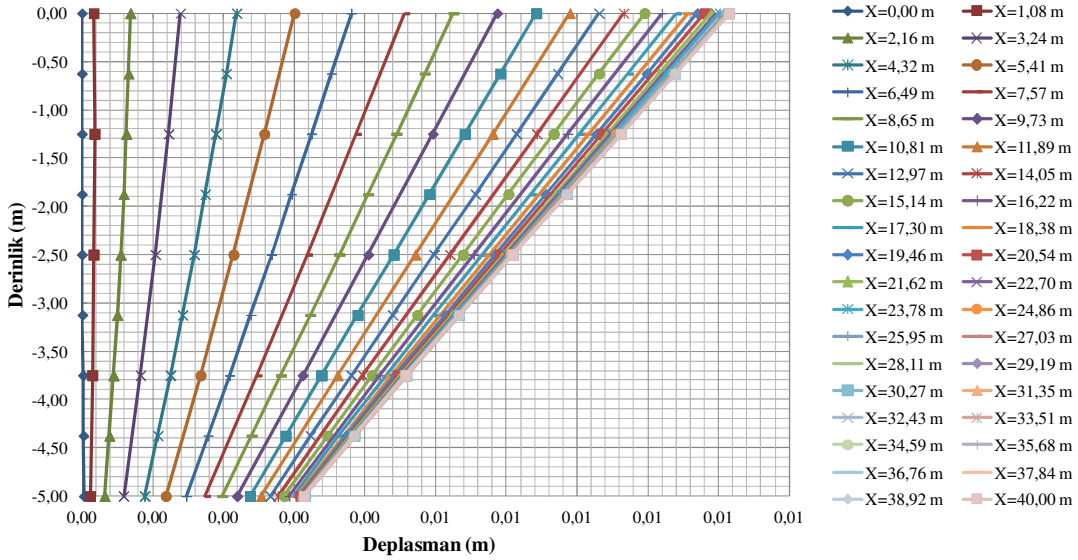
Şekil 5.17 : Orta sıkı kum H=5.0 m köşeden mesafe - deplasman ilişkisi

Gerilme - köşeden mesafe ilişkisi ise Şekil 5.18' de gösterilmektedir. Farklı derinlikler için gerilme - köşeden mesafe ilişkisi çizdirilip, değişen derinliklerde (Y= 0.0' dan Y= 5.0' e kadar) derinlik arttıkça gerilmenin arttığı net bir şekilde görülmektedir. Her derinlik için benzer davranış gözlemlenip, köşelerde gerilmelerin en büyük değerlerde oldukları görülmektedir. Ayrıca köşe etkisinin derinlik arttıkça köşeden daha uzakta hissedildiği görülmektedir. Kazı taban kotunda köşeden 25.0 m mesafeden sonra gerilmelerin yakın değerlerde ve köşede oluşan gerilmelerden daha küçük gerilme değerlerinde olduğu görülmektedir.



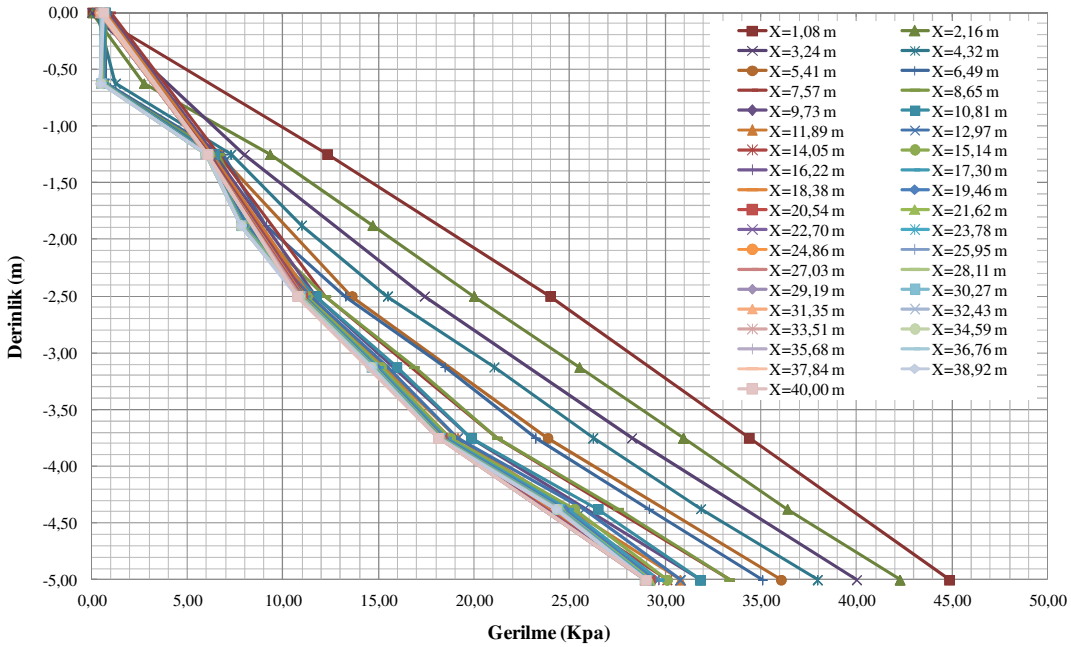
Şekil 5.18 : Orta sıkı kum H=5.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi

Ayrıca deplasman - derinlik ilişkisi Şekil 5.19' da verilmektedir. Köşeden değişen mesafeler için deplasman - derinlik ilişkisi çizdirilip, köşeye olan mesafenin artması (X= 0.0' dan X= 40.0' a kadar) ile deplasmanların arttığı net bir şekilde görülmektedir. Köşelerde deplasmanların 0.000 m değerlerinden başlayıp köşeden 25.0 m mesafeden sonra deplasman artışının azalarak yakın değerlerde olduğu ve orta kesitte maksimum deplasmana ulaştığı sonucuna varılmaktadır.



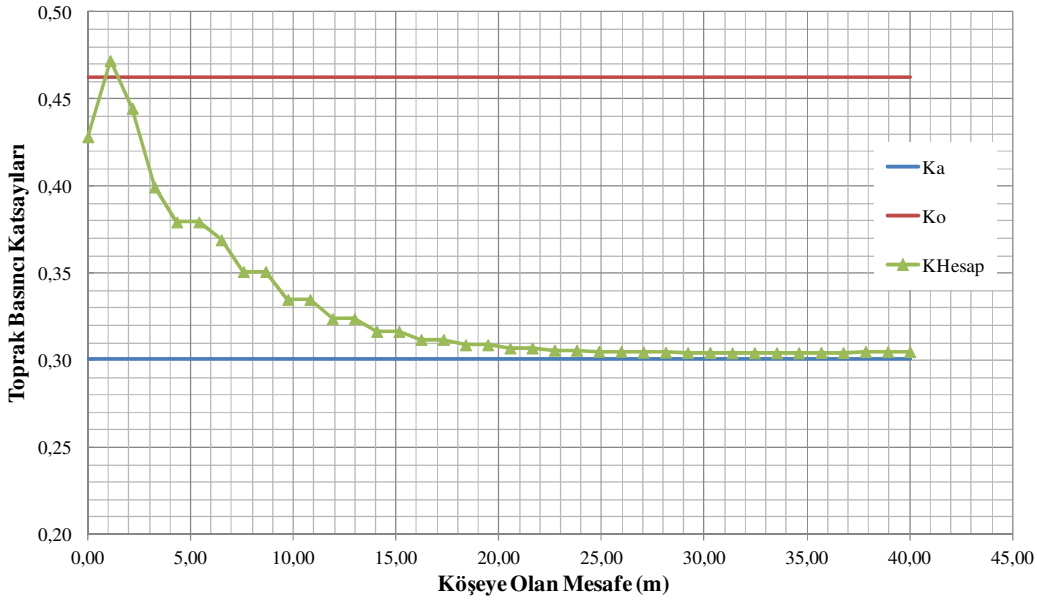
Şekil 5.19 : Orta sıkı kum H=5.0 m derinlik - deplasman ilişkisi

Bir diğer grafikte ise gerilme - derinlik ilişkisi gösterilmektedir (Şekil 5.20). Köşeden değişen mesafeler için gerilme - derinlik ilişkisi çizdirilip, köşeye olan mesafenin artması (X= 0.0' dan X= 40.0' a kadar) ile gerilmenin azaldığı net bir şekilde görülmektedir. Kazı taban kotunda köşeden yaklaşık 25.0 m sonraki mesafelerde ise köşeye olan mesafenin artmasının gerilmeyi değiştiren bir etkisi olmadığı görülmektedir.



Şekil 5.20 : Orta sıkı kum H=5.0 m derinlik - gerilme ilişkisi

Şekil 5.21' de H=5.0 m derinlikte elde edilen gerilme değerlerinin zeminin birim hacim ağırlığı ve derinliğine bölünmesi ile bulunan K_{hesap} değerlerinin K_a ve K_o ile ilişkisi verilmektedir. K_o (**2.2**) bağıntısı ile hesaplanırken, K_a değeri (**2.5**) bağıntısı ile hesaplanmaktadır. İlk metreler'de K_{hesap} değeri K_o değerinin üzerinde olup ikinci metrede K_o değerine ulaştığı görülmektedir. 25.0 metreden sonra K_{hesap} değerinin K_a durumuna ulaştığı görülür.

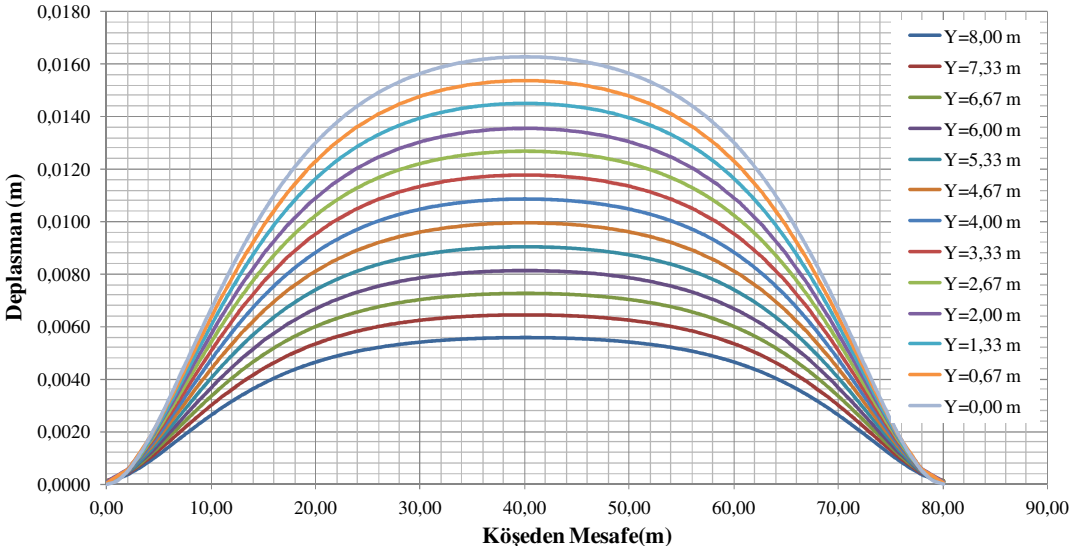


Şekil 5.21 : Orta sıkı kum H=5.0 m köşeye olan mesafe – toprak basıncı katsayıları ilişkisi

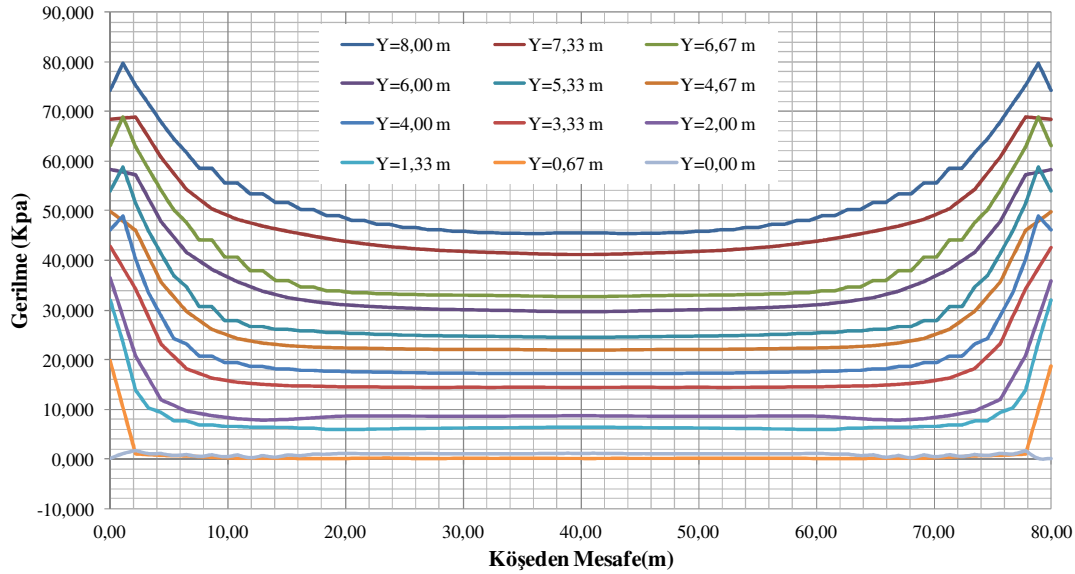
5.4.1.4 Orta sıkı kum H=8.0 m'lik kesit için yapılan analiz

Kazı derinliği 8.0 m olan orta sıkı kumlu model için deplasman - köşeden mesafe ilişkisi Şekil 5.22' de verilmektedir. Şekilde farklı derinlikler için deplasman - köşeden mesafe ilişkisi çizdirildi. Değişen derinliklerde (Y= 0.0' dan Y= 8.0' e kadar) derinlik azaldıkça deplasmanın arttığı net bir şekilde görülmektedir. Maksimum deplasmanın H=0.0 metrede oluştuğu görülmektedir. Her derinlik için benzer davranış gözlemlenip, köşelerde deplasmanların 0.000 m değerlerinden başlayıp köşeden mesafenin iki köşeyede eşit olduğu kesitte maksimum deplasmana ulaştığı sonucuna varıldı.

Gerilme - köşeden mesafe ilişkisi ise Şekil 5.23' de gösterilmektedir. Farklı derinlikler için gerilme - köşeden mesafe ilişkisi çizdirilip, değişen derinliklerde (Y= 0.0' dan Y= 8.0' e kadar) derinlik arttıkça gerilmenin arttığı net bir şekilde görülmektedir. Her derinlik için benzer davranış gözlemlenip, köşelerde gerilmelerin en büyük değerlerde oldukları görülmektedir. Ayrıca köşe etkisinin derinlik arttıkça köşeden daha uzakta hissedildiği görülmektedir. Kazı taban kotunda köşeden 25.0 m mesafeden sonra gerilmelerin yakın değerlerde ve köşede oluşan gerilmelerden daha küçük gerilme değerlerinde olduğu görülmektedir.

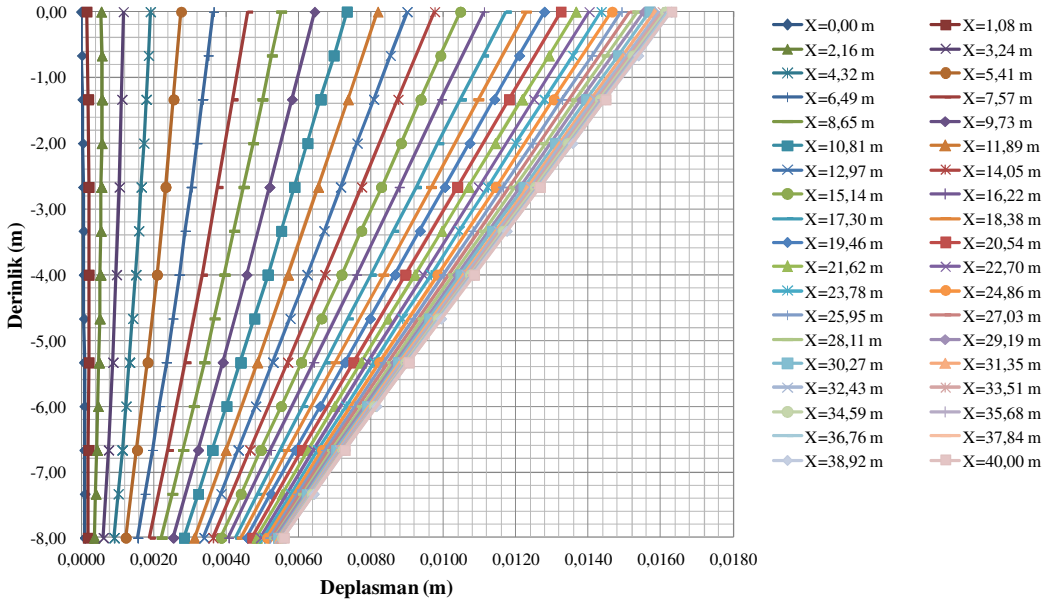


Şekil 5.22 : Orta sıkı kum H=8.0 m köşeden mesafe - deplasman ilişkisi



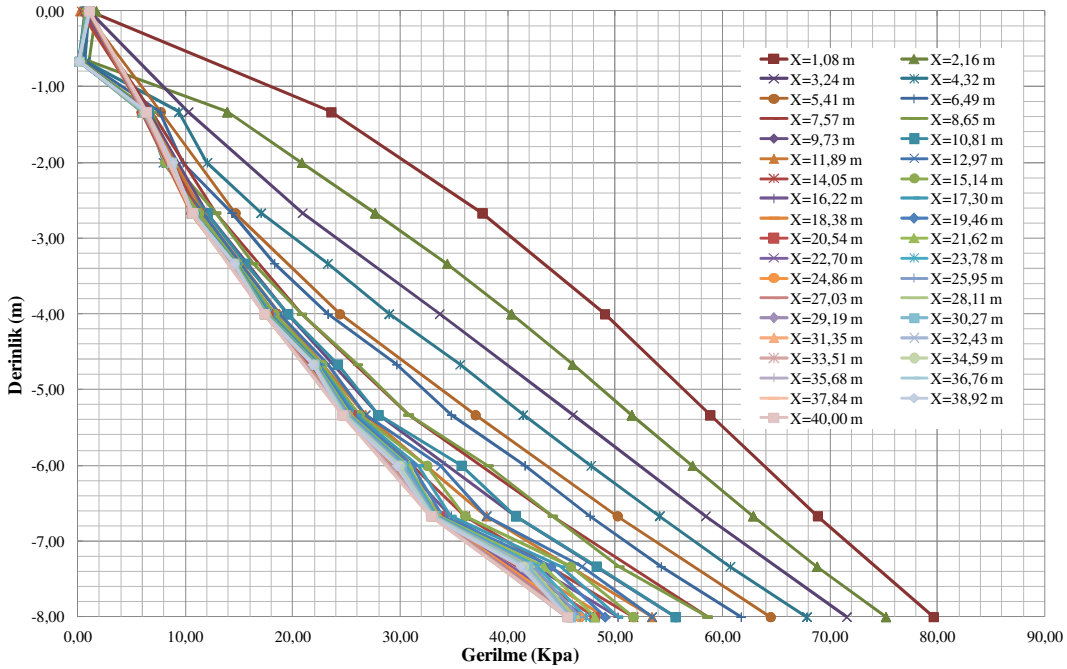
Şekil 5.23 : Orta sıkı kum H=8.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi

Ayrıca deplasman - derinlik ilişkisi Şekil 5.24' de verilmektedir. Köşeden değişen mesafeler için deplasman - derinlik ilişkisi çizdirilip, köşeye olan mesafenin artması (X= 0.0' dan X= 40.0' a kadar) ile deplasmanların arttığı net bir şekilde görülmektedir. Köşelerde deplasmanların 0.000 m değerlerinden başlayıp köşeden 30.0 m mesafeden sonra deplasman artışının azalarak yakın değerlerde olduğu ve orta kesitte maksimum deplasmana ulaştığı sonucuna varılmaktadır.



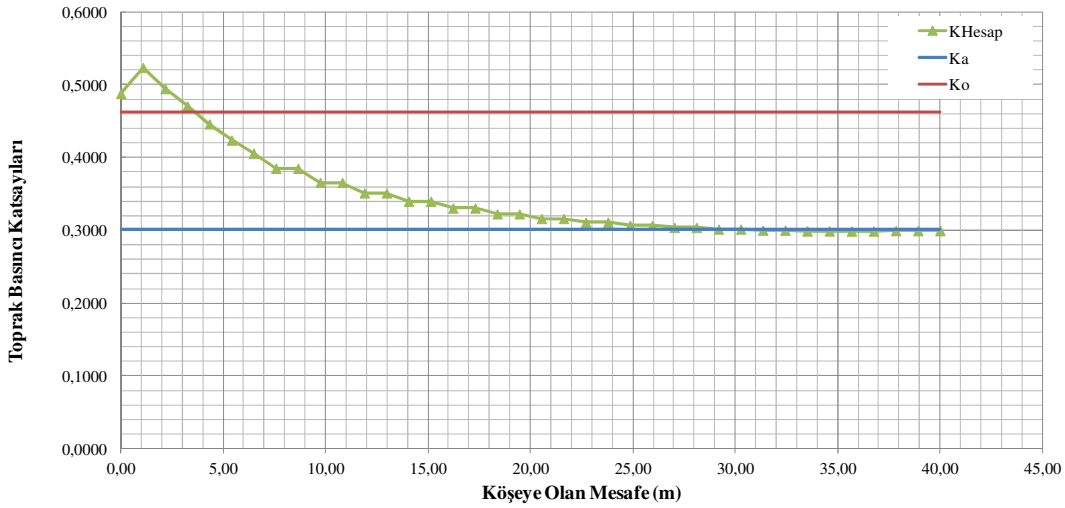
Şekil 5.24 : Orta sıkı kum H=8.0 m derinlik - deplasman ilişkisi

Bir diğer grafikte ise ise gerilme - derinlik ilişkisi gösterilmektedir (Şekil 5.25). Köşeden değişen mesafeler için gerilme - derinlik ilişkisi çizdirilip, köşeye olan mesafenin artması (X= 0.0' dan X= 40.0' a kadar) ile gerilmenin azaldığı net bir şekilde görülmektedir. Kazı taban kotunda köşeden yaklaşık 25.0 m sonraki mesafelerde ise köşeye olan mesafenin artmasının gerilmeyi değiştiren bir etkisi olmadığı görülmektedir.



Şekil 5.25 : Orta sıkı kum H=8.0 m derinlik - gerilme ilişkisi

Şekil 5.26' da H=8.0 m derinlikte elde edilen gerilme değerlerinin zeminin birim hacim ağırlığı ve derinliğine bölünmesi ile bulunan K_{hesap} değerlerinin K_a ve K_o ile ilişkisi verilmektedir. K_o (**2.2**) bağıntısı ile hesaplanırken, K_a değeri (**2.5**) bağıntısı ile hesaplanmaktadır. İlk metreler'de K_{hesap} değeri K_o değerinin üzerinde olup ikinci metrede K_o değerine ulaştığı görülmektedir. 25.0 metreden sonra K_{hesap} değerinin K_a durumuna ulaştığı görülür.



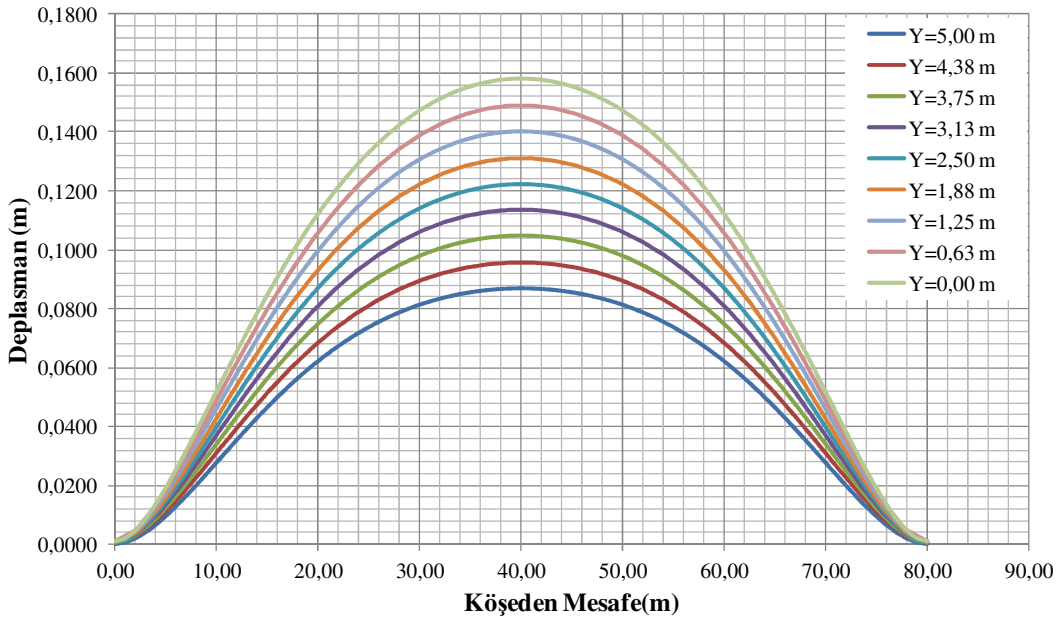
Şekil 5.26 : Orta sıkı kum H=8.0 m köşeye olan mesafe – toprak basıncı katsayıları ilişkisi

5.4.1.5 Yumuşak kil H=5.0 m'lik kesit için yapılan analiz

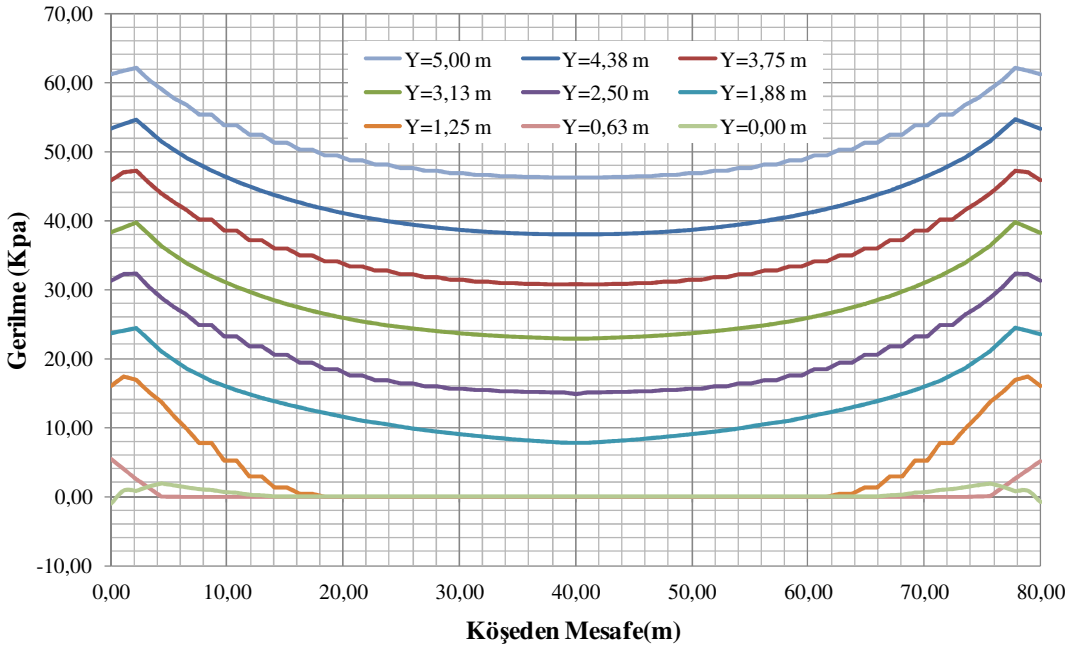
Kazı derinliği 5.0 m olan yumuşak killi model için deplasman - köşeden mesafe ilişkisi Şekil 5.27 ' de verilmektedir. Şekilde farklı derinlikler için deplasman - köşeden mesafe ilişkisi çizdirildi. Değişen derinliklerde (Y= 0.0' dan Y= 5.0' e kadar) derinlik azaldıkça deplasmanın arttığı net bir şekilde görülmektedir. Maksimum deplasmanın H=0.0 metrede oluştuğu görülmektedir. Her derinlik için benzer davranış gözlemlenip, köşelerde deplasmanların 0.000 m değerlerinden başlayıp köşeden mesafenin iki köşeyede eşit olduğu kesitte maksimum deplasmana ulaştığı sonucuna varıldı.

Gerilme - köşeden mesafe ilişkisi ise Şekil 5.28' de gösterilmektedir. Farklı derinlikler için gerilme - köşeden mesafe ilişkisi çizdirilip, değişen derinliklerde (Y= 0.0' dan Y= 5.0' e kadar) derinlik arttıkça gerilmenin arttığı net bir şekilde görülmektedir. Her derinlik için benzer davranış gözlemlenip, köşelerde gerilmelerin en büyük değerlerde oldukları görülmektedir. Ayrıca köşe etkisinin derinlik arttıkça köşeden daha uzakta hissedildiği görülmektedir. Kazı taban kotunda köşeden 30.0 m

mesafeden sonra gerilmelerin yakın değerlerde ve köşede oluşan gerilmelerden daha küçük gerilme değerlerinde olduğu görülmektedir.



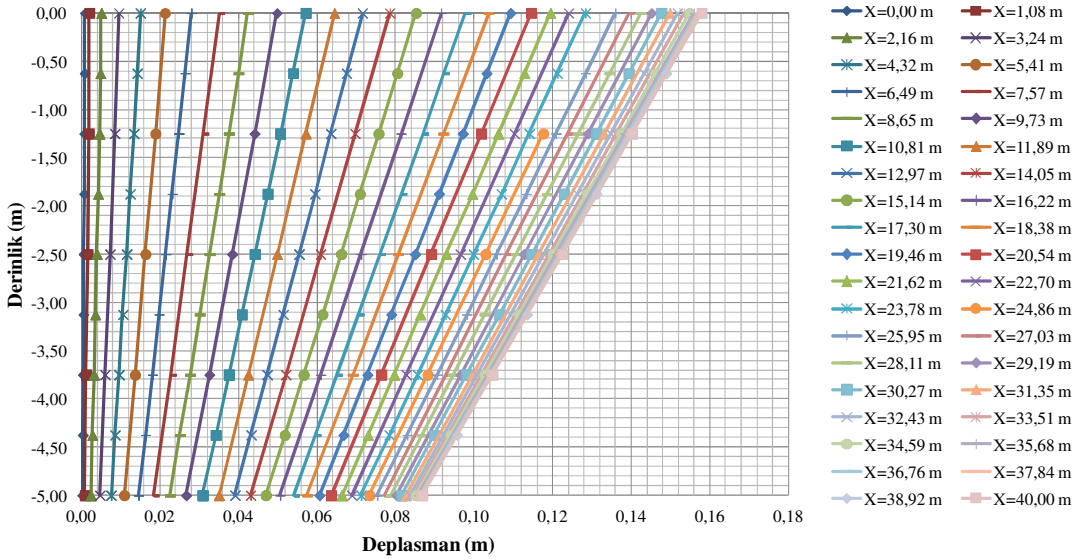
Şekil 5.27 : Yumuşak kil H=5.0 m köşeden mesafe - deplasman ilişkisi



Şekil 5.28 : Yumuşak kil H=5.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi

Ayrıca deplasman- derinlik ilişkisi Şekil 5.29' da gösterilmektedir. Köşeden değişen mesafeler için deplasman - derinlik ilişkisi çizdirilip, köşeye olan mesafenin artması

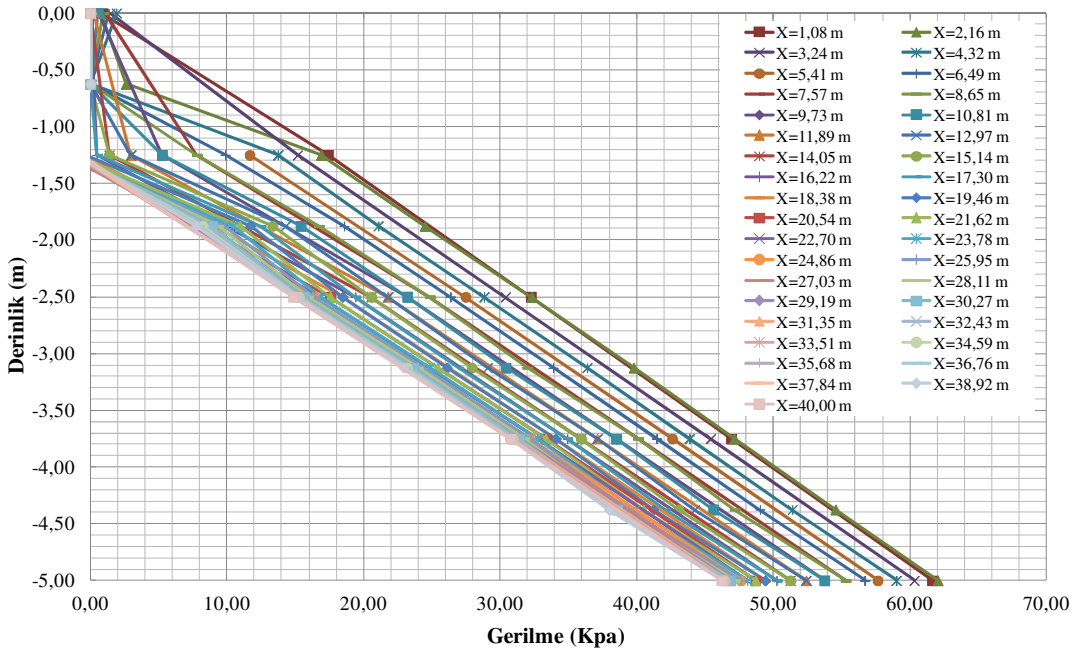
(X= 0.0’ dan X= 40.0’ a kadar) ile deplasmanların arttığı net bir şekilde görülmektedir. Köşelerde deplasmanların 0.000 m değerlerinden başlayıp köşeden 30.0 m mesafeden sonra deplasman artışının azalarak yakın değerlerde olduğu ve orta kesitte maksimum deplasmana ulaştığı sonucuna varılmaktadır.



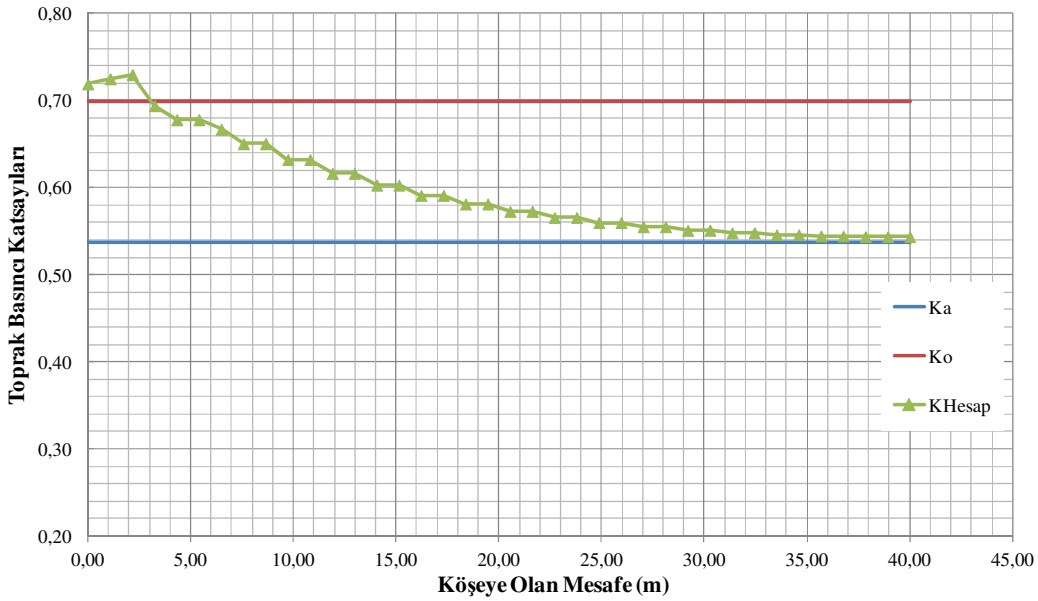
Şekil 5.29 : Yumuşak kil H=5.0 m derinlik - deplasman ilişkisi

Bir diğer grafikte ise ise gerilme - derinlik ilişkisi gösterilmektedir (Şekil 5.30). Köşeden değişen mesafeler için gerilme - derinlik ilişkisi çizdirilip, köşeye olan mesafenin artması (X= 0.0’ dan X= 40.0’ a kadar) ile gerilmenin azaldığı net bir şekilde görülmektedir. Kazı taban kotunda köşeden yaklaşık 30.0 m sonraki mesafelerde ise köşeye olan mesafenin artmasının gerilmeyi değiştiren bir etkisi olmadığı görülmektedir.

Şekil 5.31’ de H=5.0 m derinlikte elde edilen gerilme değerlerinin zeminin birim hacim ağırlığı ve derinliğine bölünmesi ile bulunan K_{hesap} değerlerinin K_a ve K_o ile ilişkisi verilmektedir. K_o (**2.2**) bağıntısı ile hesaplanırken, K_a değeri (**2.5**) bağıntısı ile hesaplanmaktadır. İlk metreler’de K_{hesap} değeri K_o değerinin üzerinde olup üçüncü metrede K_o değerine ulaştığı görülmektedir. 30.0 metreden sonra K_{hesap} değerinin K_a durumuna ulaştığı görülür.



Şekil 5.30 : Yumuşak kil H=5.0 m derinlik - gerilme ilişkisi

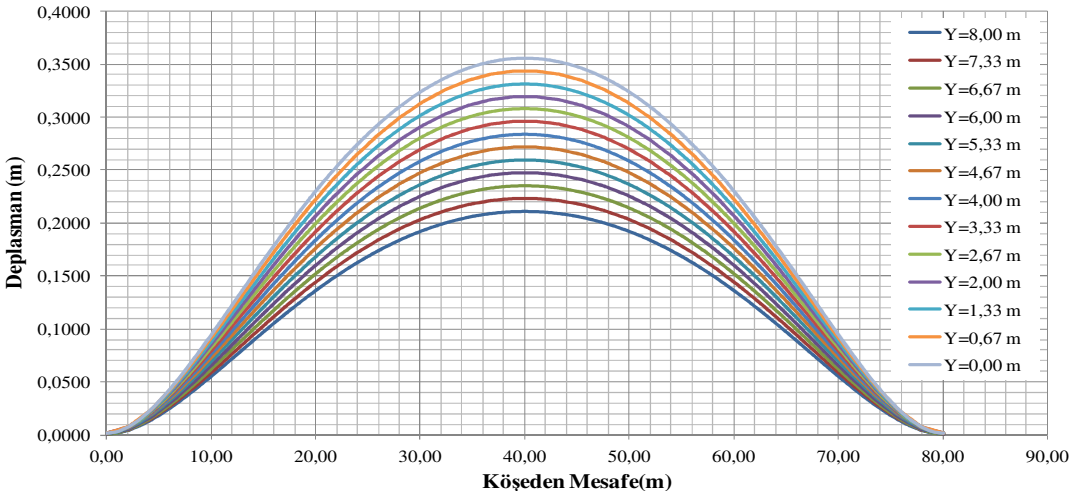


Şekil 5.31 : Yumuşak kil H=5.0 m köşeye olan mesafe – toprak basıncı katsayıları ilişkisi

5.4.1.6 Yumuşak kil H=8.0 m'lik kesit için yapılan analiz

Kazı derinliği 8.0 m olan yumuşak killi zemin modeli için deplasman- köşeden mesafe ilişkisi Şekil 5.32 ' de verilmektedir. Şekilde farklı derinlikler için deplasman - köşeden mesafe ilişkisi çizdirildi. Değişen derinliklerde (Y= 0.0' dan Y= 8.0' e kadar) derinlik azaldıkça deplasmanın arttığı net bir şekilde görülmektedir. Maksimum deplasmanın H=0.0 metrede oluştuğu görülmektedir. Her derinlik için

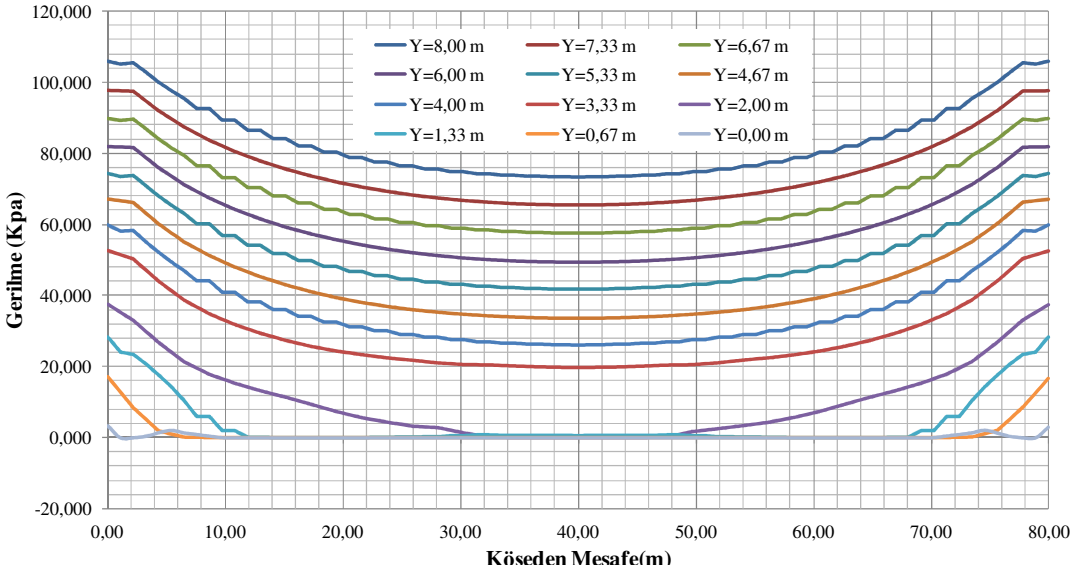
benzer davranış gözlemlenip, köşelerde deplasmanların 0.000 m değerlerinden başlayıp köşeden mesafenin iki köşeyede eşit olduğu kesitte maksimum deplasmana ulaştığı sonucuna varıldı.



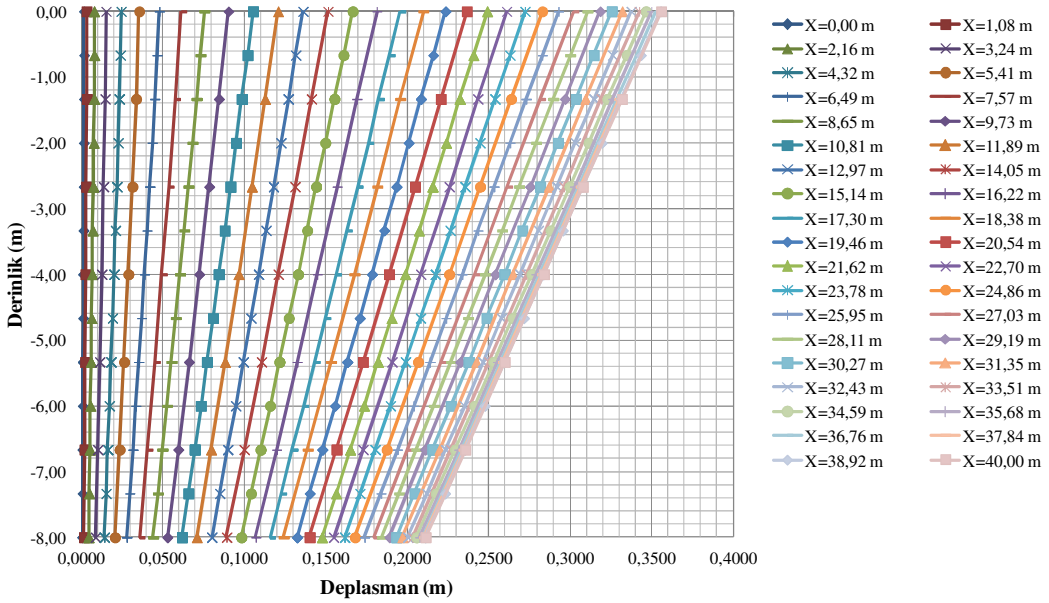
Şekil 5.32 : Yumuşak kil H=8.0 m köşeden mesafe - deplasman ilişkisi

Gerilme - köşeden mesafe ilişkisi ise Şekil 5.33' de gösterilmektedir. Farklı derinlikler için gerilme - köşeden mesafe ilişkisi çizdirilip, değişen derinliklerde (Y= 0.0' dan Y= 8.0' e kadar) derinlik arttıkça gerilmenin arttığı net bir şekilde görülmektedir. Her derinlik için benzer davranış gözlemlenip, köşelerde gerilmelerin en büyük değerlerde oldukları görülmektedir. Ayrıca köşe etkisinin derinlik arttıkça köşeden daha uzakta hissedildiği görülmektedir. Kazı taban kotunda köşeden 30.0 m mesafeden sonra gerilmelerin yakın değerlerde ve köşede oluşan gerilmelerden daha küçük gerilme değerlerinde olduğu görülmektedir.

Ayrıca deplasman - derinlik ilişkisi Şekil 5.34' de verilmektedir. Köşeden değişen mesafeler için deplasman - derinlik ilişkisi çizdirilip, köşeye olan mesafenin artması (X= 0.0' dan X= 40.0' a kadar) ile deplasmanların arttığı net bir şekilde görülmektedir. Köşelerde deplasmanların 0.000 m değerlerinden başlayıp köşeden 30.0 m mesafeden sonra deplasman artışının azalarak yakın değerlerde olduğu ve orta kesitte maksimum deplasmana ulaştığı sonucuna varılmaktadır.

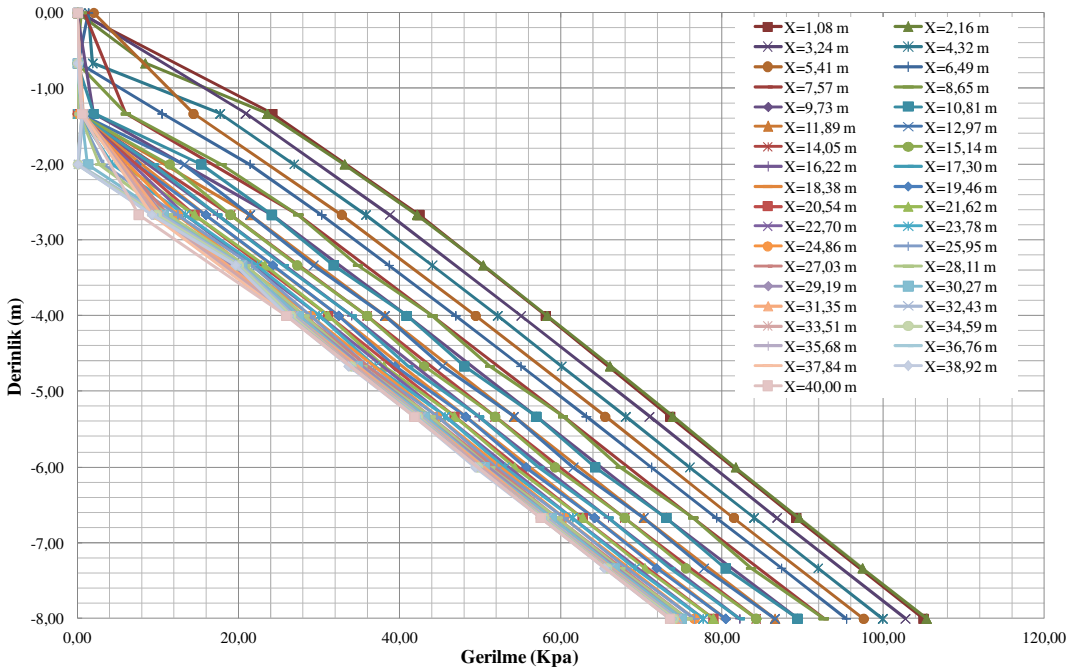


Şekil 5.33 : Yumuşak kil H=8.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi



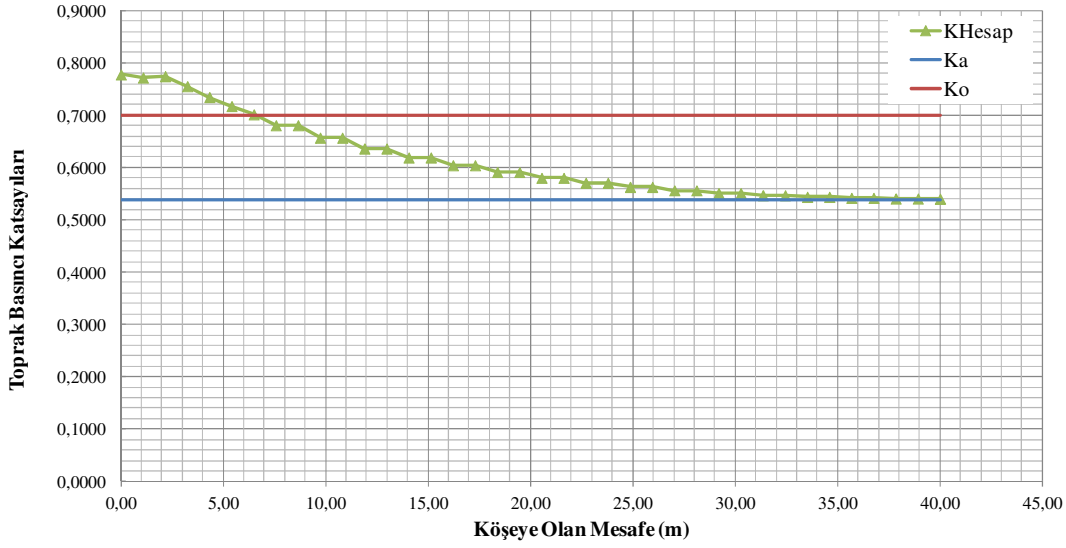
Şekil 5.34 : Yumuşak kil H=8.0 m derinlik - deplasman ilişkisi

Bir diğer grafikte ise ise gerilme - derinlik ilişkisi gösterilmektedir (Şekil 5.35). Köşeden değişen mesafeler için gerilme - derinlik ilişkisi çizdirilip, köşeye olan mesafenin artması (X= 0.0’ dan X= 40.0’ a kadar) ile gerilmenin azaldığı net bir şekilde görülmektedir. Kazı taban kotunda köşeden yaklaşık 30.0 m sonraki mesafelerde ise köşeye olan mesafenin artmasının gerilmeyi değiştiren bir etkisi olmadığı görülmektedir.



Şekil 5.35 : Yumuşak kil H=8.0 m derinlik - gerilme ilişkisi

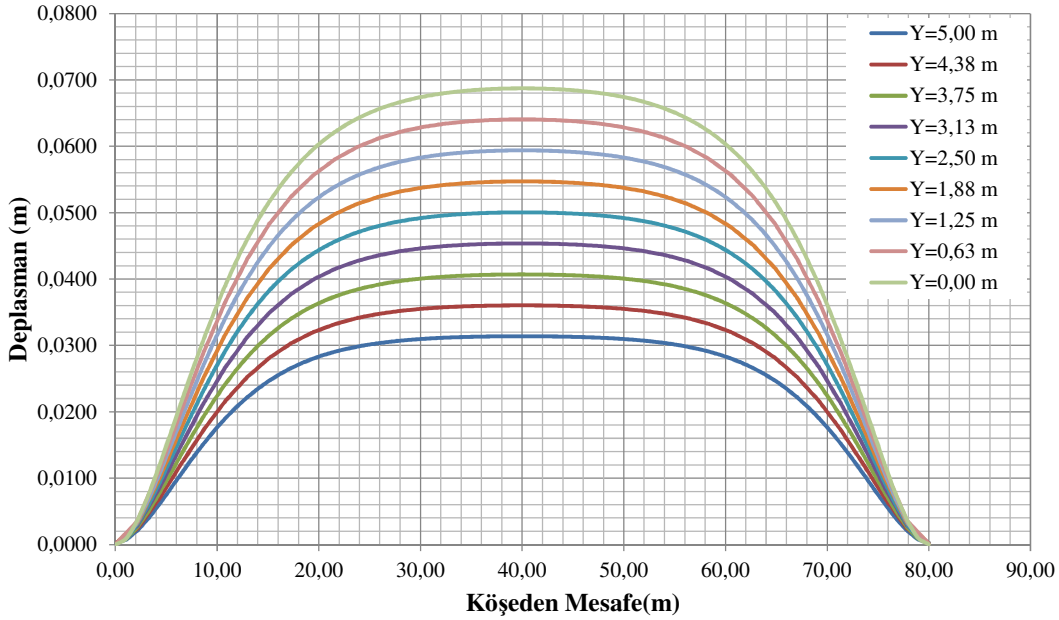
Şekil 5.36' da H=8.0 m derinlikte elde edilen gerilme değerlerinin zeminin birim hacim ağırlığı ve derinliğine bölünmesi ile bulunan K_{hesap} değerlerinin K_a ve K_o ile ilişkisi verilmektedir. K_o (**2.2**) bağıntısı ile hesaplanırken, K_a değeri (**2.5**) bağıntısı ile hesaplanmaktadır. İlk metreler'de K_{hesap} değeri K_o değerinin üzerinde olup beşinci metrede K_o değerine ulaştığı görülmektedir. 30.0 metreden sonra K_{hesap} değerinin K_a durumuna ulaştığı görülür.



Şekil 5.36 : Yumuşak kil H=8.0 m köşeye olan mesafe – toprak basıncı katsayıları ilişkisi

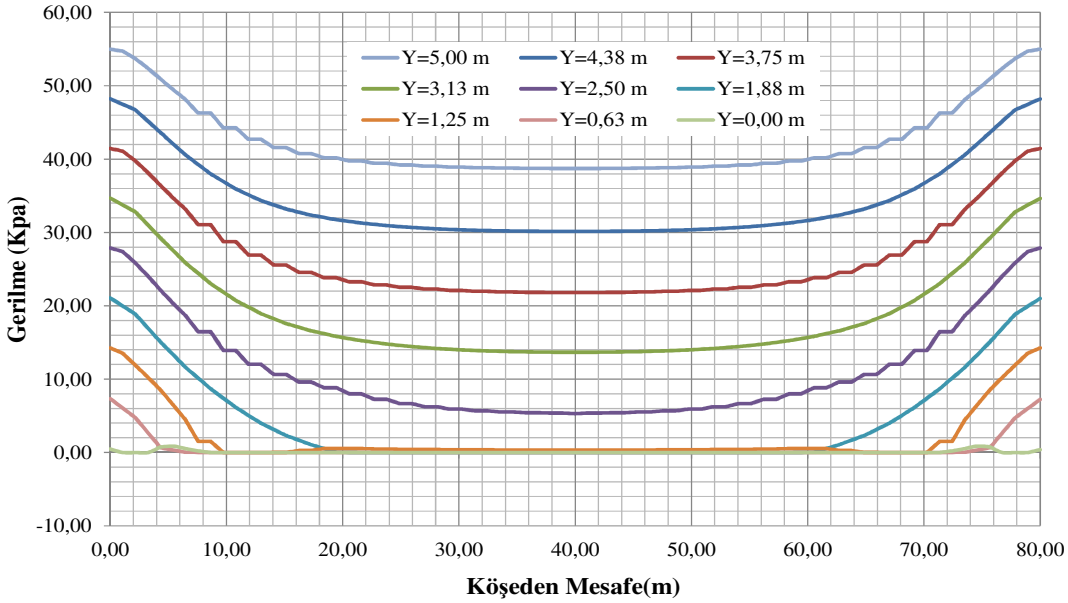
5.4.1.7 Yarı katı kil H=5.0 m'lik kesit için yapılan analiz

Kazı derinliği 5.0 m olan model için deplasman- köşeden mesafe ilişkisi Şekil 5.37 ' de verilmektedir. Şekilde farklı derinlikler için deplasman - köşeden mesafe ilişkisi çizdirildi. Değişen derinliklerde (Y= 0.0' dan Y= 5.0' e kadar) derinlik azaldıkça deplasmanın arttığı net bir şekilde görülmektedir. Maksimum deplasmanın H=0.0 metrede oluştuğu görülmektedir. Her derinlik için benzer davranış gözlemlenip, köşelerde deplasmanların 0.000 m değerlerinden başlayıp köşeden mesafenin iki köşeyede eşit olduğu kesitte maksimum deplasmana ulaştığı sonucuna varıldı.



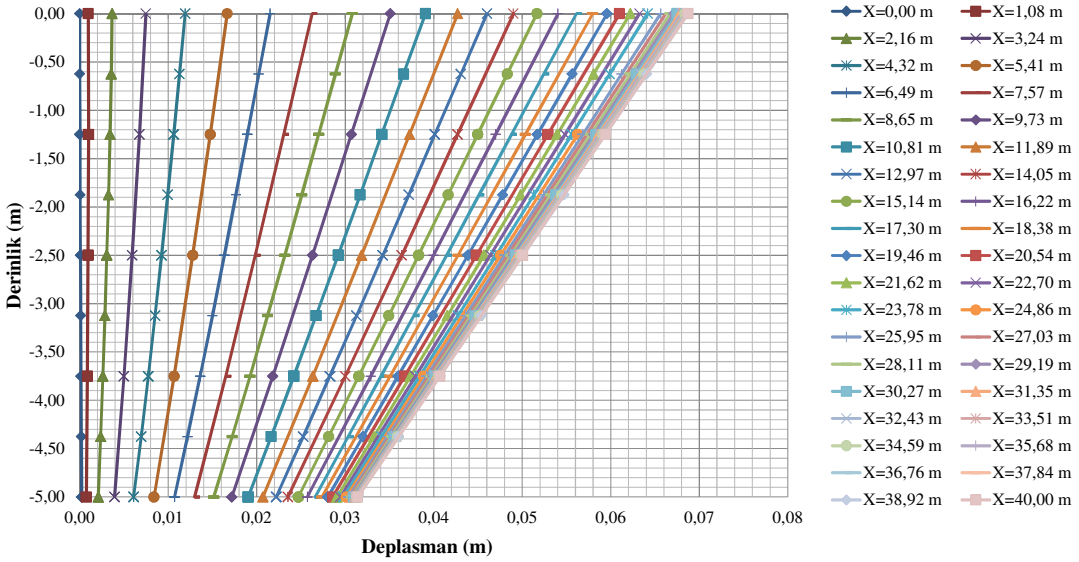
Şekil 5.37 : Yarı katı kil H=5.0 m Köşeden mesafe - deplasman ilişkisi

Gerilme - köşeden mesafe ilişkisi ise Şekil 5.38' de gösterilmektedir. Farklı derinlikler için gerilme - köşeden mesafe ilişkisi çizdirilip, değişen derinliklerde (Y= 0.0' dan Y= 5.0' e kadar) derinlik arttıkça gerilmenin arttığı net bir şekilde görülmektedir. Her derinlik için benzer davranış gözlemlenip, köşelerde gerilmelerin en büyük değerlerde oldukları görülmektedir. Ayrıca köşe etkisinin derinlik arttıkça köşeden daha uzakta hissedildiği görülmektedir. Kazı taban kotunda köşeden 25.0 m mesafeden sonra gerilmelerin yakın değerlerde ve köşede oluşan gerilmelerden daha küçük gerilme değerlerinde olduğu görülmektedir.



Şekil 5.38 : Yarı katı kil H=5.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi

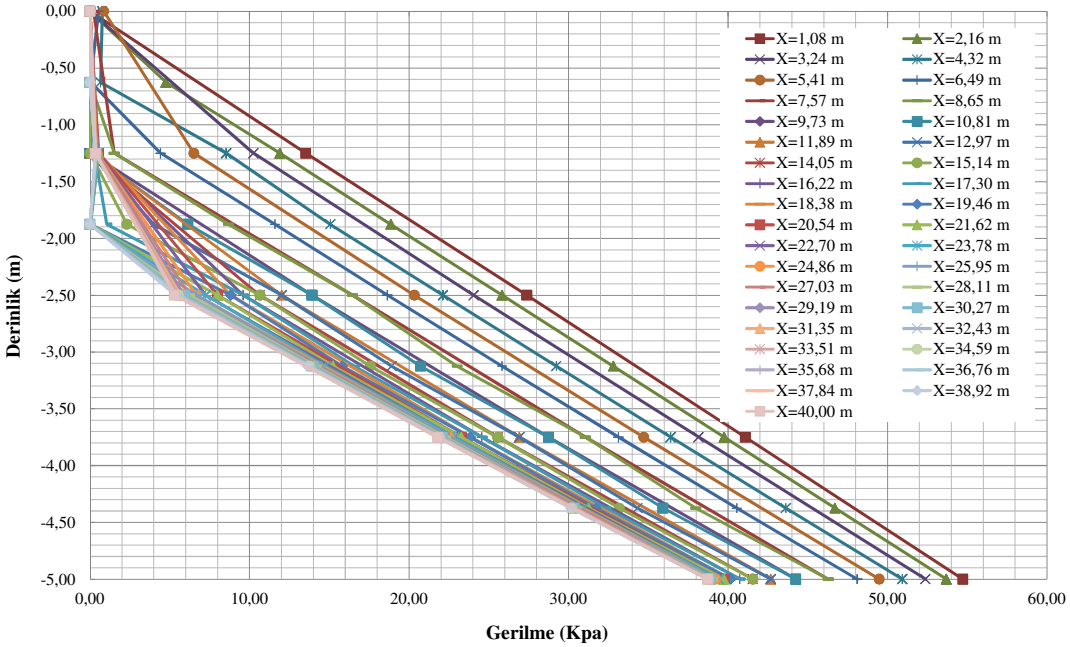
Ayrıca deplasman- derinlik ilişkisi Şekil 5.39' da verilmektedir. Köşeden değişen mesafeler için deplasman - derinlik ilişkisi çizdirilip, köşeye olan mesafenin artması (X= 0.0' dan X= 40.0' a kadar) ile deplasmanların arttığı net bir şekilde görülmektedir. Köşelerde deplasmanların 0.000 m değerlerinden başlayıp köşeden 30.0 m mesafeden sonra deplasman artışının azalarak yakın değerlerde olduğu ve orta kesitte maksimum deplasmana ulaştığı sonucuna varılmaktadır.



Şekil 5.39 : Yarı katı kil H=5.0 m derinlik - deplasman ilişkisi

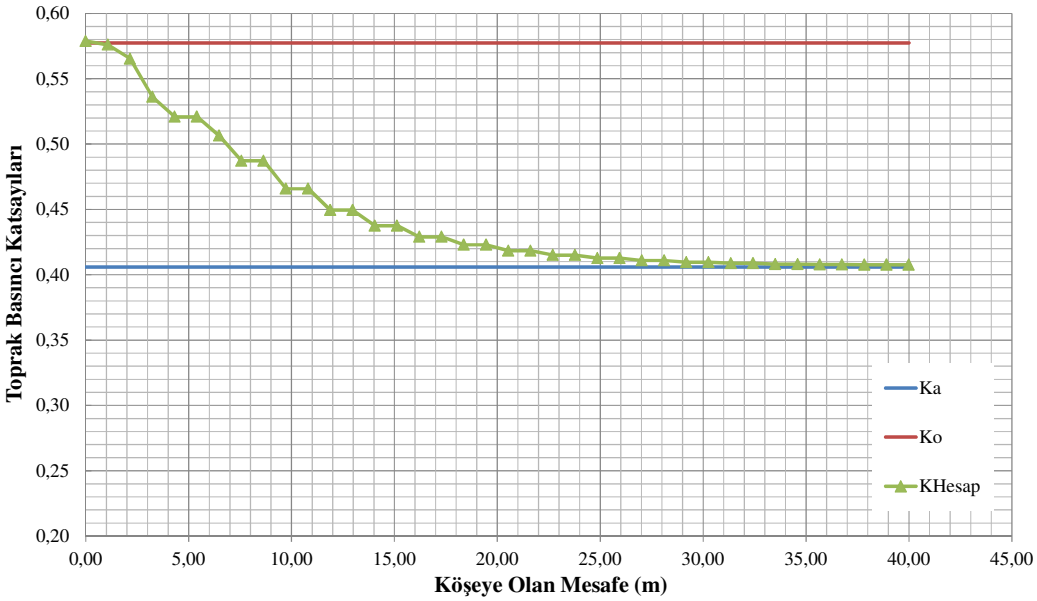
Bir diğer grafikte ise ise gerilme - derinlik ilişkisi gösterilmektedir (Şekil 5.40). Köşeden değişen mesafeler için gerilme - derinlik ilişkisi çizdirilip, köşeye olan

mesafenin artması (X= 0.0’ dan X= 40.0’ a kadar) ile gerilmenin azaldığı net bir şekilde görülmektedir. Kazı taban kotunda köşeden yaklaşık 25.0 m sonraki mesafelerde ise köşeye olan mesafenin artmasının gerilmeyi değiştiren bir etkisi olmadığı görülmektedir.



Şekil 5.40 : Yarı katı kil H=5.0 m derinlik - gerilme ilişkisi

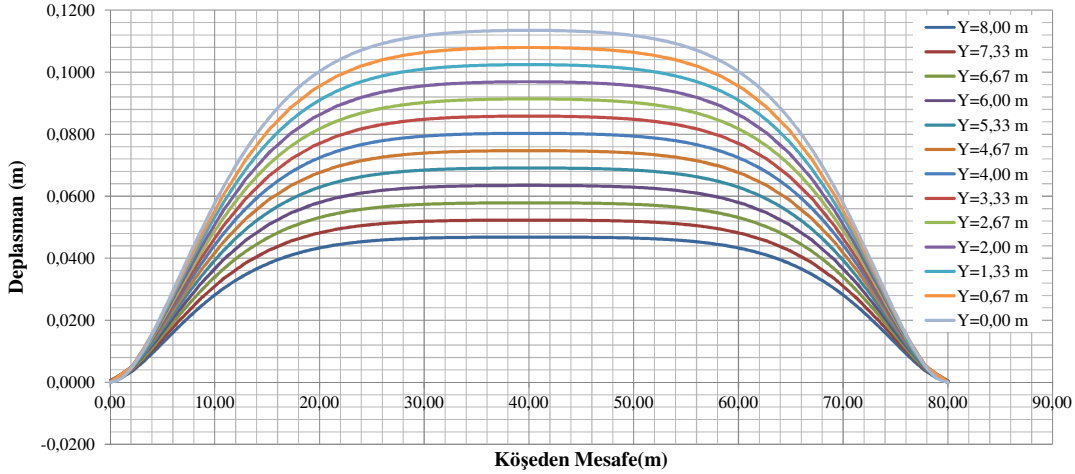
Şekil 5.41’ de H=5.0 m derinlikte elde edilen gerilme değerlerinin zeminin birim hacim ağırlığı ve derinliğine bölünmesi ile bulunan K_{hesap} değerlerinin K_a ve K_o ile ilişkisi verilmektedir. K_o (**2.2**) bağıntısı ile hesaplanırken, K_a değeri (**2.5**) bağıntısı ile hesaplanmaktadır. İlk metreler’de K_{hesap} değerinin K_o değeri ve K_a değeri arasında olduğu görülmektedir, 25.0 metreden sonra K_{hesap} değerinin K_a durumuna ulaştığı görülür.



Şekil 5.41 : Yarı katı kil H=5.0 m köşeye olan mesafe – toprak basıncı katsayıları ilişkisi

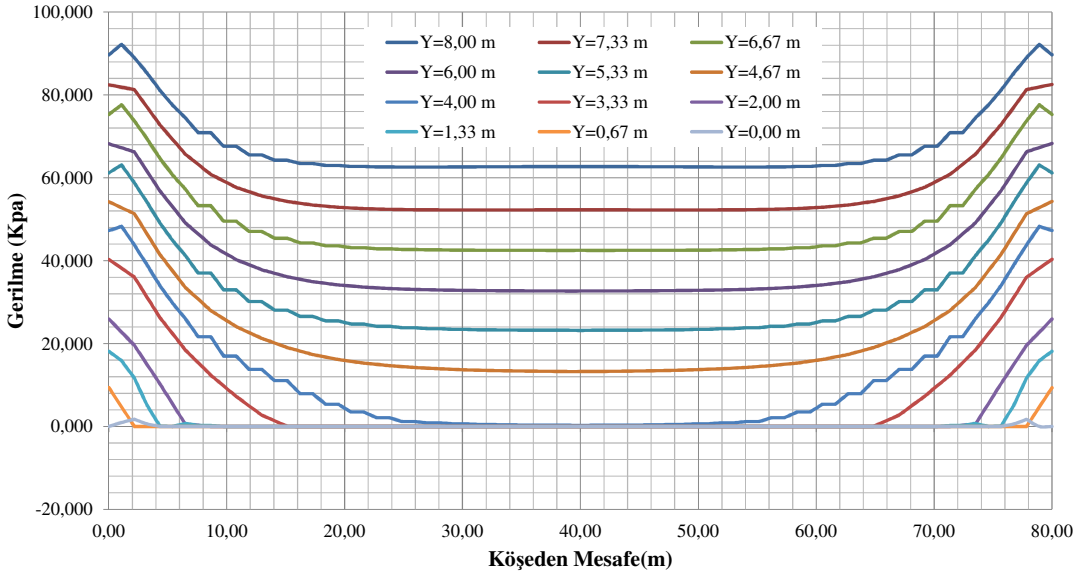
5.4.1.8 Yarı katı kil H=8.0 m'lik kesit için yapılan analiz

Kazı derinliği 8.0 m olan model için deplasman- köşeden mesafe ilişkisi Şekil 5.42 ' de verilmektedir. Şekilde farklı derinlikler için deplasman - köşeden mesafe ilişkisi çizdirildi. Değişen derinliklerde (Y= 0.0' dan Y= 8.0' e kadar) derinlik azaldıkça deplasmanın arttığı net bir şekilde görülmektedir. Maksimum deplasmanın H=0.0 metrede oluştuğu görülmektedir. Her derinlik için benzer davranış gözlemlenip, köşelerde deplasmanların 0.000 m değerlerinden başlayıp köşeden mesafenin iki köşeyede eşit olduğu kesitte maksimum deplasmana ulaştığı sonucuna varıldı.



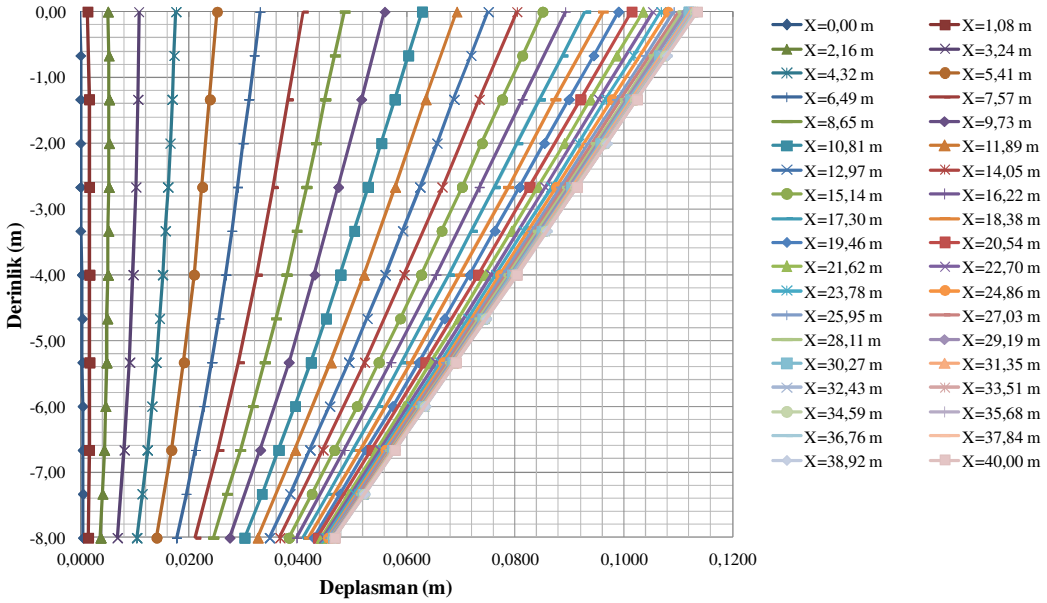
Şekil 5.42 : Yarı katı kil H=8.0 m köşeden mesafe - deplasman ilişkisi

Gerilme - köşeden mesafe ilişkisi ise Şekil 5.43' de gösterilmektedir. Farklı derinlikler için gerilme - köşeden mesafe ilişkisi çizdirilip, değişen derinliklerde (Y= 0.0' dan Y= 8.0' e kadar) derinlik arttıkça gerilmenin arttığı net bir şekilde görülmektedir. Her derinlik için benzer davranış gözlemlenip, köşelerde gerilmelerin en büyük değerlerde oldukları görülmektedir. Ayrıca köşe etkisinin derinlik arttıkça köşeden daha uzakta hissedildiği görülmektedir. Kazı taban kotunda köşeden 20.0 m mesafeden sonra gerilmelerin yakın değerlerde ve köşede oluşan gerilmelerden daha küçük gerilme değerlerinde olduğu görülmektedir.



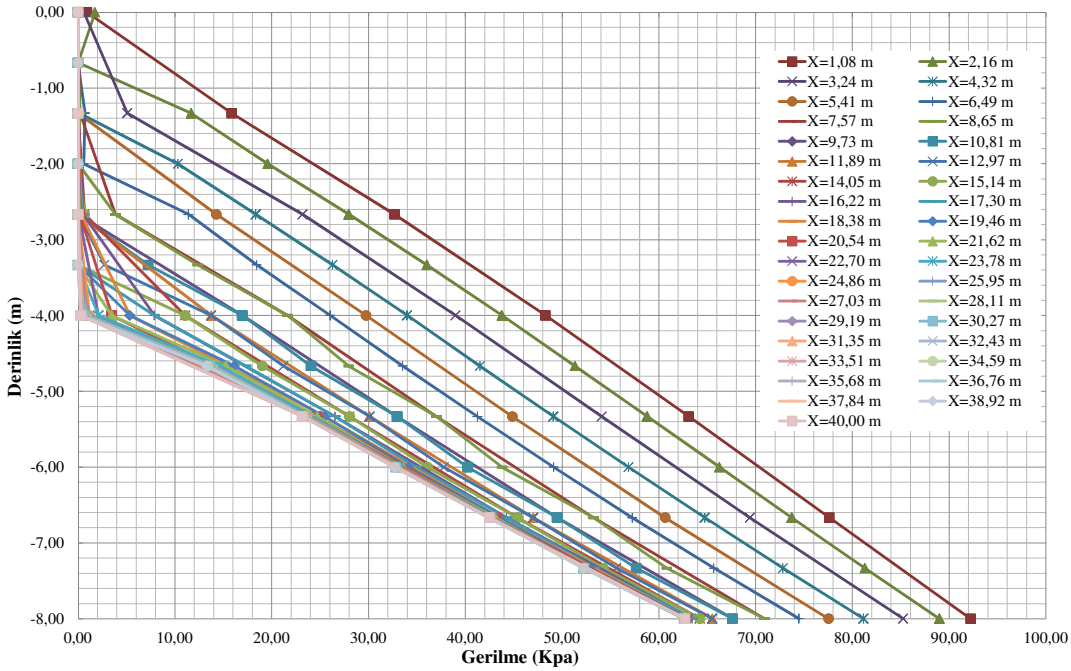
Şekil 5.43 : Yarı katı kil H=8.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi

Ayrıca deplasman- derinlik ilişkisi Şekil 5.44' de verilmektedir. Köşeden değişen mesafeler için deplasman - derinlik ilişkisi çizdirilip, köşeye olan mesafenin artması (X= 0.0' dan X= 40.0' a kadar) ile deplasmanların arttığı net bir şekilde görülmektedir. Köşelerde deplasmanların 0.000 m değerlerinden başlayıp köşeden 25.0 m mesafeden sonra deplasman artışının azalarak yakın değerlerde olduğu ve orta kesitte maksimum deplasmana ulaştığı sonucuna varılmaktadır.



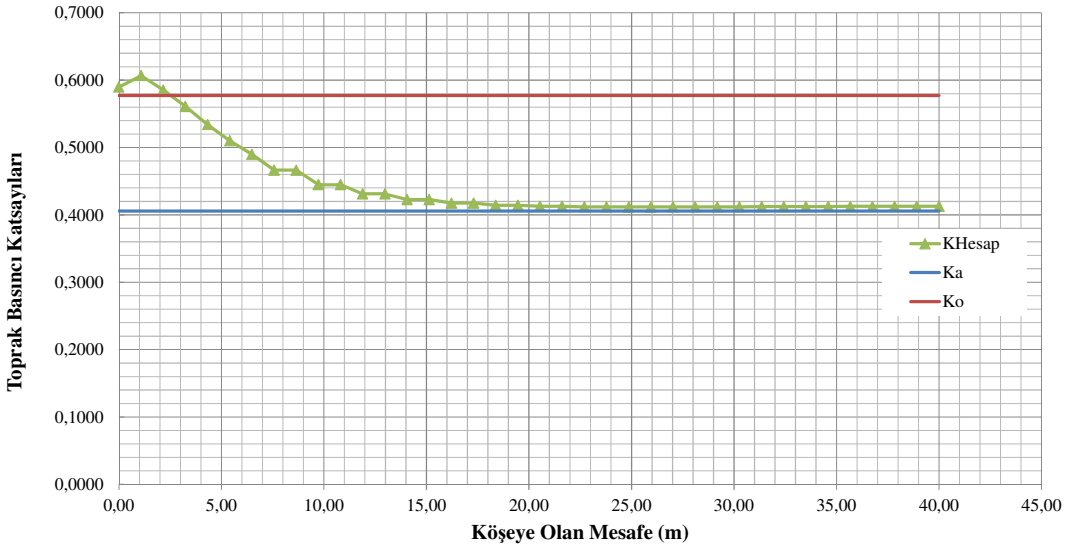
Şekil 5.44 : Yarı katı kil H=8.0 m derinlik - deplasman ilişkisi

Bir diğer grafikte ise ise gerilme - derinlik ilişkisi gösterilmektedir (Şekil 5.45). Köşeden değişen mesafeler için gerilme - derinlik ilişkisi çizdirilip, köşeye olan mesafenin artması (X= 0.0' dan X= 40.0' a kadar) ile gerilmenin azaldığı net bir şekilde görülmektedir. Kazı taban kotunda köşeden yaklaşık 20.0 m sonraki mesafelerde ise köşeye olan mesafenin artmasının gerilmeyi değiştiren bir etkisi olmadığı görülmektedir.



Şekil 5.45 : Yarı katı kil H=8.0 m derinlik - gerilme ilişkisi

Şekil 5.46' de H=8.0 m derinlikte elde edilen gerilme değerlerinin zeminin birim hacim ağırlığı ve derinliğine bölünmesi ile bulunan K_{hesap} değerlerinin K_a ve K_o ile ilişkisi verilmektedir. K_o (**2.2**) bağıntısı ile hesaplanırken, K_a değeri (**2.5**) bağıntısı ile hesaplanmaktadır. İlk metreler'de K_{hesap} değeri K_o değerinin üzerinde olup ikinci metrede K_o değerine ulaştığı görülmektedir. 20.0 metreden sonra K_{hesap} değerinin K_a durumuna ulaştığı görülür.



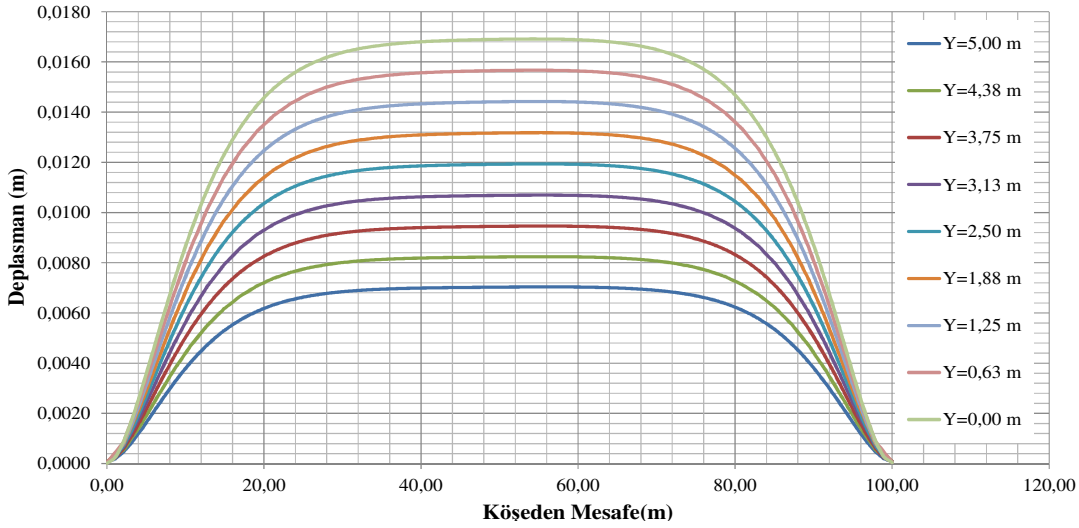
Şekil 5.46 : Yarı katı kil H=8.0 m köşeye olan mesafe – toprak basıncı katsayıları ilişkisi

5.4.2 100.0 x 100.0 m kazı çukurunda gevşek kum H=5.0 m için yapılan analiz

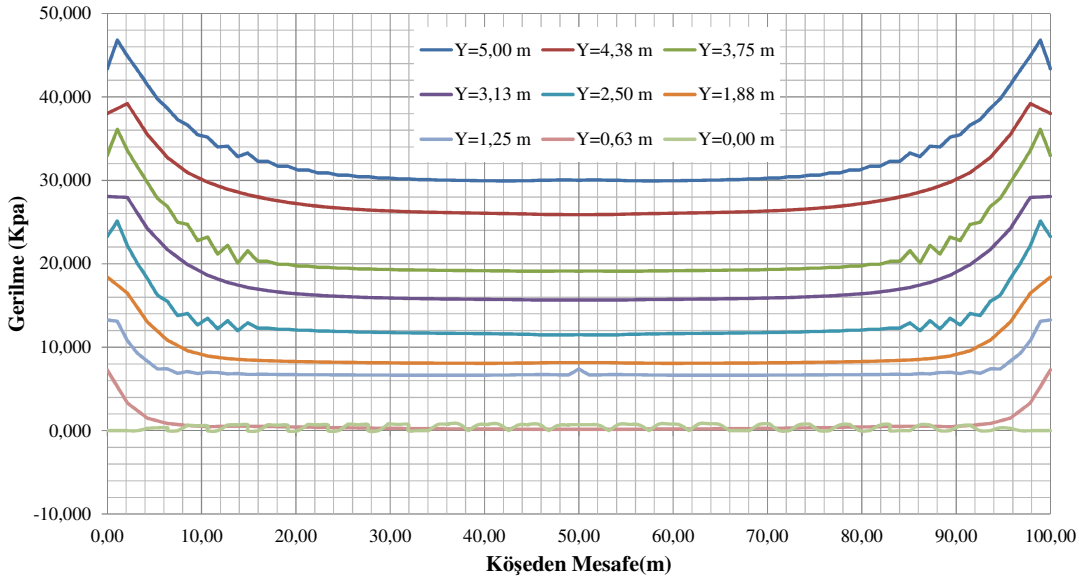
Kazı derinliği 5.0 m olan gevşek kumlu model için deplasman - köşeden mesafe ilişkisi Şekil 5.47' de verilmektedir. Şekilde farklı derinlikler için deplasman - köşeden mesafe ilişkisi çizdirildi. Değişen derinliklerde (Y= 0.0' dan Y= 5.0' e kadar) derinlik azaldıkça deplasmanın arttığı net bir şekilde görülmektedir. Maksimum deplasmanın H=0.0 metrede oluştuğu görülmektedir. Her derinlik için benzer davranış gözlemlenip, köşelerde deplasmanların 0.000 m değerlerinden başlayıp köşeden mesafenin iki köşeyede eşit olduğu orta kesitte maksimum deplasmana ulaştığı sonucuna varıldı.

Gerilme - köşeden mesafe ilişkisi ise Şekil 5.48' de gösterilmektedir. Farklı derinlikler için gerilme - köşeden mesafe ilişkisi çizdirilip, değişen derinliklerde (Y= 0.0' dan Y= 5.0' e kadar) derinlik arttıkça gerilmenin arttığı net bir şekilde görülmektedir. Her derinlik için benzer davranış gözlemlenip, köşelerde gerilmelerin en büyük değerlerde oldukları görülmektedir. Ayrıca köşe etkisinin derinlik arttıkça

köşeden daha uzakta hissedildiği görülmektedir. Kazı taban kotunda köşeden 30.0 m mesafeden sonra gerilmelerin yakın değerlerde ve köşede oluşan gerilmelerden daha küçük gerilme değerlerinde olduğu görülmektedir.



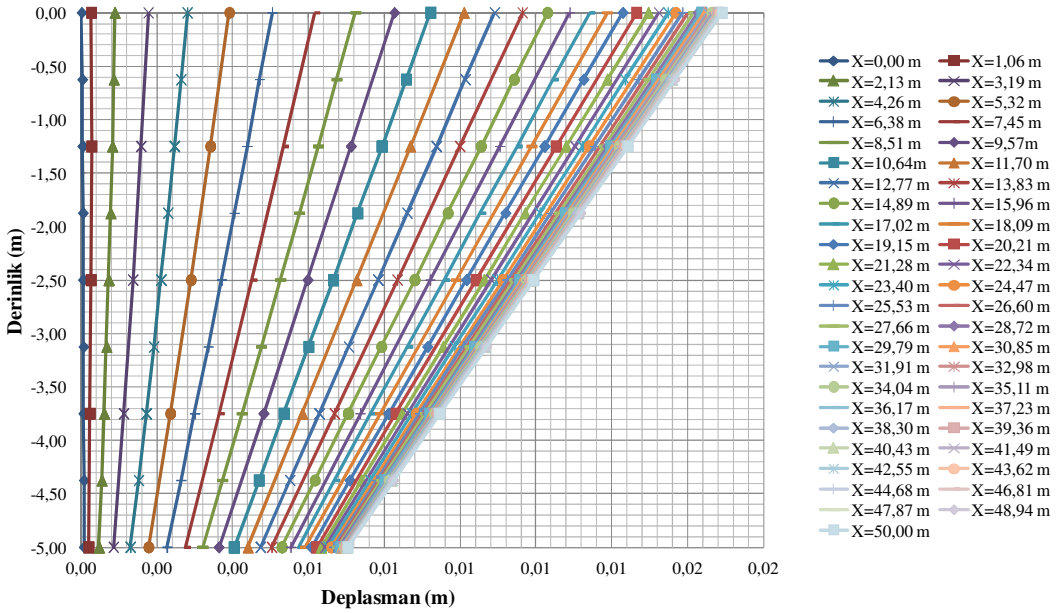
Şekil 5.47 : 100.0 x 100.0 m kazı çukurunda gevşek kum H=5.0 m köşeden mesafe - deplasman ilişkisi



Şekil 5.48 : 100.0 x 100.0 m kazı çukurunda gevşek kum H=5.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi

Ayrıca deplasman - derinlik ilişkisi Şekil 5.49' da verilmektedir. Köşeden değişen mesafeler için deplasman - derinlik ilişkisi çizdirilip, köşeye olan mesafenin artması (X= 0.0' dan X= 40.0' a kadar) ile deplasmanların arttığı net bir şekilde görülmektedir. Köşelerde deplasmanların 0.000 m değerlerinden başlayıp köşeden

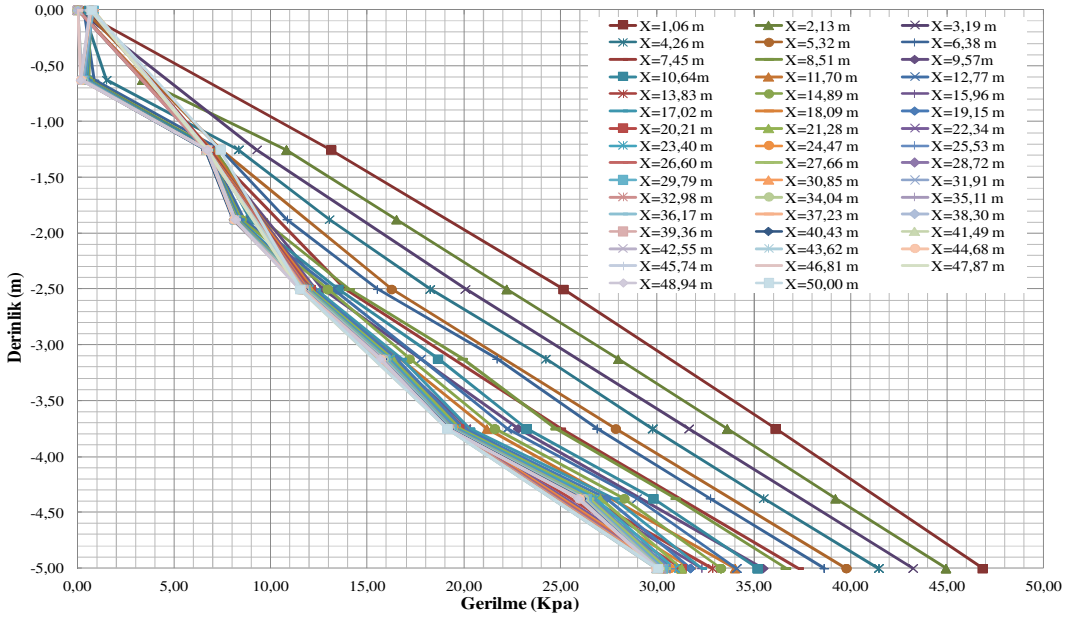
25.0 m mesafeden sonra deplasman artışının azalarak yakın değerlerde olduğu ve orta kesitte maksimum deplasmana ulaştığı sonucuna varılmaktadır.



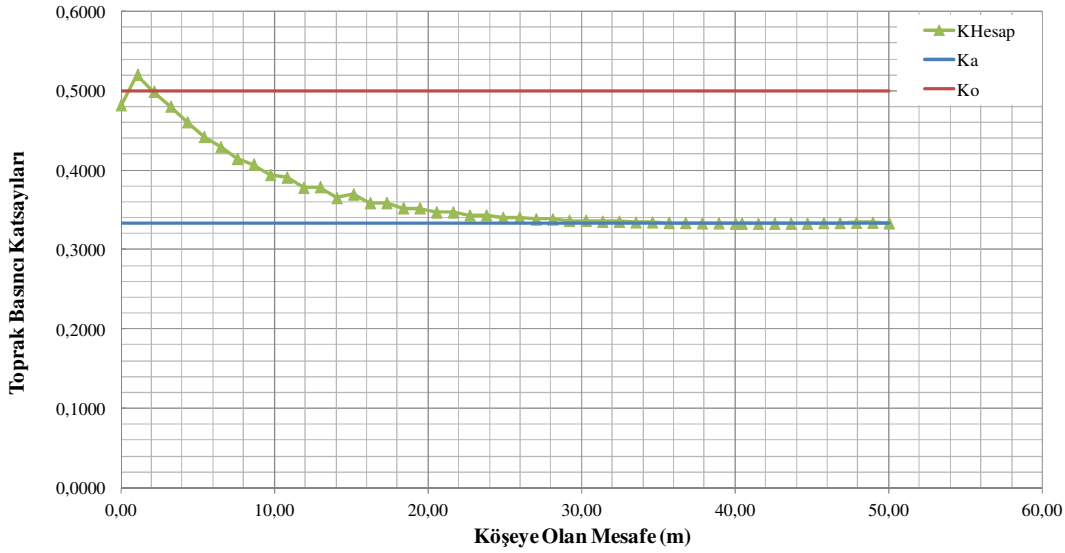
Şekil 5.49 : 100.0 x 100.0 m kazı çukurunda gevşek kum H=5.0 m derinlik - deplasman ilişkisi

Bir diğer grafikte ise gerilme - derinlik ilişkisi gösterilmektedir (Şekil 5.50). Köşeden değişen mesafeler için gerilme - derinlik ilişkisi çizdirilip, köşeye olan mesafenin artması (X= 0.0' dan X= 40.0' a kadar) ile gerilmenin azaldığı net bir şekilde görülmektedir. Kazı taban kotunda köşeden yaklaşık 30.0 m sonraki mesafelerde ise köşeye olan mesafenin artmasının gerilmeyi değiştiren bir etkisi olmadığı görülmektedir.

Şekil 5.51' de H=5.0 m derinlikte elde edilen gerilme değerlerinin zeminin birim hacim ağırlığı ve derinliğine bölünmesi ile bulunan K_{hesap} değerlerinin K_a ve K_o ile ilişkisi verilmektedir. K_o (**2.2**) bağıntısı ile hesaplanırken, K_a değeri (**2.5**) bağıntısı ile hesaplanmaktadır. İlk metreler'de K_{hesap} değeri K_o değerinin üzerinde olup ikinci metrede K_o değerine ulaştığı görülmektedir 30.0 metreden sonra K_{hesap} değerinin K_a durumuna ulaştığı görülür.



Şekil 5.50 : 100.0 x 100.0 m kazı çukurunda gevşek kum H=5.0 m derinlik - gerilme ilişkisi



Şekil 5.51 : 100.0 x 100.0 m kazı çukurunda gevşek kum H=5.0 m köşeye olan mesafe – toprak basıncı katsayıları ilişkisi

80.0 x 80.0 metre kazı çukurunda yapılan analizler ve 100.0 x 100.0 m kazı çukurunda yapılan analizler incelendiği zaman benzer sonuçlar elde edildiği görülmüştür. 100.0 x 100.0 metrelik kazı modelinin diğer analiz sonuçları EK-A' da verilmiştir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Geçmişte bir çok araştırmacı kazı köşesinin varlığının etkili mesafesini incelemişlerdir. Lee ve diğ. (1998) kazı köşesi etkisinin kazı uzunluğunun (L) kazı derinliğine (h) oranından elde edilen oran ile kontrol edilebileceğini önermektedir.

Ou ve diğ. (1996) yaptıkları iki boyutlu parametrik çalışmada değişken birincil ve ikincil duvar uzunluklarınında köşe etkisini tanımlamada önemli olduğu belirtirler ve yaptıkları çalışma ile iki boyutlu analizler ile üç boyutlu analizler arasında bir oran bulmuşlardır.

Bu tez çalışması kapsamında ise konsol iksa yapılarında köşe etkisinin yanal toprak basıncı, deplasman ve yanal toprak basıncı katsayısı üzerine etkisi incelenmiştir iki farklı kazı çukurunda dört farklı zemin tipi için iki farklı kazı derinliğinde modeller kurulup analiz edilerek şu sonuçlara varıldı.

Gevşek kumlu zeminde oluşturulan üç boyutlu modelin analiz sonuçlarından türetilen grafikler doğrultusunda :

- 80.0 x 80.0 metrelik kazı çukurunda her iki model için de deplasman değerleri köşe noktalarında 0,000 m değerinde olup, köşeye olan mesafenin değişimi ile deplasman değerleri artığı ve derinliğin arttıkça deplasmanın azaldığı görülür. Kazı derinliği 5,0 m olan model için maksimum deplasmanın δ_{hmax} = 0,016 metre olduğu model 2 için ise δ_{hmax} = 0,031 metre olduğu ve bu değerlerin kullanılan deplasman aralığında olduğu görülmektedir.
- Gerilmeler incelendiğinde her iki model içinde köşelerde gerilmelerin en büyük değerine ulaştığı ve derinliğin artması ile gerilmenin arttığı görülmektedir. Model 1 ve model 2 incelendiğinde her iki modeldede köşeden 30.0 m mesafe sonra gerilme değerlerinin yakın değerlerde olduğu görülmektedir. Ayrıca köşe etkisinin derinlik arttıkça köşeden daha uzakta hissedildiği görülmektedir.

- Her iki model için gerilmelerden elde edilen toprak basıncı katsayısı K_{hesap} incelendiğinde model 1 ve model 2 için köşeden uzaklaşıldıkça toprak basıncı katsayısının K_o durumundan K_a durumuna ulaştığı görülür. Köşeye 30.0 metre mesafeden sonra Ka durumuna ulaştığı görülür.

Orta sıkı kumlu zeminde oluşturulan modelin analiz sonuçlarından türetilen grafikler doğrultusunda :

- 80.0 x 80.0 metrelik kazı çukurunda her iki kesit için de deplasman değerleri köşe noktalarında 0,000 m değerinde olup, köşeye olan mesafenin değişimi ile deplasman değerleri artığı ve derinliğin arttıkça deplasmanın azaldığı görülür. Model 1 için maksimum deplasmanın $\boldsymbol{\delta_{hmax}}$ = 0,009 metre olduğu model 2 için ise $\boldsymbol{\delta_{hmax}}$ = 0,016 metre olduğu ve bu değerlerin kullanılan deplasman aralığında olduğu görülmektedir.
- Gerilmeler incelendiğinde her iki model içinde köşelerde gerilmelerin en büyük değerine ulaştığı ve derinliğin artması ile gerilmenin arttığı görülmektedir. Model 1 ve model 2 incelendiğinde her iki modeldede köşeden 25.0 m mesafe sonra gerilme değerlerinin yakın değerlerde olduğu görülmektedir. Ayrıca köşe etkisinin derinlik arttıkça köşeden daha uzakta hissedildiği görülmektedir.
- Her iki model için gerilmelerden elde edilen toprak basıncı katsayısı K_{hesap} incelendiğinde model 1 ve model 2 için köşeden uzaklaşıldıkça toprak basıncı katsayısının K_o durumundan K_a durumuna ulaştığı görülür. Köşeye 25.0 metre mesafeden sonra Ka durumuna ulaştığı görülür.

Yumuşak kil zeminde oluşturulan üç boyutlu modelin analiz sonuçlarından türetilen grafikler doğrultusunda :

- 80.0 x 80.0 metrelik kazı çukurunda her iki model için de deplasman değerleri köşe noktalarında 0,000 m değerinde olup, köşeye olan mesafenin değişimi ile deplasman değerleri artığı ve derinliğin arttıkça deplasmanın azaldığı görülür. model 1 için maksimum deplasmanın $\boldsymbol{\delta_{hmax}}$ = 0,158 metre olduğu model 2 için ise $\boldsymbol{\delta_{hmax}}$ = 0,356 metre olduğu ve bu değerlerin kullanılan deplasman aralığında olduğu görülmektedir.

- Gerilmeler incelendiğinde her iki model içinde köşelerde gerilmelerin en büyük değerine ulaştığı ve derinliğin artması ile gerilmenin arttığı görülmektedir. Model 1 ve model 2 incelendiğinde her iki modelde köşeden 30.0 m mesafe sonra gerilme değerlerinin yakın değerlerde olduğu görülmektedir. Ayrıca köşe etkisinin derinlik arttıkça köşeden daha uzakta hissedildiği görülmektedir.

- Her iki model için gerilmelerden elde edilen toprak basıncı katsayısı K_{hesap} incelendiğinde model 1 ve model 2 için köşeden uzaklaşıldıkça toprak basıncı katsayısının K_o durumundan K_a durumuna ulaştığı görülür. Köşeye 30.0 metre mesafeden sonra Ka durumuna ulaştığı görülür.

Yarı katı kil zeminde oluşturulan üç boyutlu modelin analiz sonuçlarından türetilen grafikler doğrultusunda :

- 80.0 x 80.0 metrelik kazı çukurunda her iki model için de deplasman değerleri köşe noktalarında 0,000 m değerinde olup, köşeye olan mesafenin değişimi ile deplasman değerleri artığı ve derinliğin arttıkça deplasmanın azaldığı görülür. Model 1 için maksimum deplasmanın $\boldsymbol{\delta_{hmax}}$ = 0,068 metre olduğu model 2 için ise $\boldsymbol{\delta_{hmax}}$ = 0,113 metre olduğu ve bu değerlerin kullanılan deplasman aralığında olduğu görülmektedir.

- Gerilmeler incelendiğinde her iki model içinde köşelerde gerilmelerin en büyük değerine ulaştığı ve derinliğin artması ile gerilmenin arttığı görülmektedir. Model 1 ve model 2 incelendiğinde model 1 için köşeden 25.0 m model 2 için ise köşeden 20.0 m mesafe sonra gerilme değerlerinin yakın değerlerde olduğu görülmektedir. Ayrıca köşe etkisinin derinlik arttıkça köşeden daha uzakta hissedildiği görülmektedir.

- Her iki model için gerilmelerden elde edilen toprak basıncı katsayısı K_{hesap} incelendiğinde model 1 ve model 2 için köşeden uzaklaşıldıkça toprak basıncı katsayısının K_o durumundan K_a durumuna ulaştığı görülür. Köşeye 20.0 metre mesafeden sonra Ka durumuna ulaştığı görülür.

Bu sonuçlardan yola çıkarak zeminin rijitliğinin artması köşe etkisi etki mesafesini azaltıcı etki yapar.

Ayrıca bu çalışmada kazı boyutlarının değişmesinin etkisine bakmak amacıyla 100.0 x 100.0 m içinde aynı parametreler ile analiz yapılmış ve benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Bu çalışmanın devamında yatay destek elemanlı iksa sistemleri ve birden fazla zemin tabakasına sahip kazılar için analiz yapılabilinir.

.

KAYNAKLAR

Berilgen, M. (1996). *Ankrajlı Perdelerde Zemin Yapı Etkileşiminin İncelenmesi*, (Doktora Tezi), YTÜ Fen Bilimleri Enstkitüsü, İstanbul.

Borja, R. I. (1990). Analysis of incremental excavation based on critical state theory.*J.Geotech. Engrg., ASCE, 116(6), 964-985.*

Bowles J. E. (1998). *Foundation Analysis and Design* , McGraw Hill, Singapore.

Carder, D. R. (1995). Ground movements caused by different embedded retaining wall construction techniques. *Transport Res. Lab. Rep.* 172, Berkshire, U.K.

Clark, B. G. ve Wroth, C. P. (1984). Analysis of Dunton green retainingwall based on results of pressuremeter tests.*Geotechnique*, 34(4), 549-561.

Clough, G. W. ve Denby, G. M. (1977). Stabilizing berm design for temporary walls in clay, *J. Geotech. Engrg. Div., ASCE, 75-90.*

Clough, G. W. ve Hansen, L. A. (1981). Clay anisotropy and braced wall behavior. *J. Geotech. Engrg. Div*., ASCE, 107(7), 893-913.

Clough, G. W. ve O"Rourke, T. D. (1990). Construction Induced Movements of In Situ Walls, *Proc. ASCE Conf. on Des. and Perf. of Earth Retaining Struct*, Geotech Spec. Publ. No.25, ASCE, New York, 439-470.

Coduto, D. **P.** (2001). *Temel Tasarımı İlkeler ve Uygulamalar*, Gazi Kitabevi, Ankara.

Çetin, D. (2001). *Destekli İksa Perdelerinde Ölçülen ve Tahmin Edilen Deplasmanların Karşılaştırılması,* (Yüksek Lisans Tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Fernie, R. ve Suckling, T. (1996). Simplified approach for estimating lateral movement of embedded walls in U.K. ground. *Proc., Int. Symp. Geo Aspects of Underground Constr. In Soft Ground,* City University, London, 131-136.

Finno, R. J. ve Harahap, I. S. (1991). Finite element analysis of HDR4 excavation. *J.Geotech. Engrg.,* ASCE, 117(10), 1590-1609

Giger, M. W. ve Krizek, R.J. (1975). Stability analysis of vertical cut with variable corner angle. *Soils and Foundations*, 15, No. 2: 63 – 71.

Günsever, İ. (1999). *Derin Kazılarda Çok Sıralı Ankrajlı İksa Sistemlerinin Tasarımı ve Bir Bilgisayar Programı ile Desteklenmesi*, (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

Hasanov, A. H. (2001). *Varyasyonel Problemler ve Sonlu Elemanlar Yöntemi*, Literatür Yayıncılık, İstanbul.

Kumbasar, V. ve Kip, F. (1999). *Zemin Mekaniği Problemleri*, Çağlayan Kitabevi, İstanbul.

Lee, F.H., Yong, K.Y., Quan K.C.N., Chee,K.T. (1998). Effect of corners in strutted excavations: field monitoring and case histories *Journal of Geotechnical and Geoenviromental Engineering*, ASCE, 124, No. 5,339-349.

Lin. D.G., Chung. T.C. ve Phien-wej. N. (2003). Quantitative evaluation of multi-strutted deep excavation in Bangkok subsoil. *Journal of the Southest Asian Geotechnical Society*. 41 –57.

Nath, P. (1983). Trench excavation effects on adjacent buried pipes: *Finite element study. J. Geotechnical Engineering*, 109, No. 11: 1399 – 1415. 1983.

Ou, C.Y., Chiou, D.C., Wu, T.S. (1996). Three-Dimensional finite element analysis of deep excavations *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, 122, No. 5, 337-345.

Ou, C. Y., Lai, C. H. (1994). Finite element analysis of deep excavation in layered sandy and clayey soil deposits, *Canadian Geotech. J*., 31, 204-214.

Ou, C.Y., Shiau, B.Y. (1998). Analysis of The Corner Effect On Excavation. *Can. Geotech. J., Ottawa, 35, 532-540.*

Özbek, B.S. (2009). *Ankraj Destekli Derin İksalarda Deformasyonların İncelenmesi,* (Yüksek Lisans Tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Peck, R. B. (1969). Deep Excavations and Tunneling in Soft Ground, *Proceedings 7th I.C.S.M.F.E. State of Art Volume,* Mexico, pp. 225-290.

Plaxis 3D Foundation V2 Material Manual. (2007). *Delft University of Technology & Plaxis bv*, Delft, Netherlands.

Sert, S. (2003). *Aluviyal Ortamda Kazıklı Yayılı Temellerin Üç Boyutlu Analizi***.** (Doktora Tezi), Sakarya Üniversitesi.

Simpson, B. (1992). Retaining structure: displacement and design. *Geotechnique*. 42, No 7: 541 –576.

Spundwand-Handbuch Teil 1, Grundlagen. (1986). Trade ARBED Department

Tschebotarioff, G.P. (1951). *Foundations, Retaining and Earth Structures*, McGram-Hill Book Co. Inc. New York.

Ünlü. G. (2008). *Analysis of Corner Effects on In-Situ Walls Supporting Deep Excavation: Comparison of Plane Strain and Three Dimensional Analysis*, (Yüksek Lisans Tezi), Ortadoğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Whittle, A. J., Hashash, Y. M. A., Whitman, R. V. (1993). Analysis of deep excavation in Boston. *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, 119, No. 1, 69-90.

Wong, L.W. ve Patron, B.C. (1993). Settlements induced by deep excavation in Taipei. Proc.,*11 th Southeast Asian Geotech. Conf., The Institution of Engineers, Malaysia*, KL., M'sia:787 – 791.

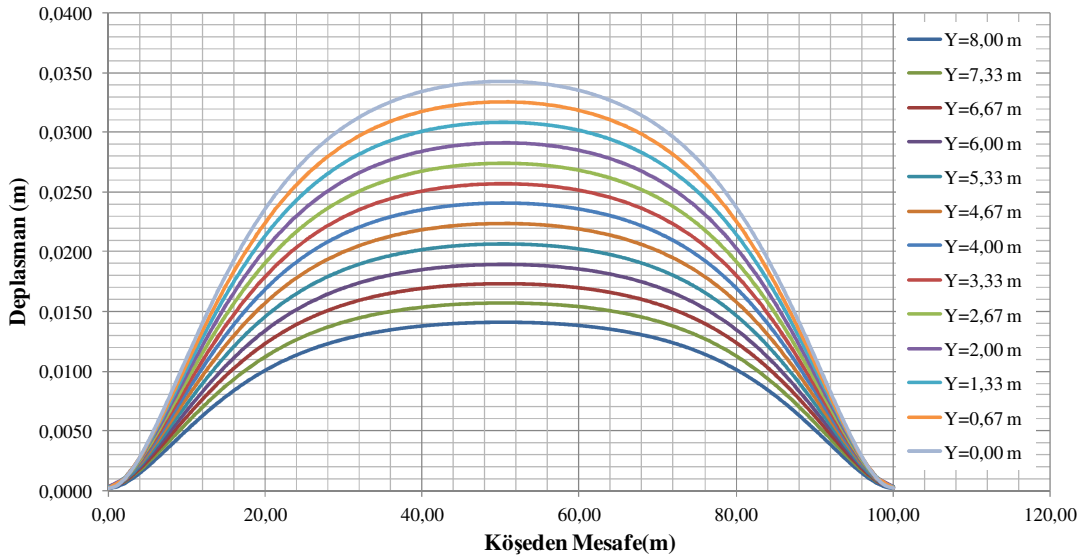
Wong, I. H., Poh, T. Y. ve Chuah, H. L. (1997). Performance of excavations for depressed expressway in Singapore. J. *Geotech. and Geoenvir. Engrg., ASCE*, 123(7), 617-625.

Yıldırım, S. (2002). *Zemin İncelemesi ve Temel Tasarımı*, Birsen Yayınevi, İstanbul.

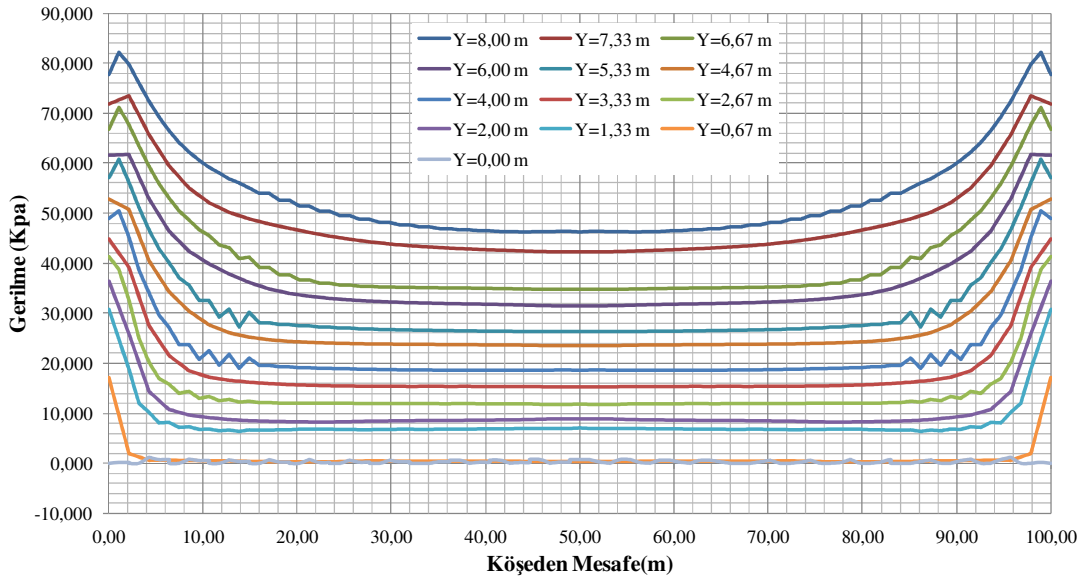
EKLER

EK A: 100.0 x 100. Metre Boyutundaki Kazı Çukurunda Yapılan Analizlerden Elde Edilen Grafikler

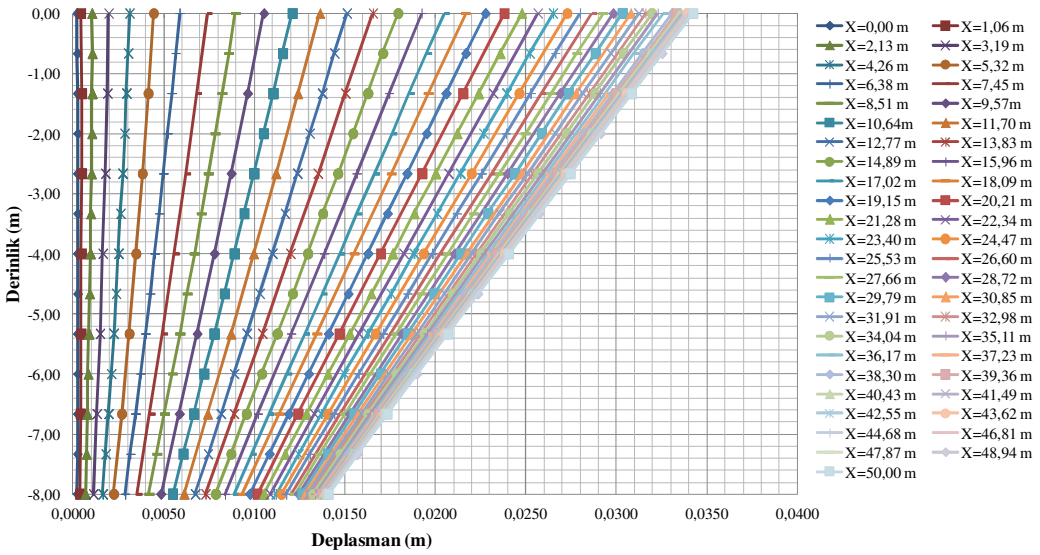
EK A



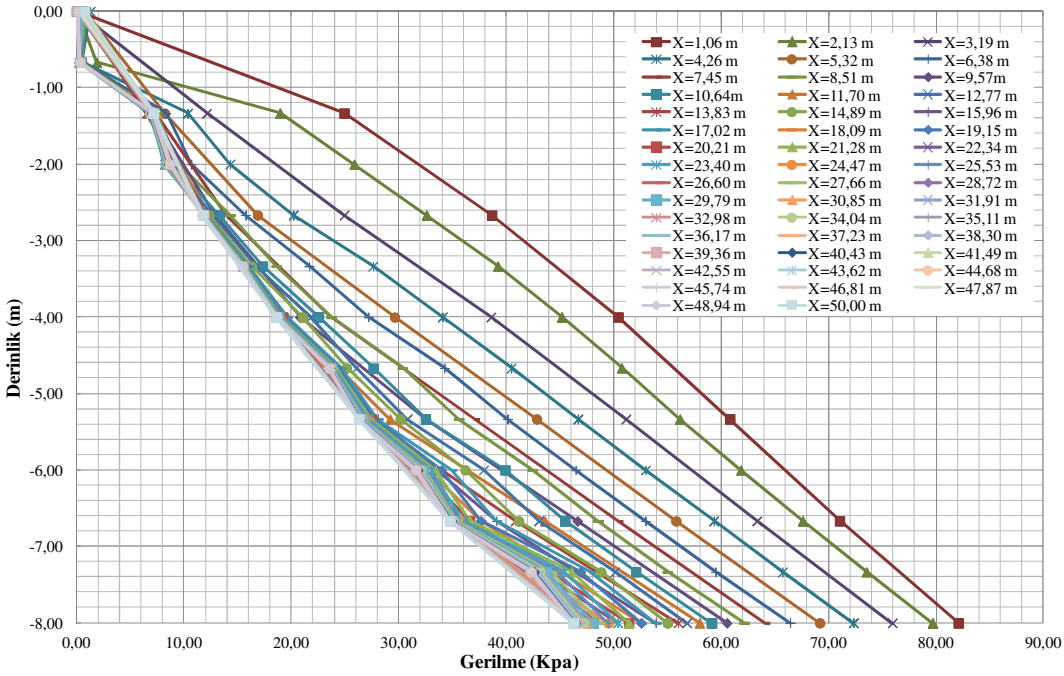
Şekil A.1 : Gevşek kum H=8.0 m köşeden mesafe - deplasman ilişkisi.



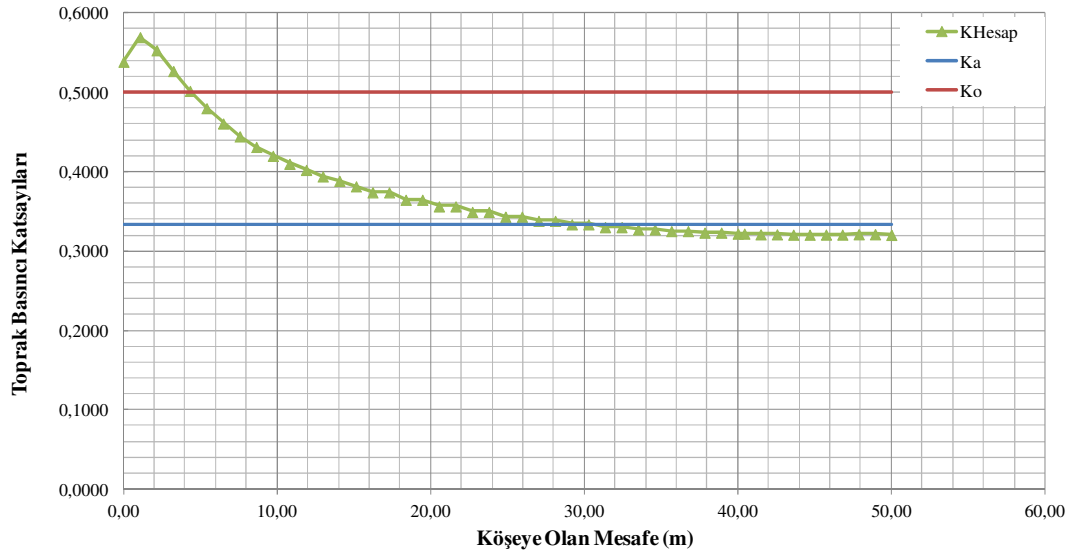
Şekil A.2 : Gevşek kum H=8.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi.



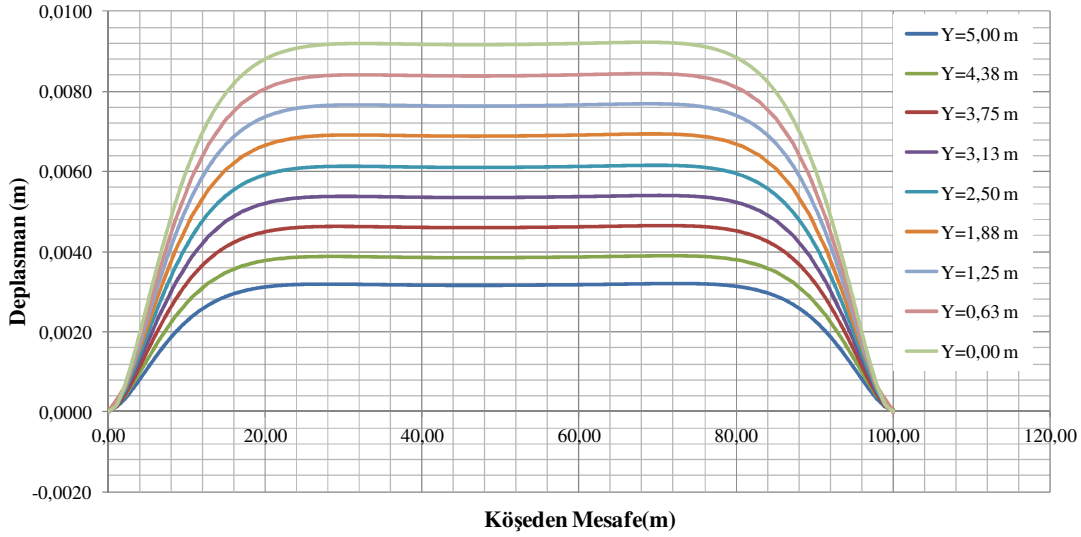
Şekil A.3 : Gevşek kum H=8.0 m derinlik - deplasman ilişkisi.



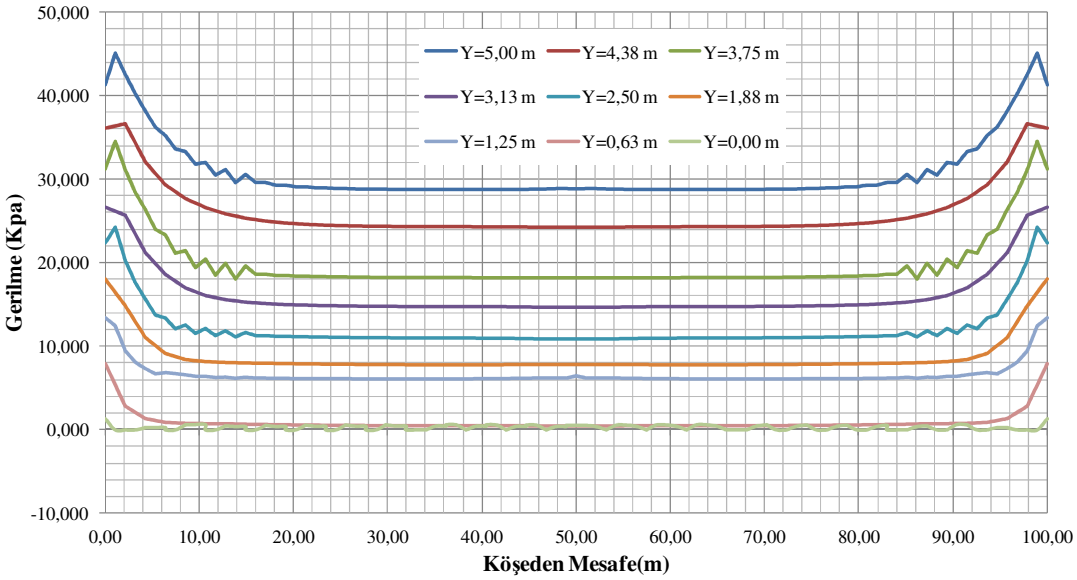
Şekil A.4 : Gevşek kum H=8.0 m derinlik - gerilme ilişkisi.



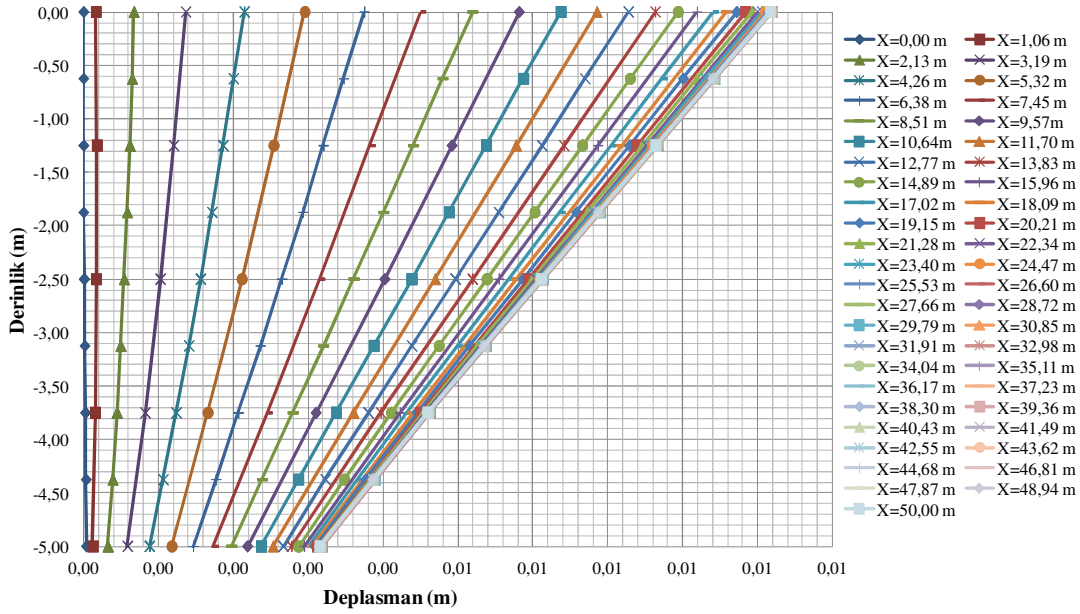
Şekil A.5 : Gevşek kum H=8.0 m köşeye olan mesafe toprak basıncı katsayıları ilişkisi.



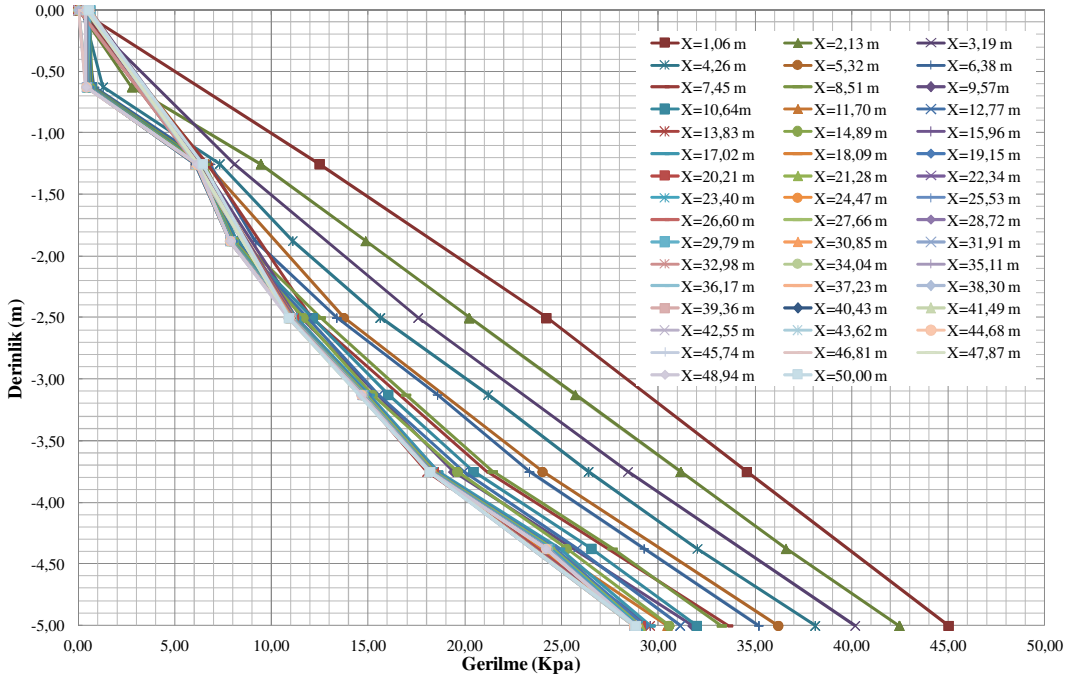
Şekil A.6 : Orta sıkı kum H=5.0 m köşeden mesafe - deplasman ilişkisi.



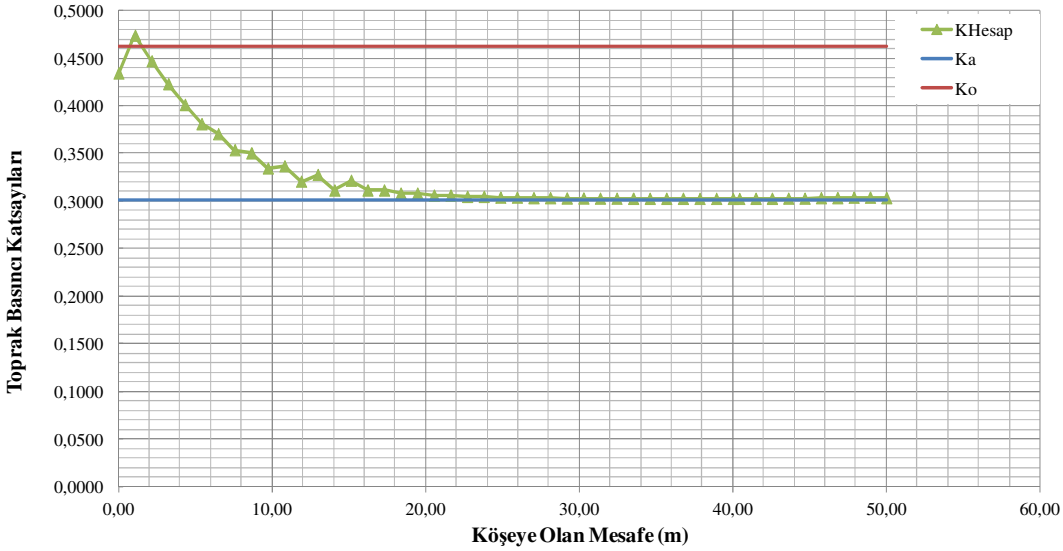
Şekil A.7 : Orta sıkı kum H=5.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi.



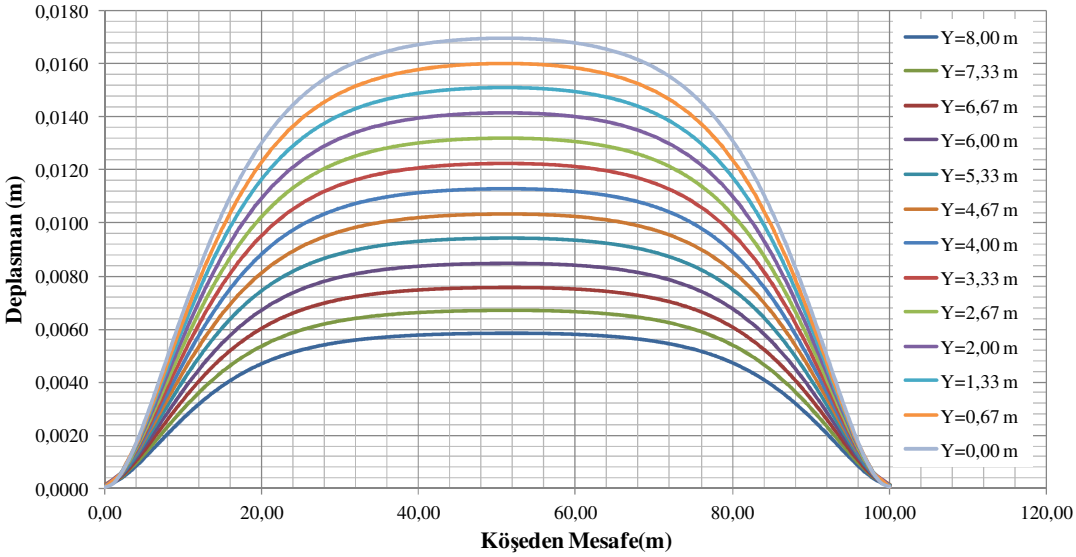
Şekil A.8 : Orta sıkı kum H=5.0 m derinlik - deplasman ilişkisi.



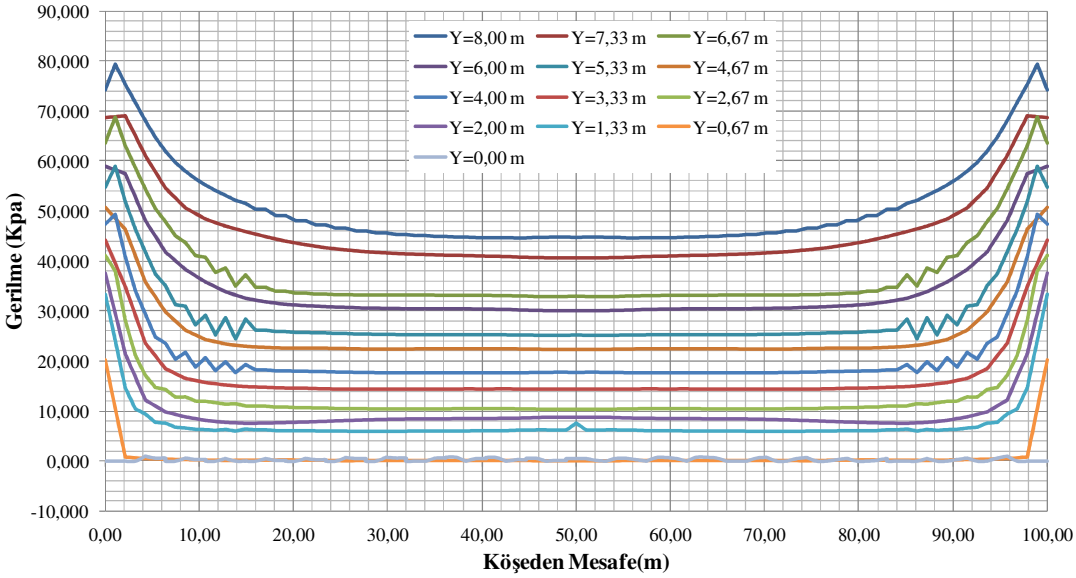
Şekil A.9 : Orta sıkı kum H=5.0 m derinlik - gerilme ilişkisi.



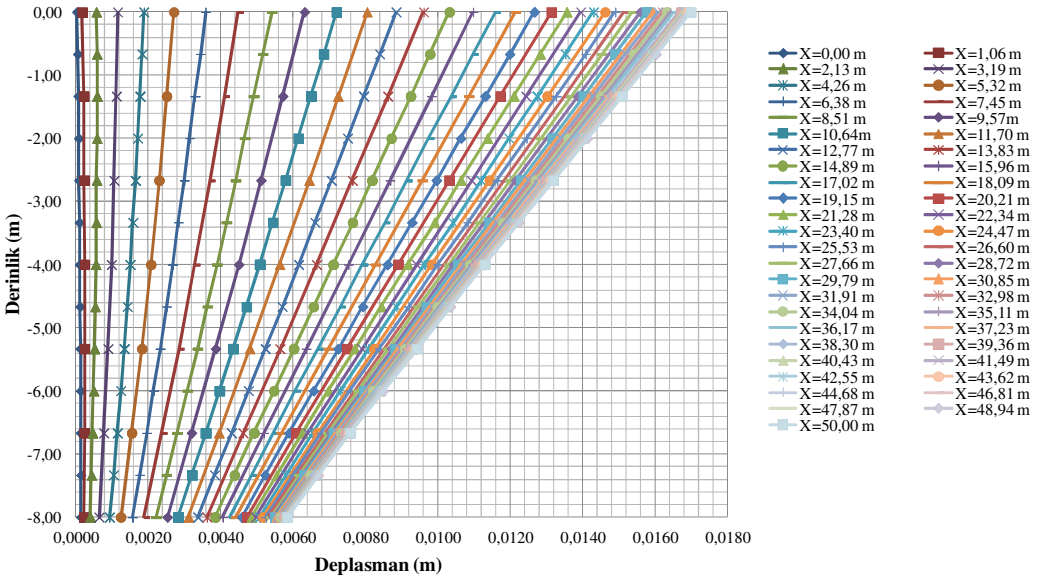
Şekil A.10 : Orta sıkı kum H=5.0 m köşeye olan mesafe toprak basıncı katsayıları ilişkisi.



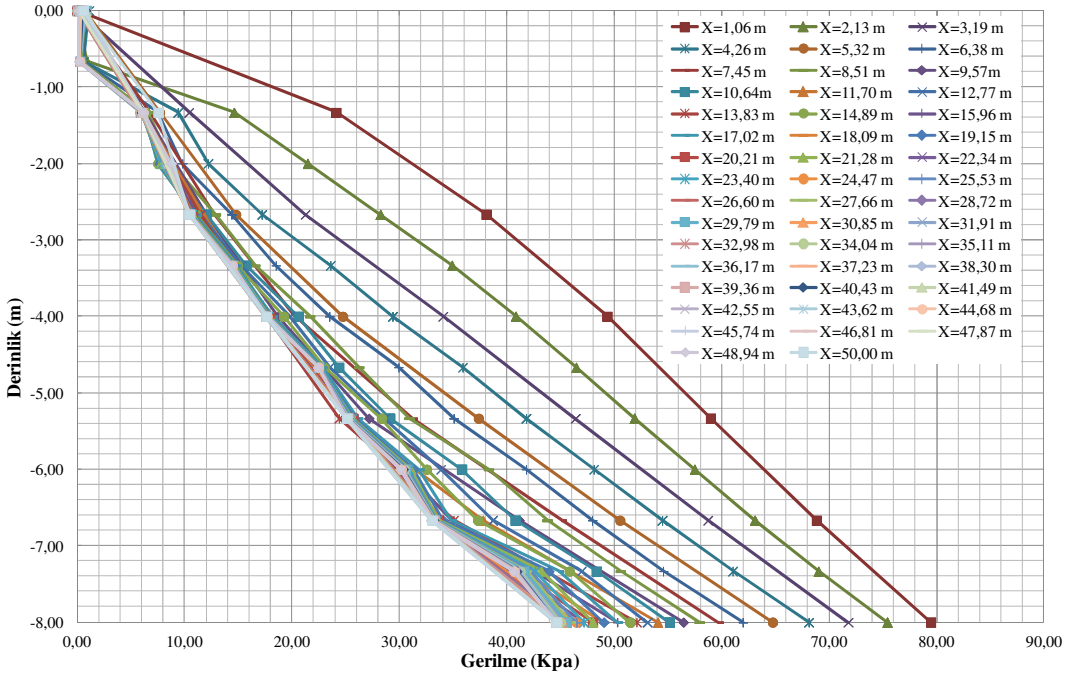
Şekil A.11 : Orta sıkı kum H=8.0 m köşeden mesafe - deplasman ilişkisi.



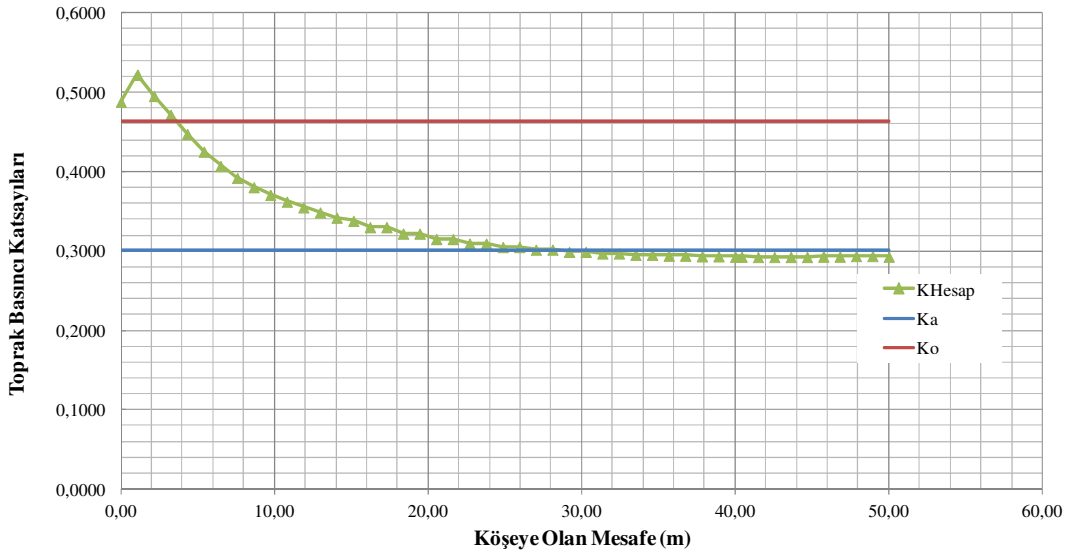
Şekil A.12 : Orta sıkı kum H=8.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi.



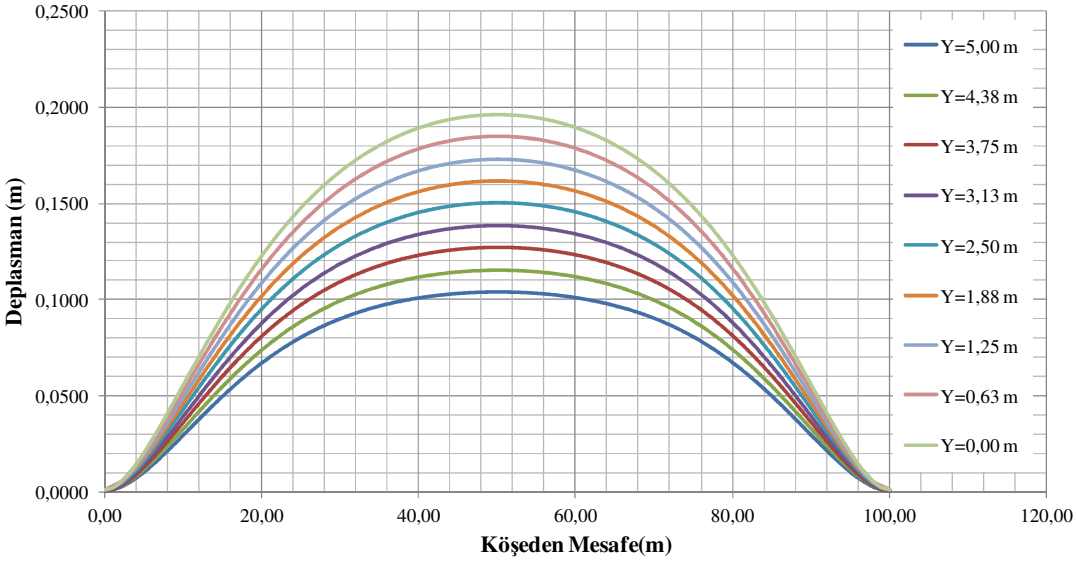
Şekil A.13 : Orta sıkı kum H=8.0 m derinlik - deplasman ilişkisi.



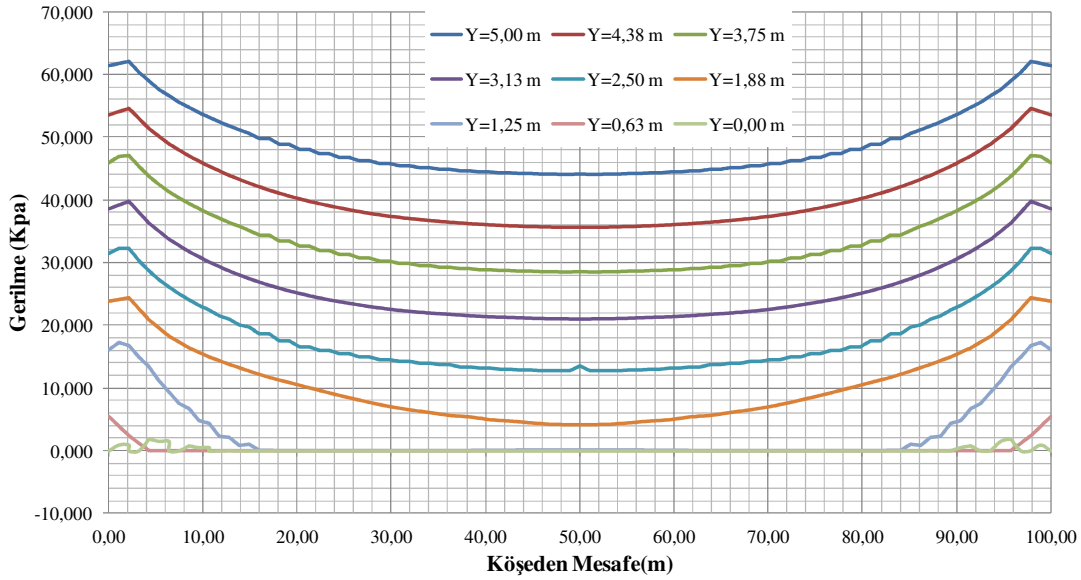
Şekil A.14 : Orta sıkı kum H=8.0 m derinlik - gerilme ilişkisi.



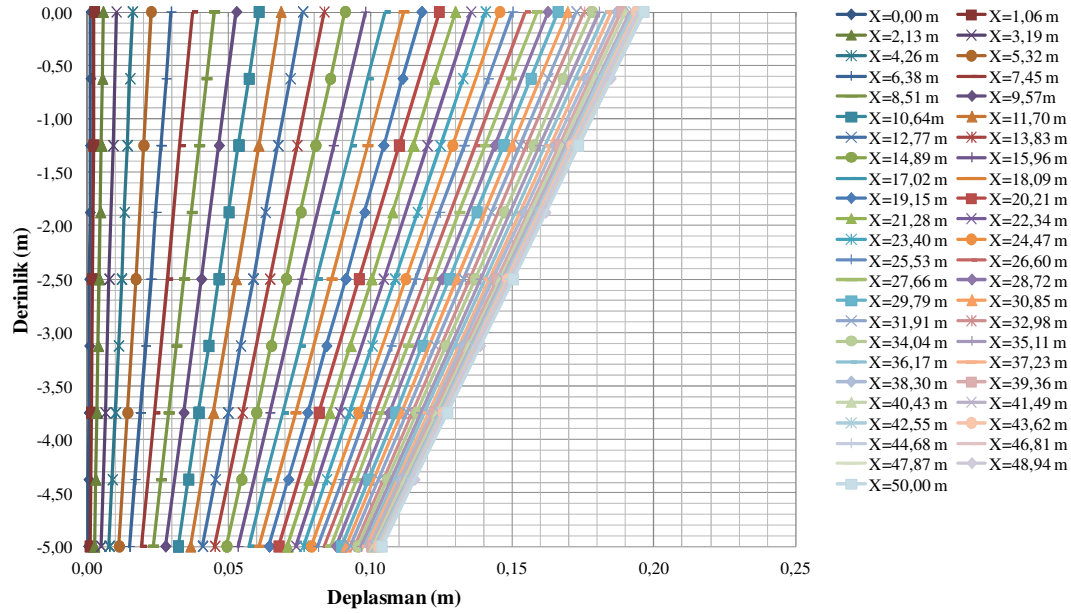
Şekil A.15 : Orta sıkı kum H=8.0 m köşeye olan mesafe toprak basıncı katsayıları ilişkisi.



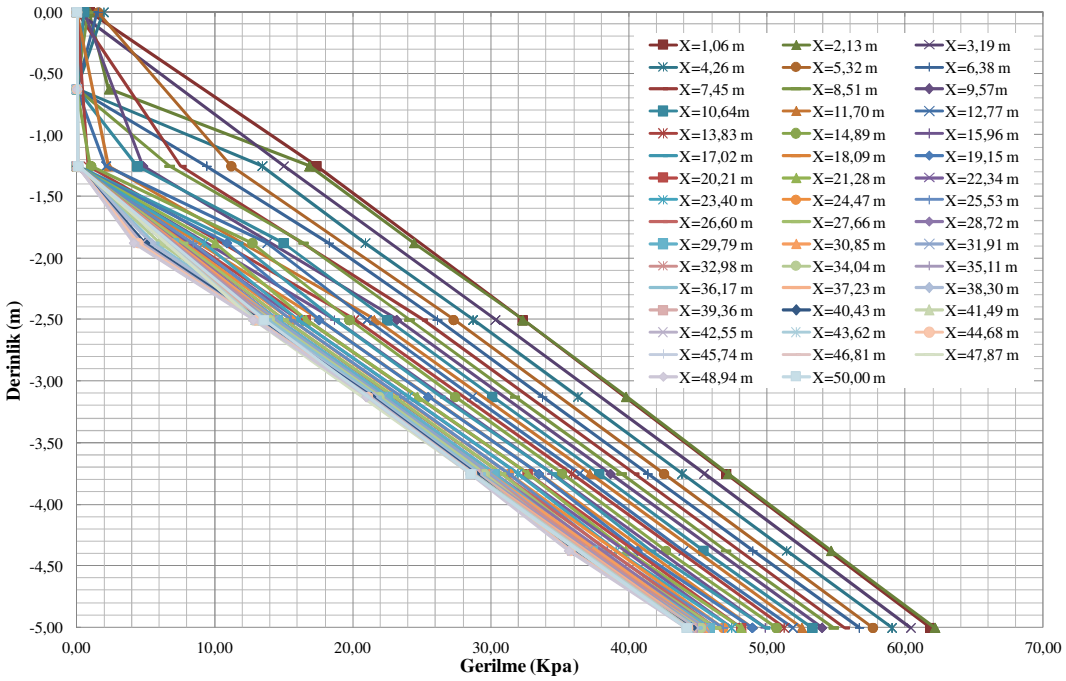
Şekil A.16 : Yumuşak kil H=5.0 m köşeden mesafe - deplasman ilişkisi.



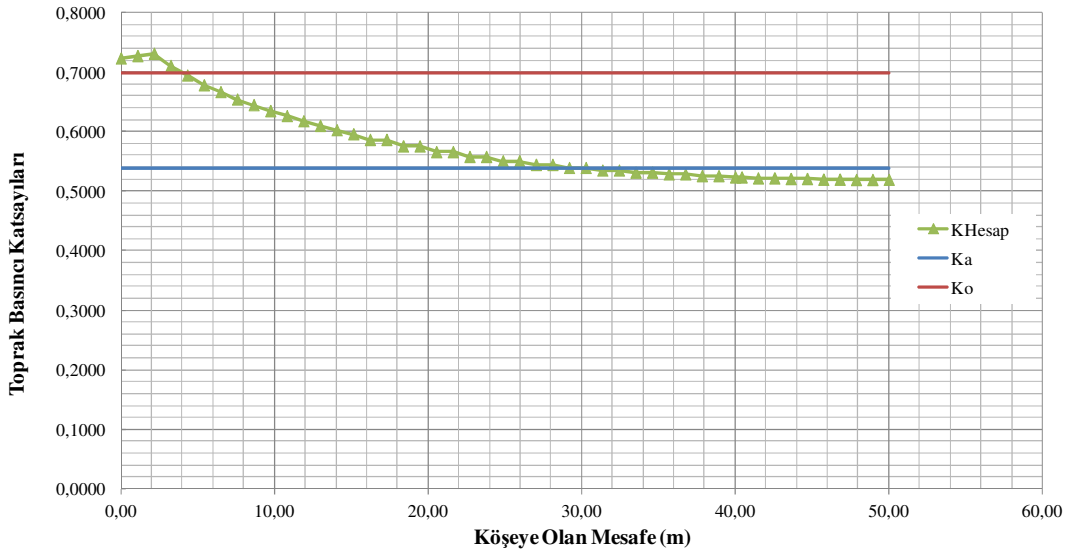
Şekil A.17 : Yumuşak kil H=5.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi.



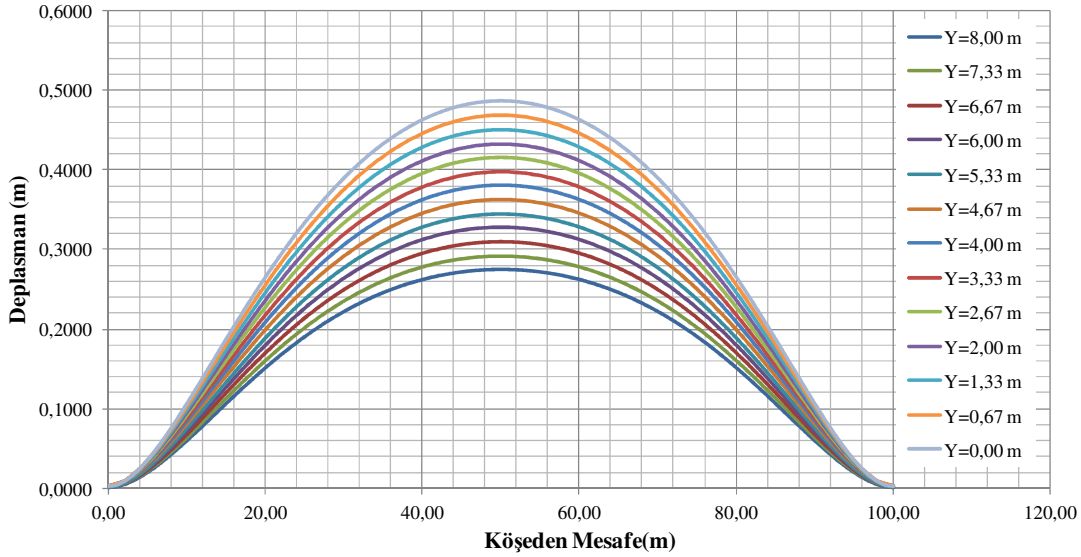
Şekil A.18 : Yumuşak kil H=5.0 m derinlik - deplasman ilişkisi.



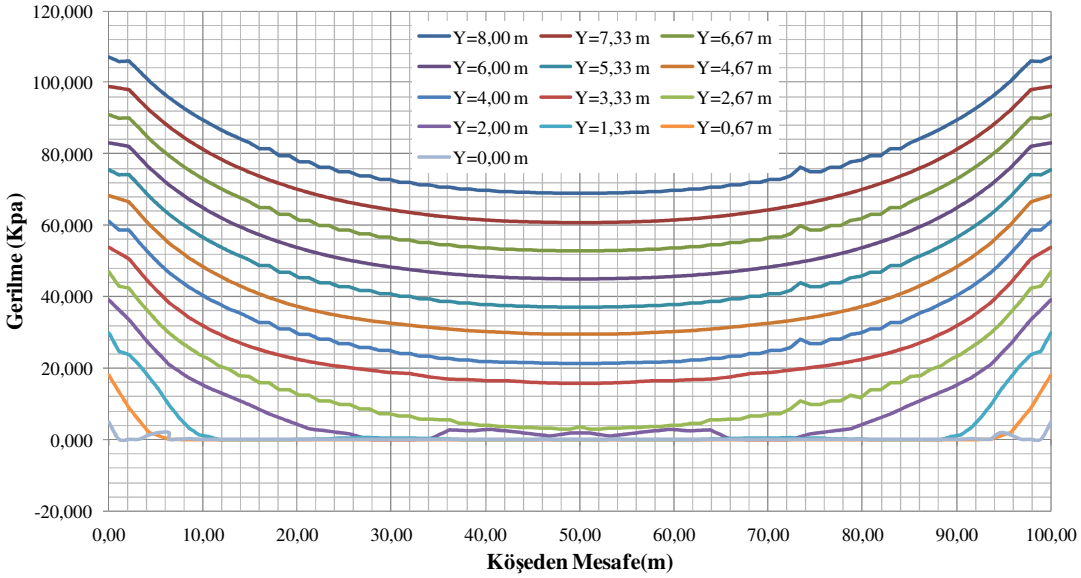
Şekil A.19 : Yumuşak kil H=5.0 m derinlik - gerilme ilişkisi.



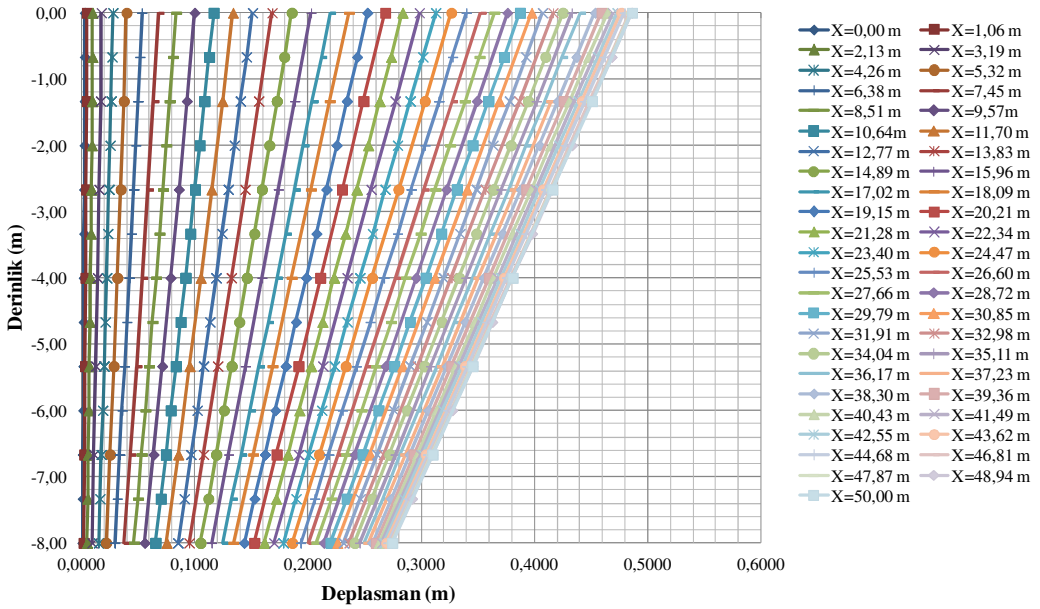
Şekil A.20 : Yumuşak kil H=5.0 m köşeye olan mesafe toprak basıncı katsayıları ilişkisi.



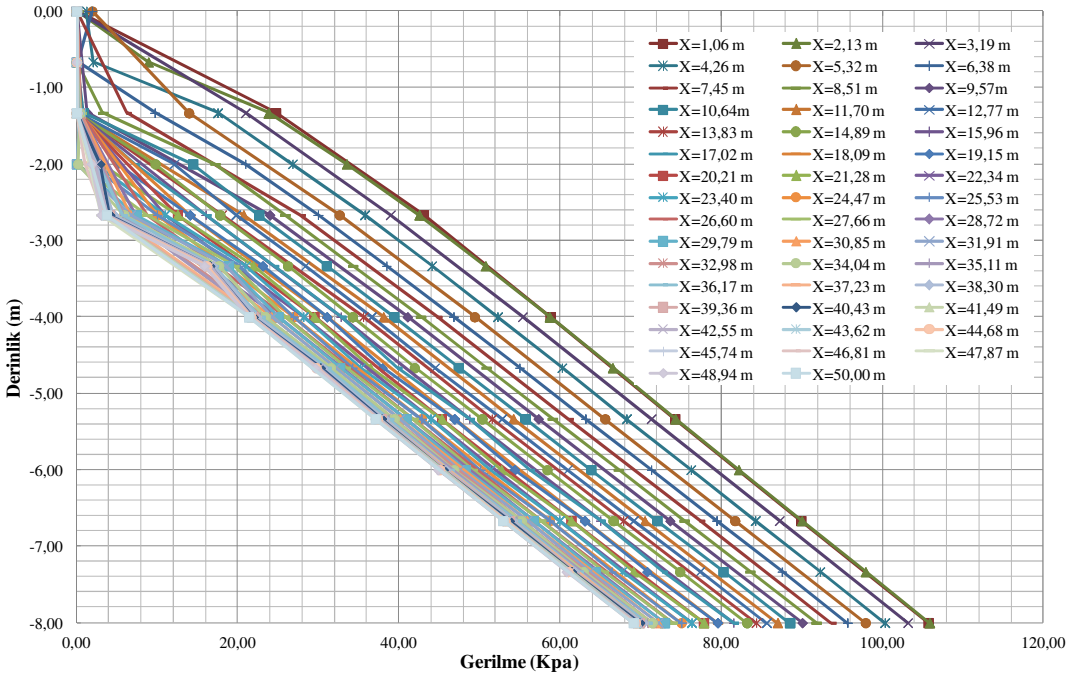
Şekil A.21 : Yumuşak kil H=8.0 m köşeden mesafe - deplasman ilişkisi.



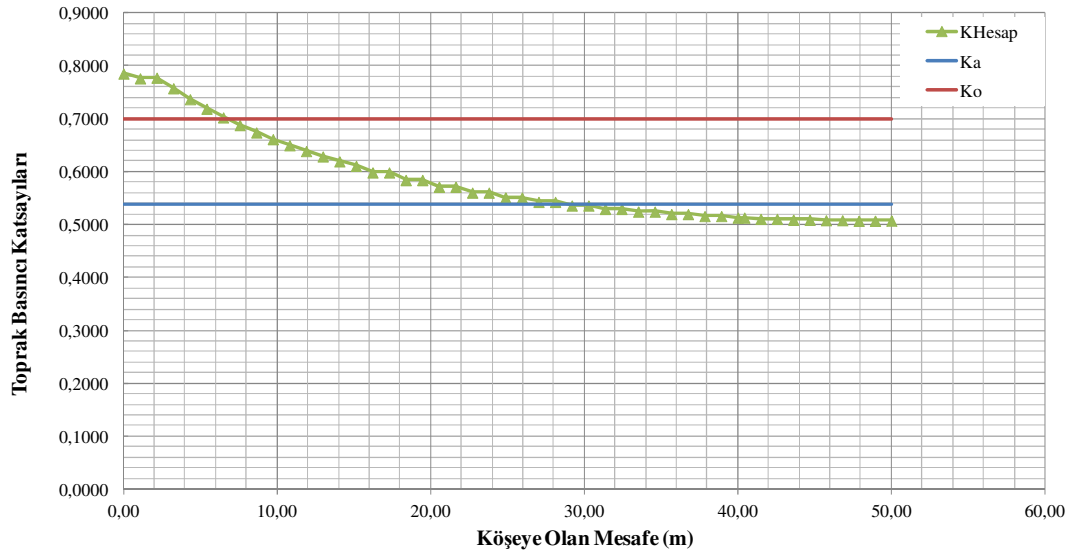
Şekil A.22 : Yumuşak kil H=8.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi.



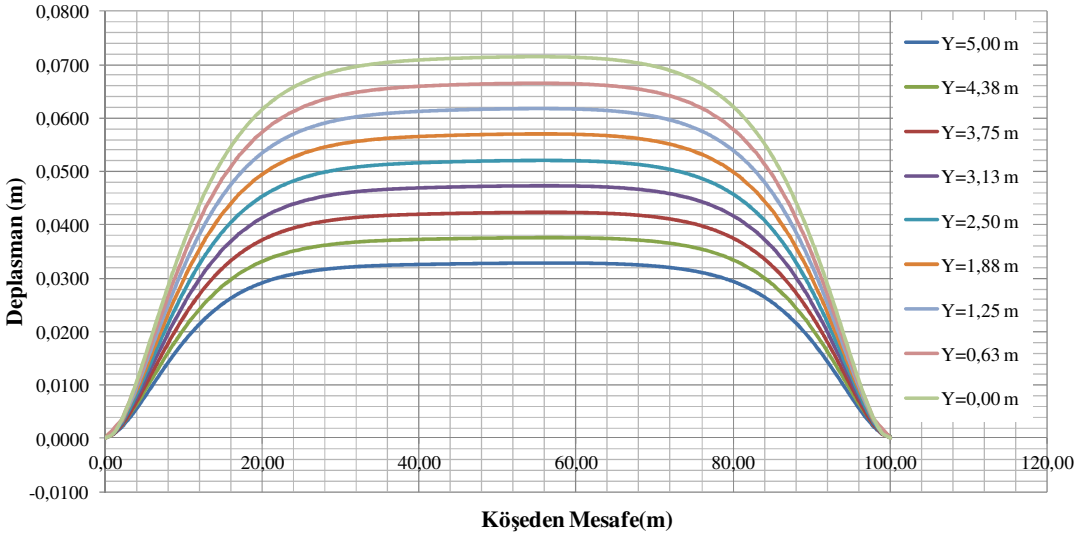
Şekil A.23 : Yumuşak kil H=8.0 m derinlik - deplasman ilişkisi.



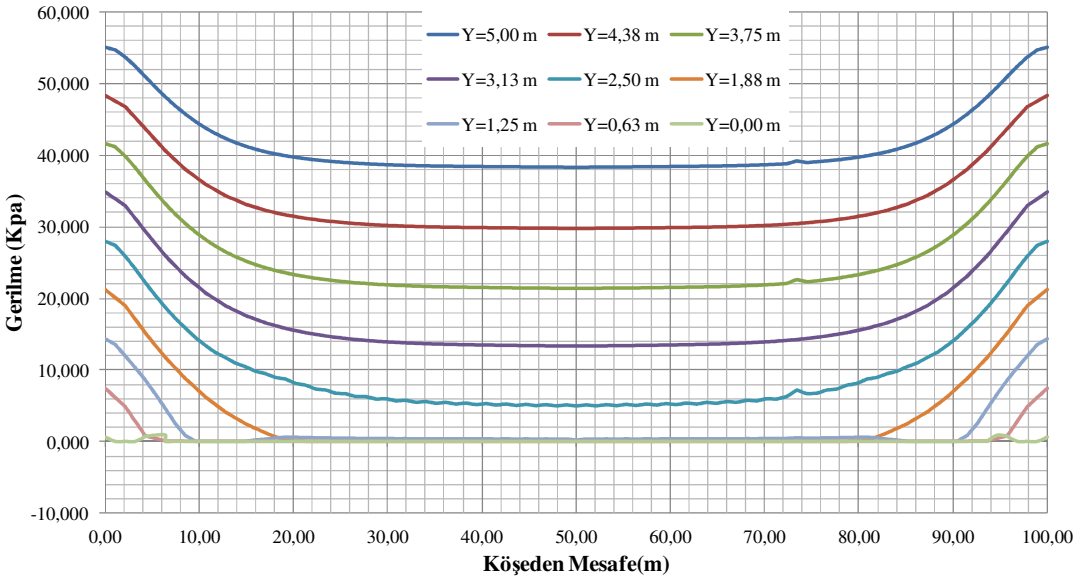
Şekil A.24 : Yumuşak kil H=8.0 m derinlik - gerilme ilişkisi.



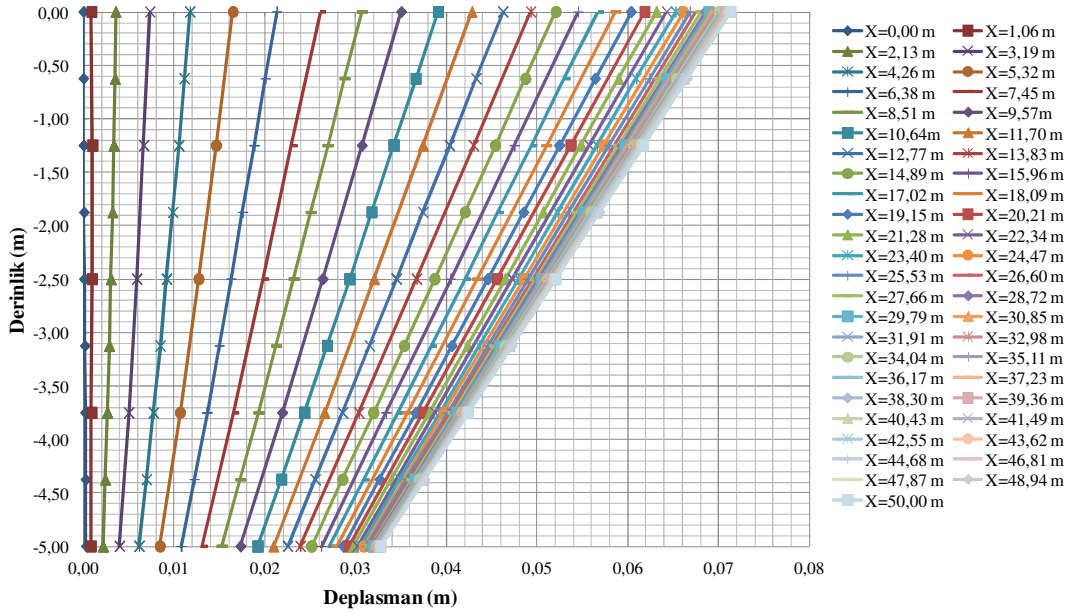
Şekil A.25 : Yumuşak kil H=8.0 m köşeye olan mesafe toprak basıncı katsayıları ilişkisi.



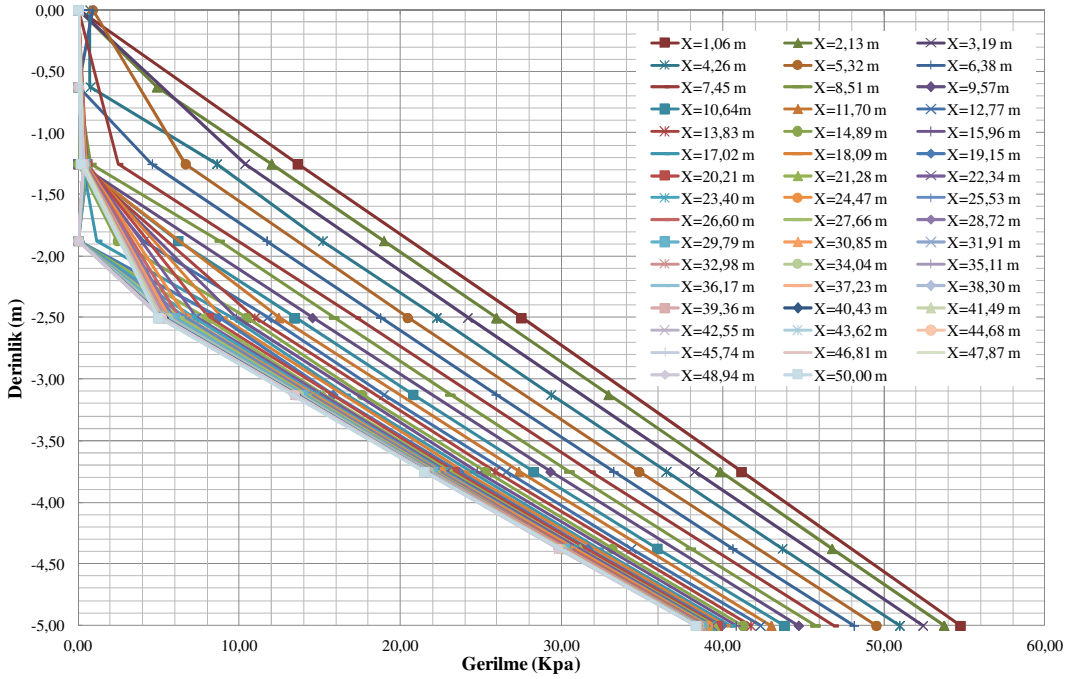
Şekil A.26 : Yarı katı kil H=5.0 m köşeden mesafe - deplasman ilişkisi.



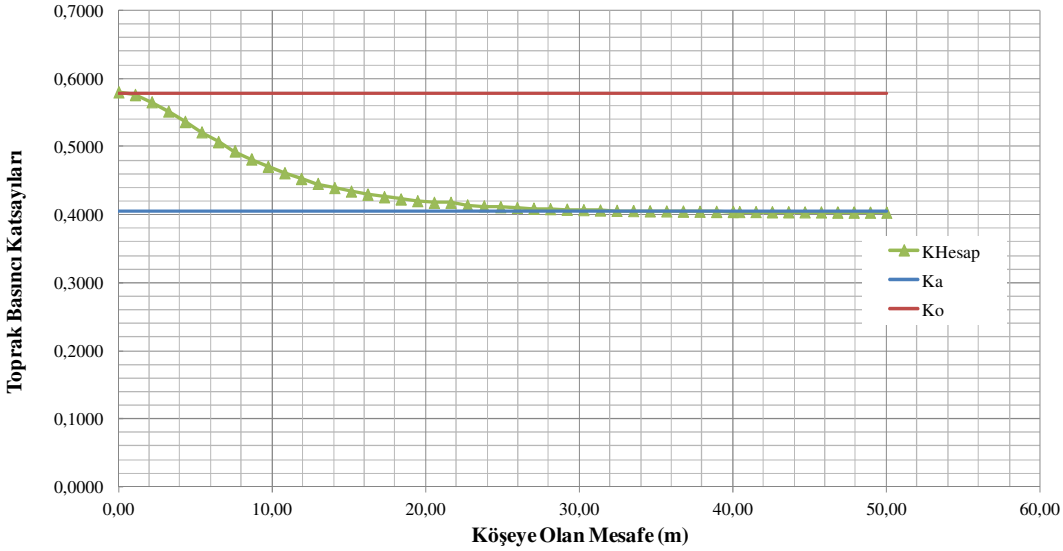
Şekil A.27 : Yarı katı kil H=5.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi.



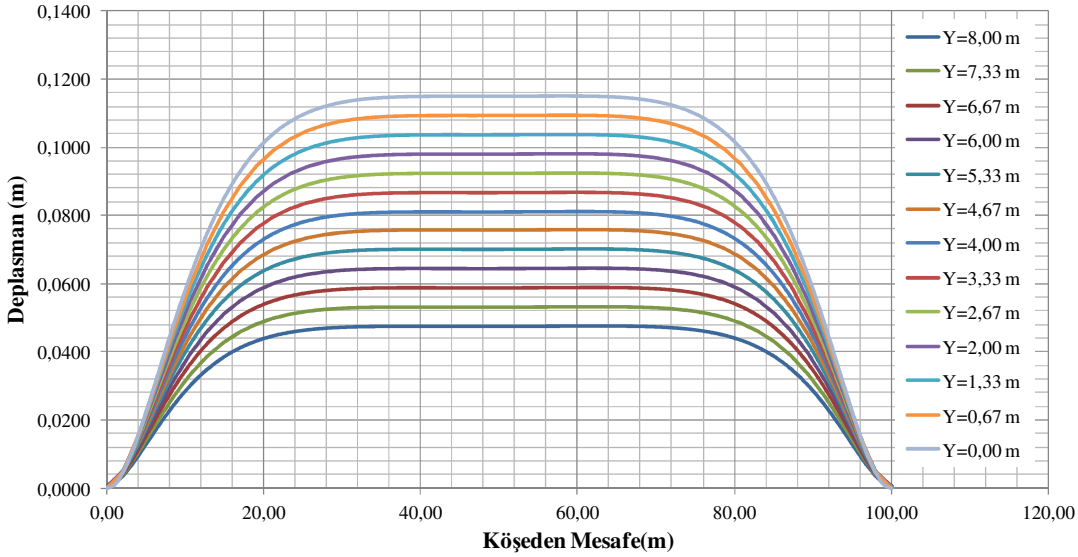
Şekil A.28 : Yarı katı kil H=5.0 m derinlik - deplasman ilişkisi.



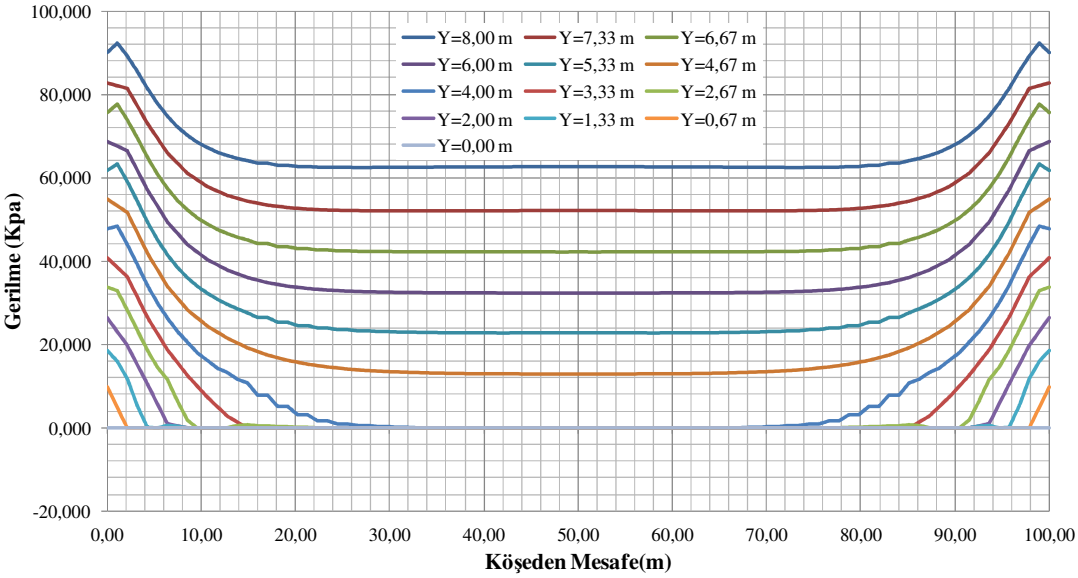
Şekil A.29 : Yarı katı kil H=5.0 m derinlik - gerilme ilişkisi.



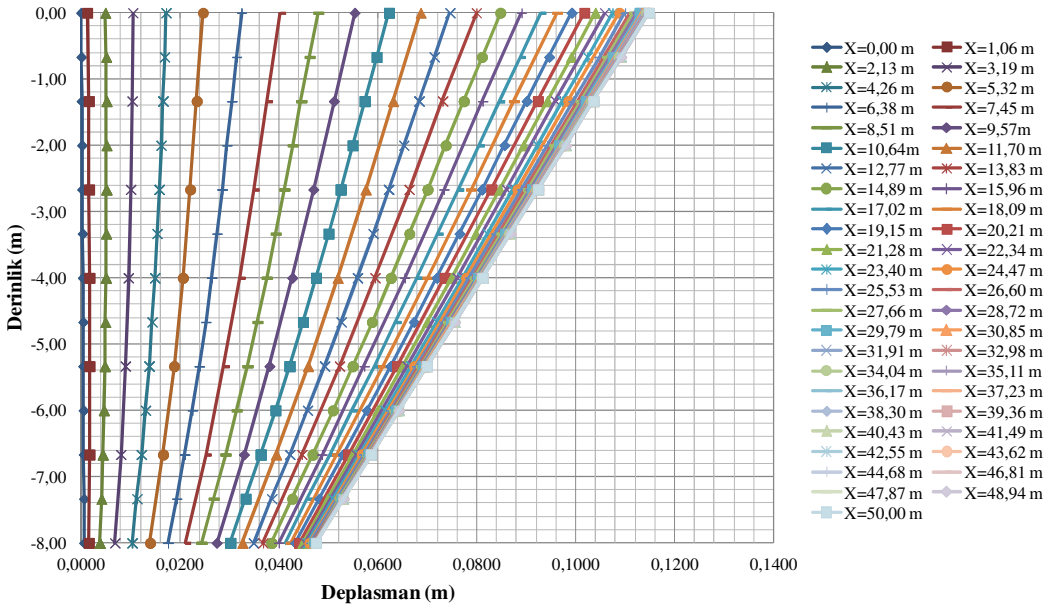
Şekil A.30 : Yarı katı kil H=5.0 m köşeye olan mesafe toprak basıncı katsayıları ilişkisi.



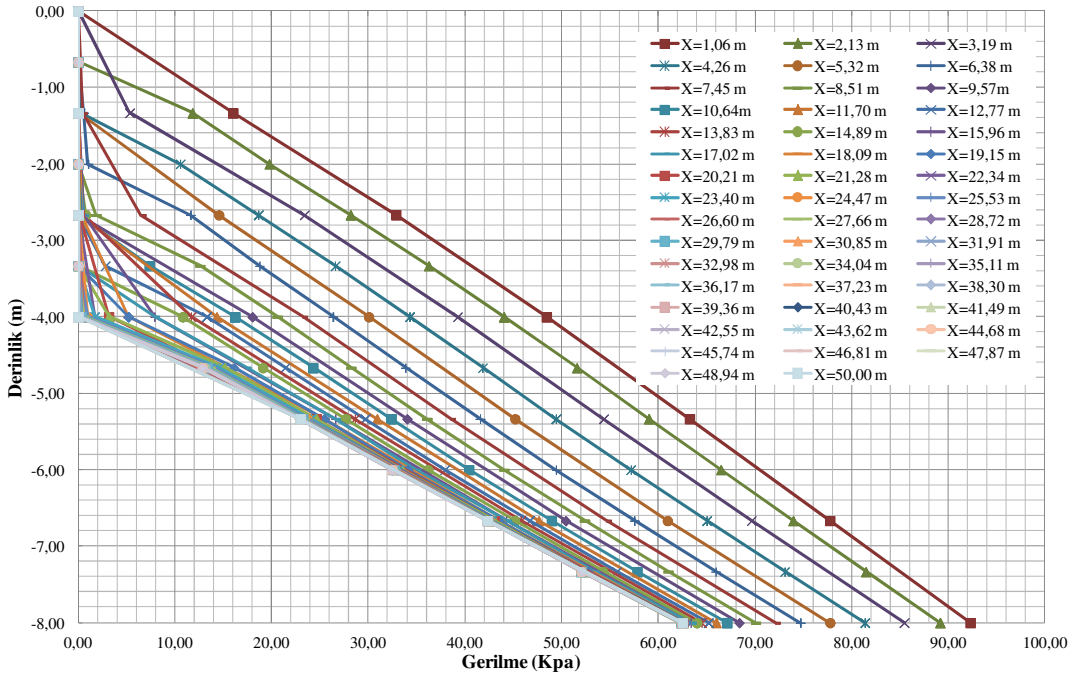
Şekil A.31 : Yarı katı kil H=8.0 m köşeden mesafe - deplasman ilişkisi.



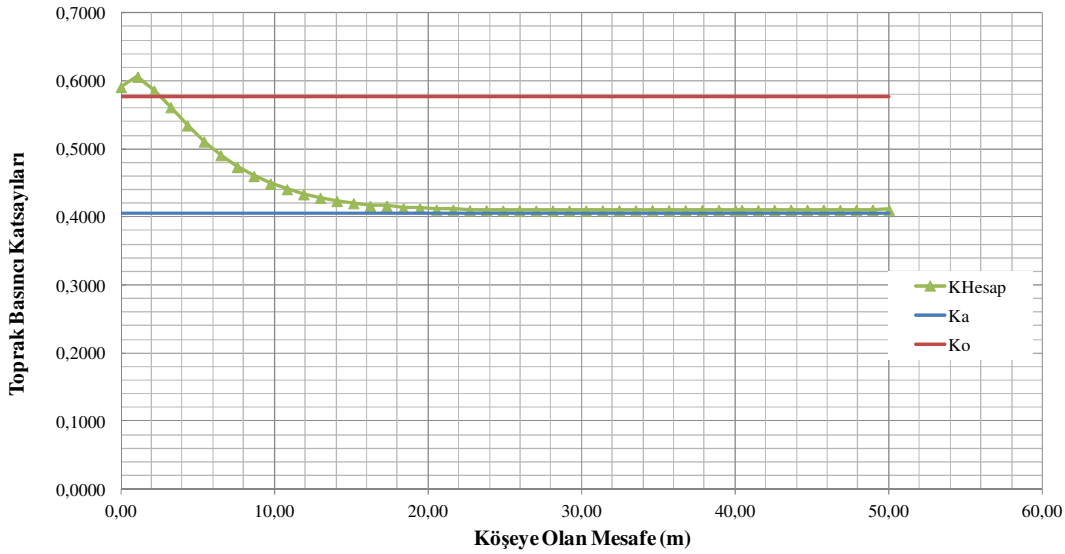
Şekil A.32 : Yarı katı kil H=8.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi.



Şekil A.33 : Yarı katı kil H=8.0 m derinlik - deplasman ilişkisi.



Şekil A.34 : Yarı katı kil H=8.0 m derinlik - gerilme ilişkisi.



Şekil A.35 : Yarı katı kil H=8.0 m köşeye olan mesafe toprak basıncı katsayıları ilişkisi.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad:	Sercan Özkorkmaz
Doğum Yeri ve Tarihi:	Diyarbakır, 02.09.1982
Adres:	Üsküdar / İstanbul
E-Posta:	sercanozkorkmaz@hotmail.com
Lisans:	Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği