İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAZI ÇUKURLARINDA DIŞBÜKEY KÖŞE ETKİSİ ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sermet TABUR

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAZI ÇUKURLARINDA DIŞBÜKEY KÖŞE ETKİSİ ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sermet TABUR
(501101312)

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. M. Tuğrul ÖZKAN

HAZİRAN 2014

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501101312 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Sermet TABUR,** ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **"KAZI ÇUKURLARINDA DIŞBÜKEY 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. İsmail Hakkı AKSOY** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Doç. Dr. Sadık ÖZTOPRAK İstanbul Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : **02 Mayıs 2014**
Savunma Tarihi : **03 Haziran 2014**

Aileme ve çok sevdiğim dedem Sermet Köle'ye,

ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca engin bilgisi ve tecrübelerinden yararlandığım, maddi manevi desteğini esirgemeyen değerli hocam Sayın Doç. Dr. M. Tuğrul ÖZKAN'a teşekkürü bir borç bilirim.
Tezin oluşturulması sırasında vermiş oldukarı destek ve yardımlardan dolayı Sayın İnşaat Yüksek Mühendisi Berra GÜRGÜÇ'e, Sayın İnşaat Yüksek Mühendisi Sercan ÖZKORKMAZ'a ve Sayın Elektrik Elektronik Mühendisi İsmail İŞBİLEN'e teşekkür ederim.
Ayrıca tezin oluşturulması süresince maddi manevi her türlü desteğini benden esirgemeyen sevgili aileme çok teşekkür ederim.

Haziran 2014

Sermet TABUR
İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **vii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
KISALTMALAR ..... **xi**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xiii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xv**
ÖZET ..... **xix**
SUMMARY ..... **xxi**
1. GİRİŞ **1**
2. YANAL TOPRAK BASINÇLARI **3**
2.1 Giriş 3
2.2 Rankine Teorisi 6
2.3 Coulumb Teorisi 9
2.4 İksa Sistemlerine Etkileyen Toprak Basınçları 13
3. DERİN KAZI DESTEKLEME SİSTEMLERİ **15**
3.1 Düşey Destek Elemanları 15
3.1.1 Betonarme keson kuyu 15
3.1.2 Fore kazıklar 22
3.1.3 Mini kazıklar 26
3.1.4 Püskürtme beton 29
3.1.5 Diyafram duvar 33
3.1.6 Palplanşlar 36
4. KONU İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR **39**
5. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZ VE PLAXIS **61**
5.1 Sonlu Elemanlar Yöntemi 61
5.2 Plaxis 3D Foundation Sonlu Elemanlar Programı 63
6. PARAMETRİK ÇALIŞMA **71**
6.1 Modelin Sonlu Elemanlar Ağ Boyutlarının Seçimi 71
6.2 Malzeme Özellikleri 74
6.3 Hesap Aşamaları : 76
6.4 Yapılan Analizler: 76
6.4.1 80.0 x 80.0 metre boyutlarındaki kazı çukurunda yapılan analizler 77
6.4.1.1 Gevşek kum H=5.0 m için yapılan analiz 77
6.4.1.2 Gevşek kum H=8.0 m'lik kesit için yapılan analiz 81
6.4.1.3 Orta sıkı kum H=5.0 m'lik kesit için yapılan analiz 84
6.4.1.4 Orta sıkı kum H=8.0 m'lik kesit için yapılan analiz 88
6.4.1.5 Yumuşak kil H=5.0 m'lik kesit için yapılan analiz 91
6.4.1.6 Yumuşak kil H=8.0 m'lik kesit için yapılan analiz 95
6.4.1.7 Yarı katı kil H=5.0 m'lik kesit için yapılan analiz 98
6.4.1.8 Yarı katı kil H=8.0 m'lik kesit için yapılan analiz 102
6.4.2 100.0 x 100.0 metre boyutlarındaki kazı çukurunda yapılan analizler 105

6.4.2.1 100.0 x 100.0 m kazı çukurunda gevşek kum H=5.0 m için yapılan analiz……..... 105
6.4.2.2 100.0 x 100.0 m kazı çukurunda gevşek kum H=8.0 m için yapılan analiz……..... 109
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER..... 113
KAYNAKLAR..... 119
EKLER 121
ÖZGEÇMİŞ..... 137

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_0 katsayıları (Yıldırım,2002) ...6
Çizelge 4.1: Yapılan analizinde kullanılan zemin parametreleri (Ou ve Shiau, 1998).....49
Çizelge 4.2: Yapılan analizinde kullanılan zemin parametleri (Ou ve Lai, 1994).....52
Çizelge 6.1: Analizde kullanılan zemin parametreleri 74
Çizelge 6.2: Zemin tipine göre oluşan deplasmanlar (Bowles, J.E, 1998) ……77
Çizelge 6.3: Zemin tipine göre oluşan deplasmanlar (NAVFAC DM7.2, 1982)…...77

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Duvar yer değiştirmesi –toprak basıncı ilişkisi..... 4
Şekil 2.2: Aktif ve pasif denge durumları..... 5
Şekil 2.3: Kohezyonsuz zeminlerde aktif ve pasif yanal toprak basınçları..... 7
Şekil 2.4: Kohezyonlu zeminlerde aktif ve pasif toprak basınçları..... 7
Şekil 2.5: Tabakalı zemin olması durumunda yanal toprak basınçları..... 8
Şekil 2.6: Yeraltı suyu olması durumunda yanal toprak basınçları..... 8
Şekil 2.7: Kohezyonsuz zeminde Coulomb Yöntemine göre aktif toprak basıncı… 10
Şekil 2.8: Kohezyonsuz zeminde Coulomb Yöntemine göre pasif toprak basıncı... 12
Şekil 2.9: Terzaghi ve Peck (1967) tarafından önerilen toprak basıncı dağılımları. 14
Şekil 2.10: Tschebotarioff tarafından önerilen toprak basıncı dağılımları Tschebotarioff (1951) (Yıldırım,2004)..... 14
Şekil 3.1: Betonarme keson kuyu. 16
Şekil 3.2: Keson kuyu kazısı. 17
Şekil 3.3: Keson kuyu kazısı. 18
Şekil 3.4: Keson kuyu donatı montajı. 19
Şekil 3.5: Keson kuyu kalıp yerleşimi. 20
Şekil 3.6: Keson kuyu beton dökümü. 21
Şekil 3.7: Derin kuyu imalat sonrası görünümü. 21
Şekil 3.8: Fore kazık şekilleri. 23
Şekil 3.9: Fore kazık makinesi. 24
Şekil 3.10: Fore kazık imalatı yapım aşamaları. 25
Şekil 3.11: Fore kazık imalatı. 26
Şekil 3.12: Mini kazık uygulaması. 29
Şekil 3.13: Püskürtme beton uygulaması. 31
Şekil 3.14: Püskürtme beton uygulaması. 31
Şekil 3.15: Kuru püskürtme beton agrega granülometrisi. 32
Şekil 3.16: Yaş püskürtme beton agrega granülometrisi. 32
Şekil 3.17: Diyafram duvar makinesi. 34
Şekil 3.18: Diyafram duvar makinesi. 34
Şekil 3.19: Çelik palplanş perde. 37
Şekil 3.20: Betonarme palplanş kesitleri. 37
Şekil 3.21: Ahşap palplanş kesitleri. 38
Şekil 3.22: Çelik palplanş kesitleri. 38
Şekil 4.1: Sistem rijitliğine bağlı abak (Clough ve O"Rourke, 1990). 40
Şekil 4.2: Kazı tarafında gözlenen düşey yerdeğiştirmeler (Yıldırım,2002). 40
Şekil 4.3: Köşe açılarına karşılık gelen stabilite faktörleri (Giger ve Krizek, 1975). 41
Şekil 4.4: 1. Sınıf için maksimum yatay deplasmanlar (Wong ve diğ., 1997) 42
Şekil 4.5: 2. Sınıf için maksimum yatay deplasmanlar (Wong, ve diğ., 1997). 43
Şekil 4.6: 1. Sınıf için yatay destek elemanına göre gözlenen maksimum yatay deplasmanlar (Wong, ve diğ., 1997) 43

Şekil 4.7: 2. Sınıf için yatay destek elemanına göre gözlenen maksimum yatay deplasmanlar (Wong, ve diğ., 1997).....44
Şekil 4.8: 1. Sınıf için dört farklı duvarda gözlenen toprak basınçları (Wong, 1997) 44
Şekil 4.9: 2. Sınıf için dört farklı duvarda gözlenen toprak basınçları (Wong, 1997) 45
Şekil 4.10: Sonlu eleman ağı sıkılığı ve sınır koşulları görüşü (Whittle ve diğ., 1993).....46
Şekil 4.11: Yanal deplasmanlarının karşılaştırılması (Whittle ve diğ., 1993).....47
Şekil 4.12: Kazı alanı ve inklinometre yerleşimi (Ou ve Shiau, 1998).....48
Şekil 4.13: Sonlu eleman ağı sıklığı görünümü (Ou ve Shiau, 1998).....49
Şekil 4.14: Deplasmanların karşılaştırılması (Ou ve Shiau, 1998).....50
Şekil 4.15: Chi-Ching binası kazı alanı ve inklinometre yerleşimi (Ou ve Lai, 1994). 51
Şekil 4.16: Chi-Ching binası sonlu eleman ağı sıkılığı (Ou ve Shiau, 1998) 52
Şekil 4.17: Chi-ching kazısında deplasmanların karşılaştırılması (Ou ve Shiau, 1998) 53
Şekil 4.18: Parametrik çalışmada kullanılan model geometrisi (Ou ve diğ., 1996). .54
Şekil 4.19: Parametrik kazı modeli üç boyutlu sonlu eleman ağı (Ou ve diğ., 1996). 55
Şekil 4.20: Birincil duvar uzunluklarının köşeye olan mesafesine bağlı maksimum deplasmanları (Ou ve diğ., 1996).....56
Şekil 4.21: Duvar uzunlukları köşeye olan mesafesine bağlı PSR oranları (Ou ve diğ., 1996). 57
Şekil 4.22: B/L ve köşeye mesafeye karşılık PSR oranları (Ou ve diğ., 1996).....58
Şekil 5.1: PLAXIS 3D yazılımında kullanılan sonlu elemanlar.....64
Şekil 5.2: Sonlu elemanlar ağının oluşturulması. 65
Şekil 5.3: Zeminde Mohr-Coulomb gerilme-şekil değiştirme davranışı modeli. 66
Şekil 5.4: E_{oed}^{ref} değerinin ödometre ile hesaplanması (Plaxis Material Manual, 2007).....67
Şekil 5.5: Elastisite modülü değerlerinin hesabı (Plaxis Material Manual, 2007). ...69
Şekil 6.1: 80.0 x 80.0 m kazı çukuru içerisine yapılan kazının plan görünüşü. 71
Şekil 6.2: 100.0 x 100.0 m kazı çukuru içerisine yapılan kazının plan görünüşü. ...72
Şekil 6.3: Modelin sonlu eleman ağı iki boyut görünüşü.....72
Şekil 6.4: Modelin sonlu eleman ağı sıklığı üç boyut görünüşü.....73
Şekil 6.5: Sınır koşullarının incelenmesi için toplam deplasman çıktı analizi.….....73
Şekil 6.6: İksa elemanı kesitleri.....75
Şekil 6.7: Gevşek kum H=5.0 m köşeden mesafe - deplasman ilişkisi. 78
Şekil 6.8: Gevşek kum H=5.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi. 78
Şekil 6.9: Gevşek kum H=5.0 m derinlik - deplasman ilişkisi. 79
Şekil 6.10: Gevşek kum H=5.0 m derinlik - gerilme ilişkisi.....80
Şekil 6.11: Gevşek kum H=5.0 m köşeye mesafe-toprak basıncı katsayıları ilişkisi. 80
Şekil 6.12: Gevşek kum H=8.0 m köşeden mesafe - deplasman ilişkisi.....81
Şekil 6.13: Gevşek kum H=8.0 m köşeden mesafe – gerilme ilişkisi.....82
Şekil 6.14: Gevşek kum H=8.0 m derinlik - deplasman ilişkisi. 83
Şekil 6.15: Gevşek kum H=8.0 m derinlik - gerilme ilişkisi.....83
Şekil 6.16: Gevşek kum H=8.0 m köşeye mesafe-toprak basıncı katsayıları ilişkisi. 84
Şekil 6.17: Orta sıkı kum H=5.0 m köşeden mesafe - deplasman ilişkisi.....85
Şekil 6.18: Orta sıkı kum H=5.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi. 86
Şekil 6.19: Orta sıkı kum H=5.0 m derinlik - deplasman ilişkisi. 86
Şekil 6.20: Orta sıkı kum H=5.0 m derinlik - gerilme ilişkisi. 87

Şekil 6.21: Orta sıkı kum H=5.0 m köşeye mesafe-toprak basıncı katsayısı ilişkisi..87
Şekil 6.22: Orta sıkı kum H=8.0 m köşeden mesafe - deplasman ilişkisi. 88
Şekil 6.23: Orta sıkı kum H=8.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi. 89
Şekil 6.24: Orta sıkı kum H=8.0 m derinlik - deplasman ilişkisi. 89
Şekil 6.25: Orta sıkı kum H=8.0 m derinlik - gerilme ilişkisi. 90
Şekil 6.26: Orta sıkı kum H=8.0 m köşeye mesafe-toprak basıncı katsayısı ilişkisi..91
Şekil 6.27: Yumuşak kil H=5.0 m köşeden mesafe - deplasman ilişkisi. 92
Şekil 6.28: Yumuşak kil H=5.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi. 92
Şekil 6.29: Yumuşak kil H=5.0 m derinlik - deplasman ilişkisi. 93
Şekil 6.30: Yumuşak kil H=5.0 m derinlik - gerilme ilişkisi. 94
Şekil 6.31: Yumuşak kil H=5.0 m köşeye mesafe-toprak basıncı katsayıları ilişkisi.94
Şekil 6.32: Yumuşak kil H=8.0 m köşeden mesafe - deplasman ilişkisi. 95
Şekil 6.33: Yumuşak kil H=8.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi. 96
Şekil 6.34: Yumuşak kil H=8.0 m derinlik - deplasman ilişkisi. 97
Şekil 6.35: Yumuşak kil H=8.0 m derinlik - gerilme ilişkisi. 97
Şekil 6.36: Yumuşak kil H=8.0 m köşeye mesafeoprak basıncı katsayıları ilişkisi. ..98
Şekil 6.37: Yarı katı kil H=5.0 m Köşeden mesafe - deplasman ilişkisi. 99
Şekil 6.38: Yarı katı kil H=5.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi. 100
Şekil 6.39: Yarı katı kil H=5.0 m derinlik - deplasman ilişkisi. 100
Şekil 6.40: Yarı katı kil H=5.0 m derinlik - gerilme ilişkisi. 101
Şekil 6.41: Yarı katı kil H=5.0 m köşeye mesafe-toprak basıncı katsayısı ilişkisi. .101
Şekil 6.42: Yarı katı kil H=8.0 m köşeden mesafe - deplasman ilişkisi. 102
Şekil 6.43: Yarı katı kil H=8.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi. 103
Şekil 6.44: Yarı katı kil H=8.0 m derinlik - deplasman ilişkisi. 104
Şekil 6.45: Yarı katı kil H=8.0 m derinlik - gerilme ilişkisi. 104
Şekil 6.46: Yarı katı kil H=8.0 m köşeye mesafe-toprak basıncı katsayısı ilişkisi. .105
Şekil 6.47: Gevşek kum H=5.0 m köşeden mesafe - deplasman ilişkisi. 106
Şekil 6.48: Gevşek kum H=5.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi. 106
Şekil 6.49: Gevşek kum H=5.0 m derinlik - deplasman ilişkisi. 107
Şekil 6.50: Gevşek kum H=5.0 m derinlik - gerilme ilişkisi. 108
Şekil 6.51: Gevşek kum H=5.0 m köşeye mesafe-toprak basıncı katsayısı ilişkisi. 108
Şekil 6.52: Gevşek kum H=8.0 m köşeden mesafe - deplasman ilişkisi. 109
Şekil 6.53: Gevşek kum H=8.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi. 110
Şekil 6.54: Gevşek kum H=8.0 m derinlik - deplasman ilişkisi. 111
Şekil 6.55: Gevşek kum H=8.0 m derinlik - gerilme ilişkisi. 111
Şekil 6.56: Gevşek kum H=8.0 m köşeye mesafe-toprak basıncı katsayısı ilişkisi. 112
Şekil A.1: Orta sıkı kum H=5.0 m köşeden mesafe - deplasman ilişkisi. 122
Şekil A.2: Orta sıkı kum H=5.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi. 122
Şekil A.3: Orta sıkı kum H=5.0 m derinlik - deplasman ilişkisi. 123
Şekil A.4: Orta sıkı kum H=5.0 m derinlik - gerilme ilişkisi. 123
Şekil A.5: Orta sıkı kum H=5.0 m köşeye mesafe-toprak basıncı katsayısı ilişkisi. 124
Şekil A.6: Orta sıkı kum H=8.0 m köşeden mesafe - deplasman ilişkisi. 124
Şekil A.7: Orta sıkı kum H=8.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi. 125
Şekil A.8 : Orta sıkı kum H=8.0 m derinlik - deplasman ilişkisi. 125
Şekil A.9 : Orta sıkı kum H=8.0 m derinlik - gerilme ilişkisi. 126
Şekil A.10: Orta sıkı kum H=8.0 m köşeye mesafe-toprak basıncı katsayı ilişkisi. 126
Şekil A.11: Yumuşak kil H=5.0 m köşeden mesafe - deplasman ilişkisi. 127
Şekil A.12: Yumuşak kil H=5.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi. 127
Şekil A.13: Yumuşak kil H=5.0 m derinlik - deplasman ilişkisi. 128
Şekil A.14: Yumuşak kil H=5.0 m derinlik - gerilme ilişkisi. 128
Şekil A.15: Yumuşak kil H=5.0 m köşeye mesafe-toprak basıncı katsayı ilişkisi. ..129

Şekil A.16: Yumuşak kil H=8.0 m köşeden mesafe - deplasman ilişkisi. 129
Şekil A.17: Yumuşak kil H=8.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi. 130
Şekil A.18: Yumuşak kil H=8.0 m derinlik - deplasman ilişkisi. 130
Şekil A.19: Yumuşak kil H=8.0 m derinlik - gerilme ilişkisi. 131
Şekil A.20: Yumuşak kil H=8.0 m köşeye mesafe-toprak basıncı katsayı ilişkisi. . 131
Şekil A.21: Yarı katı kil H=5.0 m köşeden mesafe - deplasman ilişkisi. 132
Şekil A.22: Yarı katı kil H=5.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi. 132
Şekil A.23: Yarı katı kil H=5.0 m derinlik - deplasman ilişkisi. 133
Şekil A.24: Yarı katı kil H=5.0 m derinlik - gerilme ilişkisi. 133
Şekil A.25: Yarı katı kil H=5.0 m köşeye mesafe-toprak basıncı katsayısı ilişkisi. 134
Şekil A.26: Yarı katı kil H=8.0 m köşeden mesafe-deplasman ilişkisi. 134
Şekil A.27: Yarı katı kil H=8.0 m köşeden mesafe – gerilme ilişkisi. 135
Şekil A.28: Yarı katı kil H=8.0 m derinlik - deplasman ilişkisi. 135
Şekil A.29: Yarı katı kil H=8.0 m derinlik - gerilme ilişkisi. 136
Şekil A.30: Yarı katı kil H=8.0 m köşeye mesafe-toprak basıncı katsayısı ilişkisi. 136

KAZI ÇUKURLARINDA DIŞBÜKEY KÖŞE ETKİSİ ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA

ÖZET

Derin kazılar yapılırken ortaya çıkan; yatay hareketlenmeler, oturmalar gibi olumsuz davranışları güvenli bir şekilde karşılayabilmek için iksa yapılarının yapılmasına ihtiyaç vardır. İmal edilen iksa sistemleri; güvenli ve ekonomik olmalıdır. Bunun yanında iksa sisteminin yapılacağı bölgedeki; zemin türü, komşu yapıların konumu, yer altı suyu koşullarının durumu ve kazı geometrisi gibi parametrelerin bilinmesi gerekmektedir. Birçok kazı çukurunda kazı köşeleri mevcuttur. Kazı çukurlarında köşenin etkisi birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir.

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte, sonlu elemanlar yöntemi ile çözümler yapan bilgisayar programları kullanılmaya başlanmıştır. Daha önce iki boyutlu çözümler yapan programlar kullanılmış daha sonra ise üç boyutlu çözüm yapabilen programları geliştirilmesi ile birlikte üç boyutlu çözüm yapan programlar kullanılmaya başlanmıştır. Üç boyutlu sonlu eleman analizlerinden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırıldığı zaman, iki boyutlu analizlerden elde edilen sonuçlara göre daha yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Bu çalışmada, üç boyutlu sonlu elemanlar programı olan Plaxis 3D Foundation V2.2 programı kullanılarak, dört farklı zemin tipi için farklı kazı derinliklerinde modeller oluşturulup köşe etkisinin deplasman ve yanal toprak gerilmeleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Konu ile ilgili çalışmalar bölümünde, konuya ilişkin gerçekleş olan çalışmalar ele alınmış ve sunulmuş, daha sonra ise 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.

Yapılmış olan 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 oluşturulmuştur. İksa yapısının konsol olduğu durum incelenmiştir. Analizde kullanılmış olan bütün modeller tek tabakalı zeminde kurulmuştur. Analiz sonuçlarında deplasmanlar, gerilmeler ve toprak basıncı katsayıları incelenmiştir.

Yapılan analizlerde köşe noktalarında deplasmanların en düşük değerlerde olduğu, köşelerden, her iki köşeye eşit mesafede bulunan merkez noktaya doğru uzaklaşıldıkça deplasmanın arttığı ve belirli bir mesafeden sonra yakın değerlere ulaştığı görülmektedir.

Gerilmeler incelendiği zaman ise en büyük gerilmelerin, köşe noktalarda oluştuğu ve köşelerden, her iki köşeye eşit mesafede olan merkez noktaya doğru gittikçe gerilmenin azaldığı ve köşe etkisi etki mesafesinden sonra da gerilmelerin 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_0 ve K_a ile ilişkisi de oluşturulmuş olan grafiklerde verilmiştir. Her model için yapılan hesaplarda, hesaplanan değerlerin köşeye yakın noktalarda büyük olduğu, bu mesafe arttık sonra K_{hesap} değerinin azaldığı ve köşe etki mesafesinden sonra Ka durumuna ulaştığı görülmüştür. Derinliğin artması ve zeminin rijitliğinin artmasının köşe etkisi etki mesafesine etkisi olduğu görülmüştür.

A STUDY OF CONVEX CORNER EFFECTS ON DIGGING PITS

SUMMARY

Retaining structures are needed in order to prevent negative behaviours, such as; horizontal pressures and settlements during deep excavations, safely. Retaining systems that are constructed need to be safe and economic. On the other hand, parameters such as; soil type, location of the adjacent structures, ground water conditions and the geometry of the excavation have to be known for the location where retaining structures are going to be constructed.

Advencements in technology provided people with the computer programs which are using finite element method for solutions. Initially these programs were offering solutions in 2D. However with the development of technology, programs offering solutions in 3d were developed later on. When the results obtained from 3D finite element analysis compared with the 2D version, results were improved significantly.

In this study, Plaxis 3D Foundation V2.2 software which is a 3D finite element program is used. Moreover with the help of this software different excavation depth models constructed for 4 different type of soil structures, in order to examine the effects of the corner on displacements and lateral soil stresses. Firstly the previous studies about the effect of the corner in the excavation pits are presented. Then a brief description about 3D finite element models and theoretical soil models are given. In the last section, constructed models are analyzed and results of this analysis are evaluated according to graphics.

In the analysis; 8 models are used for excavation pits with two different depths which both have 4 different type of soil structures. Moreover console which was a retaining structure was studied as well. All the models used in the analysis are contructed on a single soil layer. In the results of analysis displacements, stress and earth pressure coefficients are observed.

In the analysis it is found that the displacement is maximum in the center, while it is minimum on the corners.

Furthermore when stresses are observed in the models, opposite result are found which is minimum stres is found in the center while maximum stress is found on the corners, when depth is increasing in the soil.

Lateral earth pressure coefficient, K_{count}, is calculated by dividing the lateral soil stres by unit volume weight of the depth & soil. Kcount is calculated at varying distances from the corner for each model and each excavation elevation. Relationship of K_a and K_0 is presented with the graphics in the analysis part. It is observed that values, which are calculated for each model, are greater at the corner points. Moreover K_{count}

is decreased when the distance is increased and it reached K_a value after the effective corner effect distance. Finally it is found that rise of depth and stiffness of the surface have impact on corner effects' effect distance.

Results and Suggestions; There is a large volume of published studies describing the role of the effective distance when excavation corner is taken as a reference point. Lee and others (1998) stated that excavation corner effect can be controlled from the formula which obtained from excavation length (L)'s ratio to excavation depth (h).

Ou and others (1996) reported in their 2-D parametric study that variable primary and secondary wall lengths are important for defining the corner effect. Furthermore in their study, they found a relationship between 2-D analysis and 3-D analysis.

This paper examines the effect of the corner effect in console retaining structure on lateral earth pressure, displacement and lateral earth pressure's surface. Total of 8 models are used for excavation pits with two different depths which both have 4 different types of soil structures, in this study.

Results of the graphic obtained from the analysis of 3D model constructed in loose sand surface (semi-solid clay surface, medium stiff sand surface and soft clay soil surface) are as following:

80 x 80 m² "U shaped" excavation pits have minimum displacement values on the corners. Furthermore when the distance from the corner change, the displacement value increase. On the other hand when the depth is increased, the displacement value is decreased.

Following data obtained from 3D analysis; Model with the 5 meter excavation depth which is Model 1, the maximum displacement $\delta hmax$= 0,014 meter. Model with the 8 meter excavation depth which is Model 2, the maximum displacement $\delta hmax$= 0,023 meter. These values are in the range of used displacement.

When stresses are analyzed, it is found that stress on the corners reaches to the maximum value and stress is increasing according to the increase in dept for both models 1 and 2. In Model 1 after 10 meter and in Model 2 after 15 meter, stress values reached to equivalent values. Moreover, as the depth increased, corner effect was perceived far from the corner.

When earth pressure coefficient, Kcount, -obtained from both model 1 and model 2- is examined, it is found that as drifting away from the corner earth pressure coefficient Ko reaches to Ka. In Model 1 after 13.75 meter distance to the corner Ka value is obtained. While in Model 2 after 18.75 meter to the corner Ka value is obtained.

Results of the graphic obtained from the analysis of 3D model constructed in medium stiff sand surface are as following:

80 x 80 m² "U shaped" excavation pits have minimum displacement values on the corners. Furthermore when the distance from the corner change, the displacement

value increase. On the other hand when the depth is increased, the displacement value is decreased.

Following data obtained from 3D analysis; Model with the 5 meter excavation depth which is Model 1, the maximum displacement δhmax= 0,007 meter. Model with the 8 meter excavation depth which is Model 2, the maximum displacement δhmax= 0,012 meter. These values are in the range of used displacement.

When stresses are analyzed, it is found that stress on the corners reaches to the maximum value and stress is increasing according to the increase in dept for both models 1 and 2. In Model 1 after 10 meter and in Model 2 after 15 meter, stress values reached to equivalent values. Moreover, as the depth increased, corner effect was perceived far from the corner.

When earth pressure coefficient, Kcount, -obtained from both model 1 and model 2- is examined, it is found that as drifting away from the corner earth pressure coefficient Ko reaches to Ka. In both Model 1 after 13.75 meter distance to the corner Ka value is obtained. Similarly in Model 2 after 13.75 meter to the corner Ka value is obtained.

Results of the graphic obtained from the analysis of 3D model constructed in soft clay soil surface are as following:

80 x 80 m² "U shaped" excavation pits have minimum displacement values on the corners. Furthermore when the distance from the corner change, the displacement value increase. On the other hand when the depth is increased, the displacement value is decreased.

Following data obtained from 3D analysis; Model with the 5 meter excavation depth which is Model 1, the maximum displacement δhmax= 0,162 meter. Model with the 8 meter excavation depth which is Model 2, the maximum displacement δhmax= 0,257 meter. These values are in the range of used displacement.

When stresses are analyzed, it is found that stress on the corners reaches to the maximum value and stress is increasing according to the increase in dept for both models 1 and 2. In both Model 1 and Model 2, after 15 meter stress values reached to equivalent values. Moreover, as the depth increased, corner effect was perceived far from the corner.

When earth pressure coefficient, Kcount, -obtained from both model 1 and model 2- is examined, it is found that as drifting away from the corner earth pressure coefficient Ko reaches to Ka. In Model 1 after 20 meter distance to the corner Ka value is obtained. While in Model 2 after 15 meter to the corner Ka value is obtained.

Results of the graphic obtained from the analysis of 3D model constructed in semi-solid clay surface are as following:

80 x 80 m² "U shaped" excavation pits have minimum displacement values on the corners. Furthermore when the distance from the corner change, the displacement value increase. On the other hand when the depth is increased, the displacement value is decreased.

Following data obtained from 3D analysis; Model with the 5 meter excavation depth which is Model 1, the maximum displacement δhmax= 0,051 meter. Model with the 8 meter excavation depth which is Model 2, the maximum displacement δhmax= 0,077 meter. These values are in the range of used displacement.

When stresses are analyzed, it is found that stress on the corners reaches to the maximum value and stress is increasing according to the increase in dept for both models 1 and 2. In both Model 1 and Model 2, after 15 meter stress values reached to equivalent values. Moreover, as the depth increased, corner effect was perceived far from the corner.

When earth pressure coefficient, Kcount, -obtained from both model 1 and model 2- is examined, it is found that as drifting away from the corner earth pressure coefficient Ko reaches to Ka. In Model 1 after 8.75 meter distance to the corner Ka value is obtained. While in Model 2 after 20 meter to the corner Ka value is obtained.

In the light of the results, increase in the rigidity of the soil decreases the effectiveness distance of the corner effect.

Furthermore, in this study examines the 100 x 100 m² U shaped excavation pits with the same parameters in order to check the effect of the changes in excavation dimensions. After the analysis with different excavation dimensions, similar results obtained.

For the upcoming studies, horizontal shore factored retaining structures and excavations with various soil layers can be analyzed.

1. GİRİŞ

Günümüzde gelişen teknolojiyle birlikte hızla büyüyen şehirlerde artan nüfusların barınma ve çalışma ihtiyaçlarını karşılayabilmek adına büyük çok katlı yapılar, yine insanların rahat bir şekilde bir yerden bir yere gidebilmesi için, ulaşımlarını daha rahat sağlamak adına yollar, köprüler, metrolar gibi ulaşım sistemleri ve bunun yanında artan nüfusundan dolayı insanların kendi özel araçlarını park edebilmesi için otoparklar gibi yapıların yapılmasına ihtiyaç doğmuştur. Yüksek katlı yapılar, otoparklar, metrolar gibi yapılar yapılırken derin inşaat çukurlarının açılması gerekmektedir.

Bu kazıları güvenli bir şekilde yapabilmesi, can ve mal kaybına neden olmaması için, derin kazılar yapıldığı zaman ortaya çıkan yatay hareketlenmeler, oturmalar gibi olumsuzlukları güvenli bir şekilde karşılamak için iksa yapılarının yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. İksa sistemlerinin güvenli ve ekonomik bir şekilde tasarlanması için zemin türü, komşu yapıların konumu, yeraltı suyu koşulları ve kazı geometrisi gibi parametrenin bilinmesi gerekmektedir. Kazı çukurlarının birçoğunda gerek iç bükey gerek dış bükey kazı köşeleri bulunmaktadır.

Derin kazıların yapılması ve derin kazının yapıldığı esnada ve daha sonra zeminin ne gibi davranışlar göstereceğini öngörmek için birçok araştırmacı çalışmalar yapmıştır. Analizlerinde iki boyutlu sonlu eleman analizi kullanmışlardır. Ancak kazı doğada üç boyutlu bir durumdur. Gelişen teknolojinin yardımı ile üç boyutlu sonlu eleman analizleri bilgisayar programları ile bütünleştirilmiş ve iki boyutlu analizlere göre gerçeğe daha yakın sonuçlar bulunmasına imkan sağlamışlardır.

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

Köşe etkisinin doğru analiz edilmesi projelerde ekonomi sağlayabilir. Kazı çukurlarında köşenin etkisi daha önce birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir.

Özet olarak 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 ile ilgili yapılmış olan bazı çalışmalar verilmiştir, daha sonra 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

Yanal toprak basıncı problemleri, zemin mekaniği ve geoteknik mühendisliğinde sıkça ve en çok karşılaşılan sorunlardan birisidir. Destekleme yapıları; istinat duvarları, ankrajlı duvarlar, konsol iksa sistemleri, tünel şafları, derin kazıların desteklenmesi gibi mühendislik uygulamalarında, dayanma yapılarına etkiyecek olan yanal zeminin basınçlarını bilmemiz gerekmektedir. Destekleme sisteminin arkasında bulunan toprak kütlesinin yanal yöndeki hareketini sınırlarken herhangi bir derinlikte sisteme etki etmekte olan basınca "yanal toprak basıncı" denir.'' Yanal toprak basıncı, (2.1) bağıntısı ile hesaplanır.

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

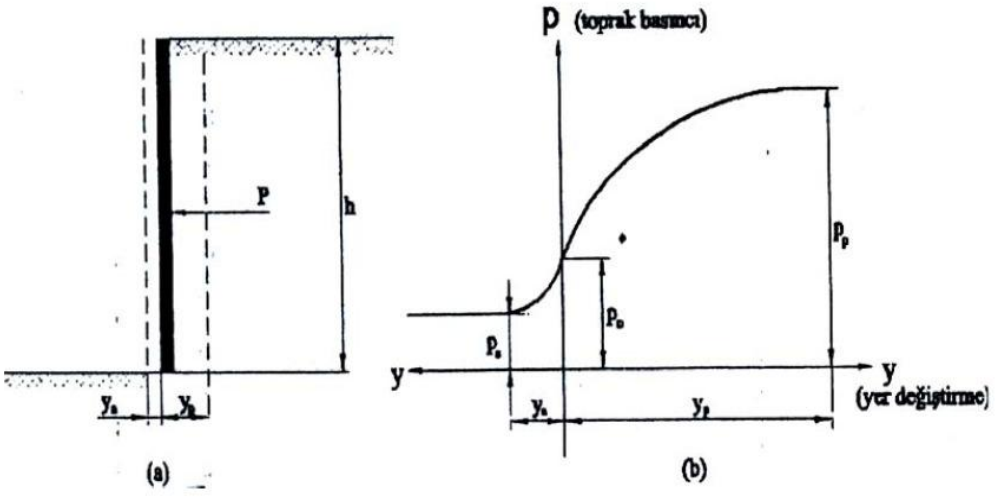
Bu bağıntıda p_h yanal toprak basıncını, p_v düşey basıncı, K ise yanal toprak basıncı katsayısını ifade eder.

İstinat yapılarına etkiyen toprak basınçları hesaplanırken, plastisite teorisinden yola çıkarak hareket eden Rankine Teorisi, Coulomb tarafından kurulan ve sonraları geliştirilmiş olan Kama Teorisi kullanılmaktadır. Bunun yanında ilave yüklerden ortaya çıkan yanal basınçların hesaplanmasında, elastisite teorisinden yararlanarak elde edilen formüller de mevcuttur. Arkasında zemin tutmakta olan bir istinat yapısı arka yüzü topraktan ileriye doğru yeterli miktarda hareket ederse Aktif Toprak Basıncı, istinat yapısı toprağa doğru yeterli miktarda hareket ettiği taktirde, Pasif Toprak Basıncı doğmaktadır. Eğer istinat yapısı hareket etmezse bu durumda ortaya çıkacak olan basınca da Sukünetteki Toprak Basıncı adı verilir.

Aktif Toprak Basıncı, destekleme sisteminin, duvarın arkasında bulunan zeminden, kazı içerisine doğru hareketi ile doğan ve kırılma anında ortaya çıkan minimum değerdir. Pasif Toprak Basıncı, zeminin kabarması ile birlikte meydana gelen kırılmadan dolayı duvarın maruz kaldığı basınçtır ve maksimum bir değerdir. Sukünetteki Toprak Basıncı, duvar hareketsiz halde iken ortaya çıkacağından aktif

toprak basıncından daha büyük bir değere sahiptir. Destekleme sisteminin duvarın hareketine göre oluşan yanal toprak basıncı değişimleri Şekil 2.1'de gösterilmiştir.

hareketine göre oluşan yanal toprak basıncı değişimleri Şekil 2.1'de gösterilmiştir.

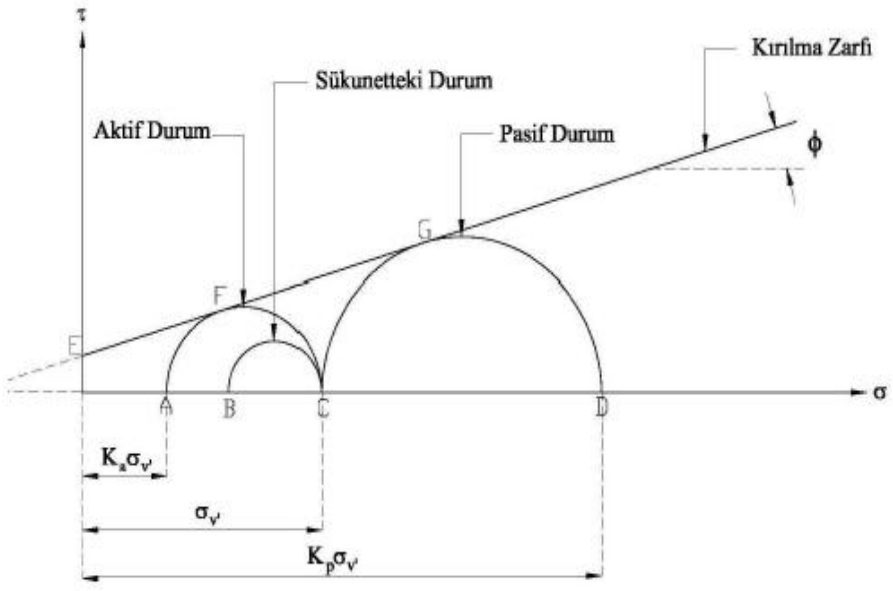


Şekil 2.1 : Duvar yer değiştirmesi –toprak basıncı ilişkisi.

Toprak basınçları zemindeki gerilmelerden ve yer değişimlerden ortaya çıkmaktadır. Yanal toprak basıncı hesabı yaparken kullanılan plastik sınır metodu Şekil 2.2'de verilen Mohr Dairesi ile gösterilebilir. Kayma düzleminde, zemin kütlesinin her bölgesinde plastik sınır koşulunu sağlanamaması ve kırılma çizgisinin kesin olarak elde edilebilmesi zor olduğu için, toprak basınçlarınun değerleri kesin olarak tespit edilemeyebilir. Çizgisel ve bölgesel kırılmaların oluşması için rölatif yer değiştirmelerin az olması durumunda, plastik sınır durumu oluşmaz. Şekil 2.2' de görünen kırılma sınırına gelene kadar toprak basıncı, sistemin elastik ve plastik yer değiştirmeleri incelenerek elde edilebilir. Yine de kayma sınırının analizi, zemin parametreleri elde etmede uygun ve ideal yaklaşım sağlamaktadır. Şekil 2.2' de sistemin göreli olarak hareketi sonucundan aktif veya pasif denge durumuna gösterilmektedir. C noktasını kesen ve kayma düzlemine teğet bir daire görülmektedir. Bu iki daire de plastik denge halindedir. AC dairesi aşırı konsolidasyon oranına göre sükunet K_o durumundadır. Plastik denge durumuna göre AC aktif toprak basıncını göstermektedir.

Normal gerilme ve kayma gerilme ilişkisinin doğrusal değiştiği düşünüldüğü varsayılarak aşağıdaki bağıntı yazılabilmektedir. Burada c terimi görünür kohezyon, Ø terimi zeminin içsel sürtünme açısı, σ terimi normal gerilme ve τ ifadesi ise kayma gerilmesi olarak tanımlanmaktadır.

$$\tau = \sigma + tan\phi \quad \textbf{(2.2)}$$



Şekil 2.2 : Aktif ve pasif denge durumları.

İstinat yapısının hiç hareket etmediği varsayıldığı zaman, toprak basıncı P_0 ile gösterilmektedir. Ve sukunetteki toprak basıncı olarak adlandırılır. Bu durumda düşey bir duvara z derinliğinde etkiyen P_0 değeri;

$$P_0 = \gamma . h . K_0 \quad \textbf{(2.3)}$$

olarak ifade edilir. İdeal ortamlarda, K_0 sukunetteki toprak basıncı katsayısı;

$$K_0 = \nu/(1-\nu) \quad \textbf{(2.4)}$$

ile ifade edilmektedir. Burada ν Poisson oranıdır.

Granüler zeminlerde,

$$K_0 = 1 - sin\phi \quad \textbf{(2.5)}$$

Bağıntısından hesap yapılabilmektedir. Aşırı konsolide killerde bu değer, aşırı konsolidasyon oranı (AKO)' na bağlı olarak,

$$K_0 = (1 - sin\phi)\sqrt{AKO} \quad \textbf{(2.6)}$$

şeklinde verilmektedir. Aşırı konsolide kil zeminlerde, K_0 değerinin 1 üzerine çıkabildiği ölçülmüştür.

Çizelge 2.1 : Değişik zemin türleri için alınabilecek K_0 katsayıları (Yıldırım,2002).

Zemin Türü	**K_0**
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 Rankine Teorisi

Kohezyonsuz zeminler için önerilen Rankine Teorisi, daha sonra kohezyonlu zemin ve diğer durumlar için genelleştirilmiştir. Rankine teorisi bir zemin ortamında, zemin ortamının plastik denge durumuna ulaştığı andaki gerilmeleri dikkate almaktadır. Eğer zemin ortamının her noktasında kırılma mevcutsa, böyle bir duruma plastik denge denir. Zeminin dokunulmammış durumdaki durumuna elastik denge denir. Rankine, problemleri ele alırken z derinliğinde bulunan bir zemin elemanının dengesini göz önünde bulundurmuştur. Eğer duvar dış tarafa doğru ötelenir ya da alt noktası etrafında öne doğru dönmeye başlarsa, zemin elemanında, düşey gerilmeler bir farklılık göstermezken yanal gerilmeler git gide azalır. İncelenmekte olan noktadaki düşey gerilmeye göre giderek azalan yanal gerilemeler en az değer düştüğü zaman zeminde göçme olmaktadır. Ulaşılan bu değere aktif zemin itkisi ismi verilmektedir. (σa) Duvar arkasında göçmeye ulaşıldığında, düşey gerilme büyük asal gerilme, aktif gerilme ise küçük asal gerilme değerindedir. Asal gerilmeler arasındaki oran, Mohr Dairesi yardımı ile belirlenmektedir.

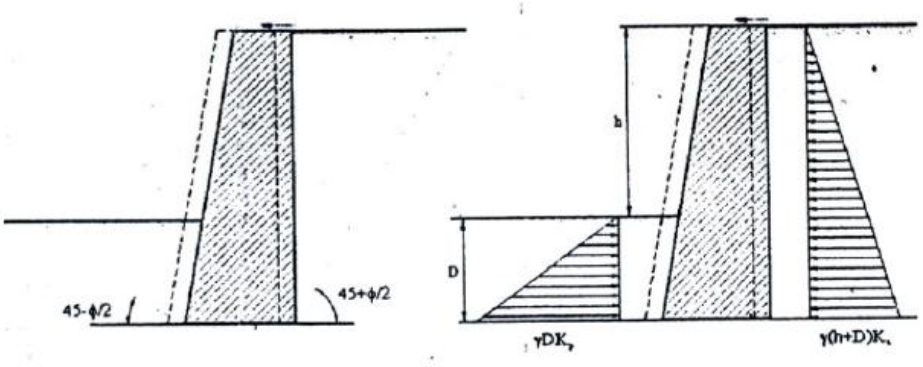
- Duvarla zemin ortamda bir sürtünme yoktur ($\delta = 0^0$),
- Zemin isotroptur,
- Zemin homojendir,

Kabullerini yapar (Kumbasar ve Kip,1999)

$$K_a = tg^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right) \quad \textbf{(2.7)}$$

$$K_p = tg^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) \quad \textbf{(2.8)}$$

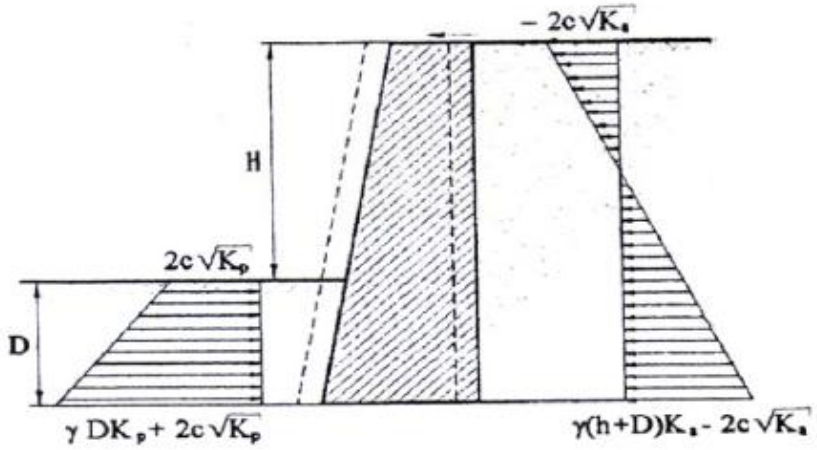
Arkasında zemin tutan bir istinat yapısı düşey (a=90), arkasında bulunan zemin yatay (β=0º) ve duvar/zemin arasındaki sürtünme açısı sıfır (δ=0º) ise herhangi bir z derinliğindeki noktaya etkiyen aktif toprak basıncı kohezyonsuz zeminlerde (2.9) bağıntısından (Şekil 2.3), kohezyonlu zeminlerde (2.10) bağıntısından elde edilir.



Şekil 2.3 : Kohezyonsuz zeminlerde aktif ve pasif yanal toprak basınçları.

$$P_a = \gamma . z . K_a \quad \textbf{(2.9)}$$

$$P_a = \gamma . z . K_p - 2 . c\sqrt{K_a} \quad \textbf{(2.10)}$$



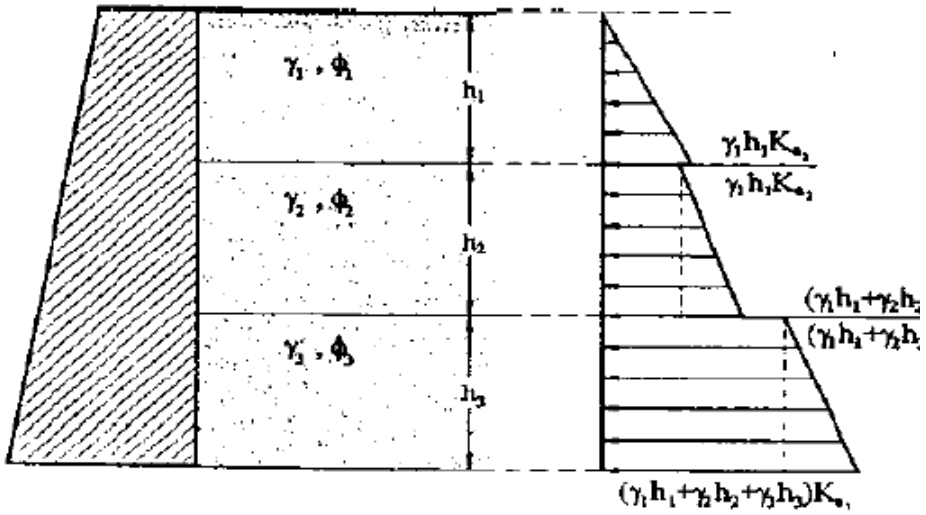
Şekil 2.4 : Kohezyonlu zeminlerde aktif ve pasif toprak basınçları.

Aktif itkinin ortaya çıkabilmesi için duvarın gevşek kumda 0.002H, sıkı kumda 0.0005H, yumuşak kilde 0.02H ve katı kilde 0.01H kadar dışa doğru hareket etmesi gerekmektedir. Pasif toprak basıncının değeri ise kohezyonsuz zeminler için (2.11) ve kohezyonlu zeminler için (2.12) bağıntısından hesaplanır (Şekil 2.4).

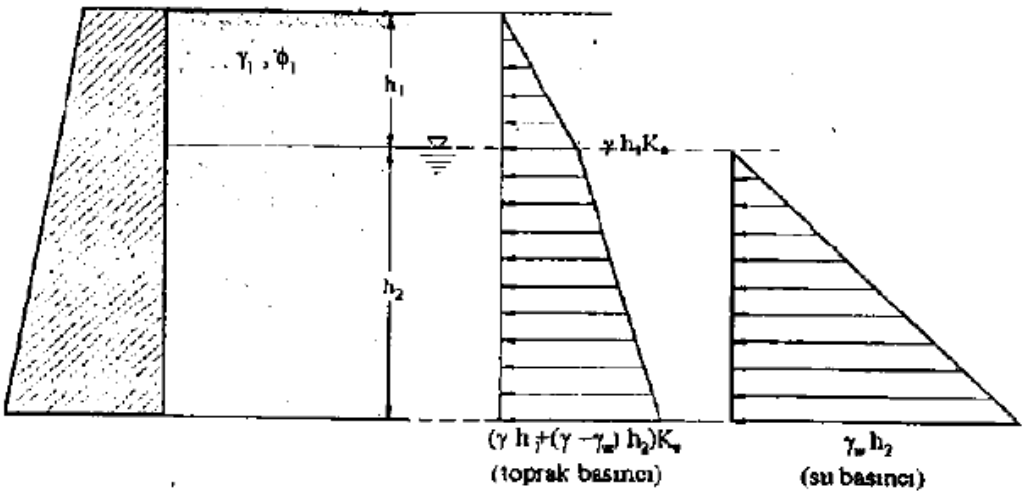
$$P_p = \gamma . z . K_p \tag{2.11}$$

$$P_p = \gamma . z . K_p + 2 . c . \sqrt{K_p} \tag{2.12}$$

Zeminin tabakalı olması halinde toprak basınçları, her bir tabakaya ait zemin özellikleri γ,Φ,c ve z koordinatları dikkate alınarak hesaplanır. Su olması durumunda ise, su altındaki birim hacim ağırlıklar kullanılmalı ve toplam yanal basınçlar hesaplanırken su basıncı da dikkate alınmalıdır (Şekil 2.5 ve Şekil 2.6).



Şekil 2.5 : Tabakalı zemin olması durumunda yanal toprak basınçları.



Şekil 2.6 : Yeraltı suyu olması durumunda yanal toprak basınçları.

2.3 Coulumb Teorisi

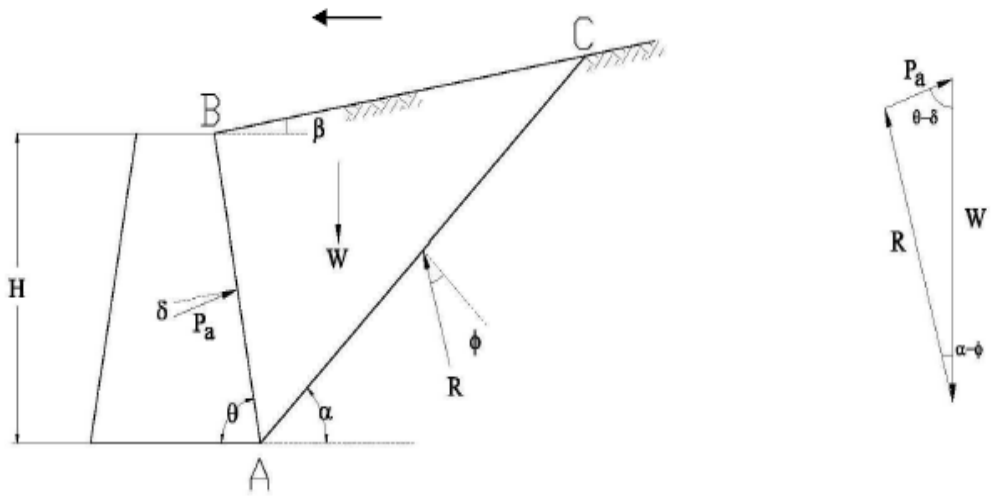
Coulomb (1776), duvar öne ya da arkaya doğru hareket ederken, duvar arkasında meydana gelen ve kayan zemin kitlesinin dengesini dikkate aldı. Kohezyonsuz zeminlerde, duvarın arkasından kaymakta olan kitle üçgen biçimindedir. Ve bu kayan kitle kayma düzlemi üzerinde kaymaktadır. Coulomb aşağıdaki kabulleri yapmıştır.

- Zemin izotrop ve homojendir.
- Kayma yüzeyi bir düzlemdir.
- Duvar ile zemin arasında sürtünme vardır.
- Sürtünme kuvvetleri kayma yüzeyi boyunca üniform olarak dağılmıştır.
- Kayma kaması rijit bir kütledir.
- Duvar arkasında yatay durumda olmaları halinde birden fazla zemin tabakası olabilir.
- Arkadaki zemin yüzeyi eğimli olabilir ancak bir düzlem olarak kabul edilir.
- Arkadaki zemin yüzeyini eğimli olması halinde bu dolgunun ya tamamen taban suyu seviyesi altında olduğu ya da tamamen üstünde olduğu varsayılır.

Kohezyonsuz zeminlerde, aktif durumda, duvar ön tarafa doğru hareket ederken, arkada oluşan üçgen kama da, aşağıya doğru kaymaktadır.

Coulomb Kama Teorisinin en önemli kabullerinden birisi de, duvar arkası ile zemin arasında sürtünme olduğudur. Gerçekte, duvar arkası pürüzlü olup, zemin ile duvar arasında sürtünme vardır. Coulomb, arkasında yatay olmayan zemin taşıyan, eğik bir sürtünmeli perdeye etki eden yanal basınçları kohezyonsuz zeminlerde c=0 ve ($\neq 90, \neq 0\ ve\ \neq 0$) koşulları için vermiştir.

Kohezyonsuz zeminler için, Şekil 2.7'de duvarın ferahlaması halinde, duvarın arkasında oluşacak olan, yatayla a açısı yapan kayma düzlemi AC düzlemi olarak gösterilmektedir. Bu kamaya etki eden kuvvetler şunlardır: ABC kamasının ağırlığı (W), zeminin duvara yaptığı itkiye karşılık, duvarın zemin kütlesine yaptığı Pa tepkisi ile AC düzlemi üzerindeki R reaksiyonu ile dengede tutulmaktadır. Pa tepkisi duvar düzlemine duvar sürtünmesi açısı δ kadar açı R birleşke kuvveti AC kayma düzlemine dik doğrultuda zemin sürtünme açısı, ϕ kadar açı yapacak şekilde etki etmektedir. Bu durumda ABC kamasının ağırlığı olan W duvar sürtünme açısı ve zemin sürtünme açıları bilindiğine göre Pa tepkisi ve R kuvveti bulunabilmektedir.



Şekil 2.7 : Kohezyonsuz zeminlerde Coulomb Yöntemine göre aktif toprak basıncı.

Bu denge koşulları analitik olarak çözümlendiği zaman aktif toplam basınç,

$$P_a = \frac{1}{2}\gamma \frac{1}{\sin\theta\cos\delta} K_a h^2 \qquad \textbf{(2.13)}$$

Bağıntısı ile hesaplanabilmektedir. Burada K_a Coulomb aktif toprak direnci olup **(2.13)** ifadesi ile hesaplanır.

$$K_a = \frac{\sin^2(\theta+\phi)\cos\delta}{\sin\theta\sin(\theta-\delta)\left[1+\sqrt{\dfrac{\sin(\phi+\delta)\sin(\phi-\beta)}{\sin(\theta-\delta)\sin(\theta+\beta)}}\right]^2} \qquad \textbf{(2.14)}$$

Duvar sürtünmesinin ihmal edilmesi durumunda ($\delta=0^0$)

$$K_a = \frac{sin^2(\theta+\phi)}{sin\theta^2\left[1+\sqrt{\dfrac{sin\theta\sin(\phi-\beta)}{sin\theta sin(\phi+\beta)}}\right]^2} \qquad \textbf{(2.15)}$$

duvar sürtünmesinin ihmali ve duvar arkasının düşey olması durumunda ($\delta=0^0$, $\Theta=90^0$)

$$K_a = \frac{cos2\phi}{\left[1+\sqrt{\dfrac{sin\phi\sin(\phi-\beta)}{cos\beta}}\right]^2} \qquad \textbf{(2.16)}$$

duvar sürtünmesinin olmaması, duvar arkasının dikey olması ve arkadaki zemin yüzeyinin yatay konumda olması halinde ($\delta=0^0$, $\Theta=90^0$,$\beta=0^0$)

$$K_a = \frac{1-sin\phi}{1+sin\phi} \quad \textbf{(2.17)}$$

ya da

$$K_a = tan^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right) \quad \textbf{(2.18)}$$

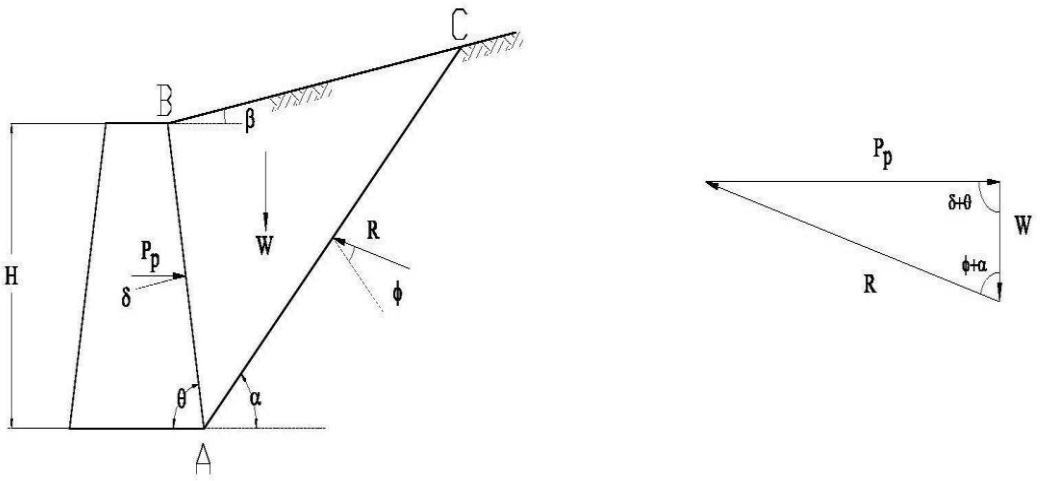
bağıntısı kullanılarak hesaplanır. Duvar arkasında kohezyonlu bir zemin bulunması halinde , kohezyonlu zeminin duvarda uyguladığı aktif toplam basıncı (2.18) ifadesi yardımı ile hesaplanır.

$$P_a = \frac{1}{2}\gamma' K_a h^2 - 2c\sqrt{K_a}h \quad \textbf{(2.19)}$$

Şekil 2.8'de Kohezyonsuz zeminler için, duvarın ferahlaması durumunda duvar arkasında oluşacak olan, yatayla α açısı yapan kayma düzlemi AC düzlemi olarak gösterilmektedir. Bu kamaya etki eden kuvvetler şunlardır; ABC kamasının ağırlığı olan (W), zemin duvara yaptığı itkiye karşılık duvarın zemin kütlesine yaptığı p_p tepkisi ile AC düzlemi üzerinde bulunan R reaksiyonu ile denge halindedir. p_p tepkisi duvar düzlemine; duvar sürtünmesi açısı, δ kadar açı yapacak; R bileşke kuvveti AC kayma düzlemine dik doğrultuda zemin sürtünme açısı, ϕ kadar açı yapacak şekilde aşağıdan etki etmektedir. Bu durumda ABC kamasının ağırlığı W duvar sürtünme açısı, δ ve zemin sürtünme açısı, ϕ bilindiğine göre, p_p tepkisi ve R kuvveti bulabilir. Yukarıdaki denge koşulu analitik olarak çözümlendiğinde pasif toplam basıncı, (P_a) aşağıda gösterilmiş olan (2.20) ifadesi ile hesaplanabilmektedir.

$$P_a = \frac{1}{2}\gamma \frac{1}{\sin\theta\cos\delta} K_a h^2 \quad \textbf{(2.20)}$$

$$K_p = \frac{\sin^2(\theta-\varphi)\cos\delta}{\sin\theta\sin(\theta+\delta)\left[1+\sqrt{\dfrac{\sin(\varphi+\delta)\sin(\varphi+\beta)}{\sin(\theta+\delta)\sin(\theta+\beta)}}\right]^2} \quad \textbf{(2.21)}$$



Şekil 2.8 : Kohezyonsuz Zeminlerde Coulomb Yöntemine göre pasif toprak basıncı.

(2.19) bağıntısının kullanılabilmesi için, $\delta<\phi/3$ olmalıdır. Aksi halde, kayma yüzeyinin eğri olarak kabul eden grafik metotlar ile hesaplanması gerekir. Duvar sürtünmesinin var olması durumunda ($\delta > 0^o$) pasif toprak basıncı gerçeğe göre daha yüksek sonuçlar verdiğinden, duvar sürtünmesi ihmal edilebilir. Bu durumda dik yüzeyli duvarlarda ($\delta=0^o$, $\theta=90^o$) pasif toprak basınç itkisi;

$$K_p = \frac{cos^2\phi}{\left[1-\sqrt{\frac{\sin(\phi)\sin(\phi+\beta)}{cos\beta}}\right]^2} \qquad \textbf{(2.22)}$$

arkadaki zemin yüzeyinin yatay olması durumunda,

$$K_p = \frac{1+sin\phi}{1-sin\phi} \qquad \textbf{(2.23)}$$

ya da,

$$K_p = tan^2\left(45+\frac{\phi}{2}\right) \qquad \textbf{(2.24)}$$

Bağıntıları ile hesaplanabilmektedir. Duvar arkasında kohezyonlu bir zemin mevcutsa, pasif toprak basıncı **(2.24)** ifadesi yardımı ile hesaplanır.

$$P_p = \frac{1}{2}\gamma' K_p h^2 + 2c\sqrt{K_p}h \qquad \textbf{(2.25)}$$

2.4 İksa Sistemlerine Etkileyen Toprak Basınçları

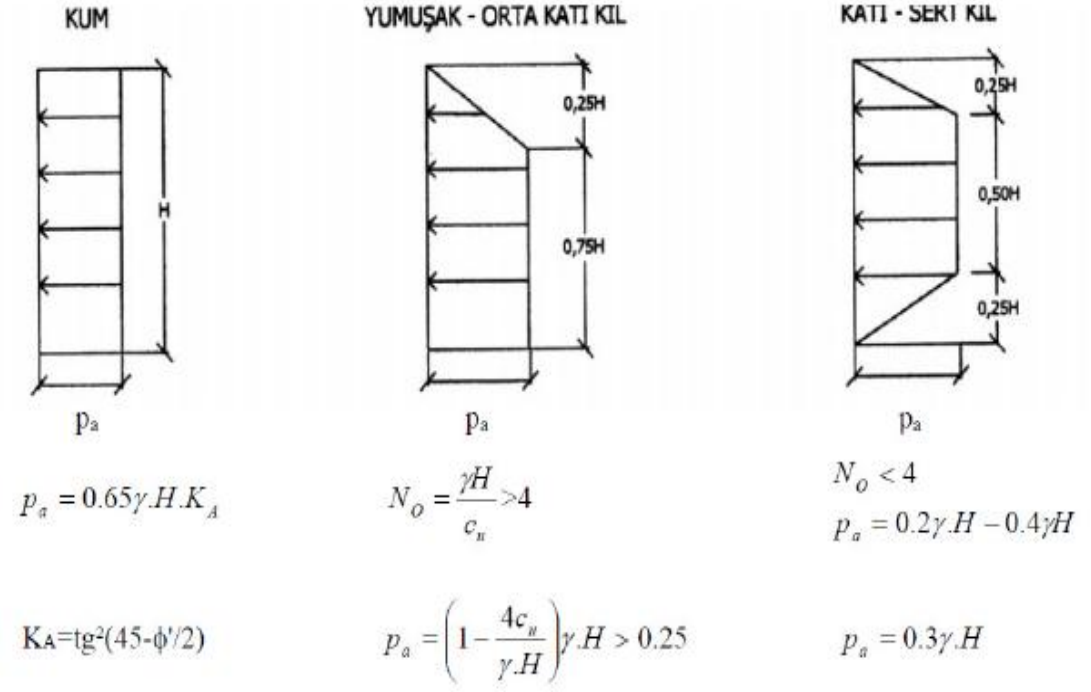
Rankine ve Coulomb tarafından geliştirilmiş olan toprak basıncı teorileri dayanma duvarlarına, zemine ankastre perde duvarlara, tek sıra yatay destekli ya da ankrajlı zemine sabit mesnetli veya ankastre perde duvarlara uygulanabilmekle birlikte, çok sıra yatay destekli veya ankrajlı destekleme sistemlerine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

Derin kazılarda kullanılan destekleme sistemlerinin rijitlikleri, istinat yapılarının rijitliklerine göre daha azdır. Bunun yanında destekleme sistemlerinde, bölgesel toprak basıncının yığılması sonucu destekleme sistemlerinin elemanlarında çok büyük yükler oluşmaktadır. Bunun sonucunda ise, sistemin tamamen göçmesine sebep olabilecek bir ardışık göçme mekanizması meydana gelebilmektedir. Bu nedenden dolayı, desteklerin tasarımı , desteklere gelebilecek yüklerin ortalamasına göre değil de ortaya çıkabilecek maksimum yatay destek yüklerine göre yapılmalıdır. Çok sıra ankrajlı destekleme sistemlerinin yapım sırasındaki davranışı şu şekilde açıklanabilmektedir (Berilgen,1996).

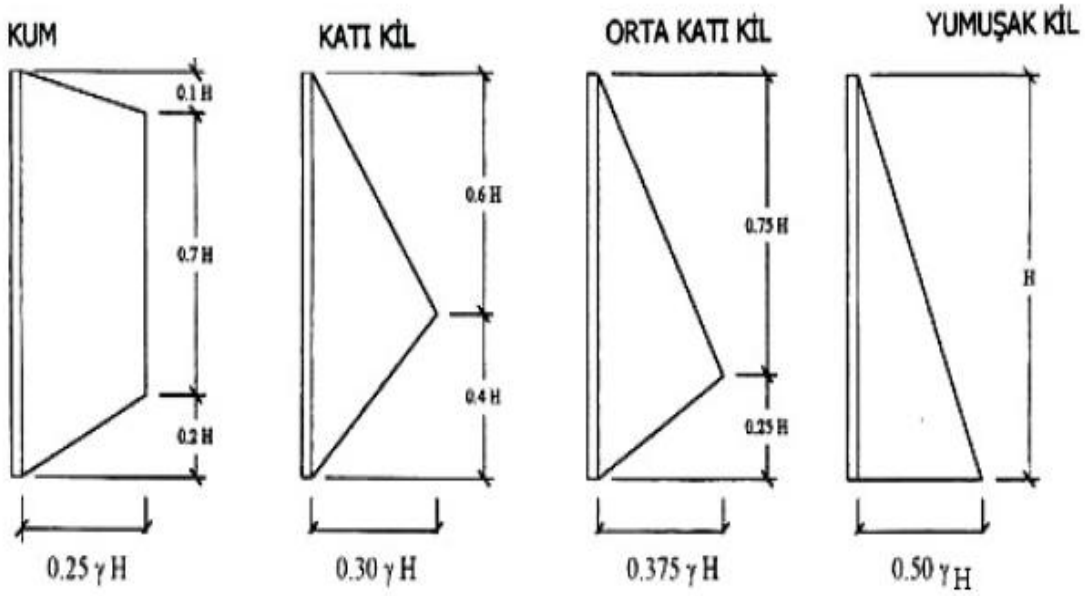
Düşey destekleme sistemi yapıldıktan sonra birinci sıra ankrajın yerleştirileceği kota kadar kazılır. Bu aşama esnasında sistem ankastre konsol gibi çalışmaktadır. Bunun sonucu olarak destekleme sistemi, aşağı doğru lineer olarak artan aktif toprak basıncına maruz kalmaktadır. Bu durumda, sistem kazı tabanı etrafındaki bir nokta etrafında dönerek hareket eder. İkinci aşamanın başlangıcında ilk sıra ankraj yerleştirilir. Bunun yapacağı itki ne kadar büyük olursa olsun destekleme sistemini ve zemini, kazı yapılmadan önceki durumuna döndüremez. Fakat ankraj üzerinde bulunan itki aktif toprak basıncından daha büyükse, destekleme sistemine etkiyen basıncı arttırır. Ankrajın yerleştirilmesi ile ortaya çıkan 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 beraber zeminde akmaya neden olur. İkinci sıra ankrajın gerilmesi, birinci sıra ankrajın tekrar gerilemsi ve bunun ardından yapılacak olan

kazı sebebiyle ortaya çıkacak 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 2.9 : Terzaghi ve Peck (1967) tarafından önerilen toprak basıncı dağılımları.



Şekil 2.10 : Tschebotarioff tarafından önerilen toprak basıncı dağılımları Tschebotarioff (1951) (Yıldırım,2002).

3. DERİN KAZI DESTEKLEME SİSTEMLERİ

Zemin içerisine yapılacak olan yapının inşa edilmesi için açılan çukura temel çukuru denir. Temel çukurunun açılması için yapılmış olan derin kazılar sırasında ortaya çıkan yatay hareketlenmeleri, ya da oturmalar gibi istenmeyen olumsuzlukları güvenli bir şekilde karşılamak gerekmektedir. Temel çukuru; güvenli duraylı şevler ile açık ya da dik-dike yakın eğimli çukur cidarın desteklendiği kazılar ile açılmaktadır (Başeski, 2008).

Kazı sisteminin ekonomik olması, bunun yanında güvenli bir şekilde tasarlanması için, zemin türü ve zeminin dayanımı, komşu yapıların yapılacak olan kazıya göre konumları, yer altı suyu koşulları, temel çukurunun açık kalacağı zaman, kazı şevinin korunabilmesi, kenar ve taban duraylığı, etrafta oluşabilecek yatay ve düşey yer değiştirmeler gibi parametrelerin araştırılıp kazı bölgesinde detaylı bir inceleme yapmak gerekmektedir.

Temel çukuru için yapılacak olan derin kazı esnasında, çevrede bulunan yapıların durumlarına ve zemin tabakasının karakteristik özelliklerine uygun olan bir destekleme sistemi seçilmelidir. Bu destekleme sistemi beton, ahşap veya çelik palplanş perdeler, diyafram duvarlar, yerinde dökme kazıklar, püskürtme beton ve zemin çivili duvarlar olabilir. Belli bir derinlik aşıldıktan sonra bu tür destekleme sistemlerinin yerinde güvenli durabilmesi için yatay desteklere veya payandalara, küçük alanlarda basınç halkaları ve ankrajların kullanılması gerekebilir.

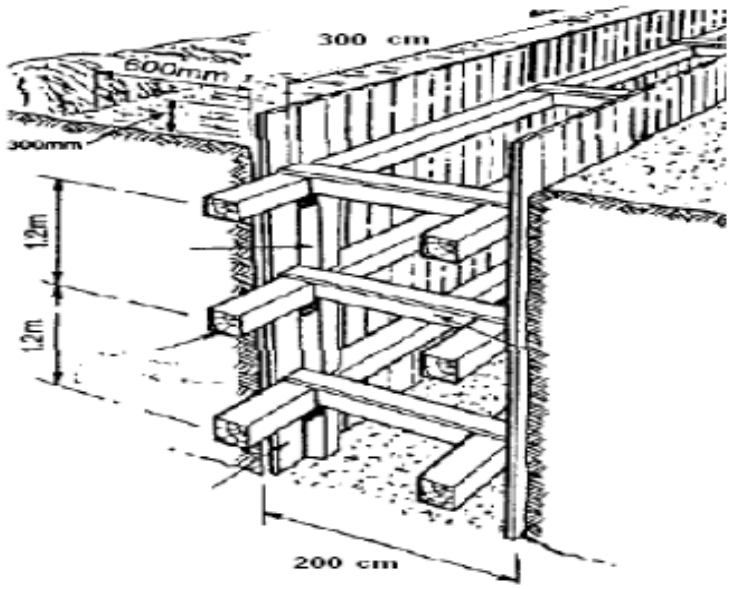
3.1 Düşey Destek Elemanları

3.1.1 Betonarme keson kuyu

Kuyu perdeler; insan gücü ile kazısı yapılan, zemin içerisine tek taraflı kalıplar kurularak imalatı tamamlanan betonarme elemanlardır. Bu tip yapılar, derin kazılarda destekleme elemanı olarak kullanılır. İşçilerin elle zemini kazarak (kompresör destekli tabancaların yardımı ile ve kazma kürek kullanılarak) basit bir vinç kullanılarak kazılardan çıkan hafriyat, kazı çukuru dışına aktarılır.Böylece, projede

öngörülmüş olan derinliğe kadar inilip daha sonra, projeye uygun donatının montajı yerleştirilir ve betonlama işlemi gerçekleştirilir.

Bu yöntem, yer altı suyunun ‘‘çok sert’’ ve ‘‘sert’’ zemin koşullarının olmaması koşulu ile 20-30 metre derinliğe kadar yatay düzlemde anolar halinde imal işlemleri gerçekleştirilir. Farklı geometriler için imalata imkan veren yöntem, özellikle dar alan ve yer kayıplarının en az seviyede tutulması gerektiği durumlarda, tercih edilen derin kazı destekleme sistemleridir. Perde yüzeyi izolasyona uygun, betonarme bir yüzey imkanı vermektedir.



Şekil 3.1: Betonarme keson kuyu.

Kuyu kazıları yapılacak istinat duvarının amacı ve yerine getireceği görevler konsol boyu, zemin cinsi ve arkasında bulunan zemin üzerindeki dinamik yükler, sabit yüklere bağlı olarak yapılan hesaplamalar sonucunda genel olarak 3m x 2.50m, 3m x 2.00m, 3m x 1.75m, 3m x 1.50m plan ebatlarında boyutlandırılarak kazılır. Kazı emniyetinin maksimum olarak istenildiği, kazı arkasında bulunan yapılarda çatlamalar, oturmalar, betonarme perdede deplasman istenmediği durumlarda 2m x 2m, 2m x 1.50m ebatlarında da yapılabilmektedir (Köse, 2011).

Kazı işlemine başlamadan önce, projede öngörülen ölçülerde sahaya aplikasyon yapılır. Aplikasyonu tamamlanmış olan kuyunun, zemin üst kotu seviyesinde ahşap destek elemanları yardımı ile kasası oluşturulur. Bu aşamadan sonra zemin kazısı işlemine başlanır. Kazı derinleştikçe, zeminin yapısına göre (dolgu, zayıf birimler, kaya, v.b) 20 mm kalınlığında tahtalar kullanılarak zeminin dökülmesi önlenmeli ve bu tahtaların sıklığı zemin yapısına göre belirlenmelidir.

Yumuşak zeminlerin kazısı el ile, sert kayaların kazısı ise havalı kırıcılar ile yapılır. Kazıdan çıkan hafriyat, kuyu ağzına kurulmuş olan vinç (gırgır vinç) vasıtası ile yüzeye çıkartılır ve kazı alanından uzaklaştırılır. Kazı sırasında karşılaşılması muhtemel olan yer altı suyu, pompalar vasıtası ile kuyudan uzaklaştırılır. Dökülebilecek durumda olan; kum, çakıl, çakıl, çamur malzeme ile karşılaşılması durumunda, ahşap destek elemanlar ve taşıyıcı ahşap destekler sıkıştırılmalıdır. Eğer gerekli olursa çok zayıf zemin tabakalarında çimento enjeksiyonu yapılarak zeminin iyileştirilmesi sağlanır.

Kazı işlemi, yağışlı havalarda yapılmamalıdır. Yağış durduktan sonra ve tüm güvenlik tedbirleri alındığı zaman çalışmaya başlanmalıdır. Kazıdan çıkan toprak, kazı kenarından en az üç metre ileriye atılmalıdır. Kova kancasına takılacak olan çelik halat en az üç adet U eklemesi ile bağlanmalı, kancanın kovadan kurtulmaması için gerekli önlemler alınmalıdır. Kovanın içerisine konacak olan her türlü malzemenin seviyesi, kova üst düzeyini geçmemelidir. Hareket esnasında kovanın savrulmaması için kova sapı kenarındaki kilitli mandal mutlaka kullanılmalıdır. Gırgır vincin hareket kolu ve el ile tutan diğer bölümlerdeki elektrik akımını etkisiz hale getiren yalıtkan haldeki malzeme sökülmemeli ve bu malzemenin üzerine tel sarılmamalıdır.



Şekil 3.2: Keson kuyu kazısı.



Şekil 3.3 : Keson kuyu kazısı.

Kuyu çevresinin belli bir mesafesine ağır iş makinelerinin yanaşmaması için engeller ve uyarıcı levhalar yerleştirilmelidir. Yerleştirilmiş olan bu levhaların gözle görülür olması gerekmektedir. Kuyu içerisinde çalışan birisinin olduğunu gösteren uyarıcı nitelikli bir bayrak ve/veya levha konulmalıdır.

Kazısı işlemi tamamlanmış olan ve zemin çeperlerinde reglajı yapılmış zemin yüzeylerine, projede öngörülmüş olan donatının montajı yapılmalıdır. Demirlerin kalıp yüzüne olan mesafesi; bloklar, askılar ve benzeri pas payı elemanları ile korunmalıdır. Demirin kalıba temasını önlemek için ve demir sıralarını birbirinden ayırmak amacı ile çakıl tanesi, kırmataş, tuğla parçası, madeni boru parçası ve ahşap blok gibi malzemeler kullanılmamalıdır. Demirlerin projelerde gösterildiği şekilde düzenli aralıklarla yerleştirilmesi gerekmektedir.

Komşu iki demir arasındaki serbest açıklık; kullanılan en büyük çaptaki demir çapından veya beton karışımına giren çakılın en büyük boyutundan küçük olmamalıdır. Demir; yerine yerleştirildikten, bağlandıktan sonra kalıp kurulmasına başlanır. Şekil ’te kuyu donatı montajı gösterilmektedir (Köse,2011).



Şekil 3.4 : Keson kuyu donatı montajı.

Uygun özelliklere sahip (kalınlık, ebat) playwood malzeme kulanılarak yeterli destekleme tamamlandıktan sonra beton dökümü yapılmalıdır. Kullanılacak olan bütün kalıpların, iskelelerin ve takviyelerin yeterli güvenlikte ve tasıma güçleri yeterli olmalıdır. Kalıp ve iskeleler TS 647 "Ahşap Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları" standardında belirtilen esaslara uygun olarak hazırlanmalı, birleştirilmeli, kurulmalı ve fazla deformasyon ve oturma yapmayacak şekilde düzenlenmelidir.

Kalıplarda kullanılan tahtalar (panelleri), beton sıkıştırılırken çimento şerbetinin akmasına engel olacak şekilde imal edilmeli, vibratör etkilerine karsı yeteri kadar dayanıklı olmalıdır. Kalıp tahtaları birleşme yerlerinde aralık kalmayacak şekilde imal edilmiş olmalıdır. Kalıplar kullanıldıkları süre içinde etkiyen bütün kuvvetleri güvenilir bir şekilde zemine aktarabilmelidirler.

Beton dökülmeden önce, kalıbın içerisi temizlenmelidir. Kalıp içerisine geçici olarak yerleştirilmiş olan gergi, destek ve kuşak gibi elemanların bulunması durumunda, beton seviyesi bunlara ulaştığı zaman, sökülmelidirler. Betonu tutacak olan kalıplar, beton dökülmeden önce ısıtılmış ya da yağlanmış olmalıdır. Beton dökülürken malzemede ayrışma olmaması ve donatıların hareket etmemesi gerekmektedir.Beton prize başladıktan sonra kalıplar hareket ettirilmemeli ve betondan çıkan donatılara herhangi bir kuvvet uygulanmamalıdır.



Şekil 3.5 : Keson kuyu kalıp yerleşimi.

Beton mümkün olduğu kadar yerleştirileceği yere yakın bir bölgeye dökülmelidir. Beton belirli bir bölgeye yığıp kürekle yerine yerleştirilmesinden uzak durulmalıdır. Betonu yerleştirirken, homojen olarak yerleştirmeye dikkat edilmelidir.Betonun yerleştirilmesi yapılırken büyük yığınların ve eğimli tabakaların oluşmaması için dikkat edilmelidir. Betonun dökümü sırasındaki gecikme ve duraklamalar önlenmeli ve bunun sonucu olarak ortaya çıkması muhtemel olan soğuk derzlere izin verilmemelidir.

Beton taşınması için kullanılacak olan transmikserler betonu homojen halde boşaltmaya uygun donanımlı olmalıdırlar. Tasıma sırasında, transmikserin betonyeri tasıma devrinde (yaklaşık 1-4 devir/dakika) çevirmelidir. Hazır betonun tasıma süresi; priz geciktirici kimyasal katkılar kullanılmamış ve çimentonun ilk priz süresi 2 saati geçmiş ise, en çok 2 saat ya da toplam 300 devirdir. Bunların hangisi küçük ise o tasıma süresi olarak kabul edilecektir.

Kalıba dökülen betonu, kalıbın her tarafına yaymak, donatıları iyice sarmasını sağlamak ve hava boşluklarını dışarıya çıkararak doluluğu arttırmak için vibratörle sıkıştırmak gerekmektedir. Her türlü beton sınıfında (kendinden yerleşen beton hariç), yerleştirme aşamasında, vibratör kullanmak şarttır.



Şekil 3.6: Keson kuyu beton dökümü.

Betonu dökülmüş olan kuyuları kalıpları, yaklaşık 24 saat sonra sökülmelidir. Daha sonra kuyu kazı boşlukları, kendinden yerleşebilir özellikte olan ve bununla birlikte kuyunun elastik deformasyonuna engel olmayacak özelliklere sahip olan malzemeler ile doldurulmalıdır.

Kuyu kazısı işlemi, 3 kuyu atlanarak yapılmalıdır. Bu kuyuların, beton dökme işlemi ve geri dolgusu tamamlanınca ortada bulunan kuyunun imalatına geçilmelidir. Orta kuyunun imalatı ve geri dolgusu tamamlanınca da geriye kalan iki adet kuyunun imalatı yapılmalıdır. Kazı sırasında şakülün kontrolü yapılarak buna göre kazı derinleştirilmelidir. Şekil 3.7' de imalatı tamamlanmış olan kuyu perde duvarlar gösterilmektedir.



Şekil 3.7: Derin kuyu imalat sonrası görünümü.

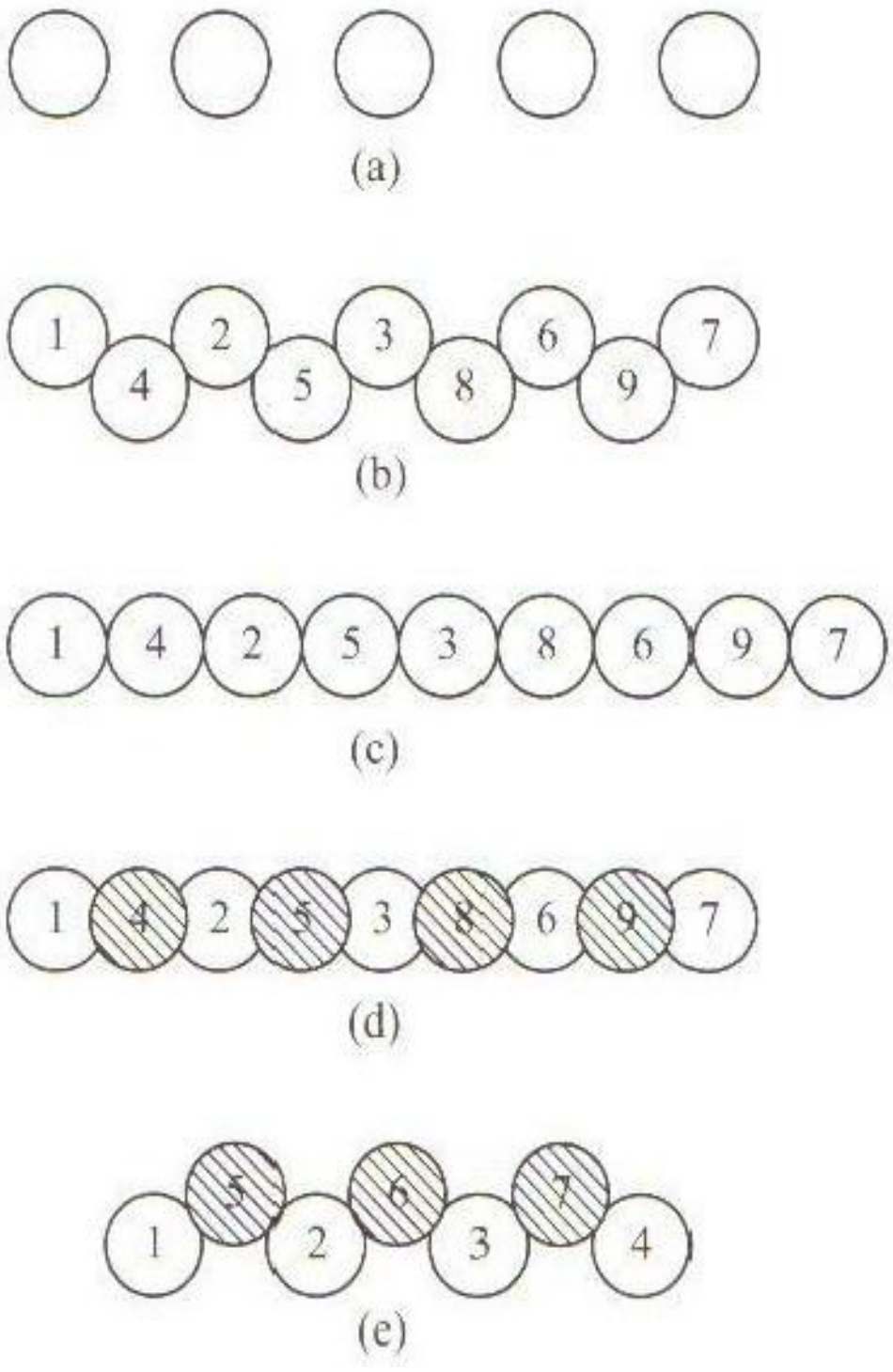
3.1.2 Fore kazıklar

Kazı derinliğinin artması ile palplanş çakımının zorlaştığı bölgelerde belli aralıklarla, birbirine teğet ya da bindirmeli olarak açılan kuyuların içerisine beton dökülerek veya prefabrik olan hazır elemanlar yerleştirerek destekleme yapısı oluşturulabilir. Kazıklar narin bir yapıya sahip olan elemanlardır. Kazıklı perdeler, çapları 65 cm ile 200 cm arasında değişiklik gösteren fore kazık olarak adlandırılan elemanlardan imal edilmektedirler.

Fore kazıklar, kazının derinliğine, yatay desteğin sıklığına, yer altı suyunun konumuna ve teşkil edileceği zeminin karakteristik özelliklerine göre belli kesitlerde, ve aralıklarda teşkil edilmektedirler. Fore kazıklar zemin ve yer altı suyunun durumuna göre şekil 3.8 gösterildiği gibi aralıklı, teğet ya da kesişen formatlarda imal edilebilirler. Kesişen fore kazıklar; yer altu su seviyesinin altında yapılan kazılarda sızdırmazlık sağlamak için imal edilirler; teğet kazıklar, su problemlerinin olmadığı ancak kazıklar arasından zemin malzemesi boşalma riski bulunan zeminlerde kullanılmaktadırlar. Aralıklı kazıklar ise, malzeme boşalma riski olmayan ve su sızdırmayan kendini tutabilen zeminlerde kullanılır.

Betonarme geniş çaplı kazıkların foraj işlemi, yüksek tork kapasitesine sahip kendi boru sürebilen, hidrolik delgi makineleri ile yapılır. Foraj işlemi yapılırken karşılaşılması muhtemel ve delgi güçlüğü yaşanacak sert tabakaların geçilmesine uygun özellikte makine ve ekipmanlar kullanılmalıdır.

Kazık kuyusunun açılması sırasında zeminin özelliklerine göre ve bunun yanında zeminin kendini tutabilme yeteneğine göre geçici koruma boruları kullanılabilmektedir. Özellikle yer altı suyunda akıntı mevcutsa ya da artezyen yapıyorsa, betondaki çimento şerbetinin sürüklenmesi ve agregadan ayrılma tehlikesi olduğu durumlarda, kazığın taşıyıcı olmayan zemin katmanları arasında bulunan bölümünde, betonun zemin içine doğru hareket ederek kazık gövdesinde şişkinlik meydana gelmesi durumunda, kazıkların yumuşak ve çökme tehlikesi bulunan zemiin katmanlarının içinde bulunduğu durumlarda kesinlikle kullanılmadırlar. Kazık kuyusuna indirilecek olan ya da ucu açık olarak zemine çakılacak çelik muhafaza borularının malzeme mukavemet sınıfı ya da et kalınlığı, dış ve iç çapları gerek çakma ve gerekse de çekme işlemleri esnasında gerekli olan performansı gösterecek nitelikte olmalıdır.



Şekil 3.8: Fore kazık şekilleri.

Betonarme geniş çaplı kazıkların delgi (foraj) işlemi, yüksek tork kapasitesi olan, kendi boru sürebilen, hidrolik veya mekanik fore kazık makineleri kullanarak yapılmaktadır. Delgi sırasında karşılaşılacak olan ve delgi esnasında zorluk yaşatacak sert tabakaların geçilmesi için uygun makineler ve ekipmanlar kullanılmalıdır. (Şekil 3.9)



Şekil 3.9 : Fore kazık makinesi.

Delgi esnasında zemin özelliklerine göre, kil matkabı sert tabakalarda, kaya matkabı, kaya kovası, tırpan; gevşek sulu zeminlerde ise eğer ihtiyaç varsa kova kullanılabilir. Eğer fore kazık çukurunun kendini tutamaması gibi bir durum olursa, kuyun göçmemesi için muhafaza borusu kullanılır. Muhafaza boruları yer altı suyunda akıntı bulunursa ya da artezyen yapıyorsa, betonun yıkanma durumu ve agregasından ayrılma tehlikesi bulunduğu zaman, kazıkların, yumuşak ve çökme tehlikesi olan zemin tabakalarının içinde bulunduğu durumlarda tercih edilmektedirler. Foraj işlemi, yer altı su seviyesinin üstünde olduğu durumlarda bile, muhafaza boruları zemine inişi, boru içi malzemenin dışarı çıkarılmasından önde gider ve boru alt ucu her zaman delgi yapılan kotun altında bulunur.

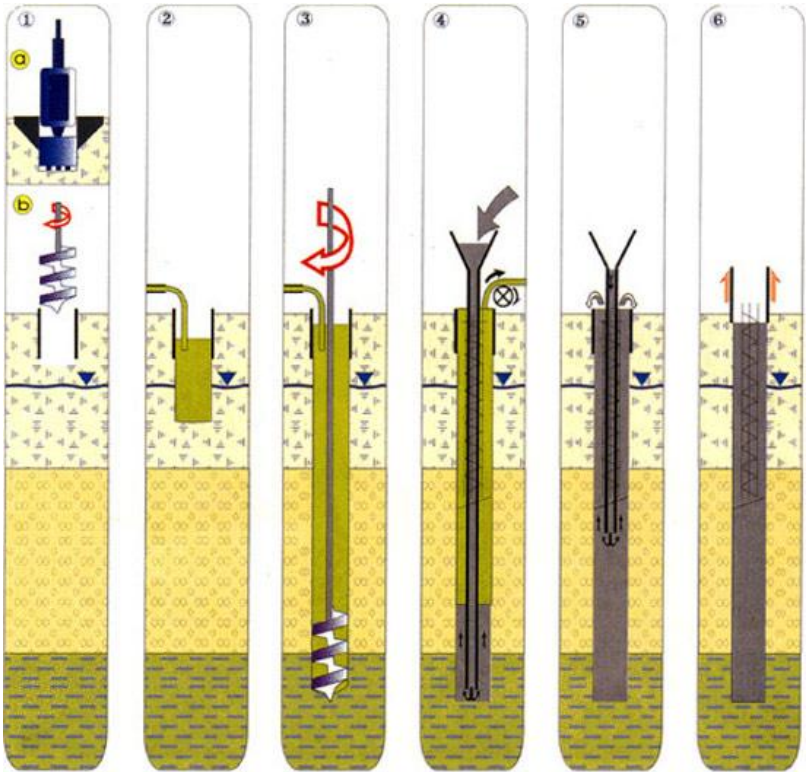
Geçici muhafaza boruları, beton işlenebilirliğini kaybetmeden çıkartılır. Beton ile boru arasında ‘‘sarılma/(necking)’’ ya meydan vermemek için boru çekilirken betonun eklenmesine devam edilir. Eğer muhafaza borusu yeterli değilse doğal ya da sentetik bentonit çözeltisinden faydalanarak kuyuların stabilitesi sağlanır. Bentonit

çamuru delgi ve betonlama sırasında duvarların göçmesini engeller. Bentonit tozu su ile tamamen karıştırılarak 12 saat bekletilir. Bentonit çamurunda kullanılan bentonit tozu, kazık deliği çeperinin stabilitesi sağlayacak miktarda ve genel olarak ağırlıkça %5 oranında olmalıdır. Eğer ihtiyaç varsa katkı maddeleri de kullanılabilir.

Donatı, kaldırma sırasında dağılmaması için 2m'de 1 yerleştirilecek olan iç halkaları ile kafes haline getirilir. Donatı kafesinin kirlenmemesi için donatı montaj sahası ve foraj sahası temiz tutulmalıdır ve bunun için gereken önlemler alınmalıdır. Hazırlanan donatı kafesi beton pas payı takozları yardımı ile teçhiz edilip, servis vinci kullanılarak, kafesin dağılmaması için doğru yerinden yavaş bir şekilde kaldırılıp kuyulara indirilir.

Donatı yerleştirme işlemi bittikten sonra beton dökme işlemine geçilir. Hemen betonlamaya fırsat bulunmayan durumlarda geçen süre içinde kazık tabanında bir şişme olabilir. Böyle bir durumda kuyunun yeniden temizlenmesi gereklidir.

Betonlama işlemi, servis vinci ile kuyu içine indirilen tremi borusu yardımı ile yapılır ve betonun ayrışması önlenir. Kullanılacak olan tremi borusunun çapı, kazık çapının 1/5'inden az olmamalıdır. Ayrıca boru çeperleri temiz, eğilme ve burkulmalara dayanabilecek bir dayanımda olmalıdır.



Şekil 3.10 : Fore kazık imalatı yapım aşamaları.



Şekil 3.11 : Fore kazık imalatı.

3.1.3 Mini kazıklar

Mini kazıklar; fore kazıklara göre daha küçük çapa sahip olan kazıklardır. Mini kazıkların patenti 1950-1952 yıllarında Flizzi tarafından kök kazıkları olarak alınmıştır. İlk defa bir İtalyan firması olan Fondedeli tarafından o yıllarda kullanılmaya başlanmıştır. Daha sonra 1970'li yıllarda kullanımları yaygınlaşmıştır. Mini kazıklar iksa sistemlerinde temel takviyelerinde, kazıklı temel sisteminde kullanılmaktadır. Mini kazıkların kullanım alanları, sondaj ve enjeksiyon sistemlerinin gelişmesiyle birlikte artmıştır. Mini kazıklar, büyük kazık makinelerinin giremeyeceği yerlerde ya da bina bodrumları gibi çalışma alanları kısıtlı olan yerlerde veya zemin yapısının fore kazık yapımına zorluk çıkaracak derecede sert olması durumlarında kullanılırlar. Mini kazıkların imalatı sırasında ortaya çıkan sarsıntının şiddeti ve ortaya çıkan gürültü daha azdır.

Mini kazıklar, yapım ve çalışma prensibi bakımından fore kazıklarla benzerlik göstermektedirler. Mini kazıkların çapları, 10 cm ile 30 cm arasında değişmektedir. 10-30 cm çapa sahip kazık çukuru açıldıktan sonra içine donatı yerleştirilerek, çimento şerbeti ya da ince agregalı çimento harcı enjekte etmek suretiyle imal edilirler.

Kazıkların delme işlemi, yüksek tork kapasitesine sahip olan, teleskobik kuleli hidrolik delgi makineleri ile yapılmaktadır. Delme işlemine proje derinliğine ulaşıncaya kadar devam edilir. Bu işlemin etkili bir şekilde ilerleyebilmesi için delik dibinde birikmiş olan malzemenin devamlı olarak dışarı atılarak deliğin temiz tutulması gerekmektedir. Bu işlem için hava, su ya da köpük kullanılır. Delik delme sırasında yetersiz temizlik yapılması bit sıkışmasına, tijlerin ek yerinden koparak tüm takımın delik içinde kalmasına sebep olmaktadır. Deliklerin temizlenmesi hava kompresörü ile yapılmalı ve içerisinde ilerlenen birimlerde göçme meydana gelmesi durumunda ise muhafaza borusu kullanılarak kuyuların göçmesi engellenmelidir.

Mini kazıkların uç kısımlarının kayaya oturması haricinde, yükü zemine, kazık çevre sürtünme yüzeyinden aktarmaktadır. Eğer mini kazıklar çekme kazığı olarak kullanılırsa minimum boyları 10 metre ve kazığın yük aktaran kısmının zemin yüzeyinden en az 5 metre derine yerleştirilmesi gereklidir. Mini kazıklar yatayda 10^0'den düşeye kadar farklı eğimlerle imal edilebilmektedirler.

Mini kazık ucunun kayaya oturması haricinde, yükü zemine, kazık çevre sürtünme yüzeyinden aktarmaktadır. Mini kazıklar, çekme kazıkları olarak kullanılabilmektedirler.

Mini kazık delgisi; darbeli, rotary ve diğer sistemler ile çalışan makineler yardımı ile yapılmaktadır. Gravak zeminlerdeki delgi işlemleri sırasında, rotary delici, kompresör delik dibi tabancası kullanılmaktadır. Yapılan delgi esnasında ve sonrasında açılan kuyunun çökmesine karşı muhafaza boruları kullanılabilmektedir.

Mini kazıkların delgisine başlamadan önce, mini kazığa ait olan donatı kafesi hazırlanmalıdır. Donatı kafesleri, projede belirtilmiş olan çap ve adette, uygun nitelikli nervürlü donatı çeliği ile hazırlanmalıdır. Donatı kafesinin kirlenmemesi için, donatı montaj sahası ve delginin yapılacağı alan temiz tutulmalıdır. Eğer donatı kafeslerinin boyu 12 metre'yi geçerse, kafeslerin eklenmesi için bağ teli kullanılmalıdır. Bunun yanında donatı kafesinin çok ağır ya da uzun olması halinde gerekirse klemens kullanılarak bağlantı işlemi yapılabilir. Hazırlanmış olan donatı kafesi, beton pas payı takozları ile teçhiz edilip, servis vinci yardımı ile, kafesin dağılmaması için doğru yerden kaldırılıp yavaş bir şekilde taşınıp kuyulara indirilmelidir. Delme işlemi tamamlandıktan sonra, donatı kafesi kuyuya yerleştirilerek, en geç aynı gün içinde beton dökme işlemi yapılmalıdır. Kuyu başına

gelecek olan beton yüksek slamplı olmalıdır. Bunun yanında priz almaya başlama süresi minimum 3 saat olmalıdır. Betonlama işlemi, beton pompası kullanılarak ya da doğrudan boşaltma metoduyla aralıksız olarak yapılmalıdır. Beton döküm hızı en az 15 m^3/saat olmalıdır. Beton, kuyu içerisinde yükseldikten sonra, vibrasyon uygulanmalı ve betonlama işlemi kuyu ağzından temiz beton gelene kadar devam etmelidir. Kazıklarda betonlama için gereken şartlar oluşmuyorsa (derin kuyu, yer altı suyu durumu ve kuyu içi yıkıntı olması vb.) gibi kazık imalatı enjeksiyon uygulaması ile yapılabilir. Böyle durumlarda imalat esnasında, çimento, kırmataş ve temiz su kullanılmaktadır.

Enjeksiyon yapı sırasında kullanılacak olan makine ve ekipmanlar, basınçlı enjeksiyon pompası, dinlendirici, enjeksiyon hortumu ve mikserden ibarettir. 20/4-6PE hortum, projeye uygun olarak hazırlanan donatı kafesi boyunca donatı dibine ulaşacak şekilde bağlanmalıdır. Hortuma, kuyu dibinde 50 cm aralıklar ile 3-5 adet delik açılarak geçici olarak bant yardımı ile kapatılmalıdır. Delme işlemi bittiği zaman, donatı kafesi kuyu içerisine yerleştirilmeli ve kuyu, ağzına kadar kırmataş veya sadece kırmataş ile doldurulmalıdır. Enjeksiyon istasyonunda hazır olarak bulunan karışım, donatıya bağlı hortum vasıtası ile kesintisiz olarak kuyu içerisine verilir. Enjeksiyon alışı kuyu ağzından temiz enjeksiyon karışımı gelene kadar sürdürülmelidir.

Enjeksiyon ağırlıkça su/çimento oranı 0.50 olmalı, enjeksiyon sırasında alınan 100mm'lik küp numunelerin 28 günlük basınç dayanımı minimum 40MPa olmalıdır. Enjeksiyon içerisinde bulunan sülfat oranı çimentonun %4'ünü ve enjeksiyon içerisindeki klorit miktarı %0.1'i geçmemelidir. Katkı maddeleri sadece, işlenebilirliği az olan ya da duraylılığı iyileştirmek, terlemeyi ya da büzülmeyi azaltmak veya priz hızını arttırmak için kullanılmaktadır. Kimyasal katkı malzemeleri, enjeksiyon şerbetinin kendisine zarar verebilecek herhangi bir madde bulundurmamalıdır. Katkı maddeleri, kütlesinin %1'inden daha fazla klorik, sülfat ya da nitrat gibi maddeler bulundurmamalıdır.

Mini kazıklar bir çeşit düşey destekle sistemi olup, fore kazıkların imal edilemeyceği ya da fore kazık makinelerinin giremeyeceği ve çalışamayacağı kadar dar olan çalışma sahalarında imal edilen ve çalışma prensibi bakımından fore kazıklarla benzerlik gösteren düşey destekleme elemanlarıdır. Bunun yanında fore kazıklara göre önemli bir artısı imalatları sırasında daha az gürültü ve sarsıntı çıkarmalarıdır.



Şekil 3.12 : Mini kazık uygulaması.

3.1.4 Püskürtme beton

Püskürtme beton, yoğun ve homojen yapıya sahip bir kütle oluşturmak için, uygulanacağı yere kapalı bir hortum ya da tüple iletilip, bir püskürtme ucu (nozul) vasıtası ile yüzey üzerine yüksek hızda püskürtülen, çimento-sı-agrega ya da çimento-su-agrega-kimyasal ve mineral katkı karışımlarıdır. Püskürtme beton ‘‘kuru sistem’’ ya da ‘‘yaş sistem’’ olmak üzere iki yöntemle uygulanabilir.

Kuru sistem;kum,çakıl karışımı agrega ve çimentonun ya da kum, çakıl karışımı agrega,çimento ve mineral katkıların (uçucu kül, silis dumanı vb.) ağırlık ölçekli bir plentte oluşturulan karışımına püskürtme işleminin yapılacağı yerde priz hızlandırıcı kimyasal toz katkının ilave edilip basınçlı hava ve hortum yardımıyla püskürtme ucuna (nozula) iletilip, bu noktada karma suyunun verildiği yada püskürtme ucuna basınçla iletilen “kuru karışıma” karma suyuna homojen olarak katılmış sıvı tip priz hızlandırıcı katkının püskürtme ucunda verilerek püskürtme işleminin yapıldığı sistemdir.(Köse,2011)

Yaş sistem; kum çakıl karışımı agrega ve suyun ya da kum, çakıl karışımı agrega, çimento, su, kimyasal ve mineral katkıların ağırlık ölçekli bir tesiste oluşturulan karışımının uygun bir donanım ve hortum yardımıyla püskürtme ucuna nakledilip bu

noktada priz hızlandırıcı katkı ilave edilerek püskürtme işleminin yapıldığı sistemdir (Köse,2011).

Püskürtme beton sınıfına giren bütün malzemelerin her biri, kum, çakıl, çimento, su, kimyasal ve mineral katkılar, belirtilen tüm fiziksel özellikler yönünden püskürtme betonda kullanılabilecek özeliklere sahip olmalıdırlar.

Kullanılacak olan çimento, TS EN 197-1 standardına uygun olmalıdır. Çimentonun türü ve miktarı, beton için öngörülmüş olan bütün karakteristik ve performans özelliklerinin şartlarını sağlamalı ve beton üretim teknolojisi şantiye uygulama şartlarına uygun olacak şekilde, şantiyede yapılacak ön deneme karışımları ve uygulamaları ile belirlenmelidir.

Özel uygulamalar dışında çimento miktarı; tipi ne olursa olsun, kullanılan agreganın maksimum dane boyutu durabilite ve minimum çimento dozajı nedenleriyle, kuru sistemde 350 kg/m3'ten, yaş sistemlerde 400 kg/m3'ten az olmamalıdır. Bunun yanında dayanım ve durabilitenin sağlanması esastır. Çimentonun miktarı, kuru ve yaş sistemlerde 500 kg/m3'ü geçmemelidir.

Püskürtme betonda aranmakta olan özelliklerin 500 kg/m3 ile sağlanamaması durumunda, çimento tipi değiştirilmelidir. Çimentonun ilk priz ve son priz zamanları belirlenmeli ve çimentonun su ile temas ettiği andan itibaren, betonun püskürtülüp yerine yerleştirilmesi ve yüzey bitirme işlemleri tamamlanana kadar geçen süre; çimentonun ilk priz süresini aşmamalıdır. Çimentonun ilk priz süresi tamamlandığında hala daha yerine püskürtülüp yerleştirilmemiş beton bulunuyorsa, bu beton kesinlikle kullanılmamalıdır.

Püskürtme beton hazırlanması için kullanılan agrega TS 706 EN 12620 ''Beton Agregaları''nda verilen agrega özellikleri ve şartlarını sağlamak zorundadır. Agrega; temiz sağlam ve dayanıklı olmalı ve bunun yanında içerisinde zararlı miktarda toz, çamur kil ya da organik yapılı yabancı maddeler içermemelidir. Püskürtme beton uygulaması sırasında, dane büyüklüğü 16mm'den büyük olan agregalar kullanılmamalıdır. En büyük agreganın dane büyüklüğü, dağıtım hortumunun çapının 1/3'den büyük olamamalıdır. Kuru karışım püskürtme beton metodunda kullanılacak kum ise, kütlece %3 ile %6 arasında rutubete sahip olmalıdır. Yaş sistemde ise agreganın rutubeti, beton pletinde beton bileşenleri karıştırılmadan önce

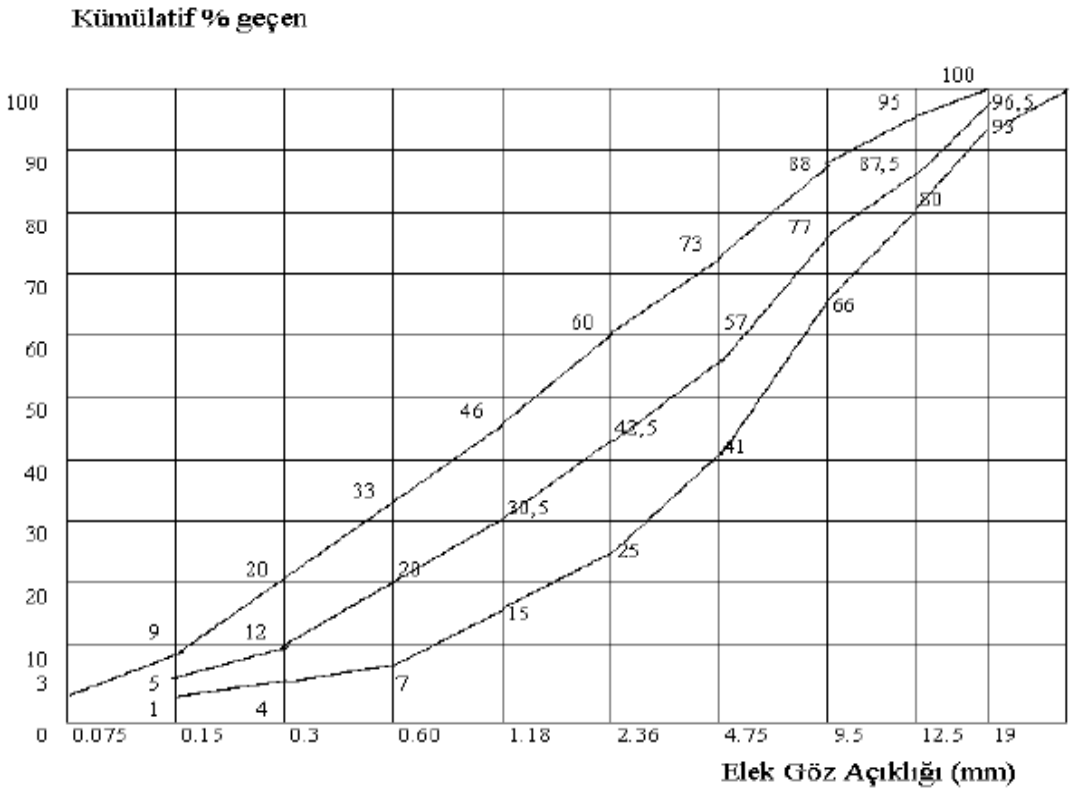
mutlaka belirlenmelidir. Püskürtme betonunda kullanılacak agregaların granülometrisi Şekil 3.13 ve Şekil 3.14 gösterilmektedir.



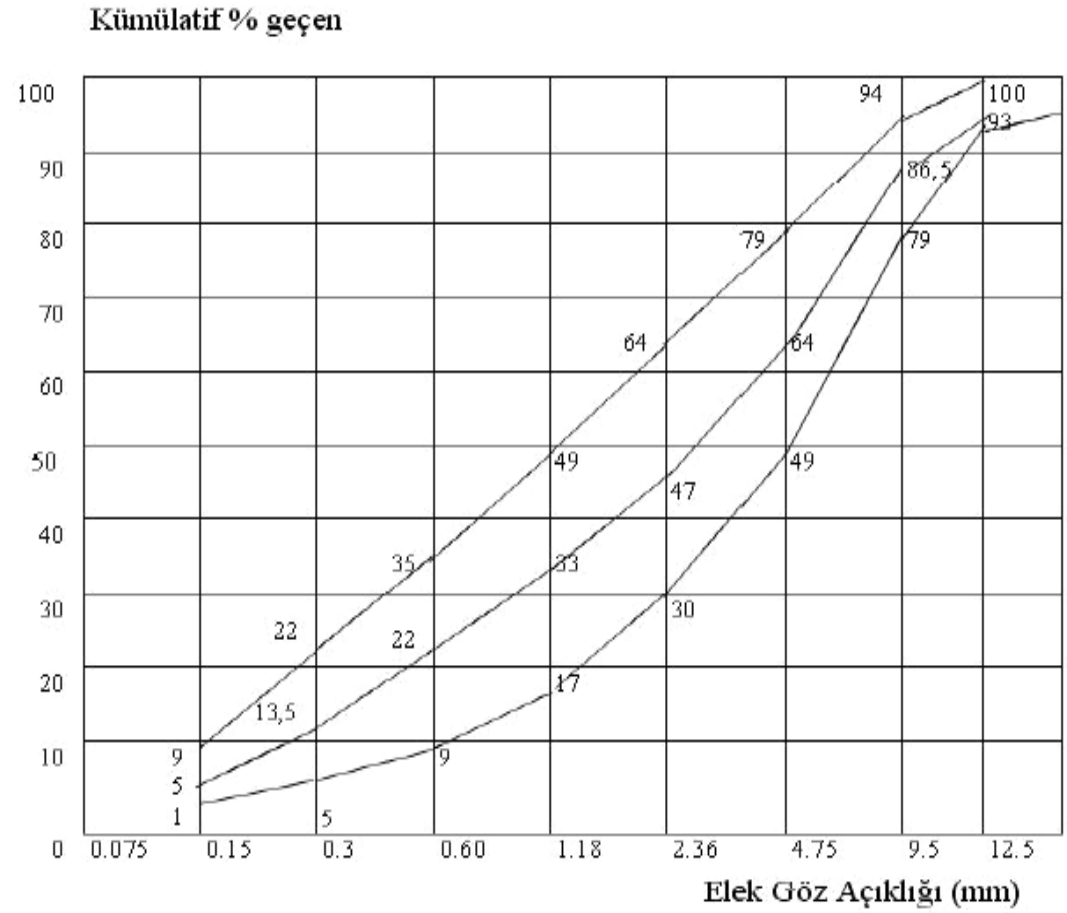
Şekil 3.13 : Püskürtme beton uygulaması.



Şekil 3.14 : Püskürtme beton uygulaması.



Şekil 3.15 : Kuru püskürtme beton agrega granülometrisi.



Şekil 3.16 : Yaş püskürtme beton agrega granülometrisi.

Püskürtme beton hazırlanması sırasında kullanılacak olan ideal su, içme suyudur. Su sıcaklığının püskürtme beton sıcaklığını etkileyeceği göz ardı edilmemelidir. Püskürtme beton uygulamasında kullanılacak olan su TS 1247'deki beton karma suyu özelliklerine sahip olmalıdır.

Püskürtme betonun özelliklerini istenildiği gibi değiştirmek amacıyla ve yerleştirme güçlüklerinin ortaya çıktığı durumlarda, beton katkı maddeleri kullanılmalıdır. Beton katkı maddeleri TS EN 934-2'ye ve TS EN 934-4'ye ve ilgili diğer standartlara uygun olmalıdır.

Püskürtme betonda kullanılan, kimyasal katkıların klorür içeriği % 0.1'den fazla olmamalıdır. Katkıların sağlık, güvenlik ve çevre etkilerine, kullanım ve depolama özelliklerine özel bir itina gösterilmeli kullanım dozajı, uyumluluk özellikleri, taze ve sertleşmiş beton özelliklerine etkileri, daha önceki kullanımlarına ilişkin data, referanslar ve ayrıntılı güvenlik bilgileri elde edilerek, kullanımına buna göre karar verilmelidir (Köse,2011).

3.1.5 Diyafram duvar

Diyafram duvar; su seviyesi yüksek olan, kendini tutamayan zeminlerde, derin kazıların yapılmasına olanak vermek için geçirimsiz betonarme perde oluşturmak için yapılan yapılardır. Diyafram duvarlar, 600-1000 mm kalınlığında foraj yapabilen ve istenilen derinliğe inebilen hidrolik kazıcı makine (trench cutter) kullanarak yapılmaktadır. Beton dökme işleminde ve malzeme taşınmasında paletli servis vinci ve 600-1000 mm çapında, projede istenilen derinliğe kadar indirilebilecek stop-end boruları kullanılır.

İnşaat sahasının uygun olan bir alanına bentonit tesisi kurularak, kazıya yetecek kadar bentonit saklayacak miktarda tank ve ara bağlantıları, bentonit çamuru yapabilecek mikser ve kazıdan geri alınacak olan bentonitin elenmesi için elekler bulundurulmalıdır.

İnşaat sahasının uygun olan bir alanına bentonit tesisi kurularak, kazıya yetecek kadar bentonit saklayacak miktarda tank ve ara bağlantıları, bentonit çamuru yapabilecek mikser ve kazıdan geri alınacak olan bentonitin elenmesi için elekler

bulundurulmalıdır. Şekil 3.18 ve Şekil 3.19'da diyafram duvar imalatı sırasında kullanılan makineler yer almaktadır.



Şekil 3.17 : Diyafram duvar makinesi.



Şekil 3.18 : Diyafram duvar makinesi.

Diyafram duvar imalatı sırasında kazının yatay ve düşey yönde sapmasız olarak yapılabilmesine olanak sağlamak ve kazıcı ekipmana kılavuzluk etmesi için kılavuz duvarlar yapılır. Kazı çukurunda oluşabilecek olan bentonit seviye değişimleri ve kazıcı kepçenin hareketi nedeniyle oluşması ihtimal dahilinde olan yıkıntı ve çökmelere karşı koruyucu olarak imal edilmektedirler.

Kılavuz duvarın cepheleri her zaman dik ve pürüzsüz olmalıdır. Diyafram duvar imalatı kılavuz duvar içerisinde yapılır. Kılavuz duvarın faydaları: (Köse,2011)

- Diyafram duvarın aplikasyonun ve inşa hizasının tam düzgünlüğü,
- Referans noktalarının ve kotlarının hassas kontrolü,
- Bentonit için başlangıç rezervuarı,
- Stop-end boruları ve demir donatı için destek vazifesi,
- Göçmelere karşı çalışma platformunun kıyısında bir destek vazifesi.

Kılavuz duvarlarının kazısı, back-hoe ile yapılmaktadır. Kılavuz duvarların hizalanması diyafram duvar ile çakışacak şekilde yapılır. Kepçenin içerisinden çıkabilmesi için, perde kalınlığından en az 5 cm geniş yapılmalı, en az 1 metre derinliğinde olacak bir şekilde imal edilmelidirler.

Kazı, yatay düzlemde 2.5-5.0 metrelik anolar halinde yapılabilir. Gereken işaretleme işlemleri yapıldıktan sonra, bentonit çamuru kılavuz duvarların arasına doldurularak diyafram duvarın kazı işlemine başlanılır. Bentonit karışımı, kazının yapıldığı sırada hendeğin düşey olarak durabilmesini sağlar. Bentonit bulamacının çukura dolum hızı ve miktarı kazı ile uyumlu olarak devam etmelidir. Bu esnada, kılavuz duvar kotunun altına inilmemeli ve kazı boyunca, kovanın dikliğini muhafaza edip etmediği devamlı kontrol edilmelidir. Eğer sert zeminlere rastlanılırsa, bu durumlarda tırpan kullanılmalıdır.

Diyafram duvar çukuruna, 2.50 metre olan her paneline, daha önce inşaat sahasında hazırlanmış olan kafes sistemdeki demir donatı servis vinci yardımı ile kuyuya indirilir ve askıya alınır. Beton dökümü esnasında, tremi borusunun serbest olarak hareket etmesine engel olmamak için kafesin üstünde yeterli büyüklüğe sahip çalışma boşlukları bırakılmalıdır.

Anolar arasındaki rijitliğin sağlanması ve su sızdırmazlık boyunu arttırmak için boru şeklindeki stop-end boruları tabana kadar eklenerek indirilir. Betonlama işlemi bittikten sonra, beton prize geçtikçe özel pompalar yardımı ile yukarı çekilirler.

Diyafram duvarın beton dökme işlemine, bentonit test sonuçlarının olumlu çıkmasından sonra başlanır. Beton dökme işlemi tremi boruları kullanarak yapılır ve bu borular 25 ile 35 cm arasında değişen çapları şaftın genişliğine, uzunlukları ise şaft derinliğine göre ayarlanır. Tremi boruları aşağıya indirilip şaft dibi bulunduktan sonra 30-40 cm arasında bir mesafe ile yukarıya çekilir ve bu aşamada betonlamaya başlanır. Tremi borusu 2 metre betonun içinde kalacak şekilde betonlama işlemine devam edilir. Her 2.5 metrelik anoda 1 adet tremi olmak zorundadır. Beton her tremi borusundan eşit olarak dökülmeli ve beton dökümü sırasında kesinti yapılmamalıdır.

3.1.6 Palplanşlar

Temel çukuru için uygulanacak derin kazı esnasında çevre yapıların durumuna ve zemin tabakasının karakteristik özelliklerine ugyun bir destekleme sisteminin seçilmesi gerekmektedir. Bu destekleme sistemleri; ahşap,çelik ya da beton malzemeden imal edilebilirler. Kazılar esnasında kazı yüzeyini tutabilmek için kullanılan destekleme sistemlerinden birisi de palplanşlardır. Belli bir derinliğin aşılmasından itibaren bu tür destekleme sistemlerinin güvenli bir şekilde durabilmesi için yatay destekleme elemanları ile desteklenmesi gerekmektedir.

Derin kazılarda zemini tutmak için, ahşap, beton ve çelik olarak hazırlanabilen palplanşlardan çelik olanları ağırlıklarına göre en çok dayanıma sahip oldukları ve daha sonra tekrardan kullanabilme imkanları oldukları için daha yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Tek tek bir dizi şeklinde çakılan ya da titreşim yardımı ile zemin içerisine iletilen düşey elemanlar ile oluşturulmuş olan sürekli duvarlar palplanş perdeler olarak isimlendirilir.

Tasarımda göz önünde bulundurulan gerilemeler oldukça yüksek olup bir faktör ile çarpılmamış yükler için çelikte 0.90 Fy, betonda 0.75 Fc' değerleri göz önüne alınabilir. (Yıldırım,2009)

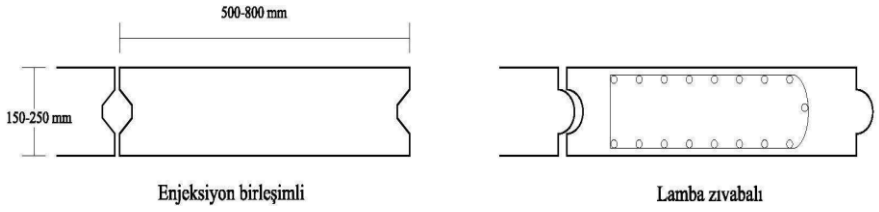
Derin kazıların yanı sıra kıyı yapılarının ve batardoların teşkili için de sıklıkla kullanılan palplanş perdeler küçük serbest yükseklikler için (3 – 6 metre) konsol şeklinde düzenlenmektedirler. Fakat daha büyük yükseklikler için destekli ya da ankrajlı olarak oluşturulurlar.

Kesit olarak narin bir yapıda olan palplanşlar zemin içerisinde bulunması muhtemel olan kaya blokları ya da sert kaya formasyonlarının bulunduğu yerlerde, çakma zorluklarından dolayı bu tip bölgelerde kullanışlı değillerdir.



Şekil 3.19 : Çelik palplanş perde.

Betonarme palplanşlar çalışma yüklerine, inşaat süresince maruz kalacağı yüklere, çakma ve taşınma sırasındaki gerilmelere göre tasarımı yapılarak istenilen kesit ve boyda imal edilebilirler. Çakma sırasındaki gerilmeleri karşılayabilmek için alt ve üst kenarlarda sık donatı yerleştirilebilir. Çakma sırasında birbirlerine yanaşmalarını sağlamak için alt ucun bir köşesinde pah oluşturulabilir. Palplanşların birleşme yerlerin temizlenerek, enjeksiyonlanması ile su sızdırmazlığı istenen bölgelerde suya karşı geçirimsiz bir perde olarak teşkil edilebilir. Bu tür palplanşlar genel olarak lamba-zıvana birleşimli prefabrik elemanlardır. (Başeski,2008)



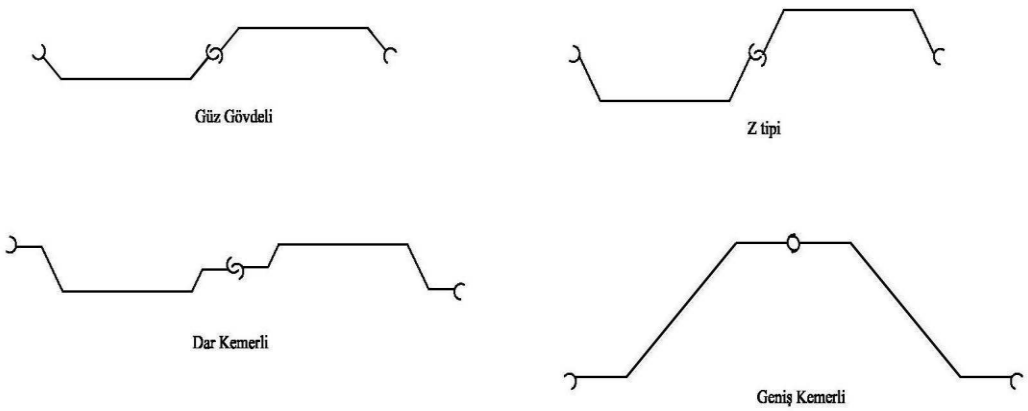
Şekil 3.20 : Betonarme palplanş kesitleri.

Ahşap palplanşlar ise kazı derinliklerinin daha az olduğu (3 metreye kadar) değerlerde, zaman içinde bulunduğu ortamın şartlarından dolayı hasar görebilecek bir yapıda olduklarından geçici olarak yapılmaktadırlar. Sert ve bloklu olan zeminlerde çakma işlemi zor olduğundan su jeti kullanılarak zemin içerisine teşkil edilebilirler. Ahşap palplanşlar genel olarak tekli, çiftli ve üçlü olarak kullanılmaktadırlar. Alt ucunda bulunan pahlar sayesinde, çakma sırasında bir önceki çakılmış palplanşa yanaşma sağlar.



Şekil 3.21 : Ahşap palplanş kesitleri.

Çelik palplanşlar, dökme demirden imal edilmekte olup değişik kesitlerde de olabilmektedirler. Çelik palplanşlar diğer palplanş türlerine göre daha yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Bunun yanında sert ve bloklu zeminlerde doğabilecek çakma gerilmelerine karşı daha dayanıklıdırlar. Çelik palplanşlar birbirine geçmeli olarak teşkil edilirler ve daha hafif ve servis yükleri daha uzundur. Perde boyları cıvata ya da kaynak kullanılarak uzatılabilir. Köşe elemanları ve derzler T veya Y tipte olup kaynak kullanılarak birleştirilmektedirler. ‘‘Z tipi kesitte olan palplanşlar daha çok bükülme dayanımı gerektiren yerlerde, düz, kilitli kesit ise çekme gerilmesi taşıyan, geçme yerlerinin dayanımının yüksek olması istendiği yerlerde (özellikle batordolarda), kemerli kesit ise büyük eğilme ve konsol taşıyan yerlerde kullanılmaktadır.’’



Şekil 3.22 : Çelik palplanş kesitleri.

4. KONU İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Kazı doğada bulunan insanoğlu tarafından yapılan üç boyutlu bir durumdur. Derin kazılar sırasında ortaya çıkan gerilmeler deplasmana sebep olur. Kazı köşelerinin deplasman ve gerilme üzerinde çeşitli etkileri vardır. Bu nedenle bu etkileri araştırmak için birçok araştırmacı bu konu hakkında çalışmalar yapmıştır.

Daha önce yapılmış olan çalışmalarda, araştırmacılar aletsel gözlemlere dayanarak iksa duvarların yatay deplasmanları hakkında bazı öngörülerde bulunmuşlardır. Bu konu hakkında çalışma yapan bazı araştırmacılar şunlardır: 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) yaptımış olduğu çalışmalar sonunda Şekil 4.1'de gösterilen abağı oluşturmuştur. Bu abak yardımı ile sistem rijitliğine bağlı olarak iksa duvarlarının 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,

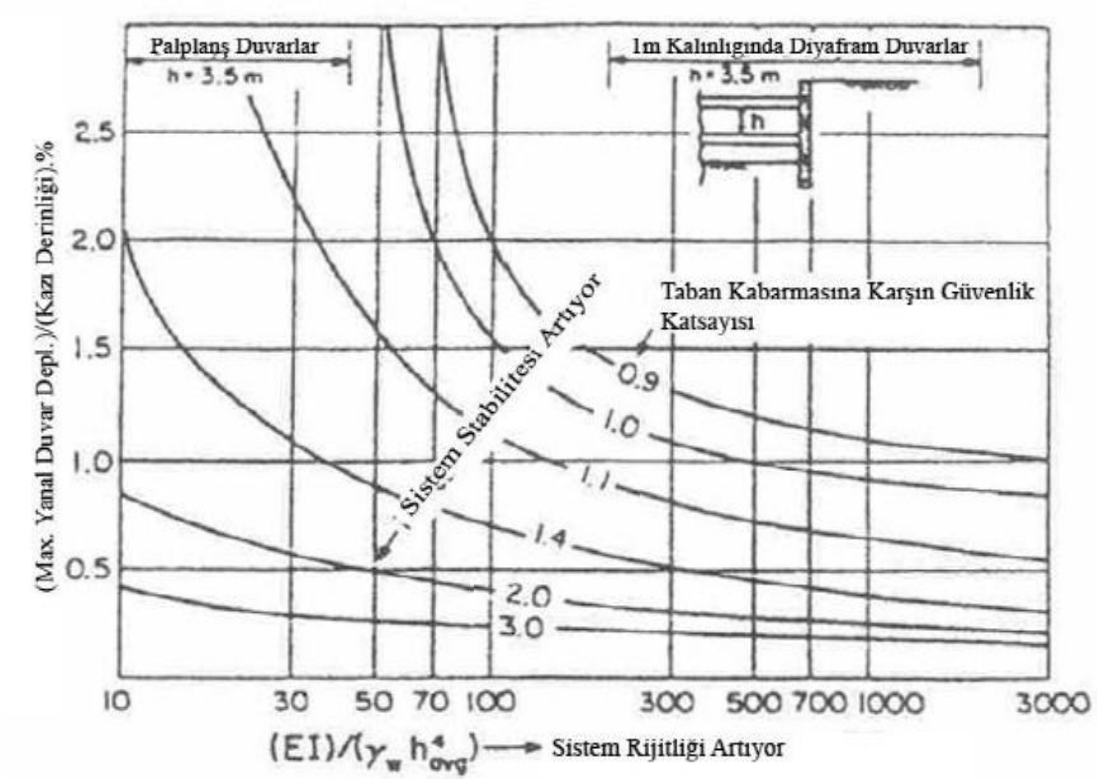
iki ana kategoriye ayrılmaktadır.

Yatay ve düşey yer değiştirme değerleri, 1. kategori zeminler için (δ_{hmax}) 0,2%H ve (δ_{vmax}) 0,15%H olarak belirtilmiştir. 2. kategori zeminler için ise taban kabarması için güvenlik katsayısının ve sistem rijitliğinin tanımlanması gerekmektedir. Sistem rijitliğinin Clough ve diğerleri (1990) tarafından aşağıdaki (**4.1**) bağıntısı ile hesaplanacağı bildirilmiştir.

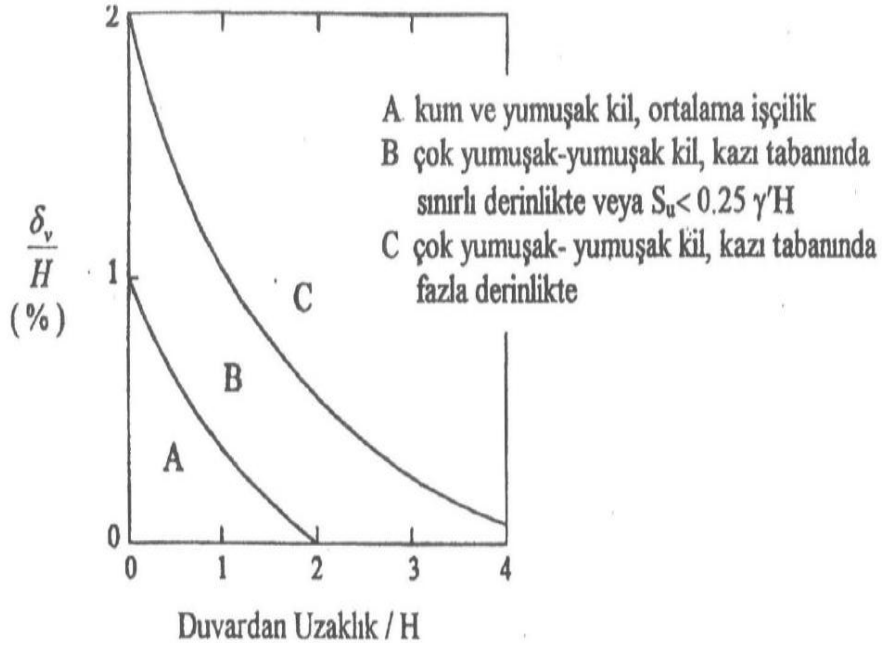
$$(EI)/(\gamma_w h^4) \qquad \textbf{(4.1)}$$

Peck (1969) derin kazılar üzerine yapmış olduğu çalışmada, derin kazıların yatay desteklenmesini incelemiş ve kullanılan destekleme sisteminin özelliklerinin; zemin tipine, kazı derinliğine ve yapım hızına bağlı olduğunu bildirmektedir.

Ayrıca palplanş duvar ve ahşap göğüslemeli çelik kazıklı duvarlar üzerinde üç farklı zemin sınıfı tanımlayıp 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 4.2) (Özkorkmaz,2013).



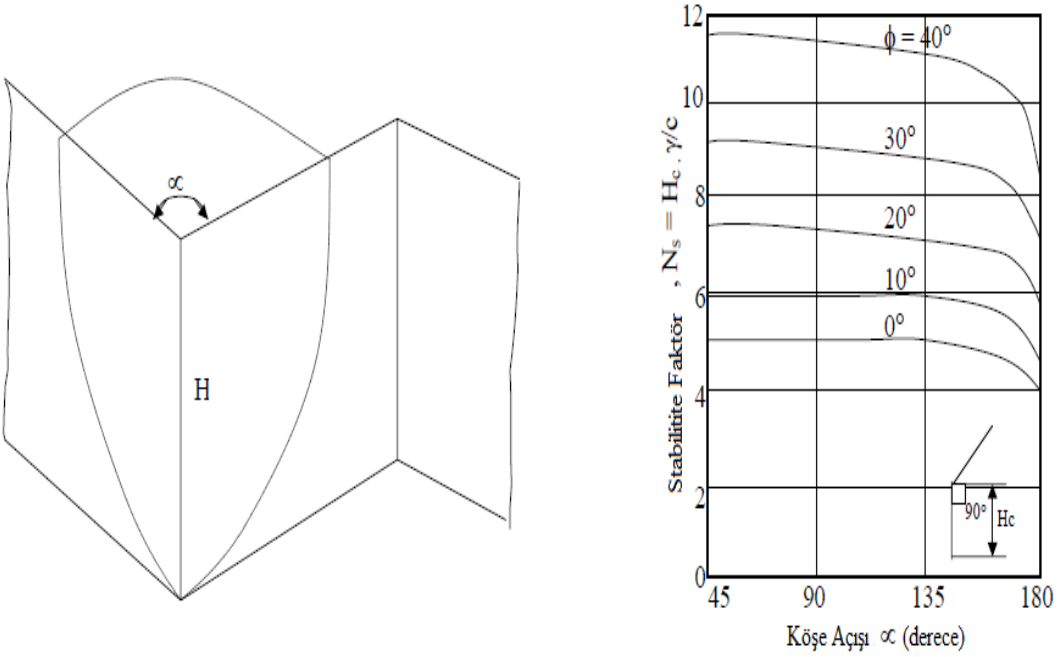
Şekil 4.1 : Sistem rijitliğine bağlı abak (Clough ve O"Rourke, 1990).



Şekil 4.2: Kazı tarafında gözlenen düşey yerdeğiştirmeler (Yıldırım,2002).

Carder (1995) yapmış olduğu çalışmalarda sert zeminlerde bulunan iksa duvarında meydan gelen en büyük yatay yerdeğiştirmeleri incelemiştir. Carder'a göre maksimum yatay deplasmanların miktarı iksa duvarının rijitliğine bağlıdır.Yapmış olduğu çalışmalamarda 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 öngörmektedir.

Giger ve Krizek (1975) 1970'lerin başlarında yapmış oldukları çalışmalarda üç boyutun etkisini incelemişlerdir. Desteksiz bir kazının köşesinin 90.0 derece ile 180.0 derece arasında olduğu zaman kazının stabilitesini incelemişlerdir. (Şekil 4.3). Köşe açısının 180.0 dereceye ulaştığı durumda iki boyutlu analizle elde edilen verilere ulaşıldığını görmüşlerdir. Elde ettikleri sonuçlardan yola çıkarak kazı köşesinin açısının artmasının deplasmanı arttırıcı köşe etkisini azaltıcı bir etkisi olduğu sonucuna varmaktadırlar.



Şekil 4.3: Köşe açılarına karşılık gelen stabilite faktörleri (Giger ve Krizek, 1975).

Fernie ve Suckling (1996) İngiltere yapılmış olan kazıları incelemiş ve maksimum iksa duvar deplasmanlarının 0,15%H ile 0,20%H değeri aralığında olduğu sonucuna varmışlardır.

Singapur'da bulunan Central Expressway (CTE) Phase II yapısı kazısı üzerine Wong ve diğ.(1997) çalışmalar yapmıştır.

Bu projede iksa yapısı olarak diyafram duvarlar, teğet kazıklar,asker kazıklar, palplanj ve H kazık duvarları kullanılmıştır.

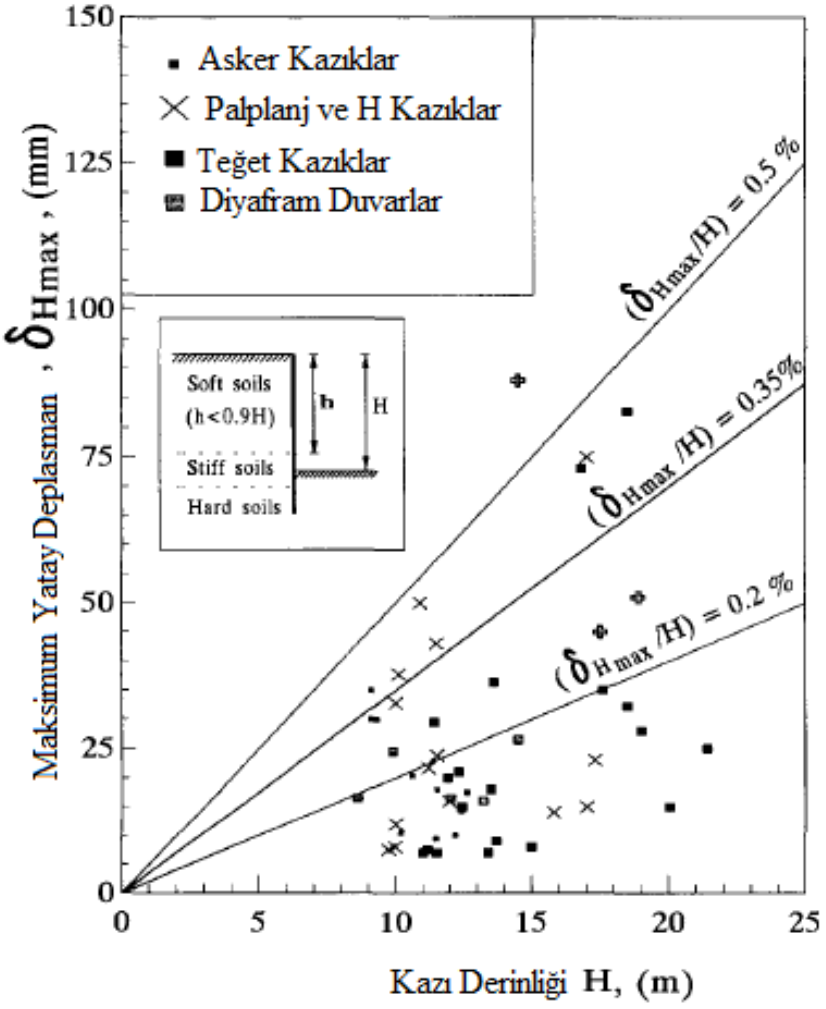
İnceleme alanındaki zemin cinsi üstte yumuşak zemin altta ise ayrışmış grovaktan oluşan iki tabakalı bir zemin profili bulunmaktadır.

Yapılmış olan kazılar,

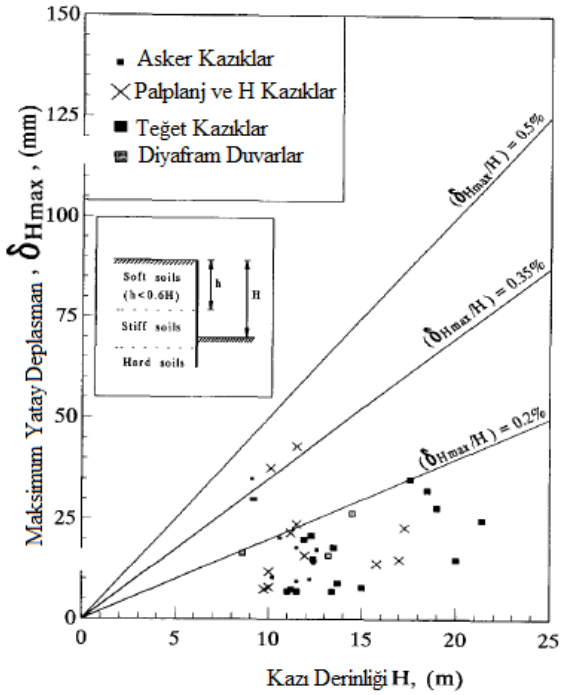
- Kazı derinliğinin % 90.0'dan azı yumuşak zemin tabakasından oluşan zemin tabakalaşmasına sahip olan,
- Kazı derinliğinin %60.0'dan azı yumuşak zemin tabakasından oluşan zemin tabakalaşmasına sahip olan olmak üzere,

iki ayrı sınıfa ayrılmaktadır.

Aletsel gözlemler sonucu elde edilen yatay deplasman ve toprak basınçları incelenmiştir. Maksimum yatay deplasman her sınıf için ayrı ayrı olmak üzere Şekil 4.4 ve Şekil 4.5' de incelenmiştir.

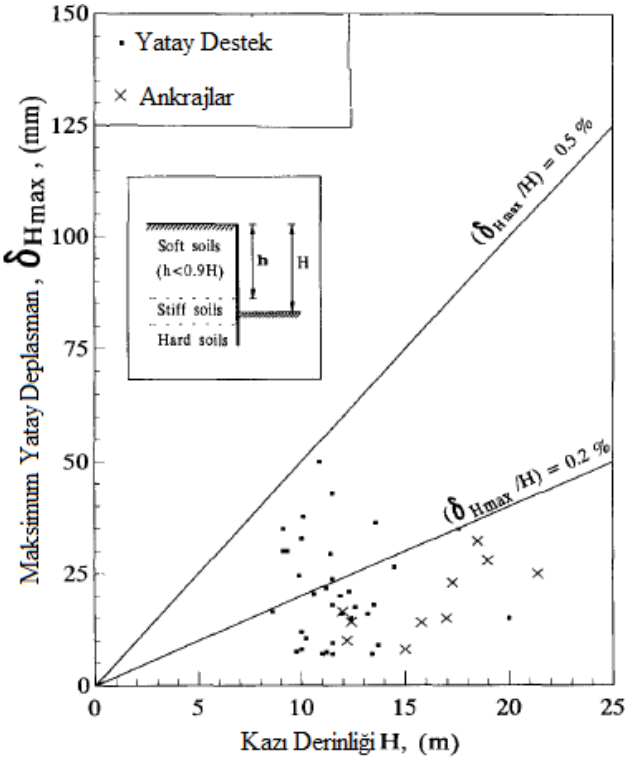


Şekil 4.4: 1. Sınıf için maksimum yatay deplasmanlar (Wong ve diğ., 1997) .

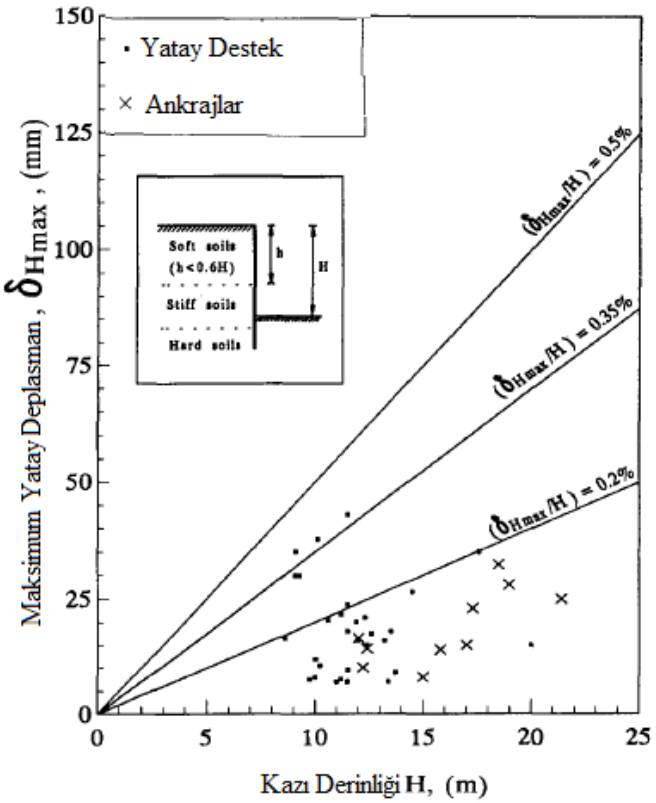


Şekil 4.5: 2. Sınıf için maksimum yatay deplasmanlar (Wong, ve diğ., 1997).

Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'de görüldüğü gibi maksimum yatay deplasmanlar birinci sınıf için % 0,50 ile % 0,20 H arasındai ikinci sınıf için ise genellikle % 0,20 H'dan küçük olmaktadır. Bunun yanında, araştırmacılar; yatay elemanların, deplasmana olan etkisi üzerine de çalışma yapmışlar ve yapılan araştırmalardan elde edilen sonuçlar Şekli 4.6 ve Şekil 4.7' de gösterilmektedir.

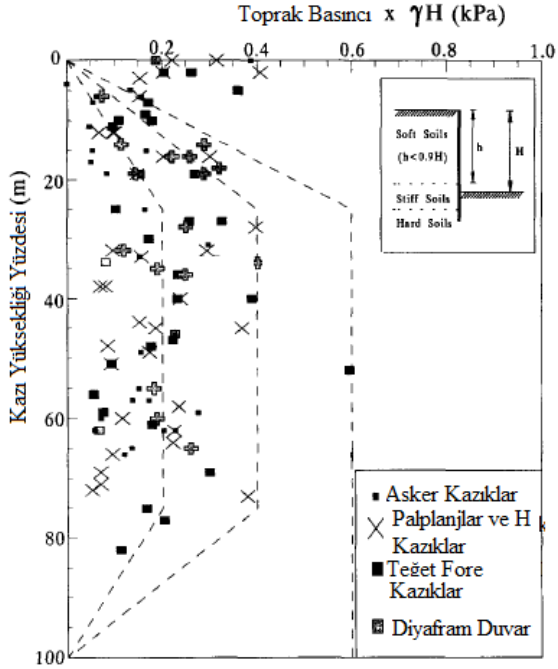


Şekil 4.6: 1. Sınıf için yatay destek elemanına göre gözlenen maksimum yatay deplasmanlar (Wong, ve diğ., 1997) .

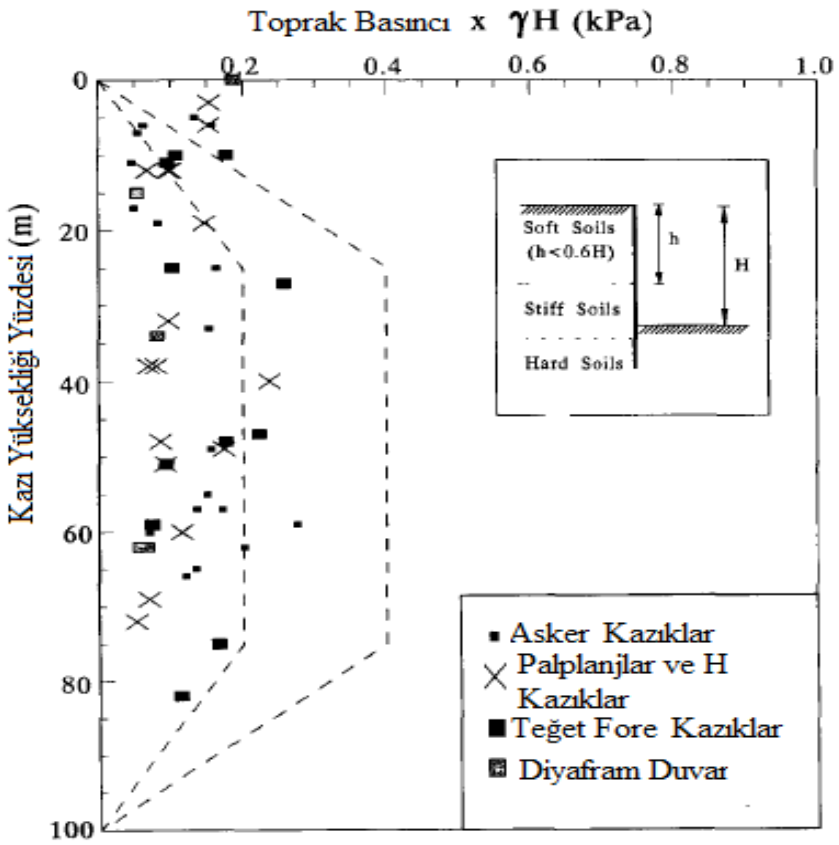


Şekil 4.7: 2. Sınıf için yatay destek elemanına göre gözlenen maksimum yatay deplasmanlar (Wong, ve diğ., 1997).

Şekil 4.6 ve Şekil 4.7 incelendiğinde, ankrajlı iksalarda çelik destek yatay elemanlı(strut) iksalara göre daha az yatay yerdeğiştirme yaptığı görülmektedir. Ayrıca, yanal toprak basınçları iki sınıf içinde ayrı ayrı olmak üzere Şekil 4.8 ve Şekil 4.9' da incelenmektedir.



Şekil 4.8: 1. Sınıf için dört farklı duvarda gözlenen toprak basınçları (Wong 1997) .



Şekil 4.9: 2. Sınıf için dört farklı duvarda gözlenen toprak basınçları (Wong 1997) .

Şekil 4.8 ve Şekil 4.9 incelendiğinde birini sınıf için görülen maksimum toprak basıncı 0.6γH ikinci sınıf için ise 0.25γH değerleri bulunmaktadır.

Başka bir çalışmada Whittle ve diğ. (1993), iksa duvarında meydana gelen deplasmanların analitik olarak tespitinin zor olduğundan bahsetmektedir. (Özkorkmaz,2013)

Bu zorluklar;

- 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 oluşturmaktadır.

Whittle ve diğ. (1993) Boston'da bulunan Posta Ofisi Meydanında yapılan yedi katlı yer altı otopark kazısını sonlu elemanlar modeli kullanarak analiz etmişlerdir.

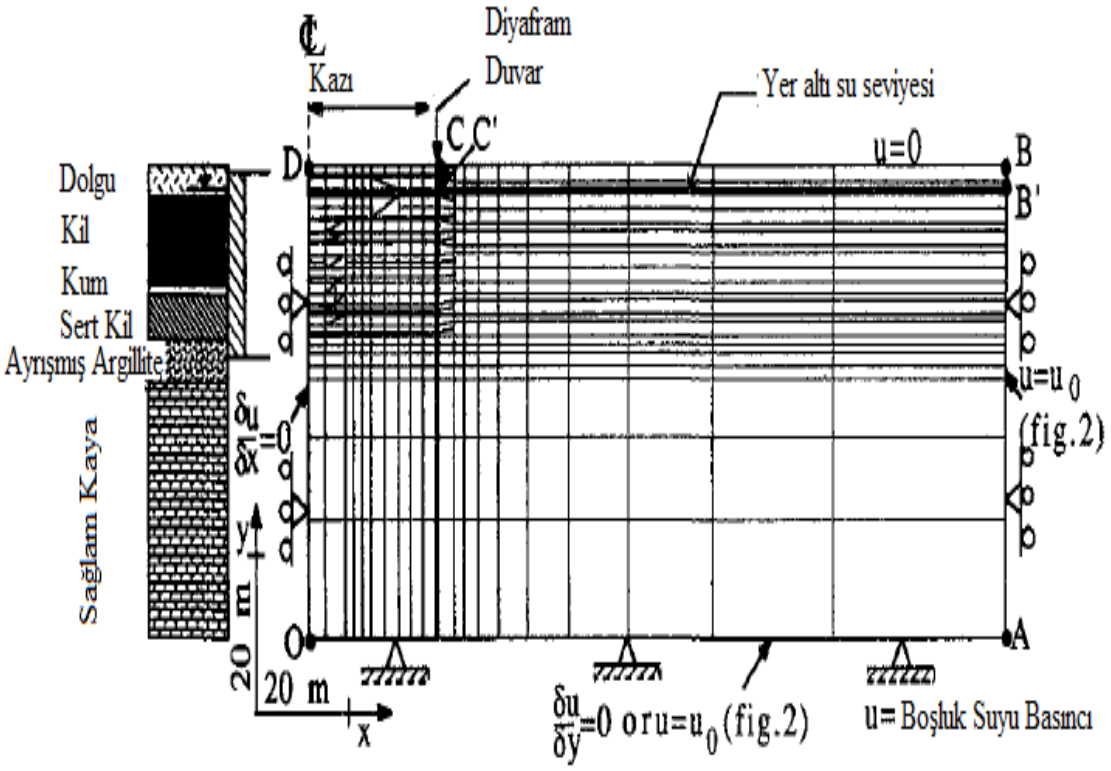
Zemin yapısının nasıl olduğunu anlayabilmek için arazide beş adet sondaj yapılmıştır. Yapılan sondajlar sonucunda, zeminin tabakalarının yukarıdan aşağıya doğru inildikçe; dolgu, düşük plastisiteli kil, sıkıdan çok sıkıya giden kum, yer yer ayrışmış argillite kalıntıları ve sağlam kayadan oluştuğunu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

Bu çalışmaları yaparlarken, iki 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

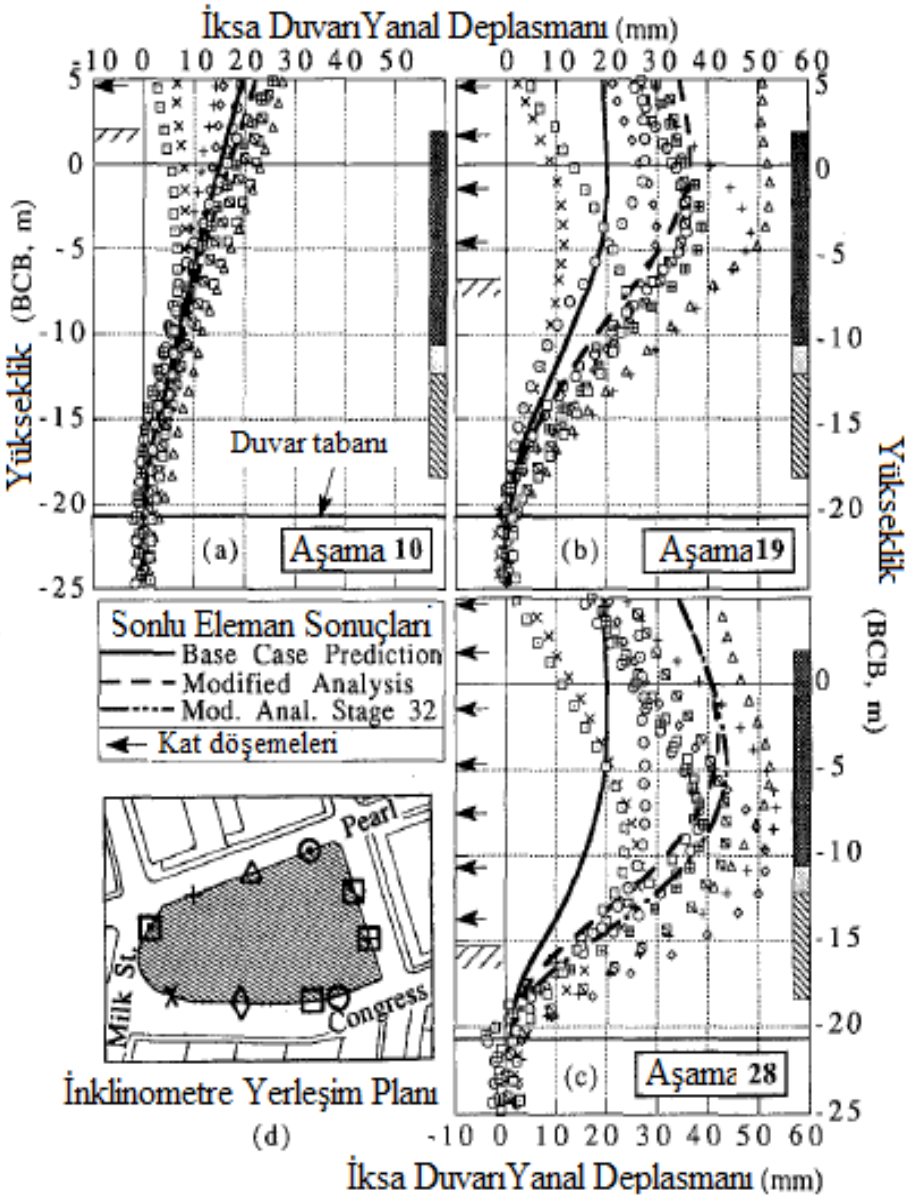
- Drenajsız kazı,
- Zamana bağlı drenajlı kazı,
- Yapının yapılması.

Analizde kullanılan sonlu eleman ağı ağ sıkılığı ve sınır koşulları görünüşü aşağıda verilen Şekil 4.10'da görülmektedir.



Şekil 4.10: 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 4.11'de verilmektedir.



Şekil 4.11: Yanal deplasmanlarının karşılaştırılması (Whittle ve diğ., 1993).

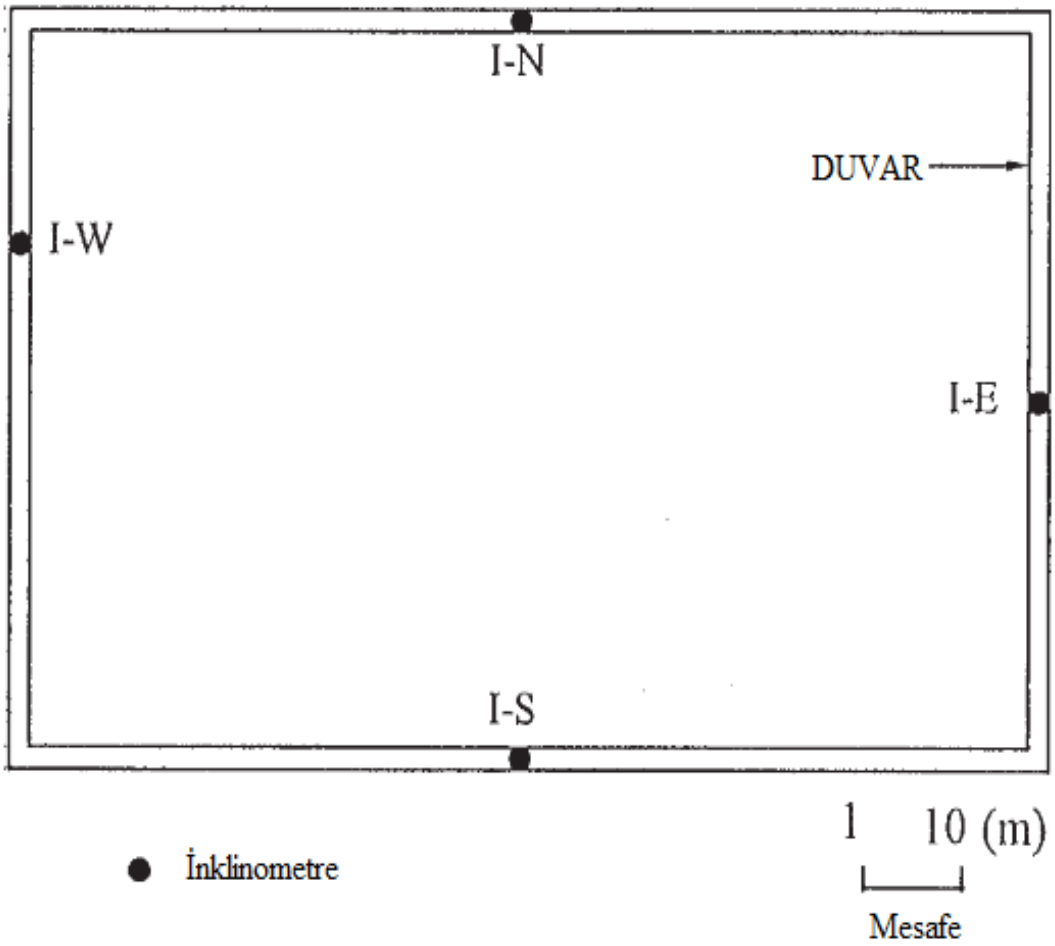
Aşama onda diyafram duvar konsol durumdadır. Şekil 4.11'de görüldüğü gibi bu aşamada ölçülen ve hesapları yapılan iksa duvar yanal deplasmanlarının birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür. Aşama on dokuzda en fazla iksa duvar yanal deplasmanların meydana geldiği gözlenmiştir. Ayrıca aşama yirmi sekizde ise maksimum deplasman kil tabakasında meydana geldiği gözlenmiştir.

Son iki aşamada ölçülen ve hesaplanan iksa duvar yanal deplasmanlarının birbirilerinden farklı oldukları görülmüştür. Bu farkın çatı kat ve normal katların modellemedeki farklılıklardan haynaklandıklarına karar verip modeli yeniden

oluşturmuşlardır. Yeniden oluşturulan modelin analiz sonuçlarıda Şekil 4.11' de gösterilmektedir.

Yapılmış olan diğer bir 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 yapısının 0.6 m kalınlığı, 23.0 m derinliği olan diyafram perde kullanılmıştır. İnklinometre yerleşimi ve kazı plan görünüşü Şekil 4.12'de gösterilmektedir.



Şekil 4.12: 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 indirilmiştir.

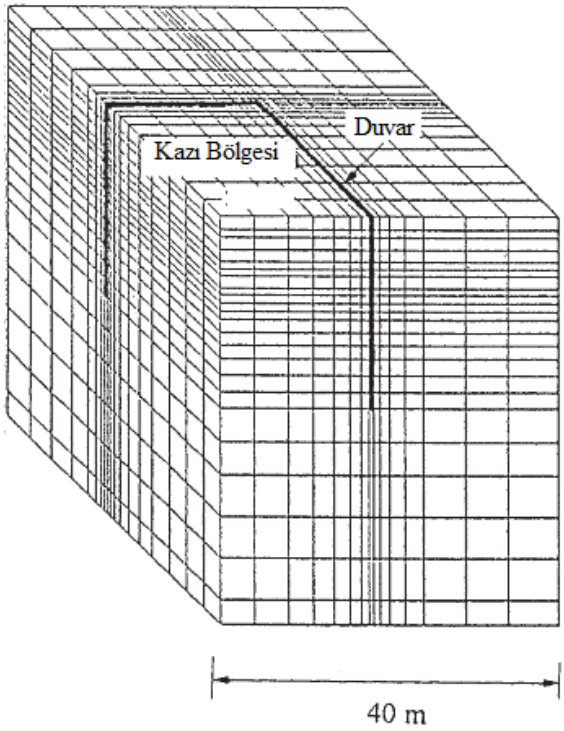
Bu çalışmada kullanılan program,üç boyutlu sonlu eleman analizi yapan CUT3D'dir.

Yapılan sondajlarda siltli kil ve siltli kumdan oluşan altı farklı zemin tabakası ile karşılaşılmıştır. Sonlu eleman analizlerinde kullanılan zemin parametreleri Çizelge 4.1' de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 : Yapılan 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									

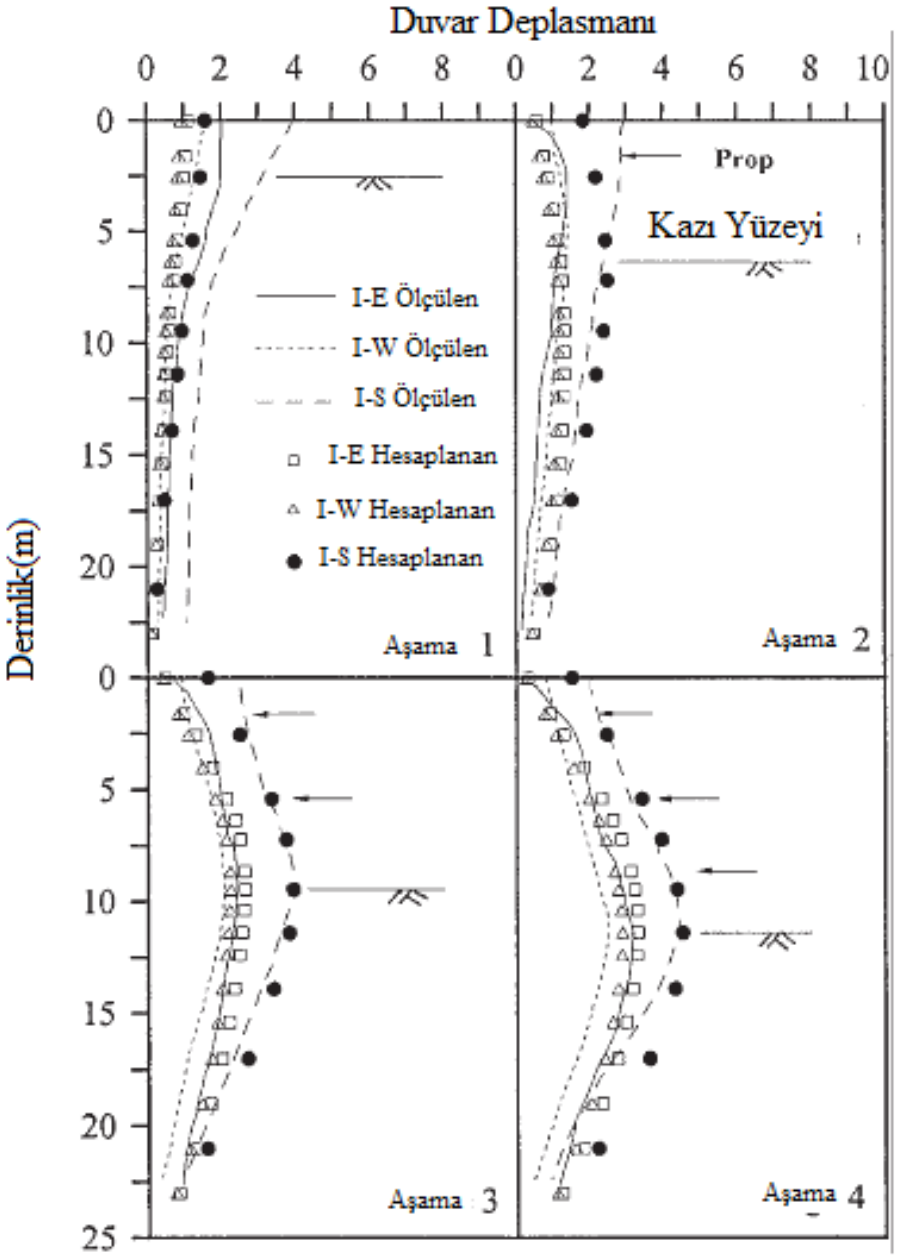
Sonlu eleman analizde kullanılan sonlu eleman ağı sıklığı görünümü Şekil 4.13'de verilmektedir.



Şekil 4.13: Sonlu eleman ağı sıklığı görünümü (Ou ve Shiau, 1998).

Yapılan analizler sonucu elde edilmiş olan ve (çatı katı), aşama on dokuz (üçüncü kat) ve aşama yirmi sekizden (altıncı kat) alınan arazi ölçümleri deplasman değerlerininin karşılaştırılması, Şekil 4.14'de gösterilmektedir.

Şekilde 4.14'de 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 çıktığı görülmektedir.

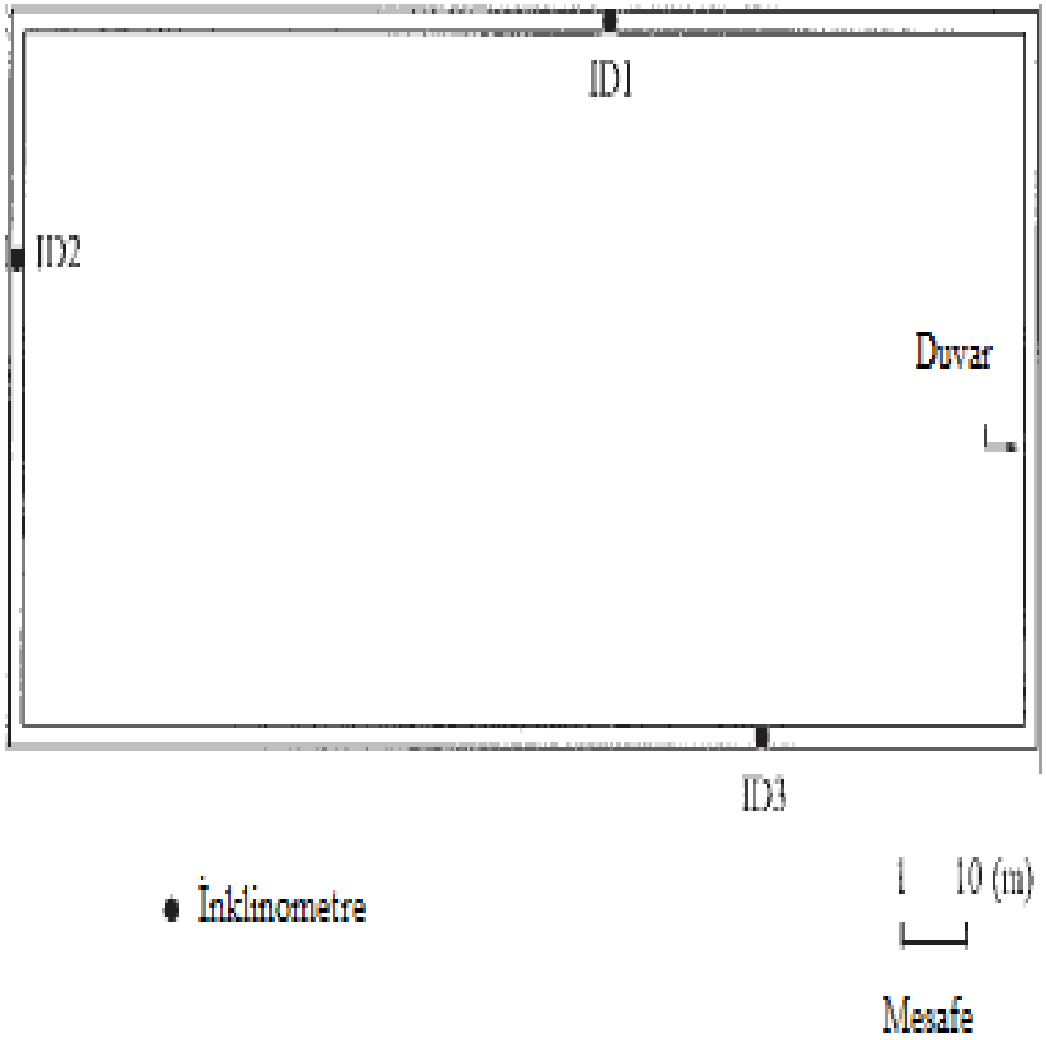


Şekil 4.14: Deplasmanların karşılaştırılması (Ou ve Shiau, 1998).

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 4.15' de gösterilmektedir.



Şekil 4.15: 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 4.2'de gösterilmiştir. Çalışmalarda kullanılmış olan tüm parametreler çizelgede verilmiştir.

Çizelge 4.2 : Yapılan analizinde kullanılan zemin parametreleri (Ou ve Lai, 1994)

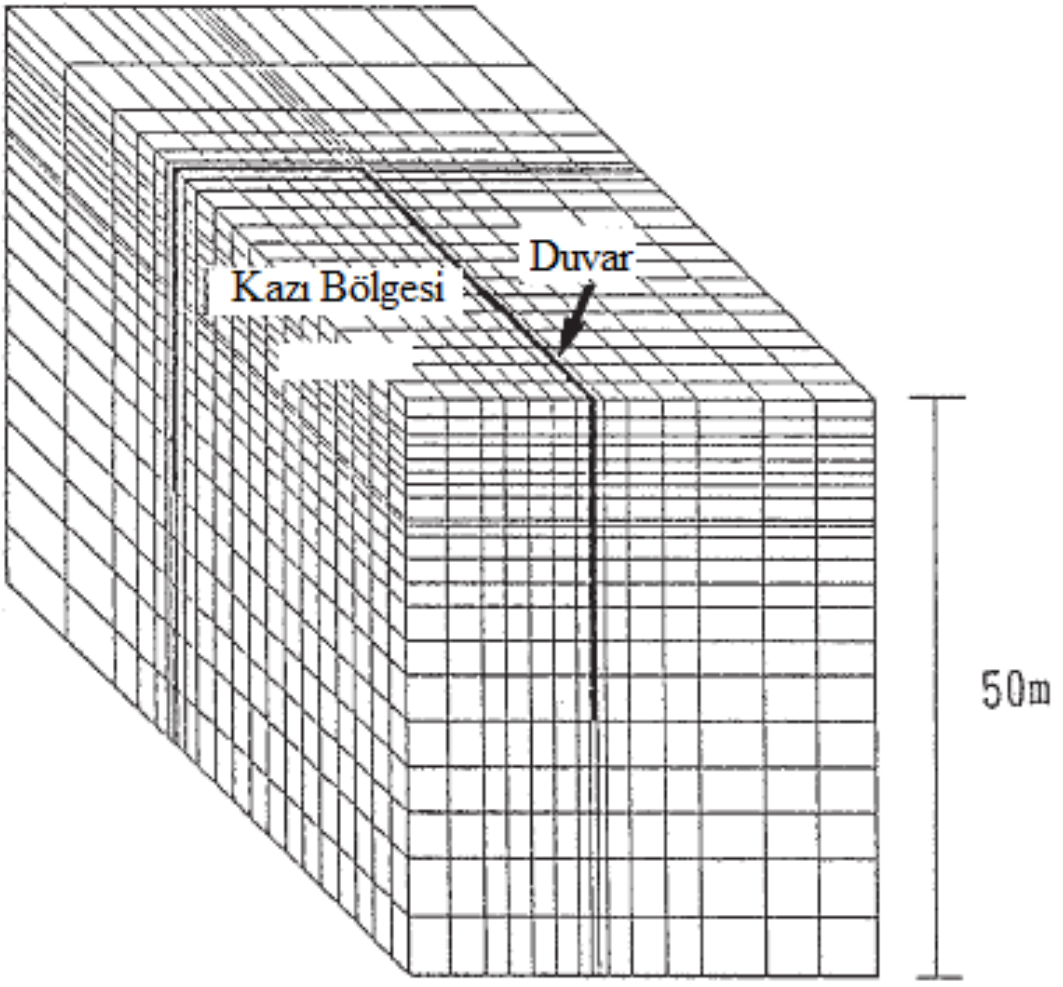
Drenajlı Malzeme										
Tabaka No	Derinlik (m)	γ (kN/m^3)	c' (kPa)	ϕ'	Rf	K	Kur	n	v_t	v_f
1	0,0-12,0	19,13	0,0	31	0,6	550	550	0,5	0,3	0,49
4	24,0-50,0	19,62	0,0	32,5	0,6	1200	1200	0,5	0,3	0,49
Drenajsız Malzeme										
Tabaka No	Derinlik (m)		γ (kN/m^3)	S_u (kPa)	R_f	E_{ui}/S_u	E_{ur}/S_u		v_t	v_f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

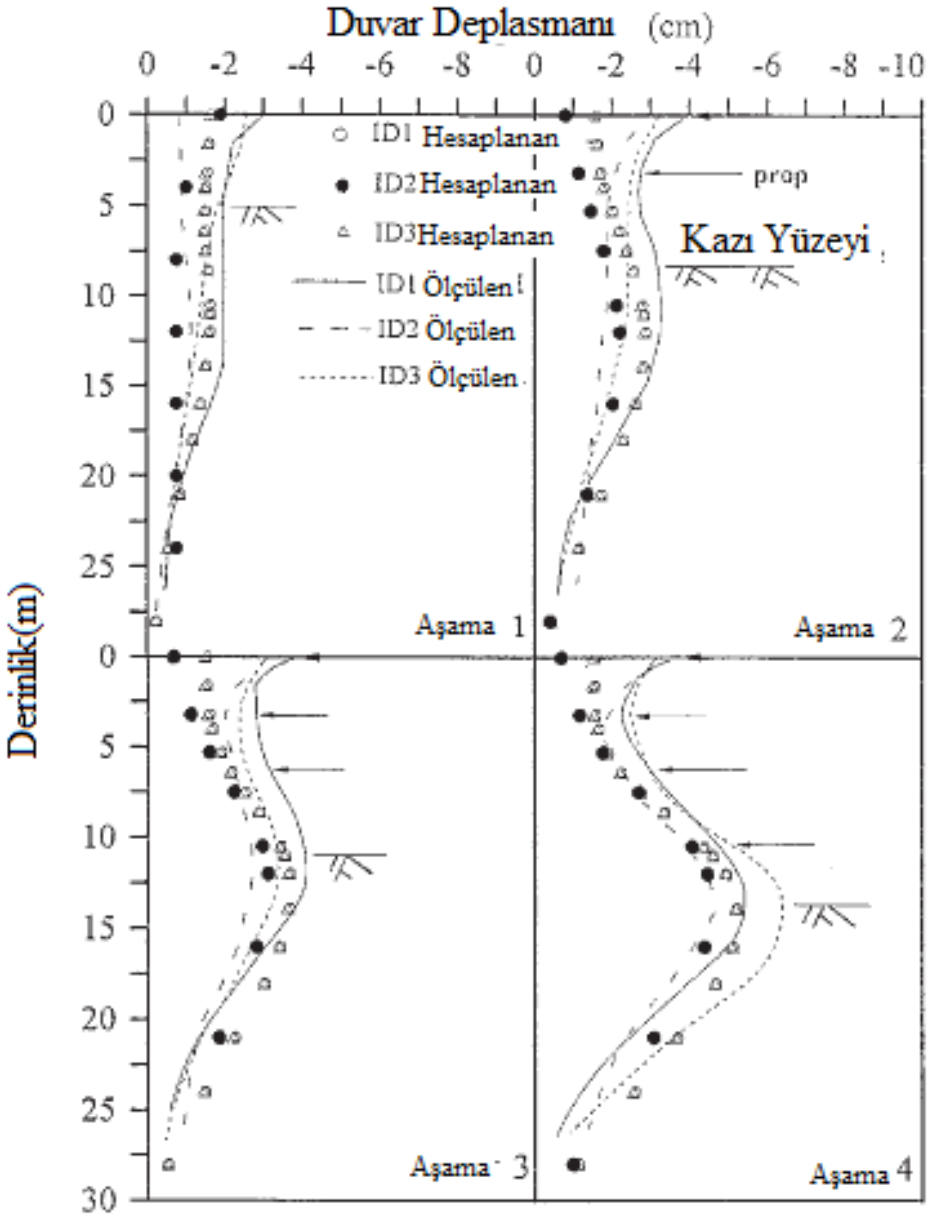
$\delta_{v'}$ Effektif jeolojik yük

Sonlu eleman analizde kullanılan sonlu eleman ağı sıkılığı görünüşü Şekil 4.16'da verilmektedir.



Şekil 4.16: Chi-Ching binası sonlu eleman ağı sıkılığı (Ou ve Shiau, 1998) .

Yapılan analizden elde edilen ve ölçülen arazi deplasmanları karşılaştırılması Şekil 4.17'de gösterilmektedir.



Şekil 4.17: Chi-ching kazısında deplasmanların karşılaştırılması (Ou ve Shiau, 1998)

.

Şekil 4.17'de 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 (Özkorkmaz,2013).

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

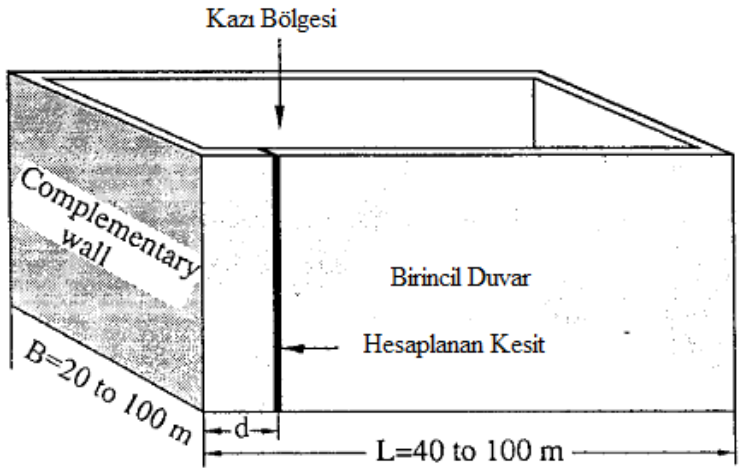
I-W ve I-E noktalarındaki deplasman değerleri bu noktaların köşeye daha yakın mesafede olmaları sebebi ile I-S noktasında okunan deplasman değerine göre daha küçük çıkmıştır.

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. (Özkorkmaz,2013)

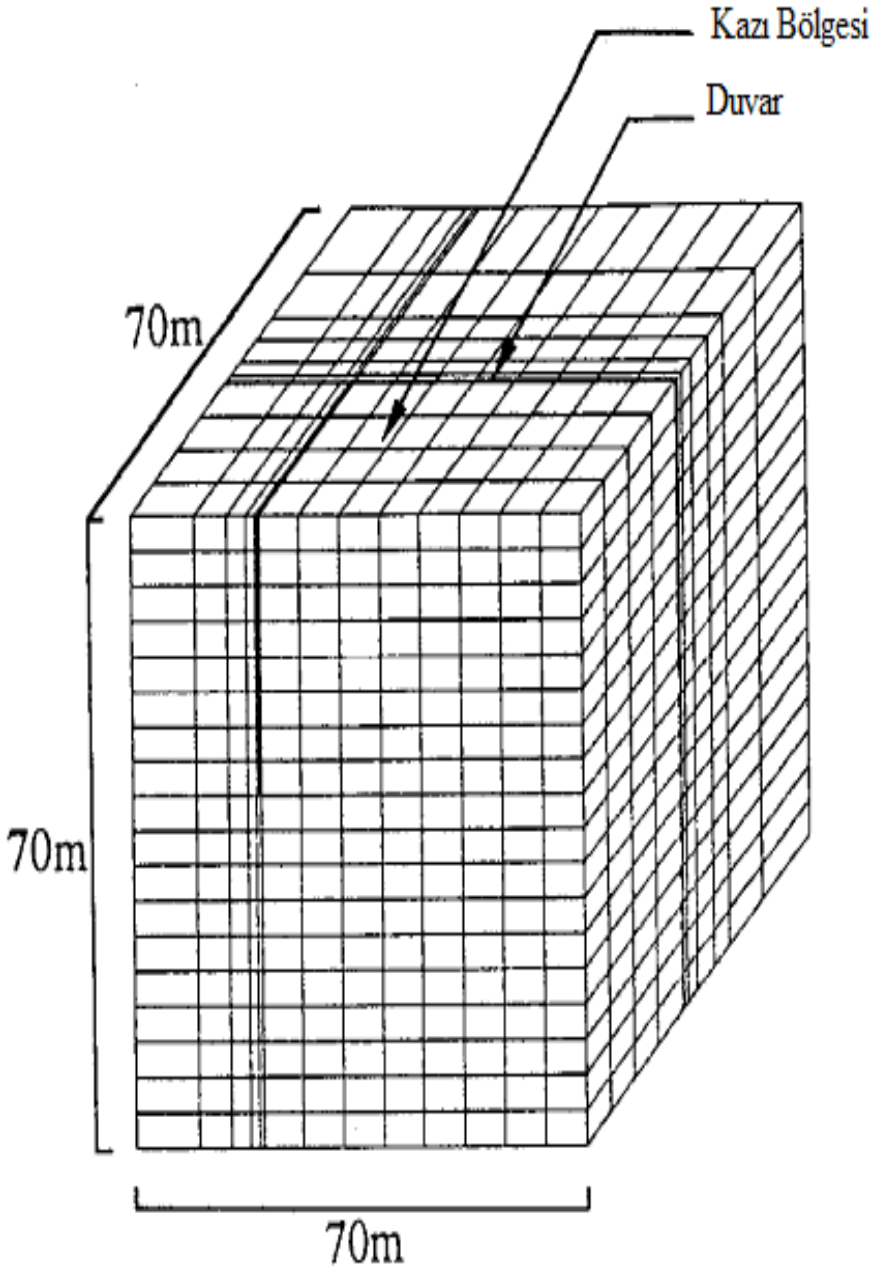
Ou ve diğ. (1996) bu konu üzerine yaptıkları araştırmada iki boyutlu sonlu elaman analizi ve üç boyutlu sonlu eleman analiz arasında bir karşılaştırırmak için bir model tasarlamışlardır.

Bu araştırma kapsamında yapılan parametrik çalışmada kurulan modelde zemin düşük plastisiteliden orta plastisiteye giden siltli kil tabakalarından oluşuyormuş 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 4.18'de parametrik kazı geometrisi gösterilmiştir.



Şekil 4.18: Parametrik çalışmada kullanılan model geometrisi (Ou ve diğ., 1996).

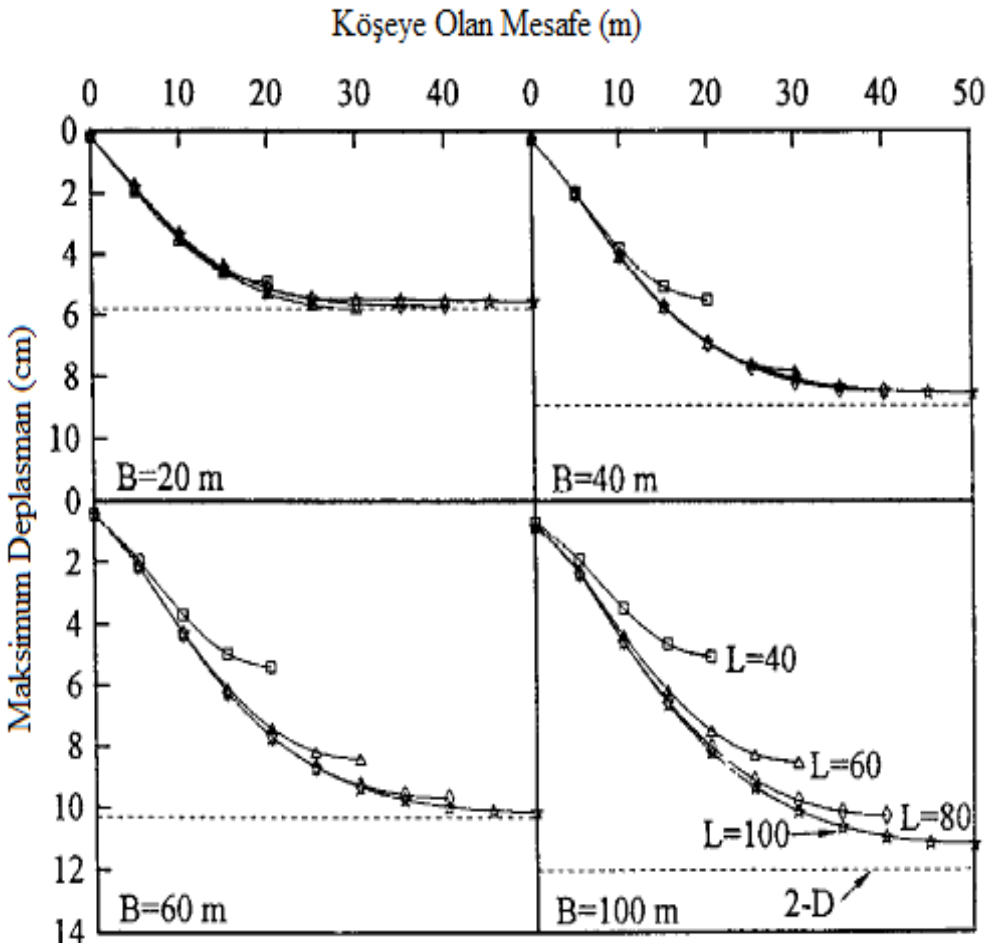
Sonlu eleman analizde kullanılan sonlu eleman ağı sıklığı görünüşü Şekil 4.19'da verilmektedir.



Şekil 4.19: Parametrik kazı modeli üç boyutlu sonlu eleman ağı (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 4.20'de verilmektedir.



Şekil 4.20: Birincil duvar uzunluklarının köşeye olan mesafesine bağlı maksimum deplasmanları (Ou ve diğ., 1996).

Şekil 4.20'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. (Özkorkmaz,2013)

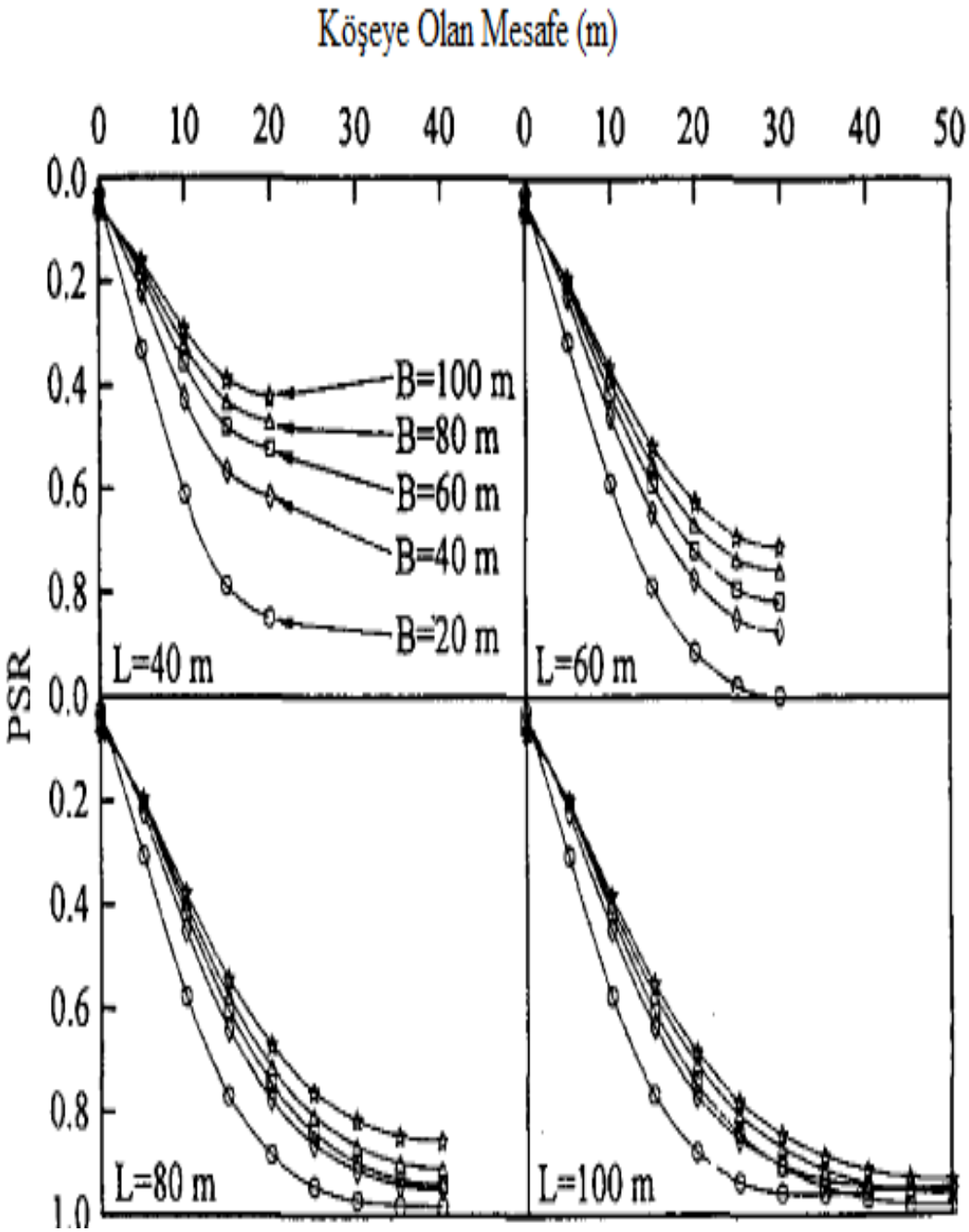
Bu sonuçlardan yola çıkarak Ou ve diğ. (1996) deplasman davranışını tanımlamak amacı ile bu çalışmada PSR (iki boyut oranını) bulmuşlardır.

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 **(4.2)** bağıntısı ile bulunmaktadır.

$$PSR = \frac{\delta_{3B}}{\delta_{2B}} \qquad \textbf{(4.2)}$$

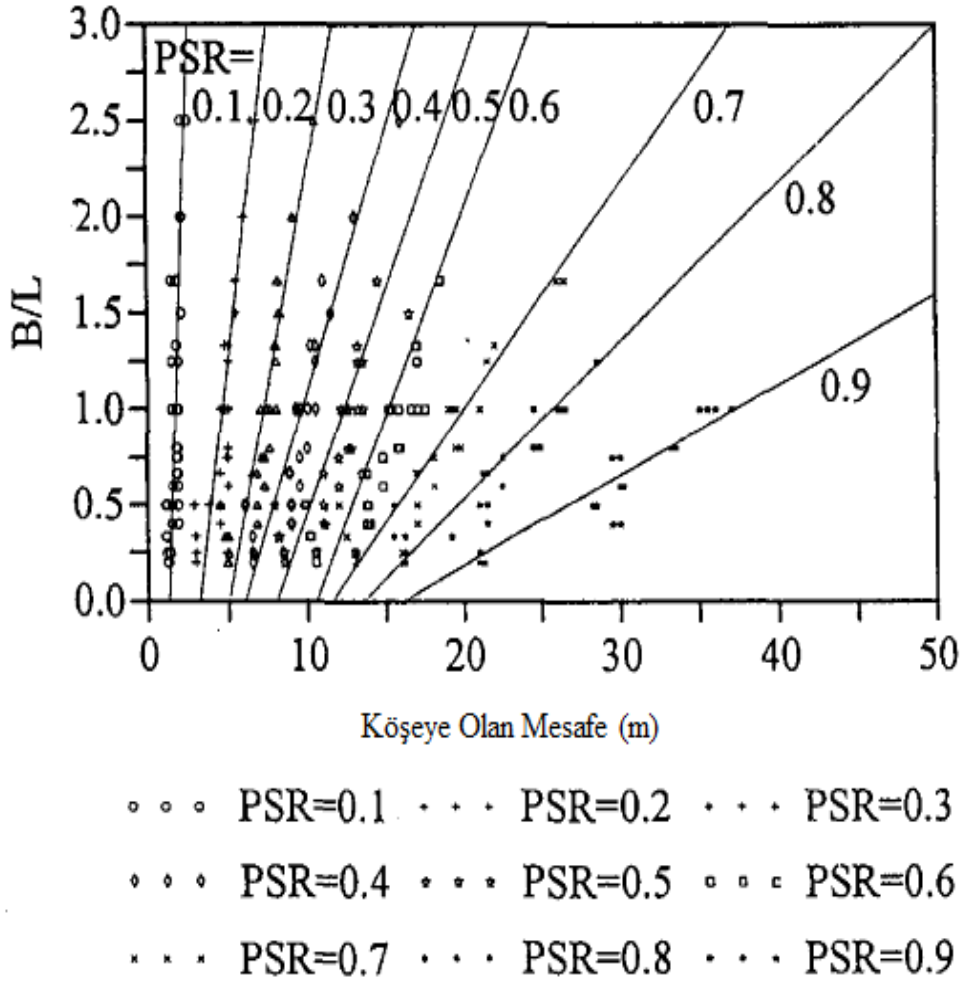
Bu bağıntıda, δ_{3B} köşeye mesafesi x olan bir kesitin üç boyutlu analizden elde edilen maksimum deplasmanını , δ_{2B} iki boyutlu analizden elde edilen maksimum deplasmanı tanımlar.

Çeşitli birincil duvar uzunluklarında değişken ikincil duvar uzunluklarının köşeye olan mesafesine bağlı PSR oranları Şekil 4.21' de verilmektedir.



Şekil 4.21: Duvar uzunlukları köşeye mesafesine bağlı PSR oranları (Ou 1996).

Bu çalışmanın sonucunda ikincil duvar uzunluğunun (B) birincil duvar uzunluğuna (L) oranına karşılık gelen PSR oranlarının olduğu bir abak hazırlamışlardır. Bu abak Şekil 4.22'de gösterilmektedir.



Şekil 4.22: B/L ve köşeye mesafeye karşılık PSR oranları (Ou ve diğ., 1996).

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.

İnceleme sahasında yapılan sondaj çalışmalarında dolgu, alüvyon, Ankara kili ve ayrışmış grovak tabakalarından oluşan bir zemin yapısı ile karşılaşılmıştır. 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 ortaya koymuşlardır.

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 (Özkorkmaz,2013).

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.

5. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZ VE PLAXIS

5.1 Sonlu Elemanlar Yöntemi

Son yıllarda teknolojinin gelişmesiyle birlikte, mühendislikte kullanılan çözüm yöntemlerinin de gelişmiştir. Bu gelişmelerle birlikte, sayısal modelleme ismi verilen bir araştırma yöntemi oluşturulmuştur. Klasik sayısal analizi de içeren bu yöntem her bilim dalında kullanılan önemli bir araç haline gelmiştir. Bu kapsamda, yeni oluşan yöntemlerin başında ‘‘ Sonlu Elemanlar Yöntemi’’ gelmektedir (Hasanov,2001).

Sonlu elemanlar yöntemi, çeşitli mühendislik problemlerine kabul edilebilir bir yaklaşım ile çözüm arayan sayısal bir çözüm yöntemidir. Sonlu elemanlar yöntemi, nümerik analiz yöntemleri içerisindeki bilgisayar yazılımları 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 vb) (Berilgen,1996).

Sonlu elemanlar yöntemi karmaşık ve elle hesaplanması oldukça zaman alan, hatta imkansız olan mühendislik problemlerine kabul edilebilir bir yaklaşımla çözüm getirmeye çalışan sayısal bir çözüm yöntemidir. Sonlu elemanlar yöntemi esas olarak fiziksel bir sistemin matematiksel olarak ifade edilmesine dayanır. Buna göre, değişik ve karmaşık geometriye sahip sistemler, çok sayıda basit geometriye sahip parçacığa bölünerek, bu parçacıkların ayrı ayrı çözülmesi suretiyle analiz edilmektedirler. Bu aşamada sistem parçalanırken, esas sistemde yer alan süreksizlikler dikkate alınmalıdır. Örneğin farklı malzeme özelliklerine sahip geometriler kendi içerisinde parçalara ayrılmalıdır. Ayrılan parçalar birbirlerine düğüm noktaları ile bağlanmak suretiyle esas geometriyi oluştururlar ve her bir parça için denge denklemleri yazılarak bilinmeyenler sınır şartları yardımıyla elde edilir. Her elemanın şekli, bu elemanı oluşturan düğüm noktalarının koordinatlarıyla

belirlenir. Bu şekilde yapılan analizlerin bir boyutlu olması durumunda elemanlar doğrusal, iki boyutlu olması durumunda elemanlar kare, üçgen ya da dikdörtgen ve üç boyutlu olması durumunda üçgen prizma, dikdörtgen prizma ve benzer şekillerden oluşurlar. Her düğüm noktasının belirli bir serbestlik derecesi vardır ve bu serbestlik dereceleri elde edilmesi gereken bilinmeyenleri göstermektedir. Çözüm için bir asıl değişken seçilerek tek bir elemanda bu değişkenin davranışı modellenir ve matris hesap yöntemiyle tüm sisteme uygulanarak bilinmeyenler hesaplanır. Elde edilen ana değişkenler yardımıyla ikincil değişkenler elde edilir (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 açıcı 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).

Sonlu elemanlar yöntemi geoteknik mühendisliğinde yükleme, gerilme-şekil değiştirme, konsolidasyon, taşıma gücü, dinamik davranış ve malzeme çeşitliliği olan problemlerde yaygın olarak kullanılabilmektedir (Gürgüç,2013).

Geoteknik mühendisliğinde problemlerin çoğunda deplasman yöntemi kullanılarak çözüm yapılmaktadır. Deplasman yönteminde, bilinmeyenler deplasmandır. Gerilme ve birim şekil değiştirmeler ise ikincil büyüklükler olarak deplasmanların tanımlanmasına bağlı olarak elde edilmektedirler. Sonlu elemanlar yöntemi, modelin sonlu elemanlara ayrılması, elemanda yükleme sonucu oluşacak deplasmanları temsil edecek deplasman modellerinin seçilmesi, elemanın geometrik ve malzeme özelliklerinden elde edilen denge denklemleri katsayılarını ve minimum potansiyel enerji ilkesinden faydalanılarak elde edilen katsayıları içeren rijitlik matrisinin oluşturulması ve oluşturulan eleman rijitlik matrislerinin ve yük vektörlerinin toplanarak sistemin bütünü için rijitlik matrisi ve yük vektörünün elde edilmesi şeklinde tanımlanabilmektedir. Bir sonlu eleman ve bu sonlu elemanı çevreleyen düğüm noktaları arasındaki ilişki denklem **(5.1)** kullanılarak tanımlanmaktadır.

$$[k].\{q\} = \{Q\} \qquad \textbf{(5.1)}$$

Burada deplasman vektörü {q} bilinmeyendir ve uygulanan kuvvetler etkisinde düğüm noktalarının nasıl hareket ettiğini tanımlamaktadır. Eleman rijitlik matrisi [k],

eleman özellikleri, malzeme özellikleri ve eleman geometrisi kullanılarak elde edilir. Düğüm noktası vektörü {Q} ise eleman üzerinde etkili olan yükleri tanımlamaktadır.

Her bir elemana ait eleman rijitlik matrislerinin; eleman yük vektörlerinin bir araya getirilip toplanması ile sisteme ait toplam rijitlik matrisi ve toplam yük vektörü elde edilmiş olur. Bu işlem sonucunda fiziksel problemin davranışını ifade eden diferansiyel denklem lineer bir denklem takımına **(5.2)** indirgenir.

$$[k].\{r\} = \{R\} \qquad \textbf{(5.2)}$$

Bu denklemde yer alan [k] toplam rijitlik matrisi, {R} toplam yük vektörü ve {r} düğüm noktası deplasman vektörüdür.

Bu iki denklemin çözülmesi için sınır koşullarının belirlenmesi ve bu iki eşitliğin uygun şekilde ilişkilendirilmesi gerekmektedir. Lineer analizlerde doğrudan çözüm yapılırken, doğrusal olmayan zemin davranışı için analizlerde her bir yük adımı için yük vektörleri ve rijitlik matrisleri tekrar oluşturularak çözümlenmektedir (Gürgüç,2013).

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.

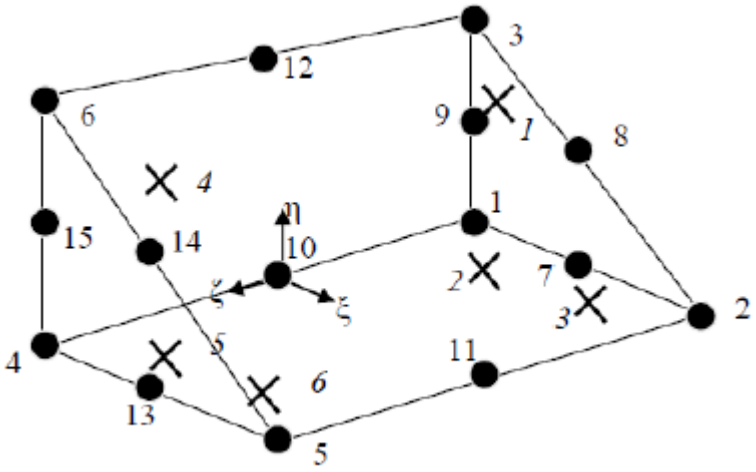
1. Analizlerde dolgu yerleştirilmesi veya kaldırılması durumunda, geometri her bir adımda değişmektedir. Geometrideki değişim sonlu elemanlar ağına eleman ekleyerek veya kaldırarak modellenebilmektedir.
2. Analizlerde, zemin kütlesi içinde gerilmelerin değişimi sonucu her bir yükleme kademesinde zemin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

5.2 Plaxis 3D Foundation Sonlu Elemanlar Programı

PLAXIS 3D foundation V2.2 programı, Hollanda'nın Delft Üniversitesi tarafından geoteknik mühendisliği problemlerinin çözümünde kullanılmak üzere geliştirilen bir sonlu eleman programıdır. PLAXIS, geoteknik mühendisliğinde hem statik hem de dinamik yükler altında olan karmaşık geometriye sahip sistemlerin deformasyon ve stabilite analizinde kullanılan bir programdır.

Plaxis 3D Foundation programı, özellikle temel sistemlerindeki yer değiştirme ve taşıma gücü problemlerinin sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilerek, üç boyutlu

olarak çözümlenmesi için geliştirilmiştir. PLAXIS ile yapılan analizlerde; tabakalı zemin ve karmaşık geometriye sahip sistemler ile farklı yönlerde yapılan yüklemeler, statik boşluk suyu basınçları hesaplanabilmektedir.Yapı-zemin etkileşimi, özel ara yüzey elemanları (interface) ile otomatik olarak modellenebilmektedir. Sistemin düzgün olmayan elemanlardan oluşan iki boyutlu sonlu elemanlar ağı otomatik olarak oluşturulmaktadır. İstenildiğinde iki boyutlu sonlu elemanlar ağı, sistemin tümü için ya da sadece bölgesel olarak eleman boyutu ayarlaması ile sıkıştırılabilmektedir. 6 düğüm noktalı üçgen elemanlardan oluşan sonlu elemanlar ağı, y ekseninde doğrusal uzatılarak modelin tümü için üç boyutlu sonlu elemanlar ağı oluşturulmaktadır. Sonlu elemanlar ağında, gerilme ve zorlanmalar her bir elemanın Gauss (gerilme) noktalarında hesaplanmaktadır. 15 düğüm noktalı bir elemanda 6 gerilme noktası bulunmaktadır. Bu elemanlar Şekil 5.1'de gösterilmektedir (Gürgüç,2013).

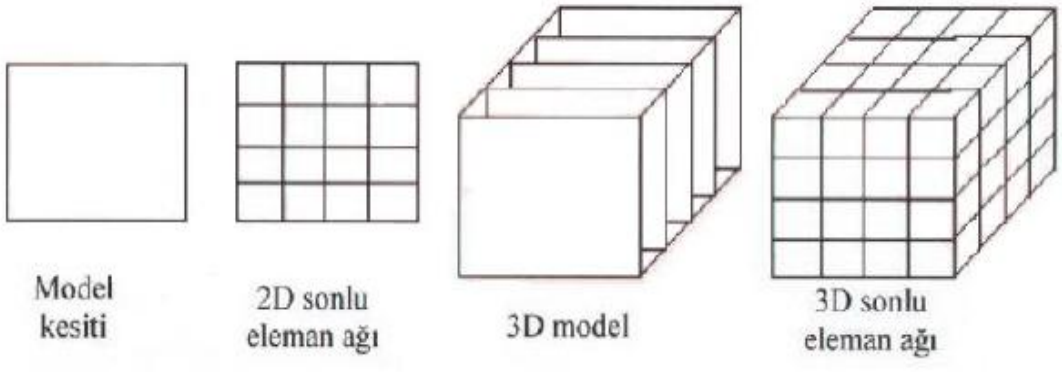


Şekil 5.1: PLAXIS 3D yazılımında kullanılan sonlu elemanlar.

Plaxis 3D Foundation sonlu elemanlar programı, birbirleri ile bağlantılı 4 ayrı alt programdan oluşmaktadır. İlk olarak, "INPUT" veri girişi programı, modelin geometrisinin, sınır koşullarının, zemin ve yapı elemanlarının malzeme özelliklerinin belirlendiği ve yük durumlarının atandığı programdır. Veri girişleri tamamlandıktan sonra iki boyutlu sonlu elemanlar ağı otomatik olarak oluşturulur. Sonrasında ise iki boyutlu ağın y eksenindeki çalışma düzlemleri boyunca birbirlerine bağlanması ile üç boyutlu sonlu elemanlar ağı oluşturulur. Üç boyutlu sonlu eleman ağı 15 düğüm noktalı üçgen sonlu elemanlardan oluşmaktadır. Komşu elemanlar ise birbirlerine ortak düğüm noktaları yardımı ile bağlanmaktadırlar. İkinci aşama, oluşturulan modele ait hesaplamaların yapıldığı "CALCULATION" analiz programıdır. Analiz programında yapım aşamaları ve yükleme durumları tek tek tanımlanır. Üçüncü

aşama, hesaplamalardan elde edilen sonuçların görüldüğü "OUTPUT" veri çıkış programıdır. Sonuçların grafiksel olarak görülebildiği, istenildiği takdirde önceden belirlenmiş bazı noktalardaki gerilme-şekil değiştirme grafiklerinin çizdirilebildiği "CURVES" grafik programıdır.

Plaxis "INPUT" programı ile model geometrisi 3 boyutlu olarak oluşturulur. Malzeme özellikleri ve sınır koşulları tanımlanır. İlk olarak, modelin zemin tabakaları, yapılar ve yükleri kapsayan x-z ekseninde düğüm noktaları, çizgiler ve kapalı alanlardan oluşan kesiti çizilmekte ve sonlu elemanlar ağı oluşturulmaktadır. Daha sonra y ekseninin gerekli koordinatları tanımlanmakta, böylece x-z eksenlerindeki kesitin istenen sayıda kopyası, y ekseni boyunca düzlemleri oluşturmaktadır. Düzlemler arasında kalan hacimler de dilimleri oluşturmaktadır.

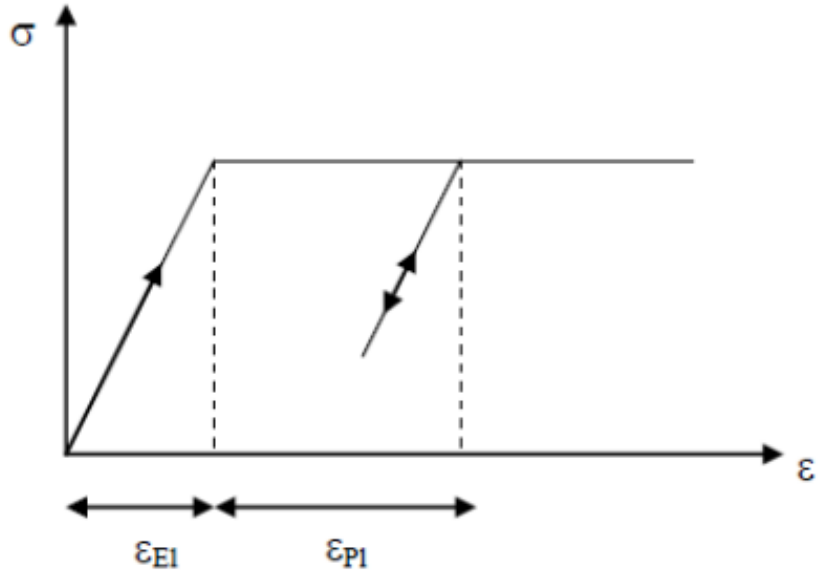


Şekil 5.2: Sonlu elemanlar ağının oluşturulması.

Zeminin gerilme-şekil değiştirme davranışını belirleyenlerden birisi de, zeminin hangi model olarak tanımlandığıdır. Plaxis 3D Foundation programında, zemin mekaniğinde genellikle kullanılan lineer elastik ve elasto-plastik Mohr-Coulomb zemin modellerine ilave olarak, zeminin hiperbolik elastik-plastik davranışına izin veren pekleşen zemin (Hardening Soil) ve yumuşak zemin akma modeli (Soft Soil Creep) gibi farklı kabullere dayanan zemin modelleri de bulunmaktadır.

Elasto-plastik Mohr-Coulomb modelinde Elastisite modülü E ve Poisson oranı υ zeminin elastik özelliklerini temsil etmekte, kohezyon c ve içsel sürtünme açısı ϕ plastik, hacimsel genleşme açısı ψ ise hacim değiştirme özelliklerini temsil etmektedir. Mohr-Coulomb zemin modelindeki gerilme-şekil değiştirme davranışı Şekil 5.3'te gösterilmektedir. Geoteknik mühendisliği problemlerinin analizinde zeminlerin davranışı, az sayıda model parametresine ihtiyaç olması, kohezyon c ve içsel sürtünme açısı ϕ gibi basit fiziksel özellikler kullanılarak göçme kriteri

tanımlama olanağının bulunması, zemin numuneleri üzerinde gerçekleştirilecek temel zemin mekaniği laboratuar deneyleri ile zemin parametrelerinin kolaylıkla elde edilebiliyor olması ve malzeme modelleri ile ilgili literatürde yapılmış olan çalışmalar sonucunda Mohr-Coulomb gibi izotropik modellerin kullanılmasının yeterli doğrulukta sonuçlara götürdüğünün ortaya konmuş olması nedeni ile yaygın olarak Mohr-Coulomb malzeme modeli kullanılarak modellenmektedir (Yang ve Jeremic, 2005; Johnson ve diğ., 2006; Karthigeyan ve diğ., 2006; Karthigeyan ve diğ., 2007).



Şekil 5.3: Zeminde Mohr-Coulomb gerilme-şekil değiştirme davranışı modeli.

Zeminin elasto-plastik davranışını tanımlayan diğer bir model ise Pekleşen Zemin (Hardening Soil Model)'dir. Pekleşen zemin modelinin Mohr Coulomb zemin modeline göre en önemli artısı, artan gerilmeler ile zeminin rijitliğinin de artmasıdır. Bunun yanında, Hardening Soil Model'de ilk yükleme rijitlik modülleri ile yükleme boşaltma rijitlik modüllerinin ve ön konsolidasyon basıncı ayrı tanımlanabilmektedir.(Gürgüç,2013)

Bu zemin modelinde,plastisite teorisinden faydalanarak sünme yüzeyi hesaplanmaktadır. (Plaxis Material Manuel,2012. Mükemmel plastik zemin modellerinden geliştirilmiş olan bu modelde, sünme fonksiyonu, pekleşme parametresi aracılığı ile sünme yüzeyi boyutlarını etkilemektedir. Pekleşme parametresi plastik şekil değiştirmelere bağlı olarak değişmektedir (Gürgüç,2013).

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

$$E_{oed} = E_{oed}^{ref} \left(\frac{\sigma}{p_{ref}} \right)^{m} \quad \textbf{(5.3)}$$

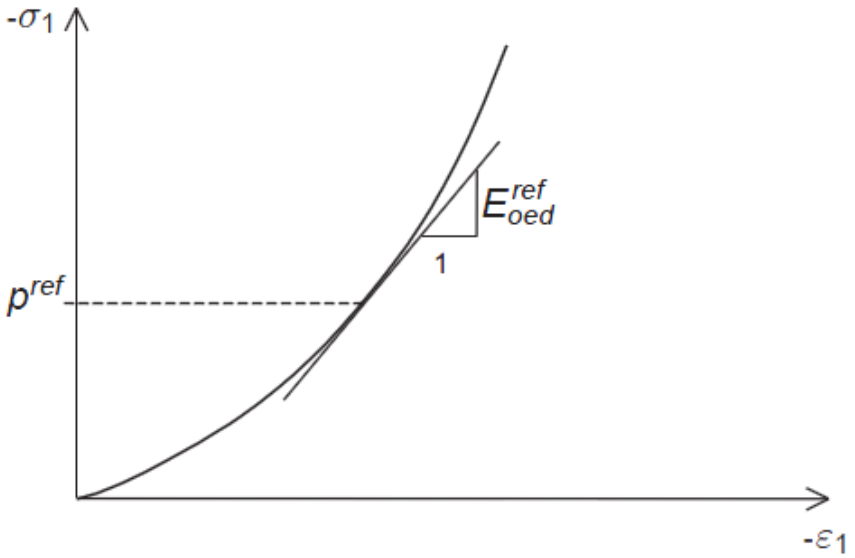
E_{oed}:Ödometre deneyinden elde edilen Elastisite Modülü

E_{oed}^{ref}:Birincil ödometre yüklemesinden elde edilen tanjant rijitlik değeri

σ:Gerilme

p_{ref}:Referans basınç değeri

m:Gerilme Katsayısı



Şekil 5.4: E_{oed}^{ref} değerinin ödometre ile hesaplanması (Plaxis Material Manual, 2007).

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

$$E_{oed} = E_{oed}^{ref} \left(\frac{c\cos\varphi - \frac{\sigma_3^{'}}{K_0^{nc}}\sin\varphi}{c\cos\varphi + p^{ref}\sin\varphi} \right)^{m} \quad \textbf{(5.4)}$$

$$K_0^{nc} = 1 - sin\varphi \quad \textbf{(5.5)}$$

Φ:İçsel sürtünme açıcı

C: Kohezyon

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

$$E_i = \frac{2E_{50}}{2 - R_f} \tag{5.6}$$

$$R_f = \frac{\sigma_{d,f}}{\sigma_{d,\text{ult}}} \tag{5.7}$$

$$E_{50} = E_{50}^{ref} \left(\frac{c\cos\varphi - \sigma_3^{'}\sin\varphi}{c\cos\varphi + p^{ref}\sin\varphi} \right)^m \tag{5.8}$$

E_i:Başlangıç rijitlik değeri

E_{50}:Çevre basıncına bağlı birincil yükleme durumu elastisite modülü, göçme anındaki gerilme değerinin %50'sine karşılık gelen elastisite modülü değeri olarak hesaplanır.

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

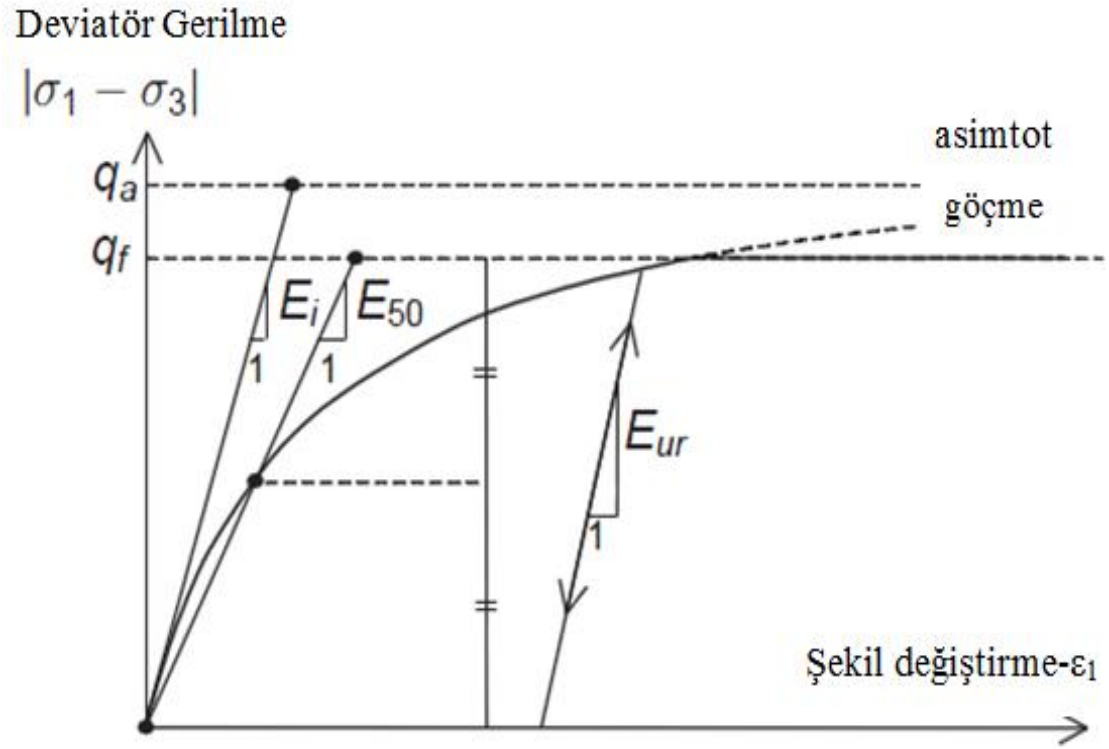
$$E_{ur} = E_{ur}^{ref} \left(\frac{c\cos\varphi - \sigma_3^{'}\sin\varphi}{c\cos\varphi + p^{ref}\sin\varphi} \right)^m \tag{5.9}$$

E_{ur}:Yükleme-boşaltma gerilme izi, elastisite modülü

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

σ_3':Standart üç eksenli deney için efektif minimum asal gerilme değeri

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



Şekil 5.5: Elastisite modülü değerlerinin hesabı (Plaxis Material Manual, 2007).

$$C_c = \frac{2.3(1+e_{init})P_{ref}}{E_{oed}^{ref}} \quad \textbf{(5.10)}$$

$$C_s = \frac{2.3(1+e_{init})(1+\nu)(1-2\nu)P_{ref}}{(1-\nu)E_{ur}^{ref}} \quad \textbf{(5.11)}$$

C_c:Sıkışma indeksi

C_s:Şişme indeksi

ν:Poisson oranı

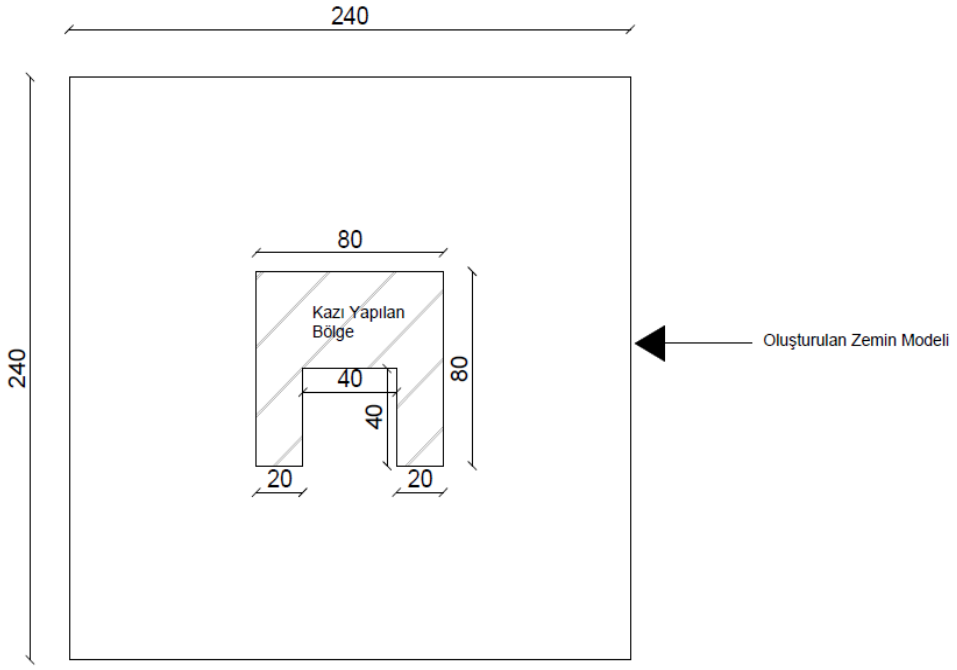
e_{init}:Başlangıç boşluk oranı

6. PARAMETRİK ÇALIŞMA

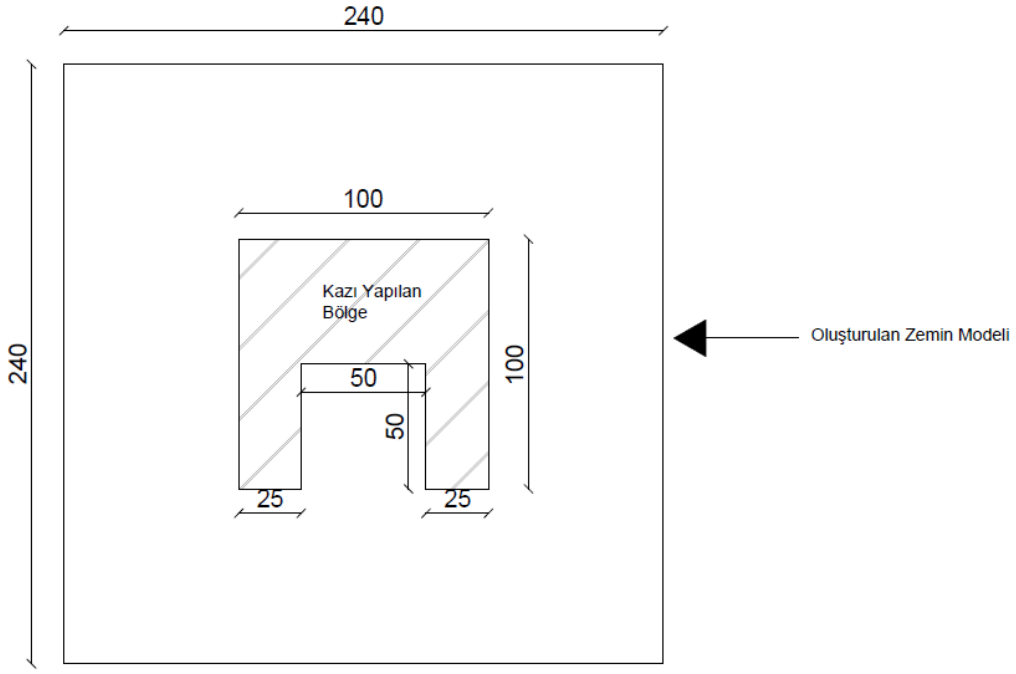
Kazı çukurlarıda köşe etkisi incelenmesi amacıyla Plaxis 3D Foundation V2.2 üç boyutlu sonlu elemanlar programı kullanılarak iki farklı boyuttaki ‘‘U’’ şeklindeki kazı kare zemin modeli üzerine yapılmıştır. Çalışmada iki farklı kazı derinliği ve dört farklı özellikteki zemin için on altı adet model çözülmüştür.

6.1 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 6.1 ve Şekil 6.2’ de gösterilmektedir.

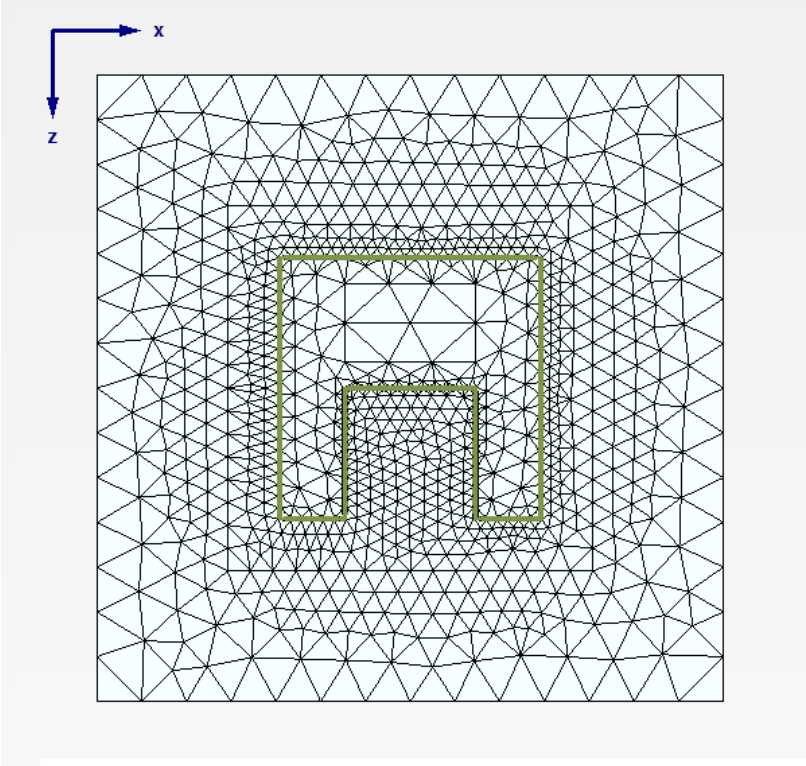


Şekil 6.1: 80.0 x 80.0 m kazı çukuru içerisine yapılan kazının plan görünüşü.

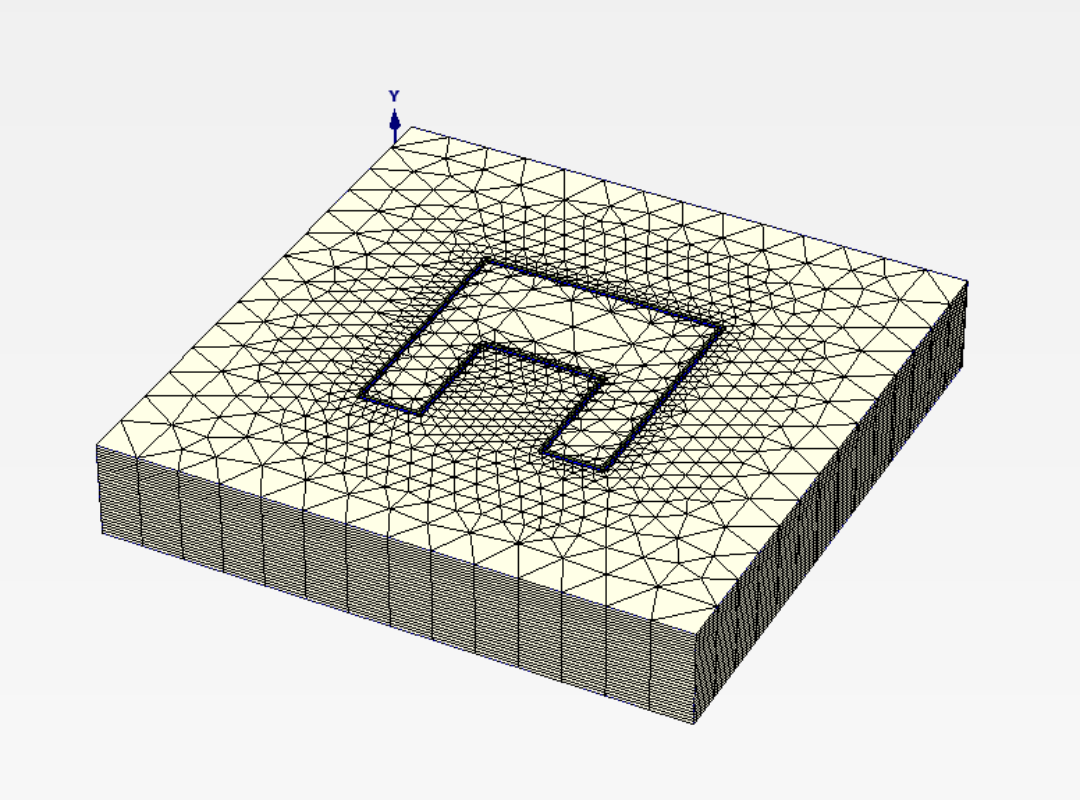


Şekil 6.2: 100.0 x 100.0 m kazı çukuru içerisine yapılan kazının plan görünüşü.

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 6.3 ve Şekil 6.4' te verilmiştir.

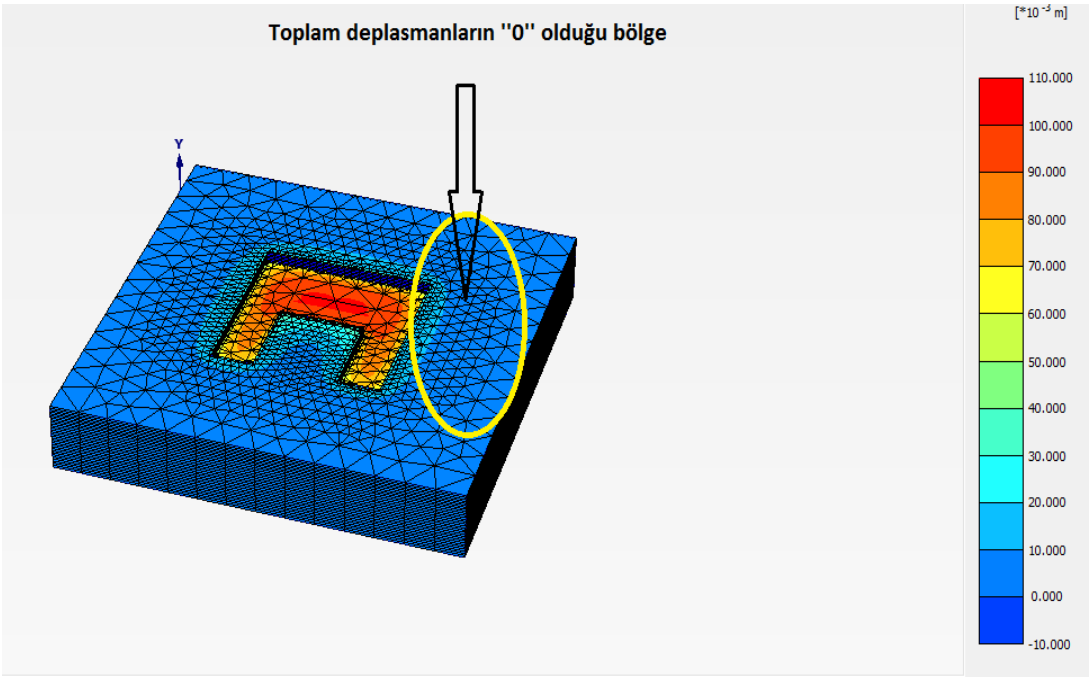


Şekil 6.3: Modelin sonlu eleman ağı iki boyut görünüşü.



Şekil 6.4: 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 6.5' de gösterilmektedir.



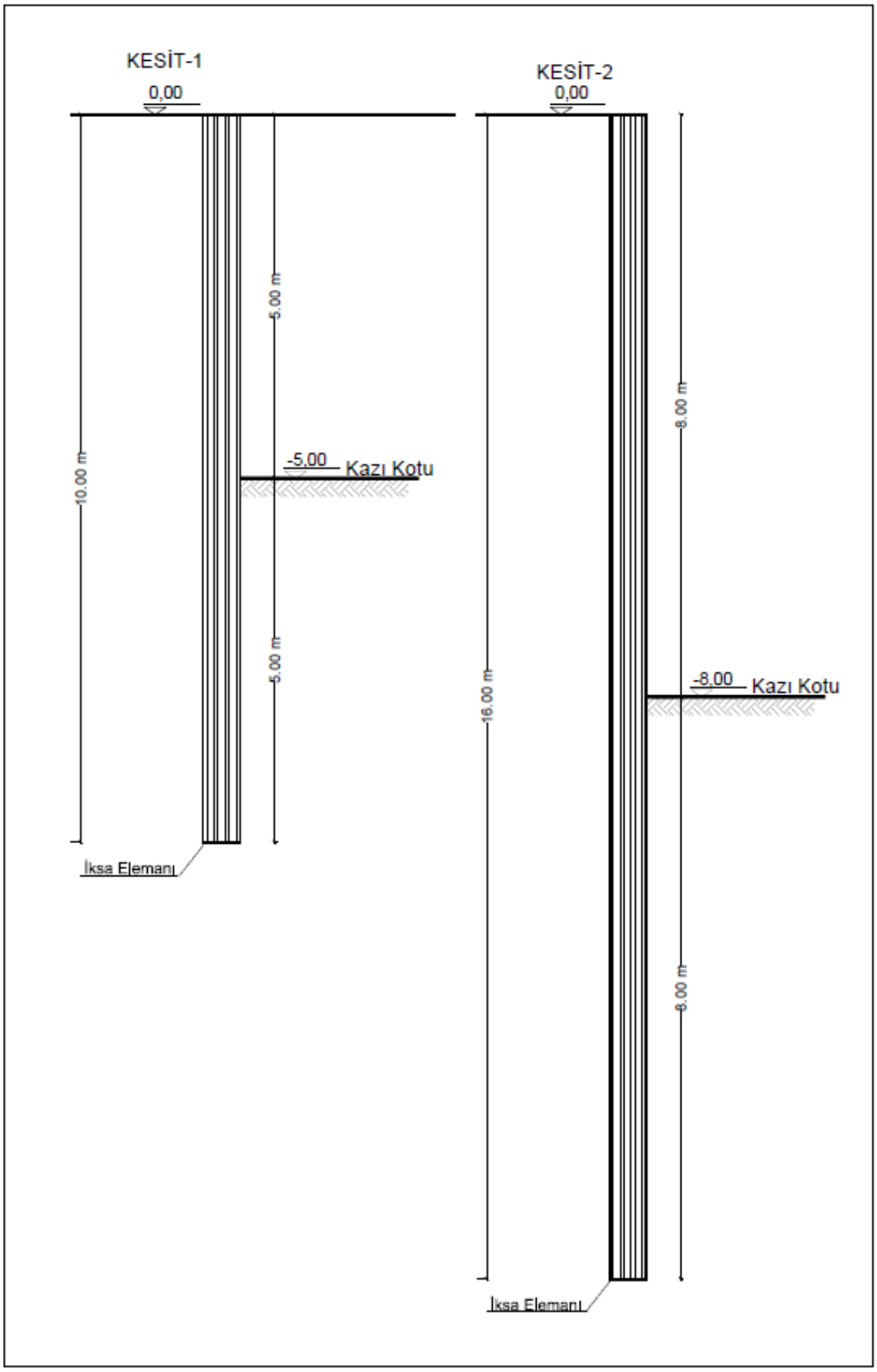
Şekil 6.5: Sınır koşullarının incelenmesi için toplam deplasman çıktılarının analizi.

6.2 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 6.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 6.1 : 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	-



Şekil 6.6: İksa elemanı kesitleri.

6.3 Hesap Aşamaları :

Yapılmış olan analizlerde iksa elemanları lineer-elastik davranış özelliğine sahip duvarlar olarak tanımlanmıştır. 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.

6.4 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 adet analiz yapıldı. 80.0 x 80.0 metrelik ‘‘U’’ şeklindeki kazı çukurunun analizlerinden elde edilen grafikler ve 100.0 x 100.0 metrelik ‘‘U’’ şeklindeki kazı çukurundan elde edilmiş olan grafikler aşağıda verilmiştir. Her Model 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 .).

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

Yapılmış olan analizlerde kurulan tüm modeller için pekleşen zemin özelliği gösteren Hardening Soil Model kullanılmıştır. Bunun yanında Plaxis 3D Foundation V2.2 üç boyutlu sonlu elemanlar programı kohezyon değerini 0 kabul etmediği için yapılan hesaplamarda kohezyon katsayısı, kohezyon değeri 0 olan zemin türleri için 1 seçilmiştir.

Çizelge 6.2 : Zemin tipine göre oluşan deplasmanlar (Bowles, J. E, 1998)

Zemin Tipi ve Durumu	**δh,a/H**
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 6.3 'de verilen tabloyu önermektedir.

Çizelge 6.3 : 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

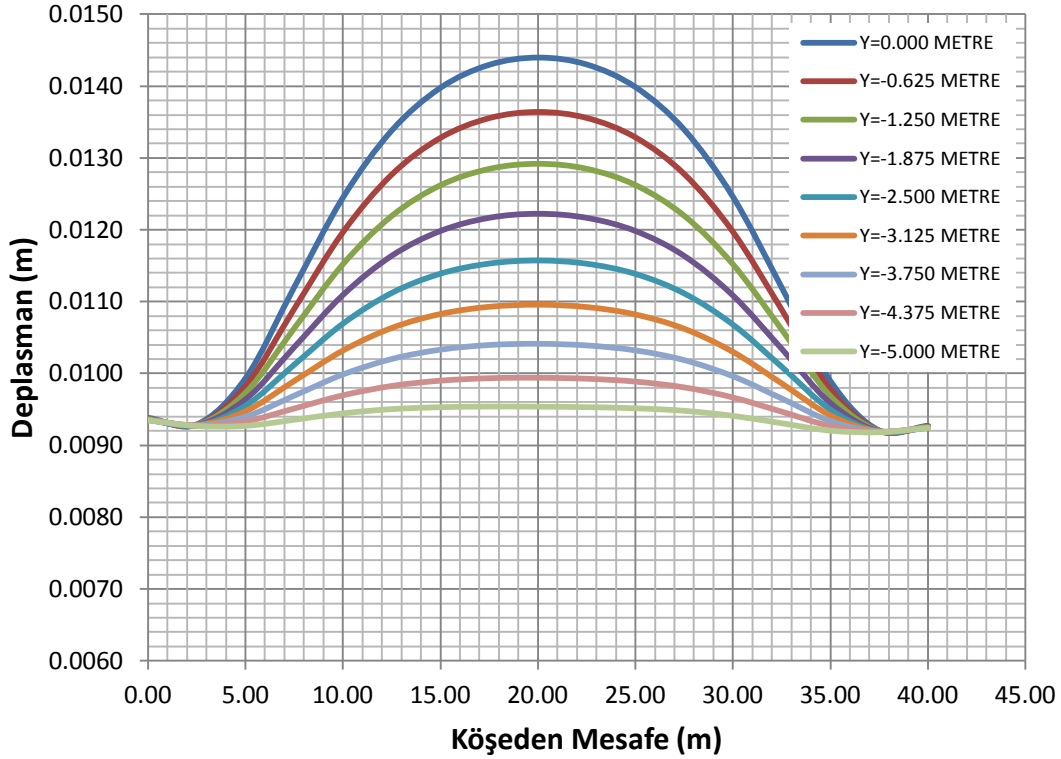
6.4.1 80.0 x 80.0 metre boyutlarındaki kazı çukurunda yapılan analizler

6.4.1.1 Gevşek kum H=5.0 m için yapılan analiz

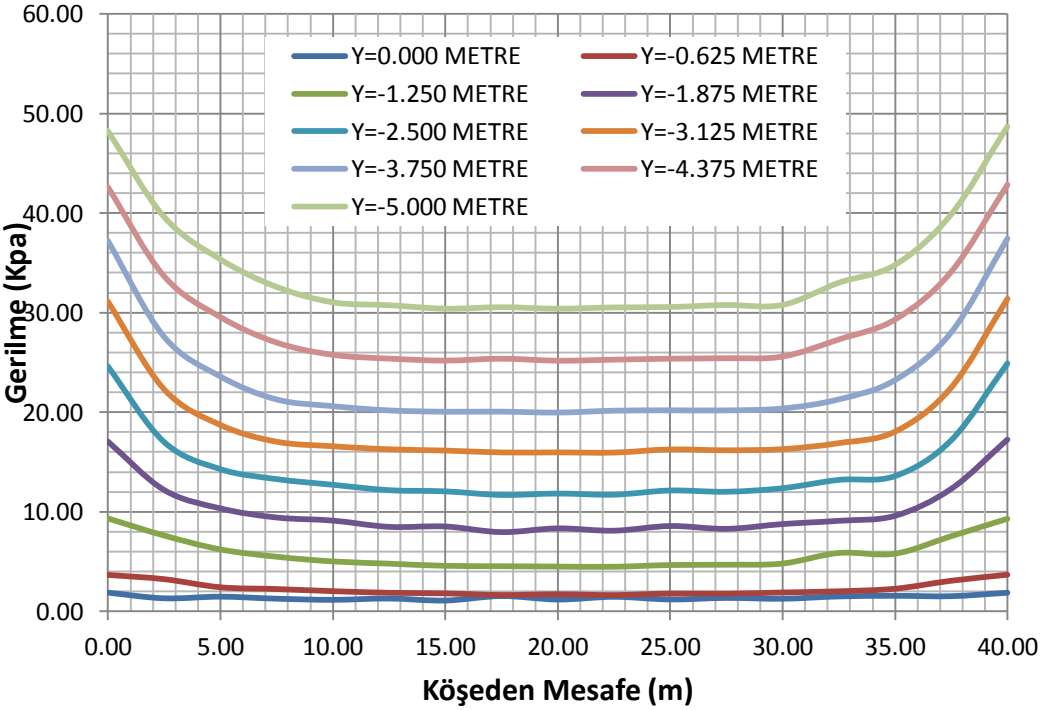
Kazı derinliği 5.0 m olan gevşek kumlu model için deplasman - köşeden mesafe ilişkisi Şekil 6.7' de verilmektedir. Şekilde farklı derinlikler için deplasman - köşeden mesafe ilişkisi çizdirimiş olup değişen derinliklerde (Y= 0.0' dan Y= 5.0' e kadar) derinlik azaldıkça deplasmanın arttığı net bir şekilde görülmektedir. Maksimum deplasmanın H=0.0 metrede oluştuğu görülmektedir. Her derinlik için benzer davranış gözlemlenip, köşelerde deplasmanlar en küçük değerde olup, köşeden mesafenin iki köşeyede eşit olduğu orta kesitte maksimum deplasmana ulaştığı sonucuna varıldı.

Gerilme - köşeden mesafe ilişkisi ise Şekil 6.8'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 15.0 m mesafeden sonra gerilmelerin yakın değerlerde ve köşede oluşan gerilmelerden daha küçük gerilme değerlerinde olduğu görülmektedir.

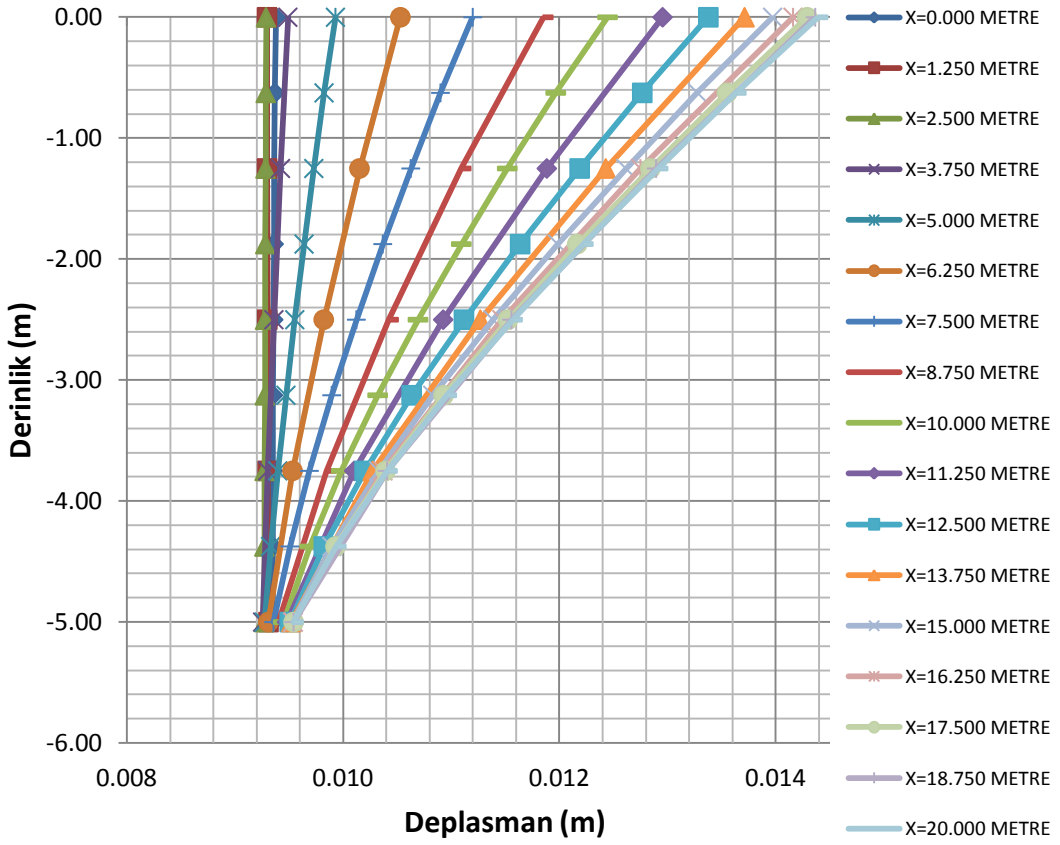


Şekil 6.7: Gevşek kum H=5.0 m köşeden mesafe - deplasman ilişkisi.



Şekil 6.8: Gevşek kum H=5.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi.

Ayrıca deplasman - derinlik ilişkisi ise Şekil 6.9'da verilmektedir. Köşeden değişen mesafeler için deplasman - derinlik ilişkisi çizdirilip, köşeye olan mesafenin artması (X= 0.0' dan X= 20.0' a kadar) ile deplasmanların arttığı net bir şekilde görülmektedir. Köşelerde deplasmanların en küçük değerden başlayıp köşeden 15.0 m mesafeden sonra deplasman artışının azalarak yakın değerlerde olduğu ve orta kesitte maksimum deplasmana ulaştığı sonucuna varılmaktadır.

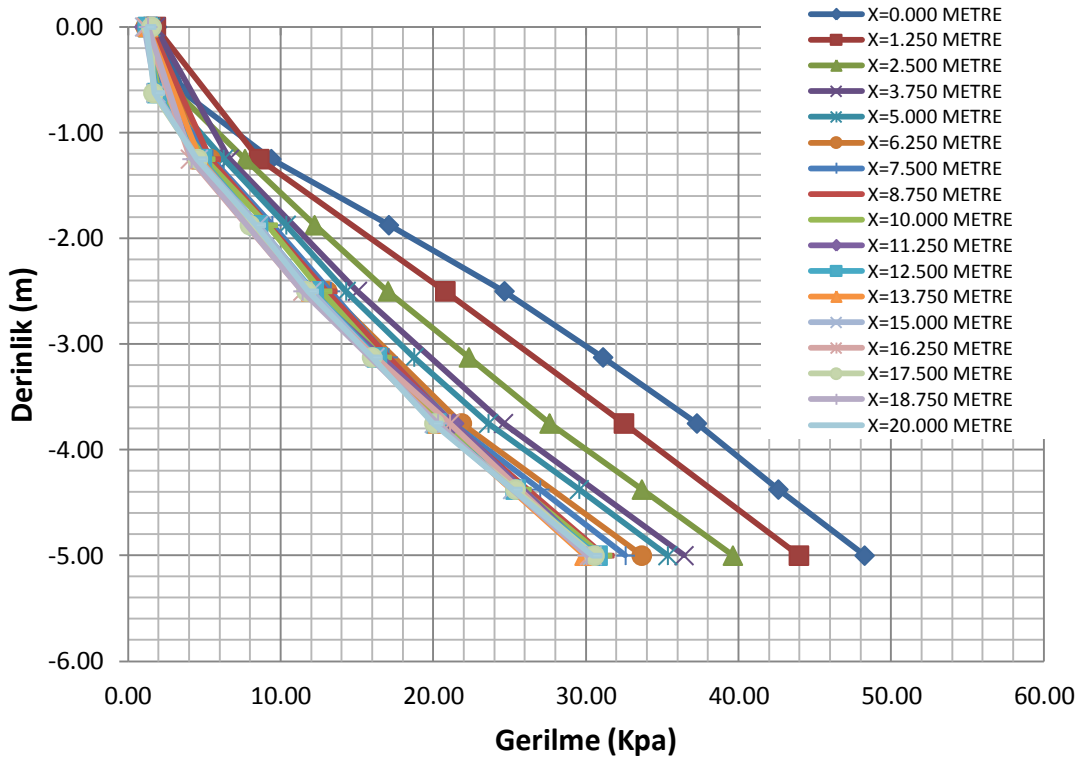


Şekil 6.9: Gevşek kum H=5.0 m derinlik - deplasman ilişkisi.

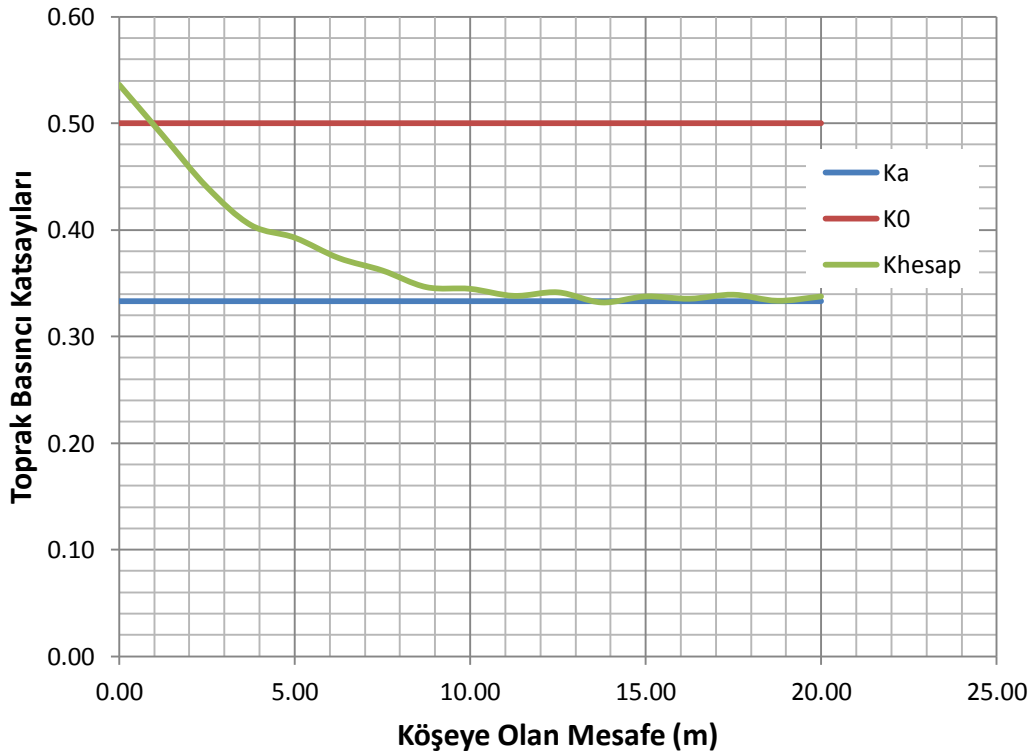
Diğer bir grafikte ise gerilme - derinlik ilişkisi gösterilmektedir (Şekil 6.10). Köşeden değişen mesafeler için gerilme - derinlik ilişkisi çizdirilip, köşeye olan mesafenin artması (X= 0.0' dan X= 20.0' a kadar) ile gerilmenin azaldığı net bir şekilde görülmektedir. Kazı taban kotunda köşeden yaklaşık 15.0 m sonraki mesafelerde ise köşeye olan mesafenin artmasının gerilmeyi değiştiren bir etkisi olmadığı görülmektedir.

Şekil 6.11'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 (**2.6**) bağıntısı ile hesaplanırken, K_a değeri (**2.7**) bağıntısı ile hesaplanmaktadır. İlk metreler'de K_{hesap} değeri K_o değerinin üzerinde olup birinci

metrede K_o değerine ulaştığı görülmektedir 13.75 metreden sonra K_{hesap} değerinin K_a durumuna ulaştığı görülür.



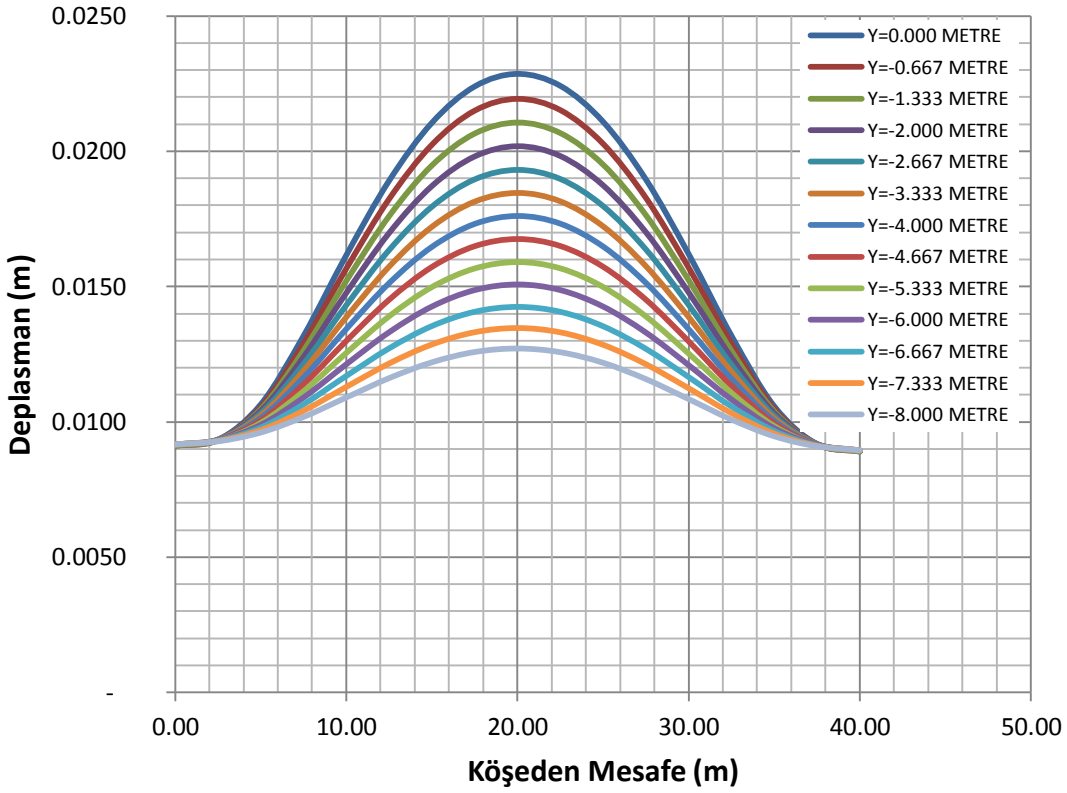
Şekil 6.10: Gevşek kum H=5.0 m derinlik - gerilme ilişkisi.



Şekil 6.11: Gevşek kum H=5.0 m köşeye - mesafe toprak basıncı katsayıları ilişkisi.

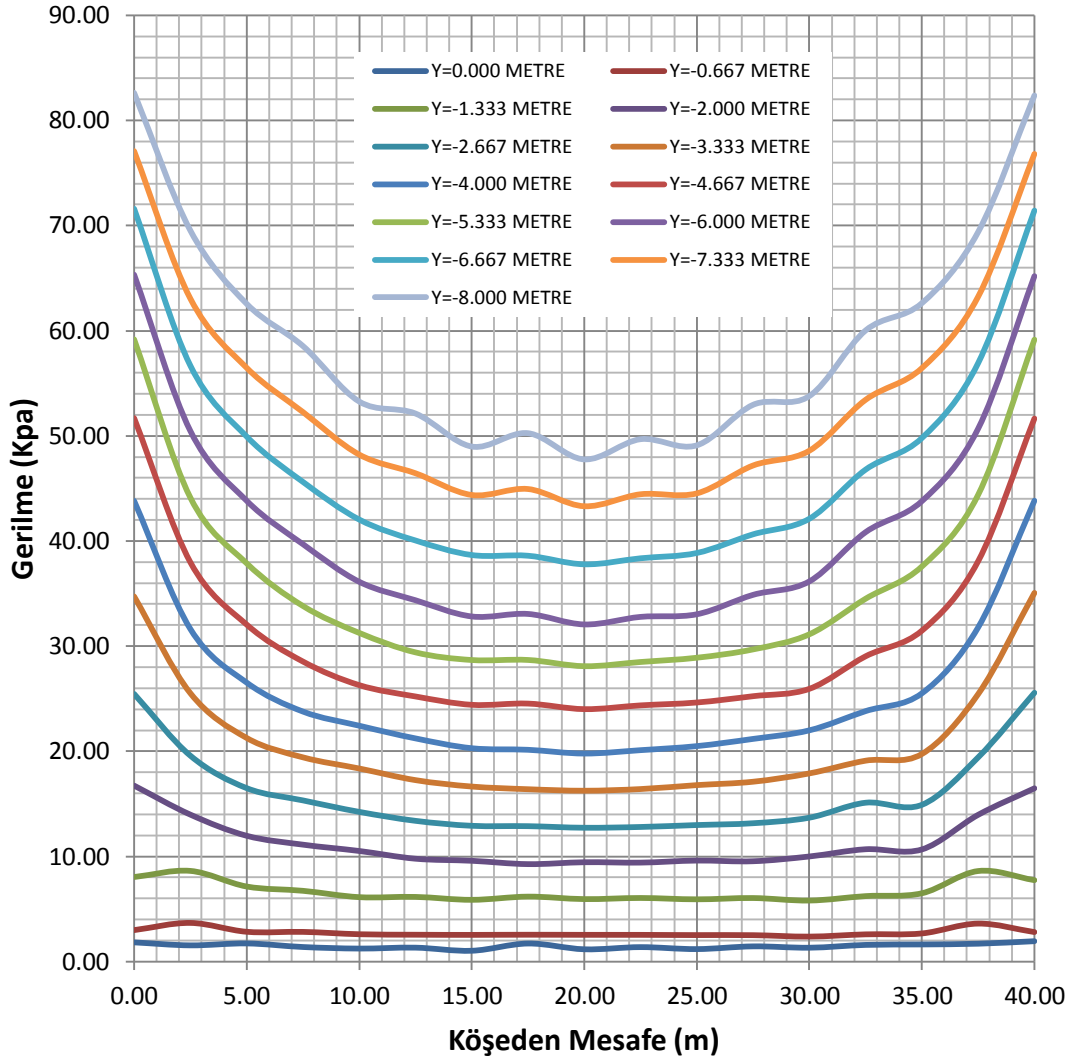
6.4.1.2 Gevşek kum H=8.0 m'lik kesit için yapılan analiz

Kazı derinliği 8.0 m olan gevşek kumlu model için deplasman - köşeden mesafe ilişkisi Şekil 6.12'de verilmektedir. Şekilde farklı derinlikler için deplasman - köşeden mesafe ilişkisi çizdirilmiş olup 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 deplasmanlar en küçük değerde olup köşeden mesafenin iki köşeyede eşit olduğu kesitte maksimum deplasmana ulaştığı sonucuna varıldı.



Şekil 6.12: Gevşek kum H=8.0 m köşeden mesafe - deplasman ilişkisi.

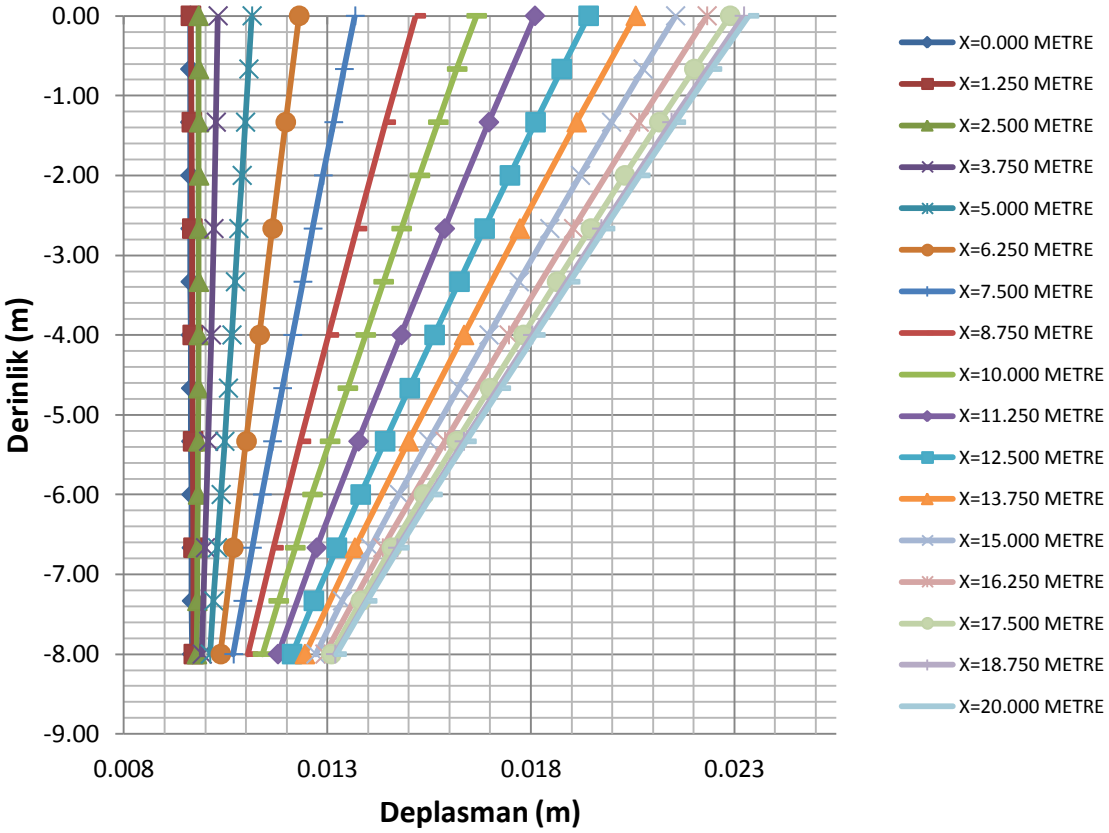
Gerilme - köşeden mesafe ilişkisi ise Şekil 6.13'de gösterilmektedir. Farklı derinlikler için gerilme - köşeden mesafe ilişkisi çizdirilip, değişen derinliklerde (Y= 0.0' dan Y= 8.0' e kadar) derinlik arttıkça gerilmenin arttığı net bir şekilde görülmektedir. Her derinlik için benzer davranış gözlemlenip, köşelerde gerilmelerin en büyük değerlerde oldukları görülmektedir. Ayrıca köşe etkisinin derinlik arttıkça köşeden daha uzakta hissedildiği görülmektedir. Kazı taban kotunda köşeden 15.0 m mesafeden sonra gerilmelerin yakın değerlerde ve köşede oluşan gerilmelerden daha küçük gerilme değerlerinde olduğu görülmektedir.



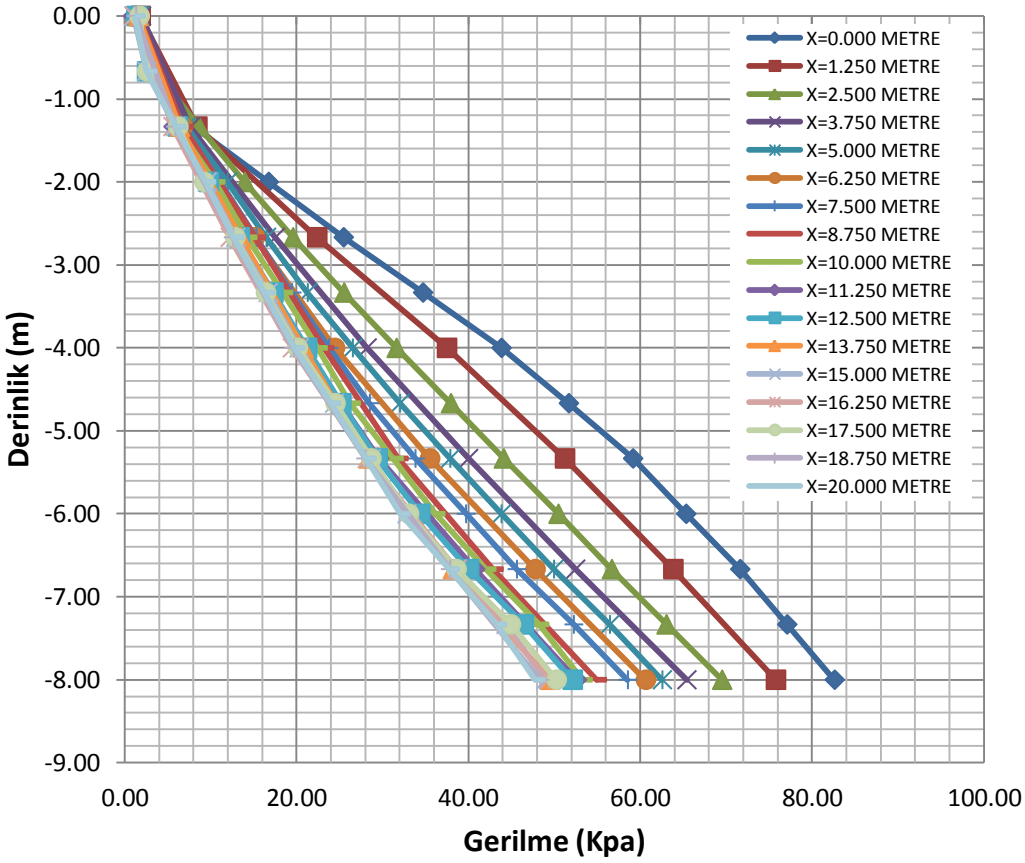
Şekil 6.13: Gevşek kum H=8.0 m köşeden mesafe – gerilme ilişkisi.

Deplasman - derinlik ilişkisi Şekil 6.14'de verilmektedir. Köşeden değişen mesafeler için deplasman - derinlik ilişkisi çizdirilip, köşeye olan mesafenin artması (X= 0.0' dan X= 20.0' a kadar) ile deplasmanların arttığı net bir şekilde görülmektedir. Köşelerde deplasmanların en küçük değerden başlayıp köşeden 17.50 m mesafeden sonra deplasman artışının azalarak yakın değerlerde olduğu ve orta kesitte maksimum deplasmana ulaştığı sonucuna varılmaktadır.

Diğer bir grafikte ise gerilme - derinlik ilişkisi gösterilmektedir (Şekil 6.15). Köşeden değişen mesafeler için gerilme - derinlik ilişkisi çizdirilip, köşeye olan mesafenin artması (X= 0.0' dan X= 20.0' a kadar) ile gerilmenin azaldığı net bir şekilde görülmektedir. Kazı taban kotunda köşeden yaklaşık 15.0 m sonraki mesafelerde ise köşeye olan mesafenin artmasının gerilmeyi değiştiren bir etkisi olmadığı görülmektedir.

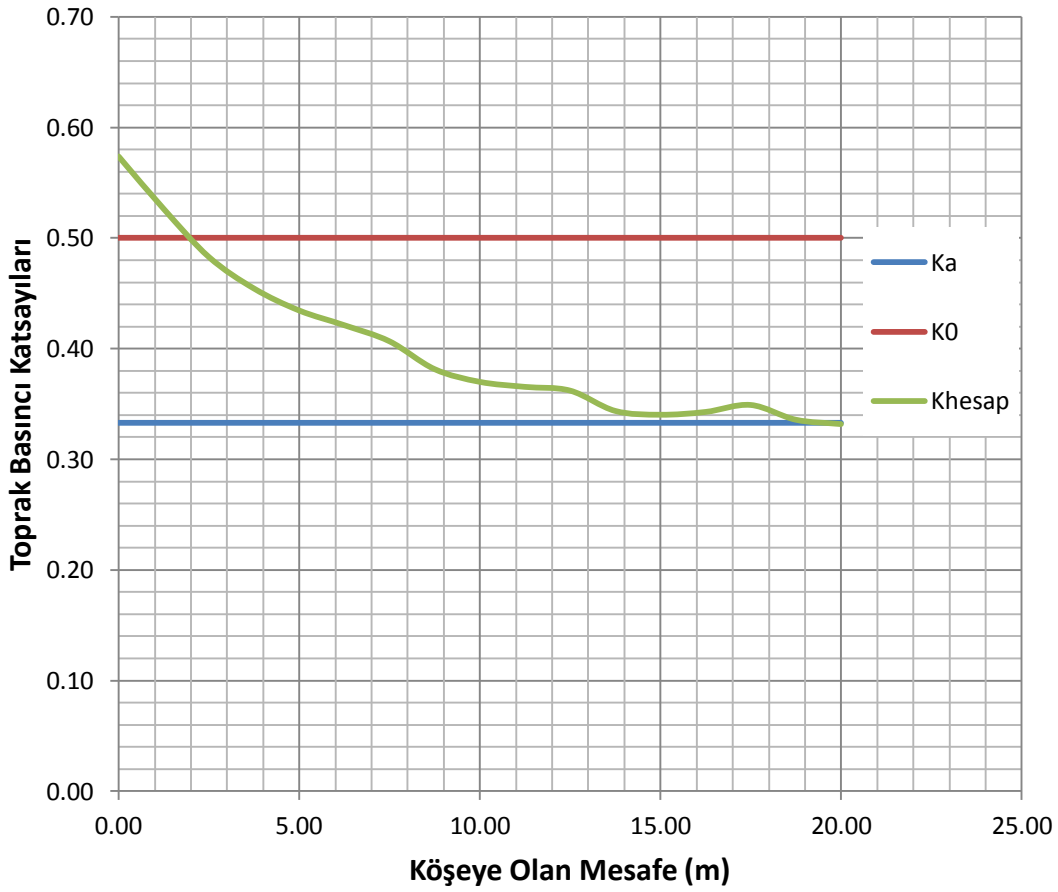


Şekil 6.14: Gevşek kum H=8.0 m derinlik - deplasman ilişkisi.



Şekil 6.15: Gevşek kum H=8.0 m derinlik - gerilme ilişkisi.

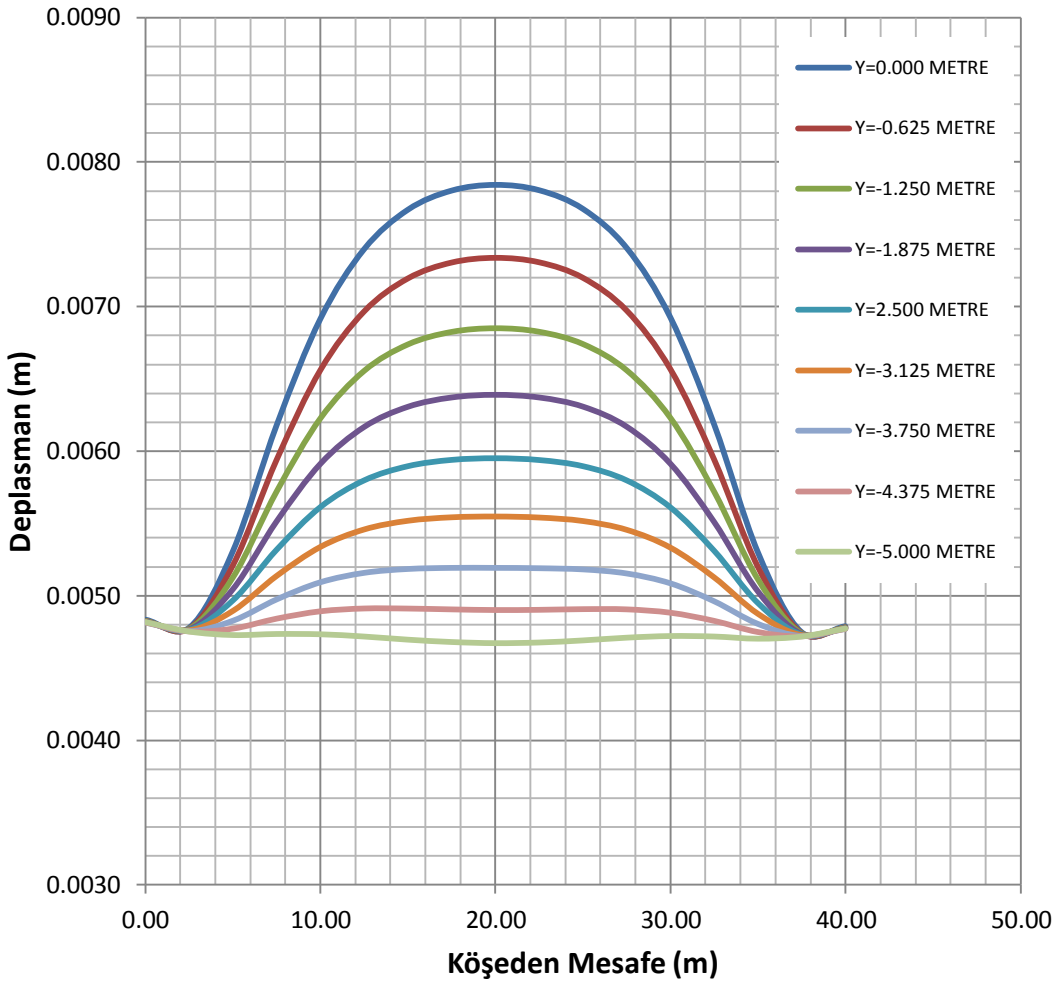
Şekil 6.16'da H=8.0 m derinlikte elde edilen gerilme değerlerinin zeminin birim hacim ağırlığı ve derinliğine bölünmesi ile bulunan K_{hesap} değerlerinin K_a ve K_o ile ilişkisi verilmektedir. K_o (**2.6**) bağıntısı ile hesaplanırken, K_a değeri (**2.7**) bağıntısı ile hesaplanmaktadır. İlk metreler'de K_{hesap} değeri K_o değerinin üzerinde olup ikinci metrede K_o değerine ulaştığı görülmektedir. 13.75 metreden sonra K_{hesap} değerinin K_a durumuna ulaştığı görülür.



Şekil 6.16: Gevşek kum H=8.0 m köşeye mesafe – toprak basıncı katsayıları ilişkisi.

6.4.1.3 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 6.17'de verilmektedir. Şekilde farklı derinlikler için deplasman - köşeden mesafe ilişkisi çizdirilmiş olup 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 deplasmanlar en küçük değerde olup, köşeden mesafenin iki köşeyede eşit olduğu orta kesitte maksimum deplasmana ulaştığı sonucuna varıldı.

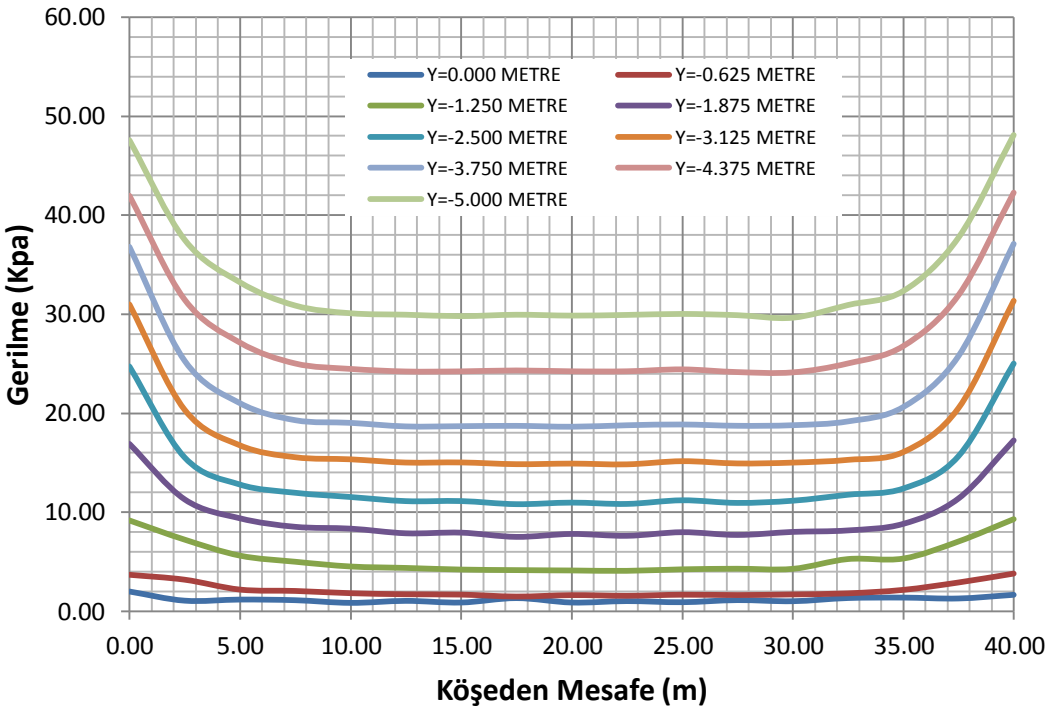


Şekil 6.17: Orta sıkı kum H=5.0 m köşeden mesafe - deplasman ilişkisi.

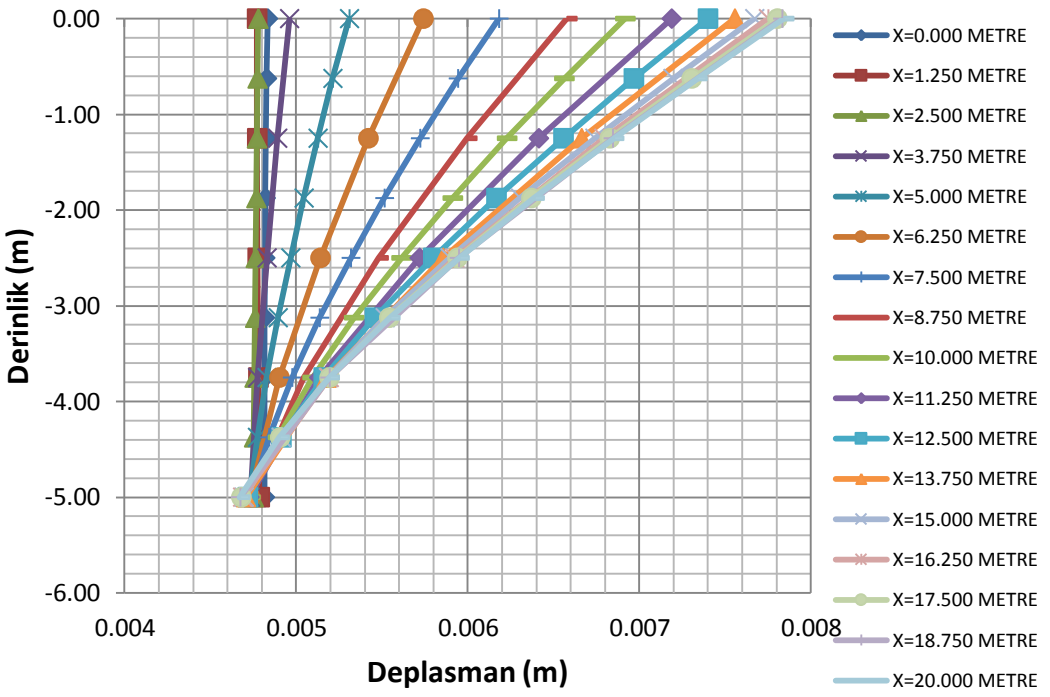
Gerilme - köşeden mesafe ilişkisi ise Şekil 6.18'de gösterilmektedir. Farklı derinlikler için gerilme - köşeden mesafe ilişkisi çizdirilip, değişen derinliklerde (Y= 0.0' dan Y= 5.0' e kadar) derinlik arttıkça gerilmenin arttığı net bir şekilde görülmektedir. Her derinlik için benzer davranış gözlemlenip, köşelerde gerilmelerin en büyük değerlerde oldukları görülmektedir. Ayrıca köşe etkisinin derinlik arttıkça köşeden daha uzakta hissedildiği görülmektedir. Kazı taban kotunda köşeden 10.0 m mesafeden sonra gerilmelerin yakın değerlerde ve köşede oluşan gerilmelerden daha küçük gerilme değerlerinde olduğu görülmektedir.

Ayrıca deplasman - derinlik ilişkisi Şekil 6.19'da verilmektedir. Köşeden değişen mesafeler için deplasman - derinlik ilişkisi çizdirilip, köşeye olan mesafenin artması (X= 0.0' dan X= 20.0' a kadar) ile deplasmanların arttığı net bir şekilde görülmektedir. Köşelerde deplasmanların en küçük değerden başlayıp köşeden 15.00

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



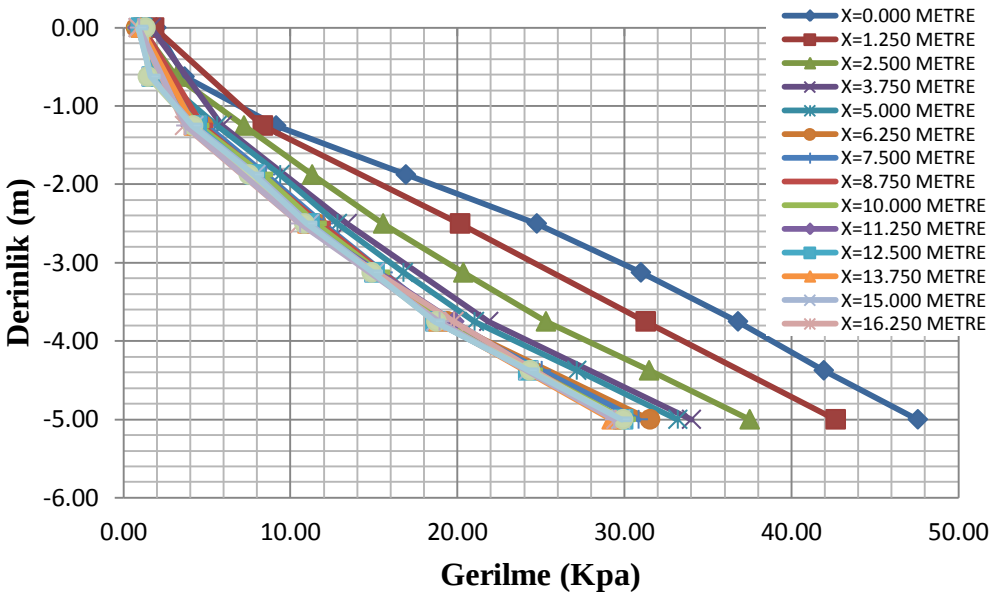
Şekil 6.18: Orta sıkı kum H=5.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi.



Şekil 6.19: Orta sıkı kum H=5.0 m derinlik - deplasman ilişkisi.

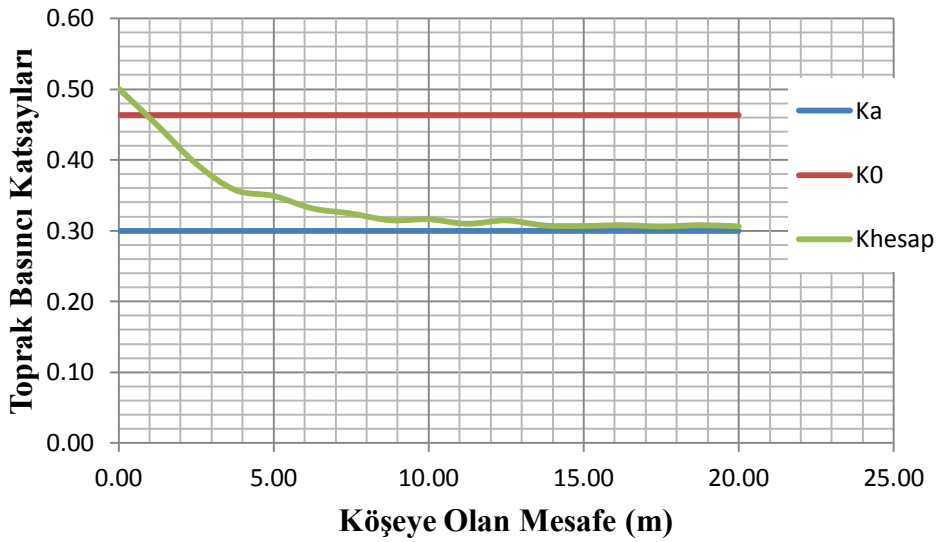
Diğer bir grafikte ise gerilme - derinlik ilişkisi gösterilmektedir (Şekil 6.20). Köşeden değişen mesafeler için gerilme - derinlik ilişkisi çizdirilip, köşeye olan

mesafenin artması (X= 0.0' dan X= 20.0' a kadar) ile gerilmenin azaldığı net bir şekilde görülmektedir. Kazı taban kotunda köşeden yaklaşık 10.0 m sonraki mesafelerde ise köşeye olan mesafenin artmasının gerilmeyi değiştiren bir etkisi olmadığı görülmektedir.



Şekil 6.20: Orta sıkı kum H=5.0 m derinlik - gerilme ilişkisi.

Şekil 6.21'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 (**2.6**) bağıntısı ile hesaplanırken, K_a değeri (**2.7**) bağıntısı ile hesaplanmaktadır. İlk metreler'de K_{hesap} değeri K_o değerinin üzerinde olup birinci metrede K_o değerine ulaştığı görülmektedir. 13.75 metreden sonra K_{hesap} değerinin K_a durumuna ulaştığı görülür.

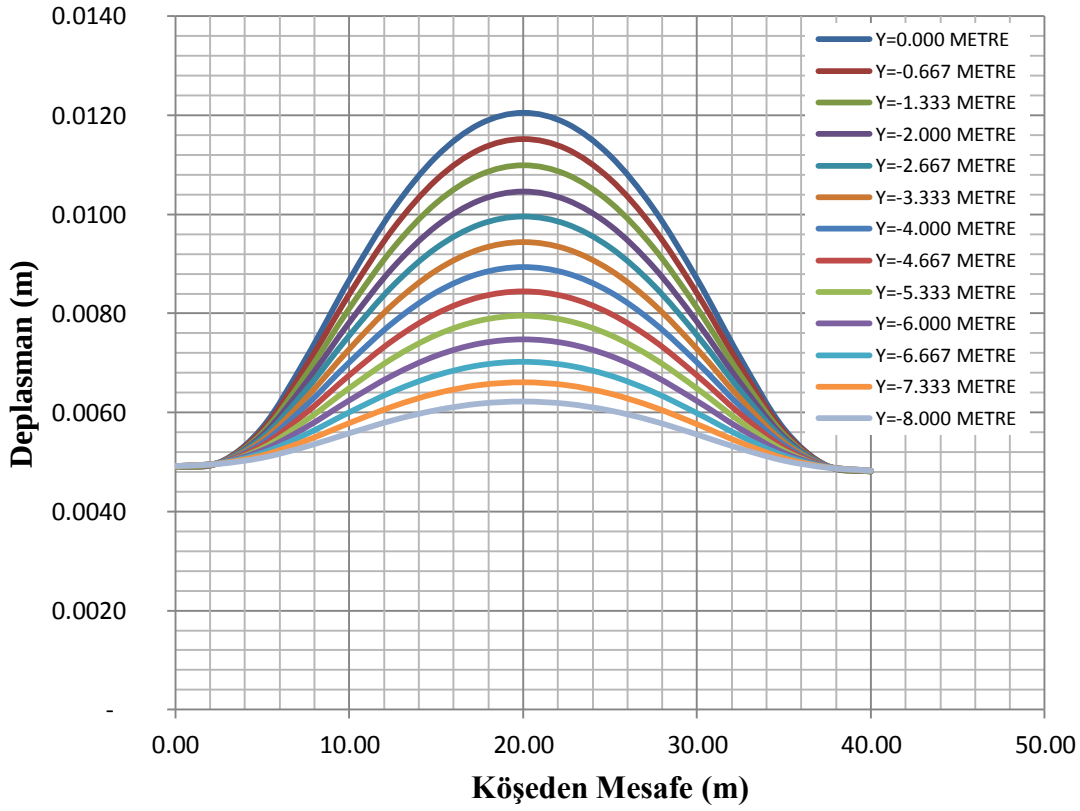


Şekil 6.21: Orta sıkı kum H=5.0 m köşeye mesafe toprak basıncı katsayıları ilişkisi.

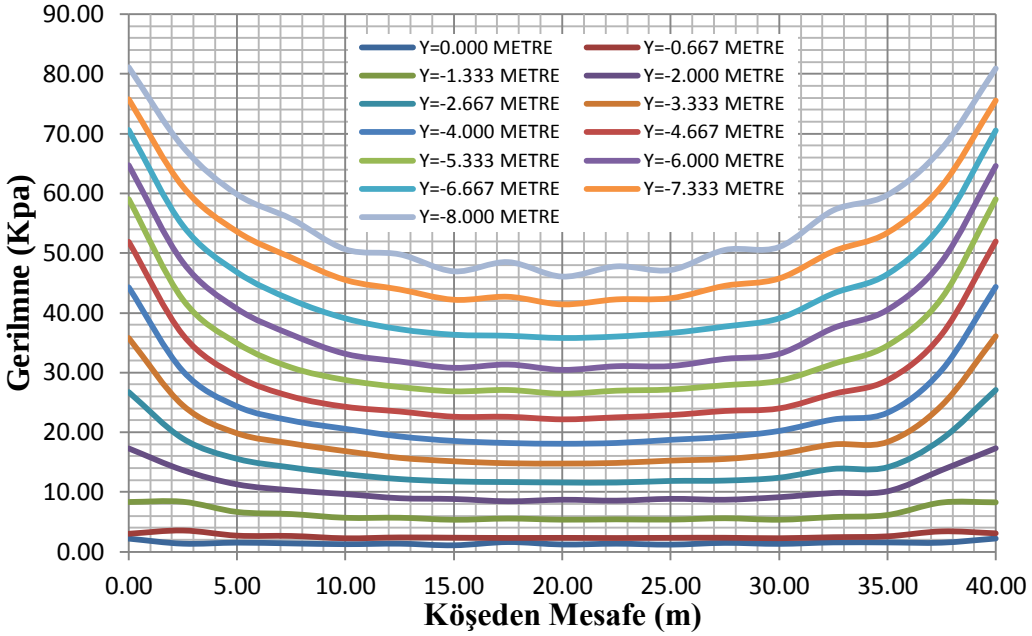
6.4.1.4 Orta sıkı kum H=8.0 m'lik kesit için yapılan analiz

Kazı derinliği 8.0 m olan orta sıkı kumlu model için deplasman - köşeden mesafe ilişkisi Şekil 6.22'de verilmektedir. Şekilde farklı derinlikler için deplasman - köşeden mesafe ilişkisi çizdirilmiş olup 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 deplasmanlar en küçük değerde olup, köşeden mesafenin iki köşeyede eşit olduğu orta kesitte maksimum deplasmana ulaştığı sonucuna varıldı.

Gerilme - köşeden mesafe ilişkisi ise Şekil 6.23'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 15.00 m mesafeden sonra gerilmelerin yakın değerlerde ve köşede oluşan gerilmelerden daha küçük gerilme değerlerinde olduğu görülmektedir.

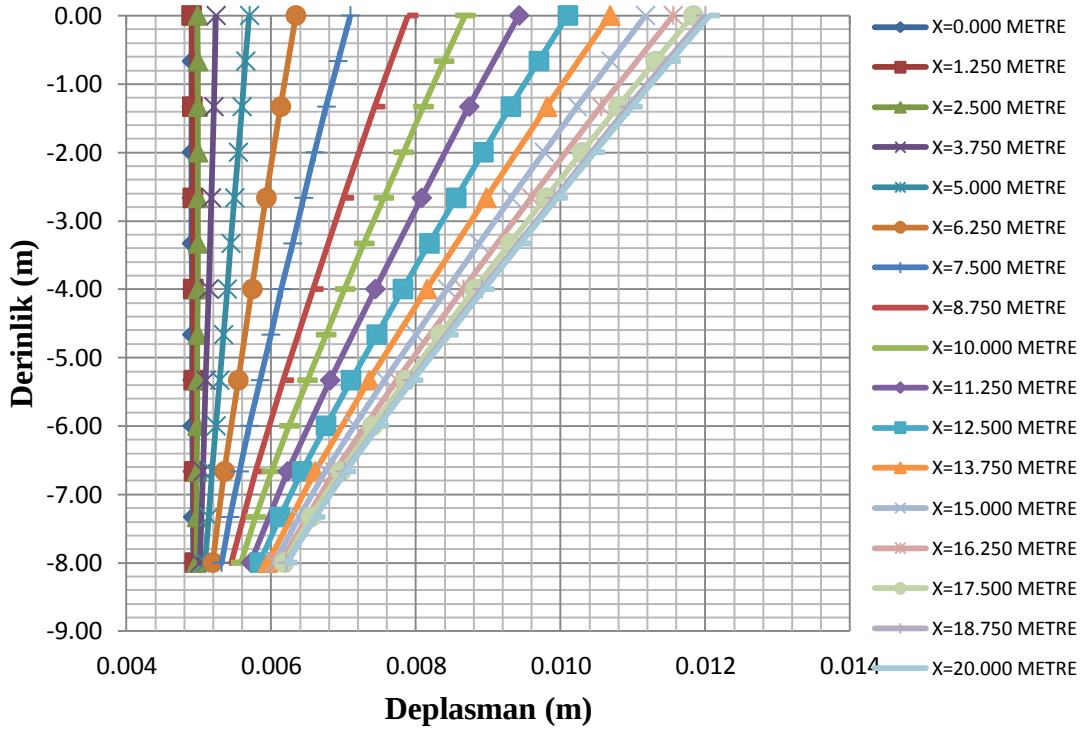


Şekil 6.22: Orta sıkı kum H=8.0 m köşeden mesafe - deplasman ilişkisi.



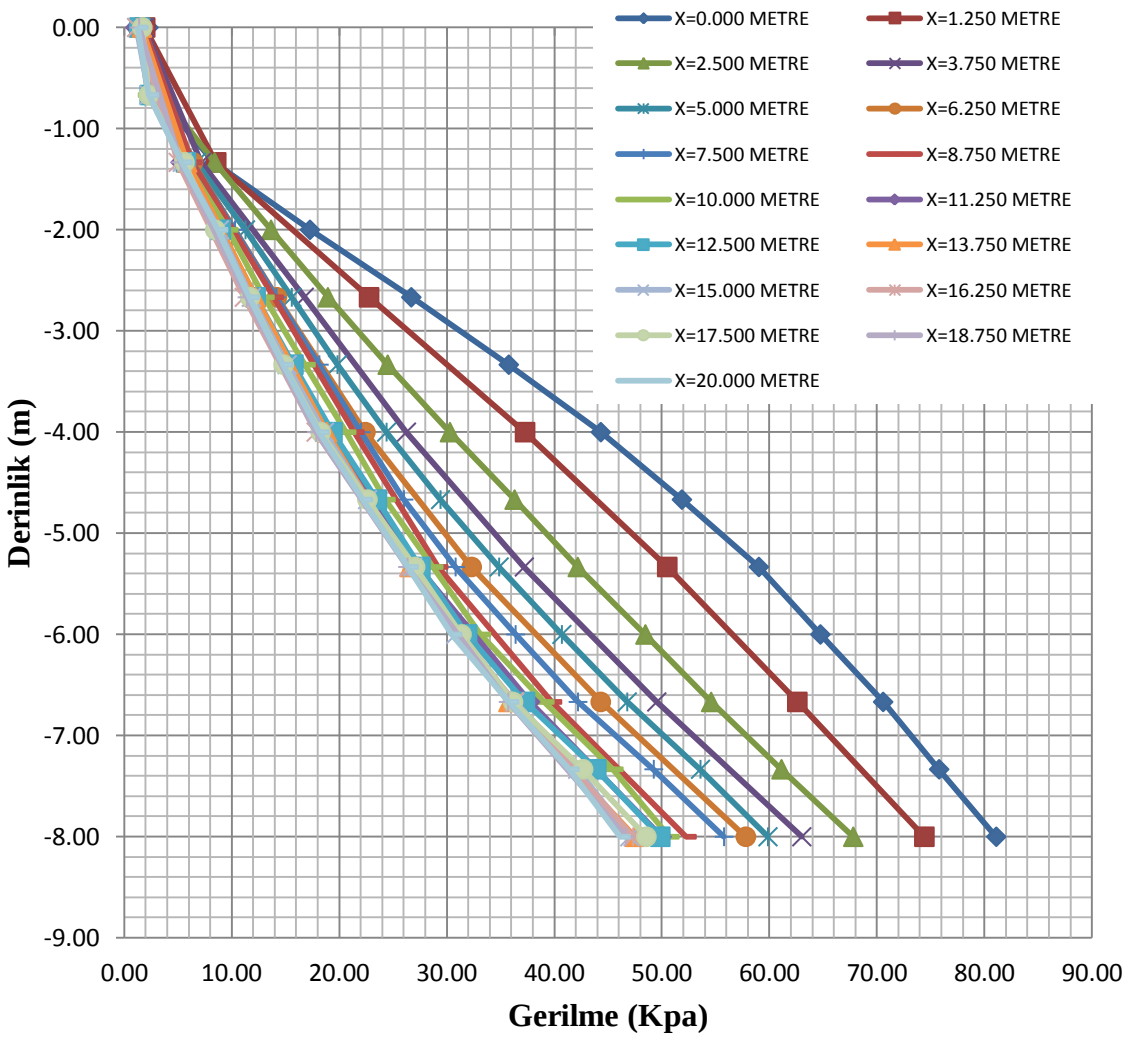
Şekil 6.23: Orta sıkı kum H=8.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi.

Şekil 6.24'de deplasman - derinlik ilişkisi de verilmektedir. Köşeden değişen mesafeler için deplasman - derinlik ilişkisi çizdirilip, köşeye olan mesafenin artması (X= 0.0' dan X= 20.0' a kadar) ile deplasmanların arttığı net bir şekilde görülmektedir. Köşelerde deplasmanların en küçük değerden başlayıp köşeden 17.50 m mesafeden sonra deplasman artışının azalarak yakın değerlerde olduğu ve orta kesitte maksimum deplasmana ulaştığı sonucuna varılmaktadır.



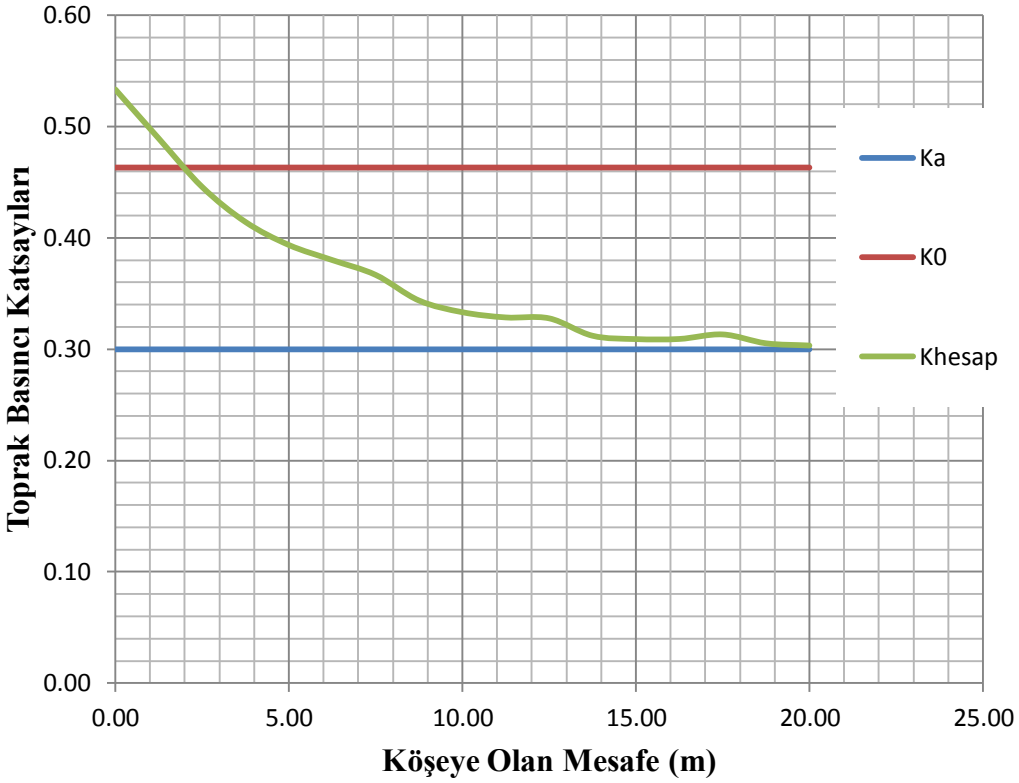
Şekil 6.24: Orta sıkı kum H=8.0 m derinlik - deplasman ilişkisi.

Diğer bir grafikte ise ise gerilme - derinlik ilişkisi gösterilmektedir (Şekil 6.25). Köşeden değişen mesafeler için gerilme - derinlik ilişkisi çizdirilip, köşeye olan mesafenin artması (X= 0.0' dan X= 20.0' a kadar) ile gerilmenin azaldığı net bir şekilde görülmektedir. Kazı taban kotunda köşeden yaklaşık 15.0 m sonraki mesafelerde ise köşeye olan mesafenin artmasının gerilmeyi değiştiren bir etkisi olmadığı görülmektedir.



Şekil 6.25: Orta sıkı kum H=8.0 m derinlik - gerilme ilişkisi.

Şekil 6.26'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 (**2.6**) bağıntısı ile hesaplanırken, K_a değeri (**2.7**) bağıntısı ile hesaplanmaktadır. İlk metreler'de K_{hesap} değeri K_o değerinin üzerinde olup ikinci metrede K_o değerine ulaştığı görülmektedir. 18.75 metreden sonra K_{hesap} değerinin K_a durumuna ulaştığı görülür.

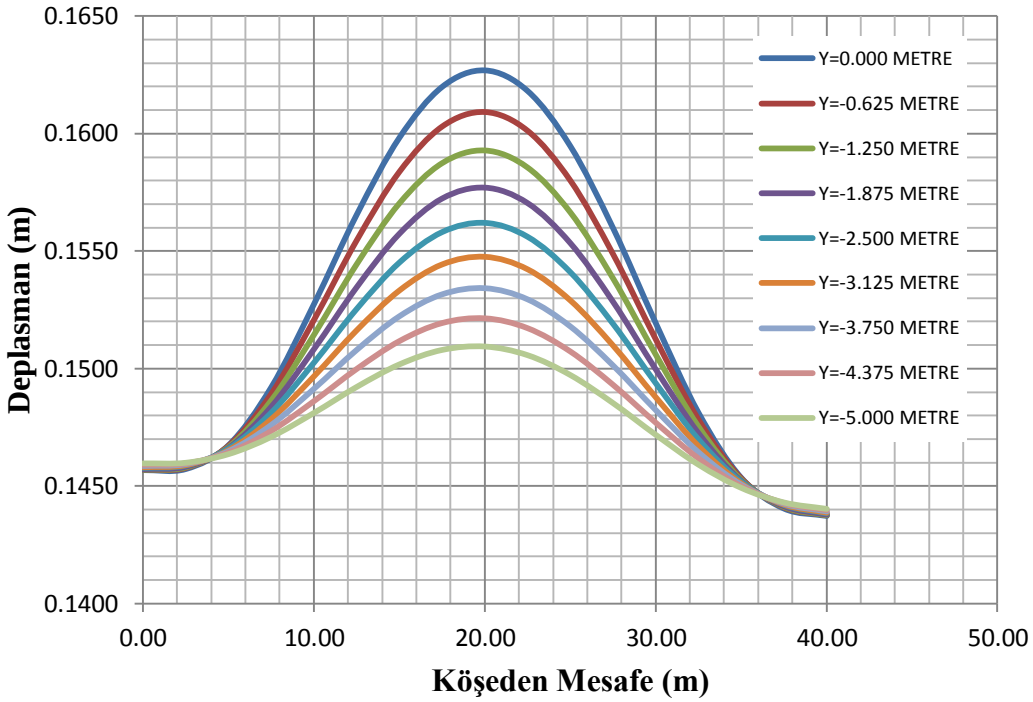


Şekil 6.26: Orta sıkı kum H=8.0 m köşeye mesafe - toprak basıncı katsayıları ilişkisi.

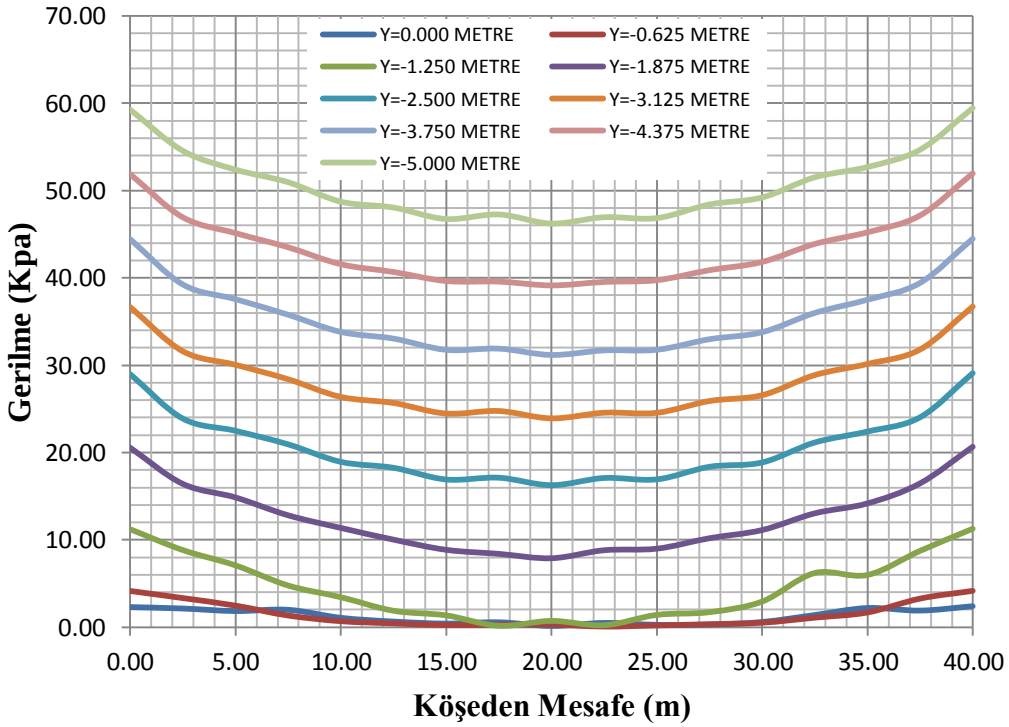
6.4.1.5 Yumuşak kil H=5.0 m'lik kesit için yapılan analiz

Kazı derinliği 5.0 m olan yumuşak killi model için deplasman - köşeden mesafe ilişkisi Şekil 6.27'de verilmektedir. Şekilde farklı derinlikler için deplasman - köşeden mesafe ilişkisi çizdirilmiş olup 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 deplasmanlar en küçük değerde olup, köşeden mesafenin iki köşeyede eşit olduğu orta kesitte maksimum deplasmana ulaştığı sonucuna varıldı.

Gerilme - köşeden mesafe ilişkisi ise Şekil 6.28'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 15.0 m mesafeden sonra gerilmelerin yakın değerlerde ve köşede oluşan gerilmelerden daha küçük gerilme değerlerinde olduğu görülmektedir.



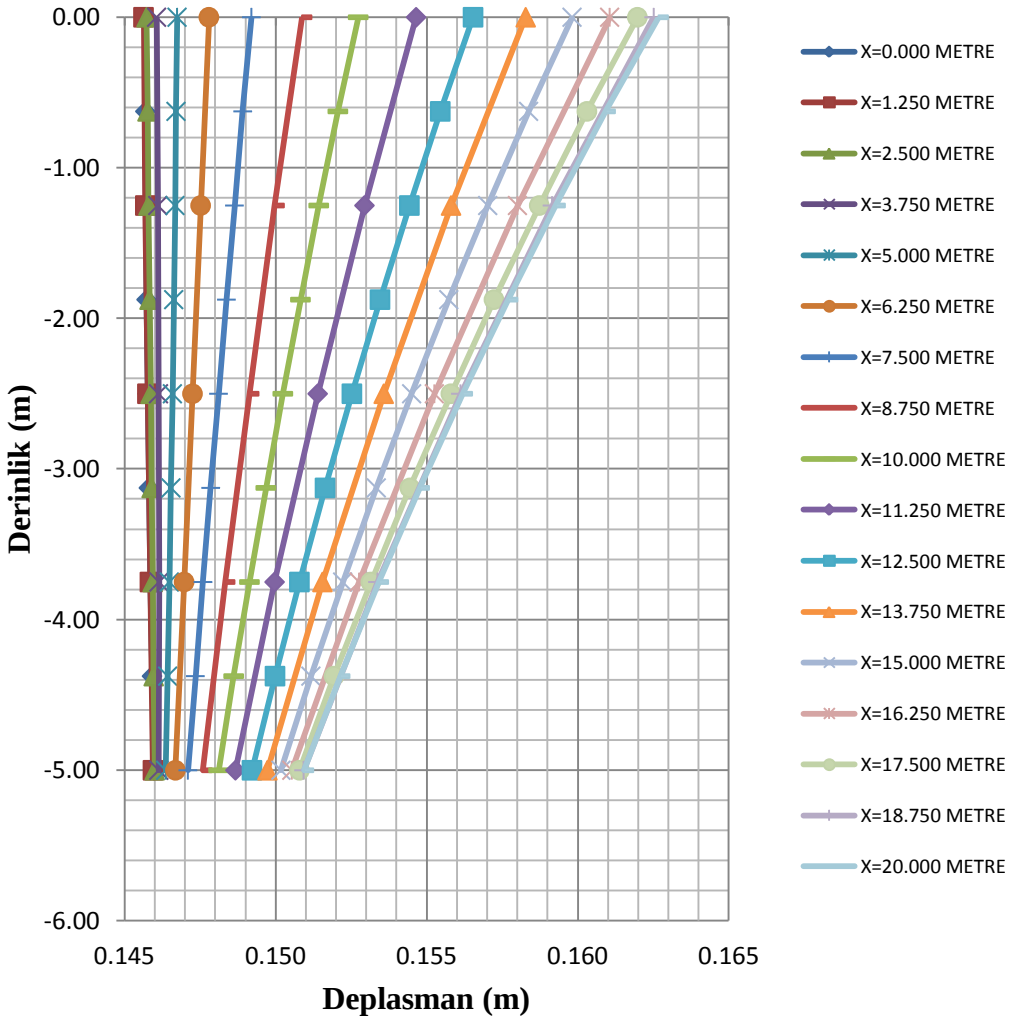
Şekil 6.27: Yumuşak kil H=5.0 m köşeden mesafe - deplasman ilişkisi.



Şekil 6.28: Yumuşak kil H=5.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi.

Deplasman- derinlik ilişkisi Şekil 6.29'da gösterilmektedir. Köşeden değişen mesafeler için deplasman - derinlik ilişkisi çizdirilip, köşeye olan mesafenin artması (X= 0.0' dan X= 20.0' a kadar) ile deplasmanların arttığı net bir şekilde görülmektedir. Köşelerde deplasmanların en küçük değerden başlayıp köşeden 17.5

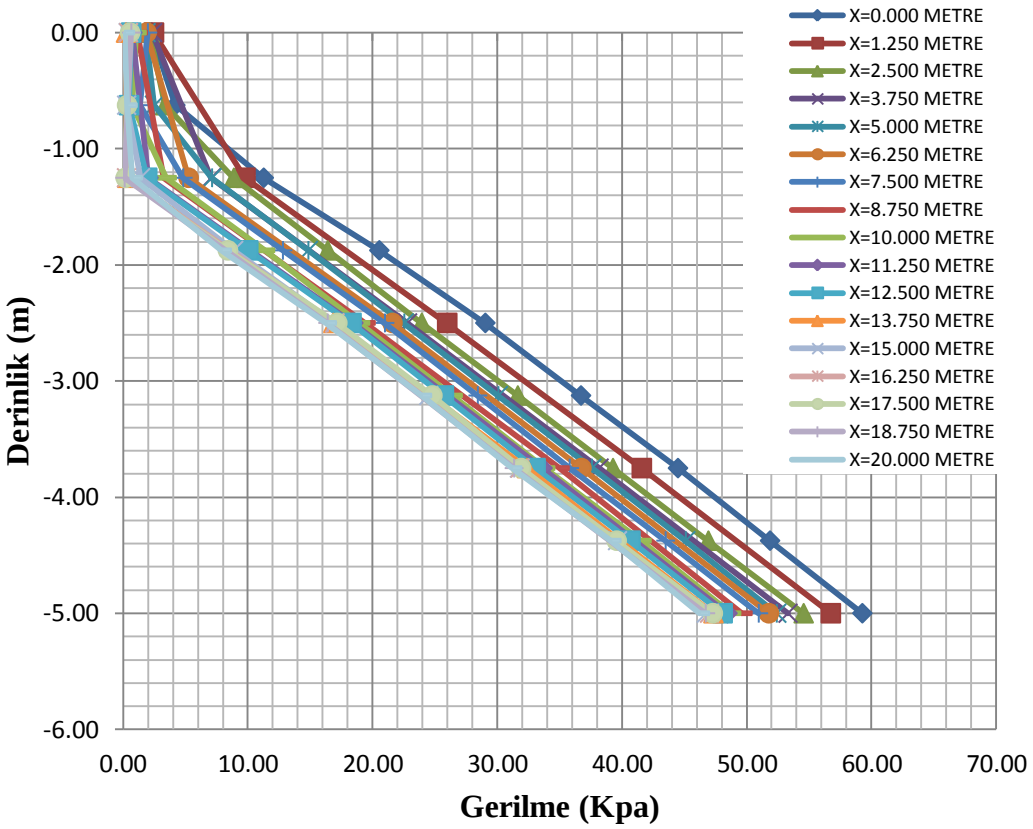
m mesafeden sonra deplasman artışının azalarak yakın değerlerde olduğu ve orta kesitte maksimum deplasmana ulaştığı sonucuna varılmaktadır.



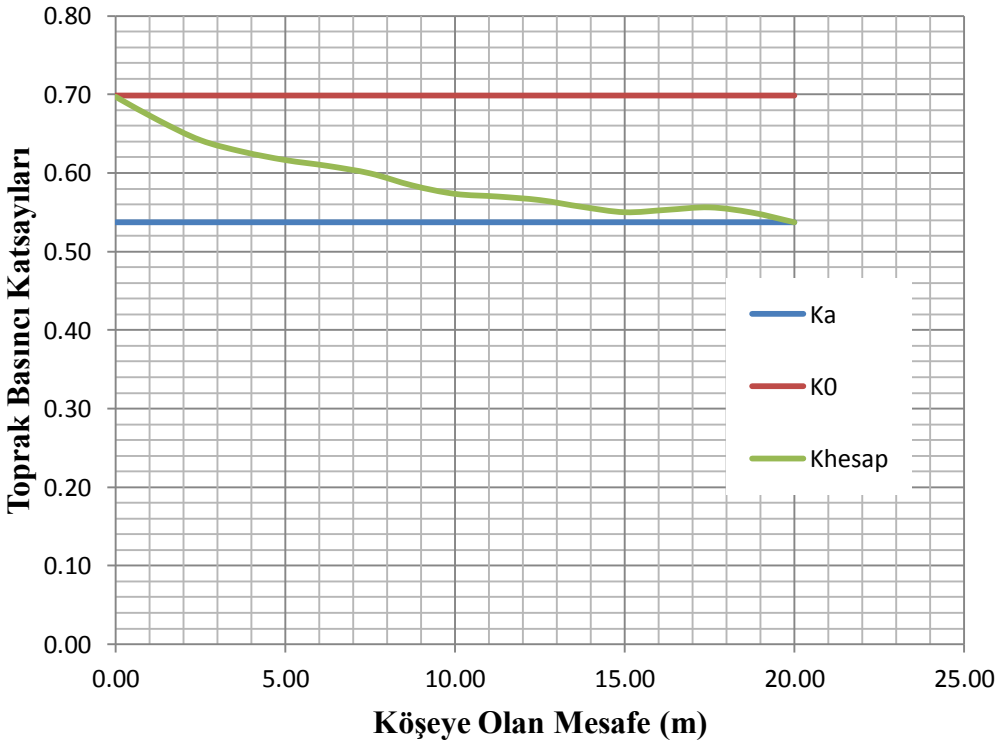
Şekil 6.29: Yumuşak kil H=5.0 m derinlik - deplasman ilişkisi.

Diğer bir grafikte ise gerilme - derinlik ilişkisi gösterilmektedir (Şekil 6.30). Köşeden değişen mesafeler için gerilme - derinlik ilişkisi çizdirilip, köşeye olan mesafenin artması (X= 0.0' dan X= 20.0' a kadar) ile gerilmenin azaldığı net bir şekilde görülmektedir. Kazı taban kotunda köşeden yaklaşık 15.0 m sonraki mesafelerde ise köşeye olan mesafenin artmasının gerilmeyi değiştiren bir etkisi olmadığı görülmektedir.

Şekil 6.31'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 (**2.6**) bağıntısı ile hesaplanırken, K_a değeri (**2.7**) bağıntısı ile hesaplanmaktadır. İlk metreler'de K_{hesap} değeri K_o değerine eşit olup 20.0 metreden sonra K_{hesap} değerinin K_a durumuna ulaştığı görülür.



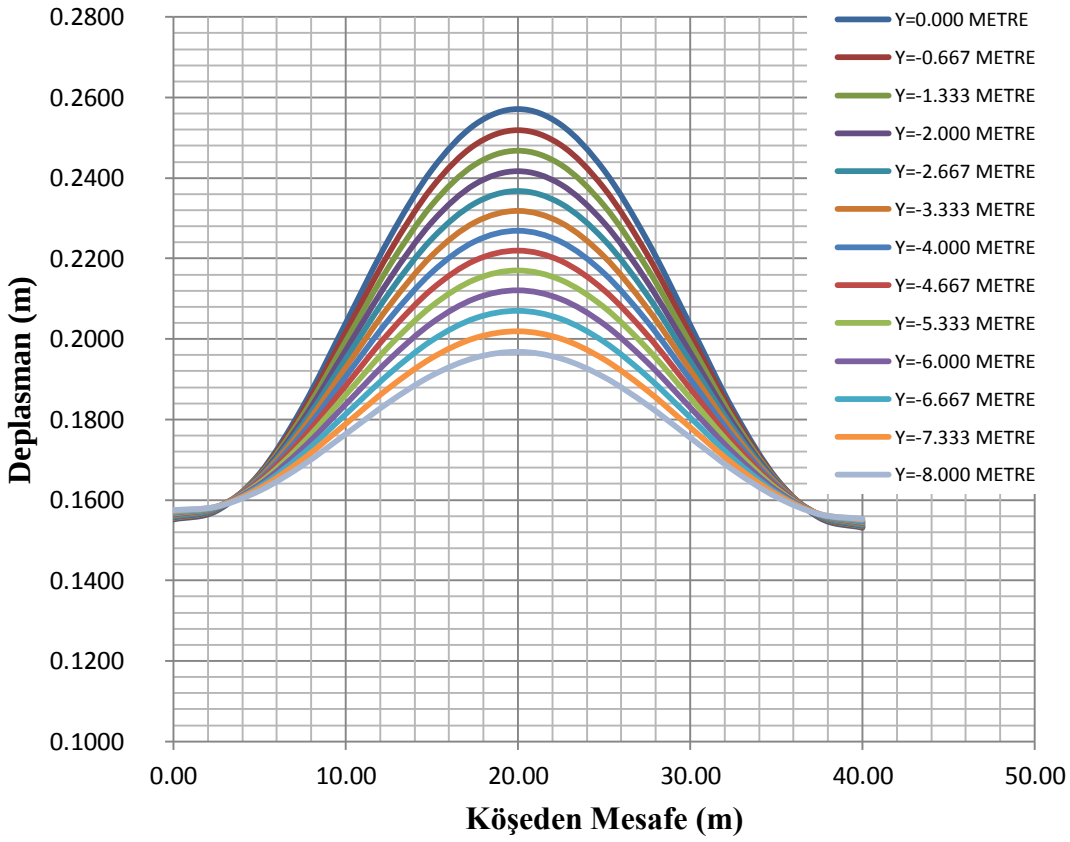
Şekil 6.30: Yumuşak kil H=5.0 m derinlik - gerilme ilişkisi.



Şekil 6.31: Yumuşak kil H=5.0 m köşeye mesafe – toprak basıncı katsayıları ilişkisi.

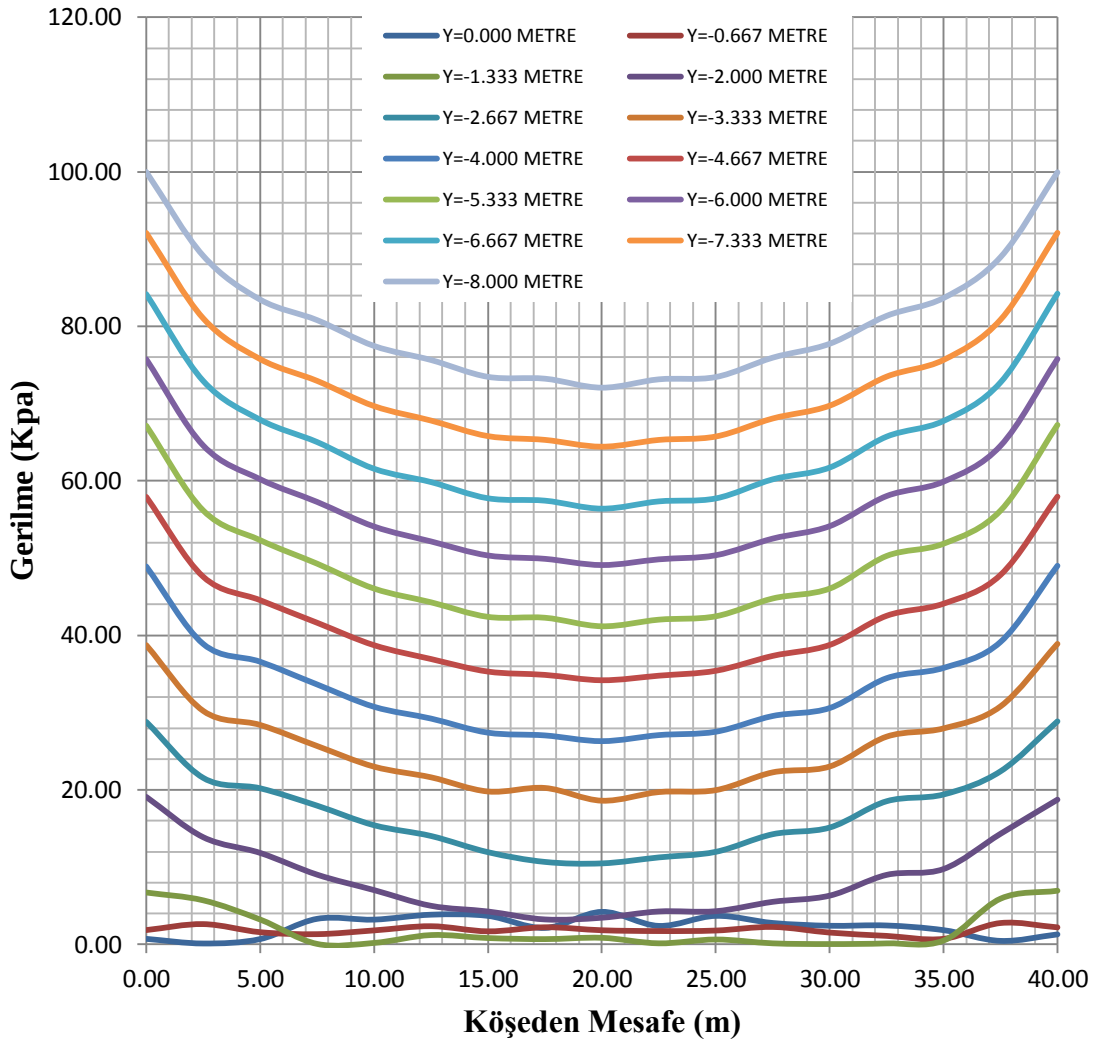
6.4.1.6 Yumuşak kil H=8.0 m'lik kesit için yapılan analiz

Kazı derinliği 8.0 m olan yumuşak killi zemin modeli için deplasman- köşeden mesafe ilişkisi Şekil 6.32'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 deplasmanlar en küçük değerde olup, köşeden mesafenin iki köşeyede eşit olduğu orta kesitte maksimum deplasmana ulaştığı sonucuna varıldı.



Şekil 6.32: Yumuşak kil H=8.0 m köşeden mesafe - deplasman ilişkisi.

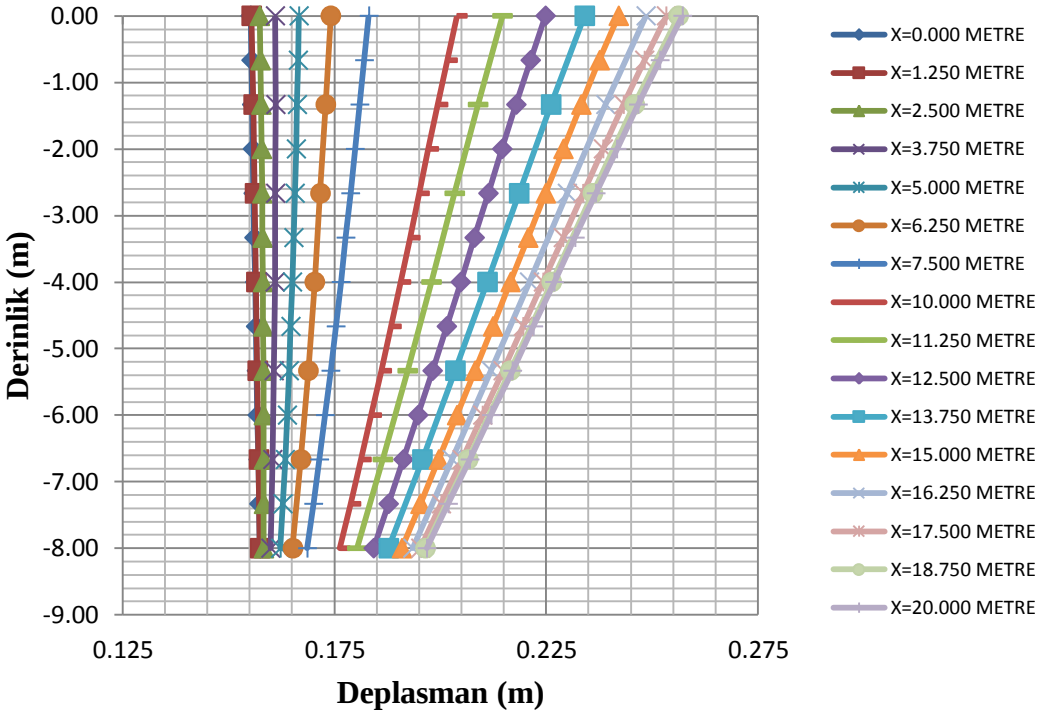
Gerilme - köşeden mesafe ilişkisi ise Şekil 6.33'de gösterilmektedir. Farklı derinlikler için gerilme - köşeden mesafe ilişkisi çizdirilip, değişen derinliklerde (Y= 0.0' dan Y= 8.0' e kadar) derinlik arttıkça gerilmenin arttığı net bir şekilde görülmektedir. Her derinlik için benzer davranış gözlemlenip, köşelerde gerilmelerin en büyük değerlerde oldukları görülmektedir. Ayrıca köşe etkisinin derinlik arttıkça köşeden daha uzakta hissedildiği görülmektedir. Kazı taban kotunda köşeden 15.0 m mesafeden sonra gerilmelerin yakın değerlerde ve köşede oluşan gerilmelerden daha küçük gerilme değerlerinde olduğu görülmektedir.



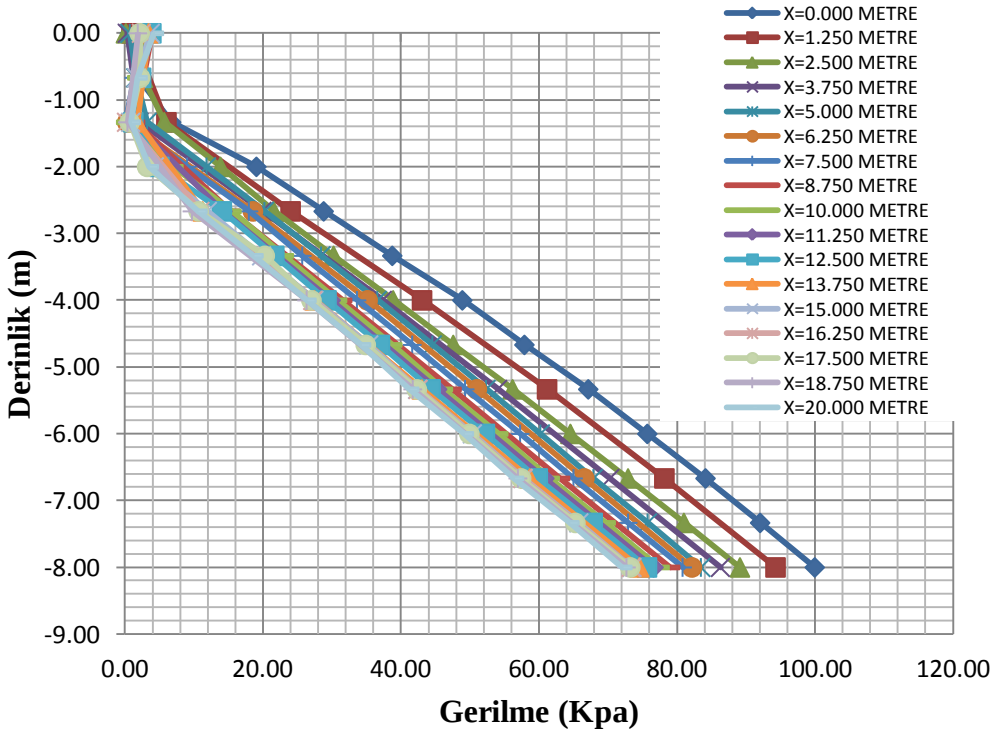
Şekil 6.33: Yumuşak kil H=8.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi.

Deplasman - derinlik ilişkisi Şekil 6.34'de verilmektedir. Köşeden değişen mesafeler için deplasman - derinlik ilişkisi çizdirilip, köşeye olan mesafenin artması (X= 0.0' dan X= 20.0' a kadar) ile deplasmanların arttığı net bir şekilde görülmektedir. Köşelerde deplasmanların en küçük değerde olduğu, köşeden 17.5 m mesafeden sonra deplasman artışının azalarak yakın değerlerde olduğu ve orta kesitte maksimum deplasmana ulaştığı sonucuna varılmaktadır.

Diğer bir grafikte ise ise gerilme - derinlik ilişkisi gösterilmektedir (Şekil 6.35). Köşeden değişen mesafeler için gerilme - derinlik ilişkisi çizdirilip, köşeye olan mesafenin artması (X= 0.0' dan X= 20.0' a kadar) ile gerilmenin azaldığı net bir şekilde görülmektedir. Kazı taban kotunda köşeden yaklaşık 10.0 m sonraki mesafelerde ise köşeye olan mesafenin artmasının gerilmeyi değiştiren bir etkisi olmadığı görülmektedir.



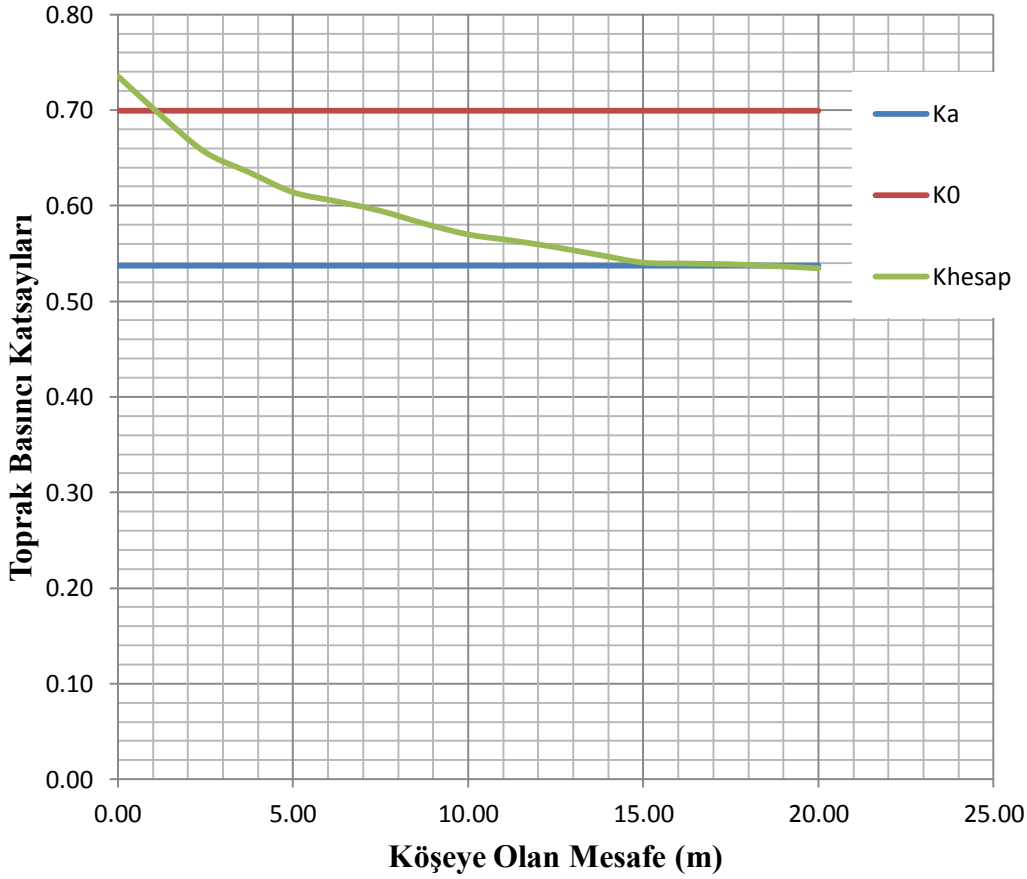
Şekil 6.34: Yumuşak kil H=8.0 m derinlik - deplasman ilişkisi.



Şekil 6.35: Yumuşak kil H=8.0 m derinlik - gerilme ilişkisi.

Şekil 6.36'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 (**2.6**) bağıntısı ile hesaplanırken, K_a değeri (**2.7**) bağıntısı ile hesaplanmaktadır. İlk metreler'de K_{hesap} değeri K_o değerinin üzerinde olup birinci

metrede K_o değerine ulaştığı görülmektedir. 15.0 metreden sonra K_{hesap} değerinin K_a durumuna ulaştığı görülür.

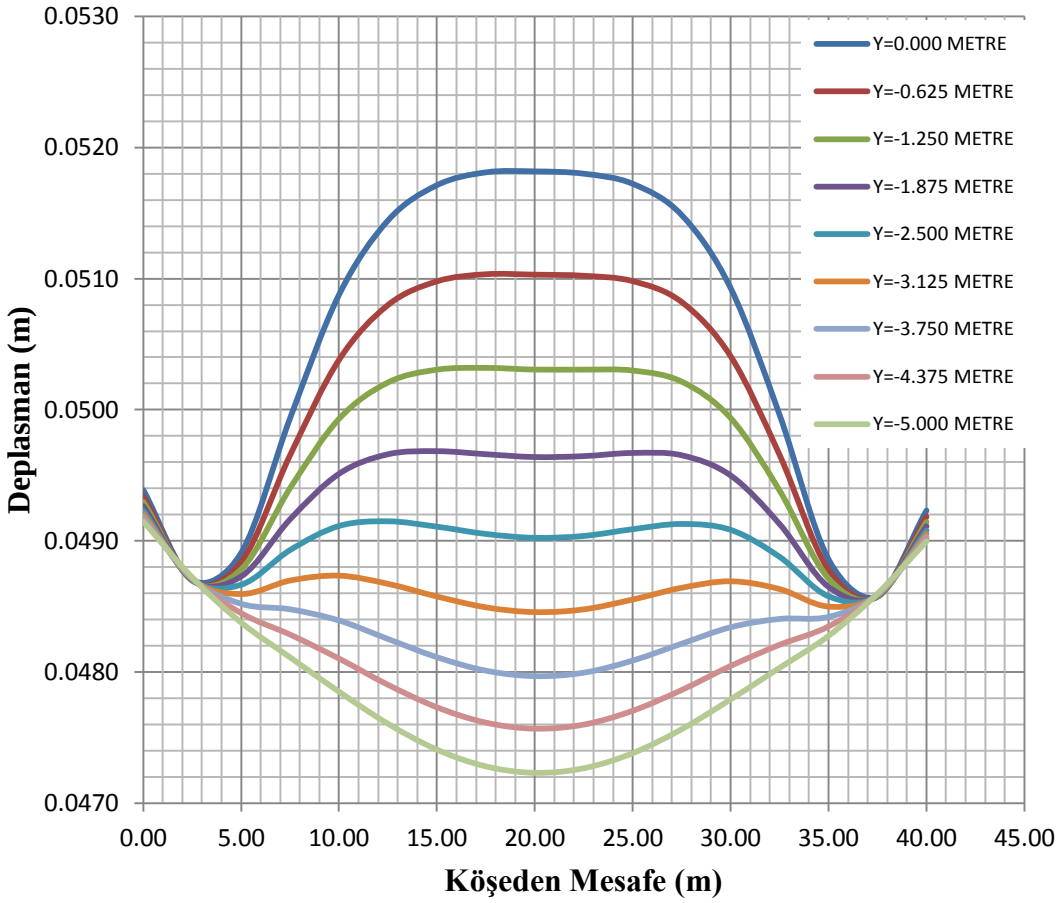


Şekil 6.36: Yumuşak kil H=8.0 m köşeye mesafe – toprak basıncı katsayıları ilişkisi.

6.4.1.7 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 6.37'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. Diğer zemin davranışlarının aksine H=-3.75 metreden H=-5.00 metre derinliğe kadar maksimum deplasmanlar kazı köşesindedir. Ancak deplasmanların farkı 0.001 metre gibi çok küçük bir değerdir. Bu davranışın sebebi Plaxis sonlu elemanlar programından kaynaklanan nümerik bir hatadır. Analiz sonuçlarından elde edilen köşeden mesafe deplasman ilişki grafik olarak çizdirildiği zaman aslında her derinlik için düz bir çizgi elde edilmiştir. Ancak şekil 6.37'de grafiğin ölçeği büyütüldüğünden, görüldüğü gibi bir sonuç elde edilmiştir. Her derinlik için derplasman farkı 1 mm civarındadır.

Gerilme - köşeden mesafe ilişkisi ise Şekil 6.38'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 15.0 m mesafeden sonra gerilmelerin yakın değerlerde ve köşede oluşan gerilmelerden daha küçük gerilme değerlerinde olduğu görülmektedir.

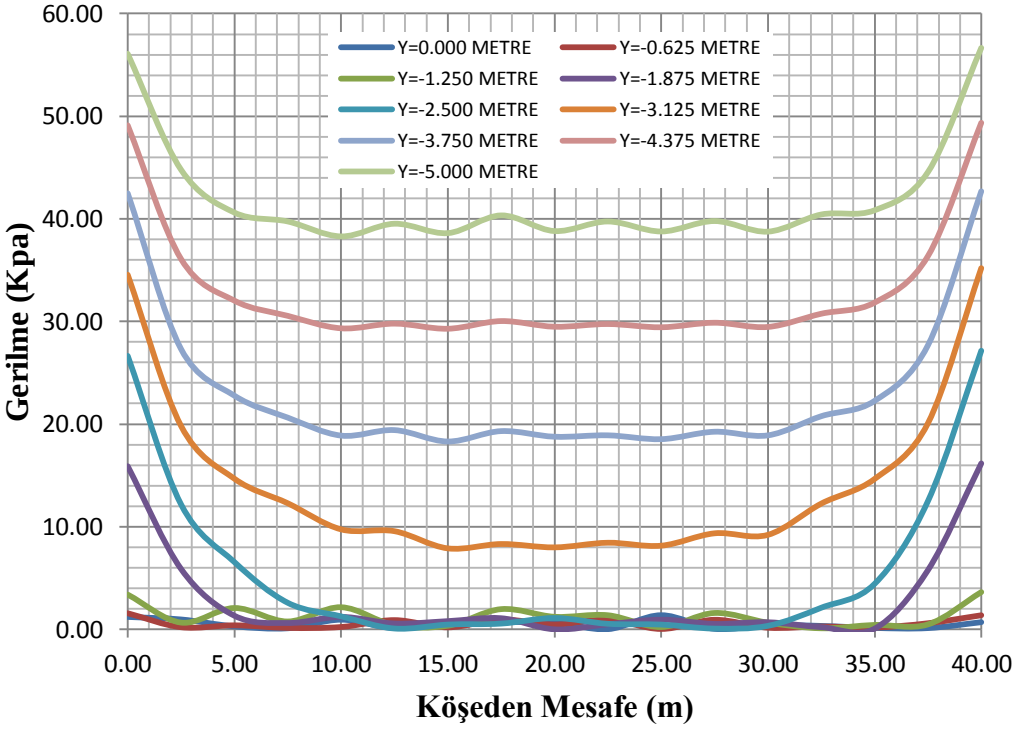


Şekil 6.37: Yarı katı kil H=5.0 m Köşeden mesafe - deplasman ilişkisi.

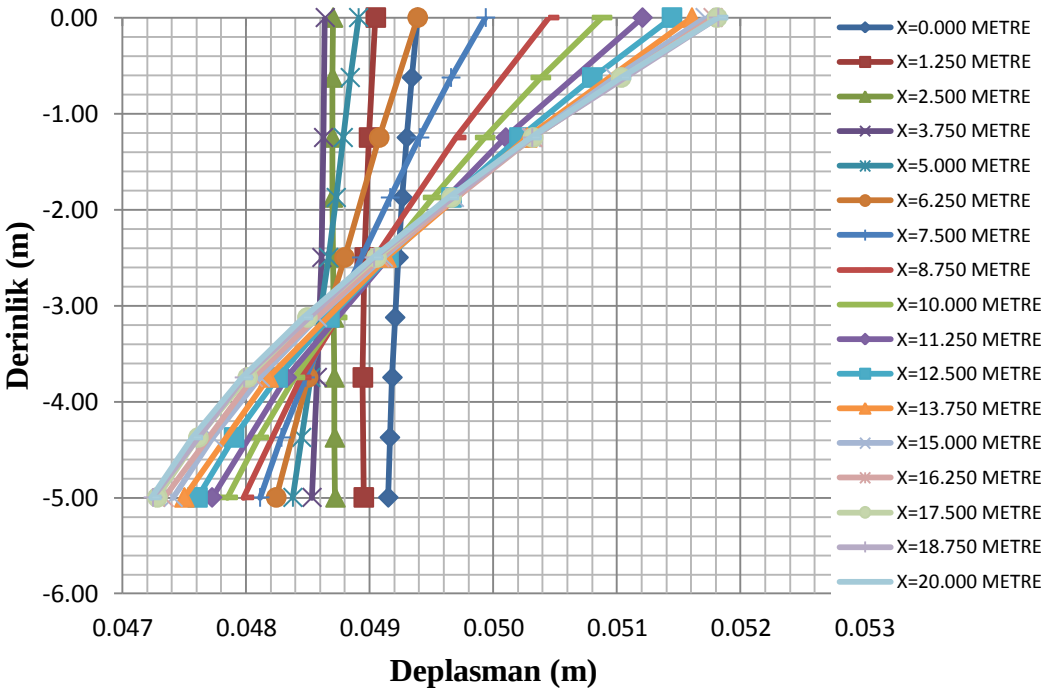
Deplasman- derinlik ilişkisi Şekil 6.39'da verilmektedir. Köşeden değişen mesafeler için deplasman - derinlik ilişkisi çizdirilip, köşeye olan mesafenin artması (X= 0.0' dan X= 20.0' a kadar) ile deplasmanların arttığı net bir şekilde görülmektedir.

Diğer bir grafikte ise ise gerilme - derinlik ilişkisi gösterilmektedir (Şekil 6.40). Köşeden değişen mesafeler için gerilme - derinlik ilişkisi çizdirilip, köşeye olan mesafenin artması (X= 0.0' dan X= 20.0' a kadar) ile gerilmenin azaldığı net bir şekilde görülmektedir. Kazı taban kotunda köşeden yaklaşık 15.0 m sonraki

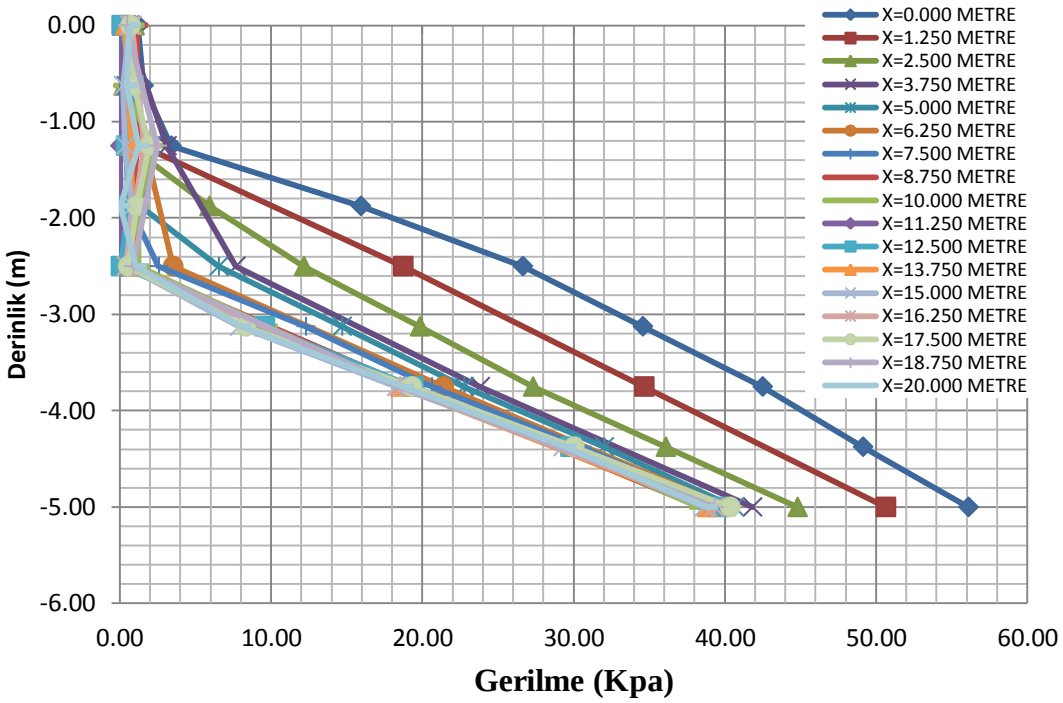
mesafelerde ise köşeye olan mesafenin artmasının gerilmeyi değiştiren bir etkisi olmadığı görülmektedir.



Şekil 6.38: Yarı katı kil H=5.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi.

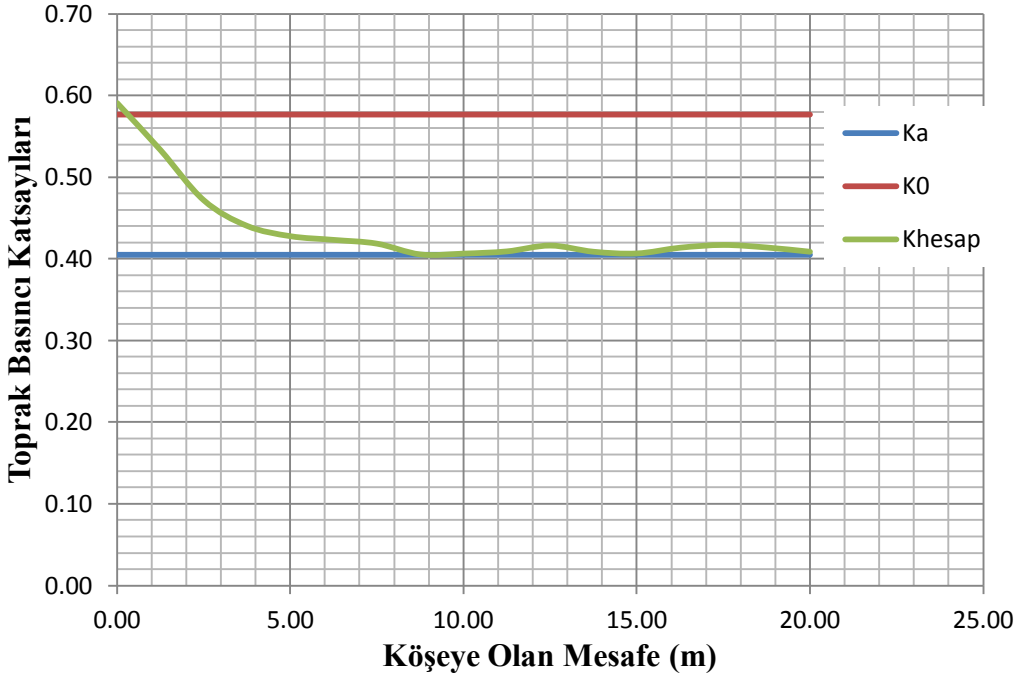


Şekil 6.39: Yarı katı kil H=5.0 m derinlik - deplasman ilişkisi.



Şekil 6.40: Yarı katı kil H=5.0 m derinlik - gerilme ilişkisi.

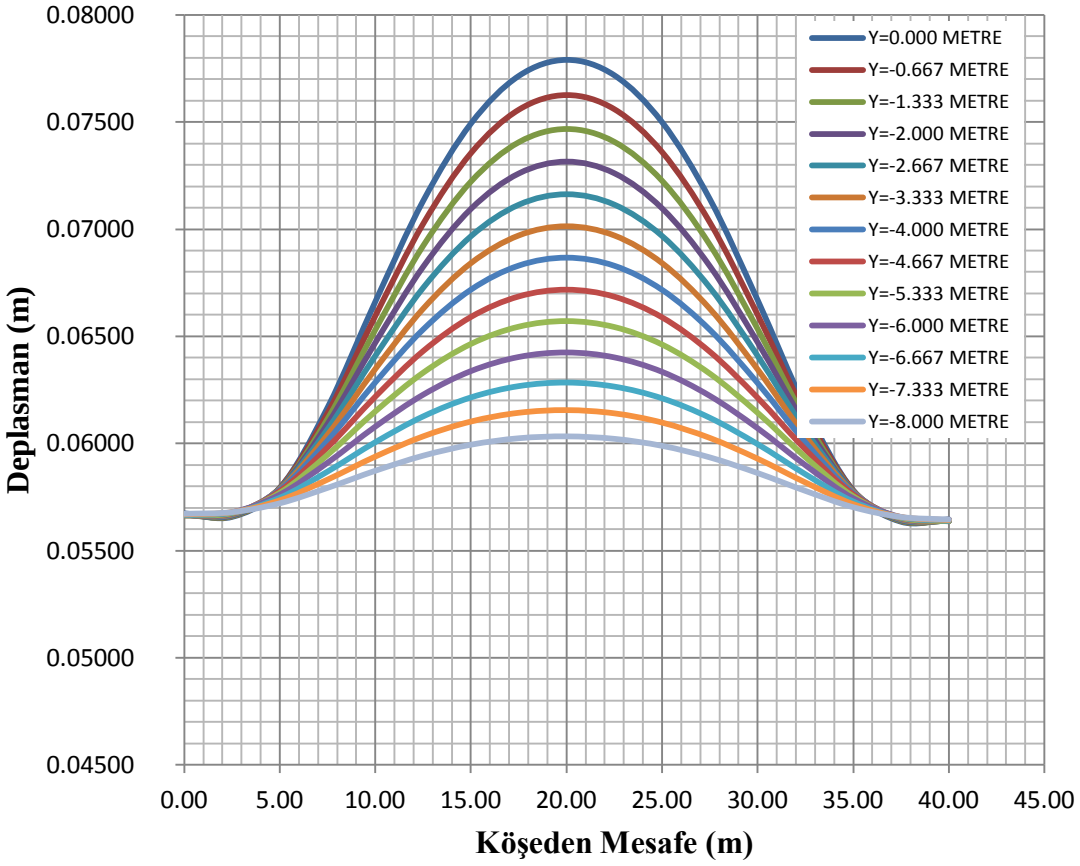
Şekil 6.41'de H=5.0 m derinlikte elde edilen gerilme değerlerinin zeminin birim hacim ağırlığı ve derinliğine bölünmesi ile bulunan K_{hesap} değerlerinin K_a ve K_o ile ilişkisi verilmektedir. K_o (**2.6**) bağıntısı ile hesaplanırken, K_a değeri (**2.7**) bağıntısı ile hesaplanmaktadır. İlk metreler'de K_{hesap} değeri K_o değerinin üzerinde olup yarım metrede K_o değerine ulaştığı görülmektedir. 8.75 metreden sonra K_{hesap} değerinin K_a durumuna ulaştığı görülür.



Şekil 6.41: Yarı katı kil H=5.0 m köşeye mesafe – toprak basıncı katsayıları ilişkisi.

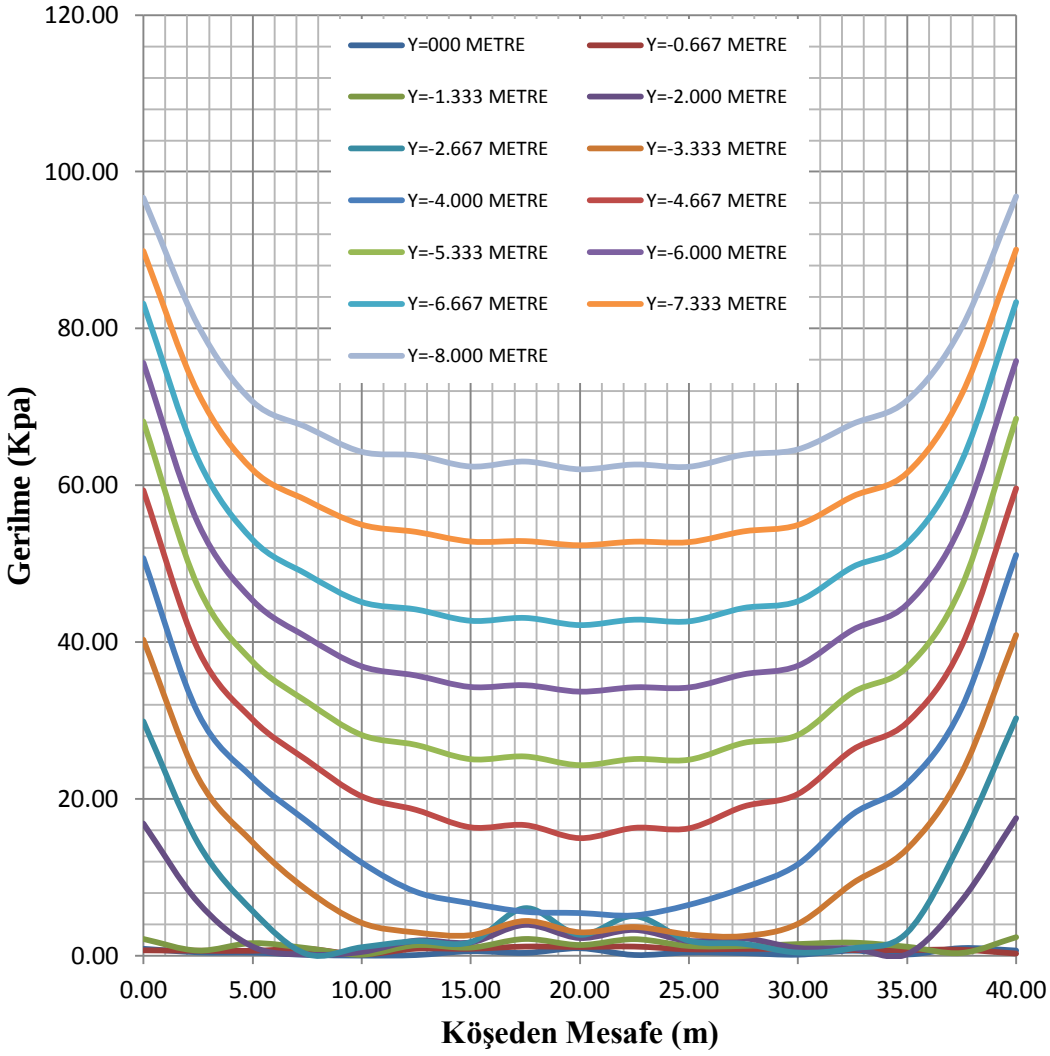
6.4.1.8 Yarı katı kil H=8.0 m'lik kesit için yapılan analiz

Kazı derinliği 8.0 m olan model için deplasman- köşeden mesafe ilişkisi Şekil 6.42'de verilmektedir. Şekilde farklı derinlikler için deplasman - köşeden mesafe ilişkisi çizdirilmiş olup 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 deplasmanlar en küçük değerde olup, köşeden mesafenin iki köşeye eşit olduğu orta kesitte maksimum deplasmana ulaştığı sonucuna varılır.



Şekil 6.42: Yarı katı kil H=8.0 m köşeden mesafe - deplasman ilişkisi.

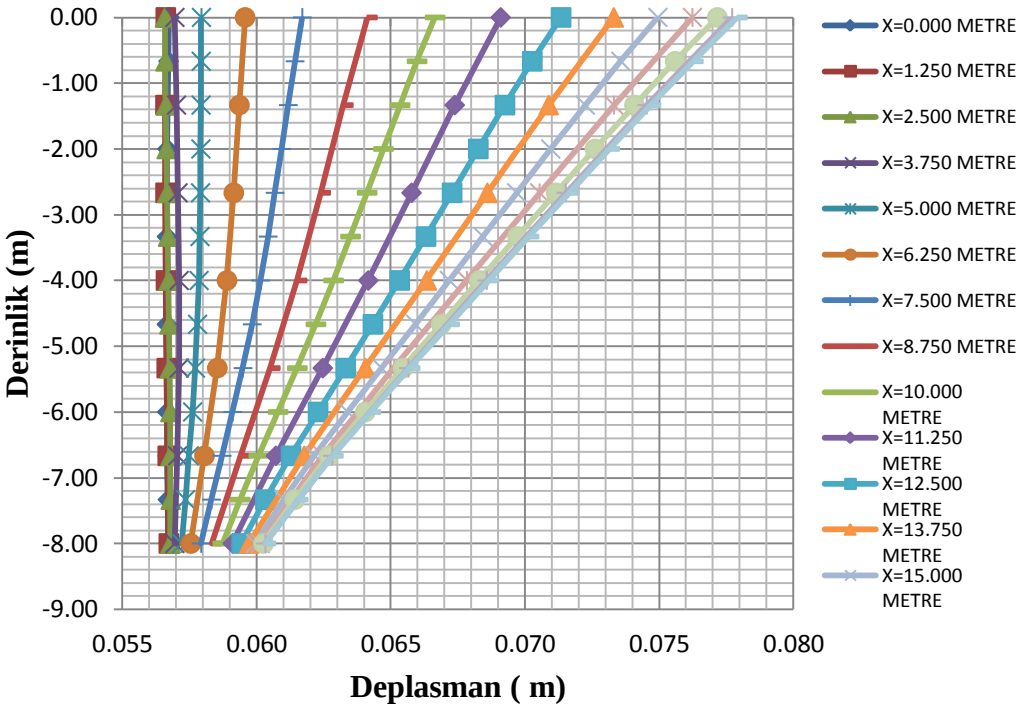
Gerilme - köşeden mesafe ilişkisi ise Şekil 6.43'de gösterilmektedir. Farklı derinlikler için gerilme - köşeden mesafe ilişkisi çizdirilip, değişen derinliklerde (Y= 0.0' dan Y= 8.0' e kadar) derinlik arttıkça gerilmenin arttığı net bir şekilde görülmektedir. Her derinlik için benzer davranış gözlemlenip, köşelerde gerilmelerin en büyük değerlerde oldukları görülmektedir. Ayrıca köşe etkisinin derinlik arttıkça köşeden daha uzakta hissedildiği görülmektedir. Kazı taban kotunda köşeden 15.0 m mesafeden sonra gerilmelerin yakın değerlerde ve köşede oluşan gerilmelerden daha küçük gerilme değerlerinde olduğu görülmektedir.



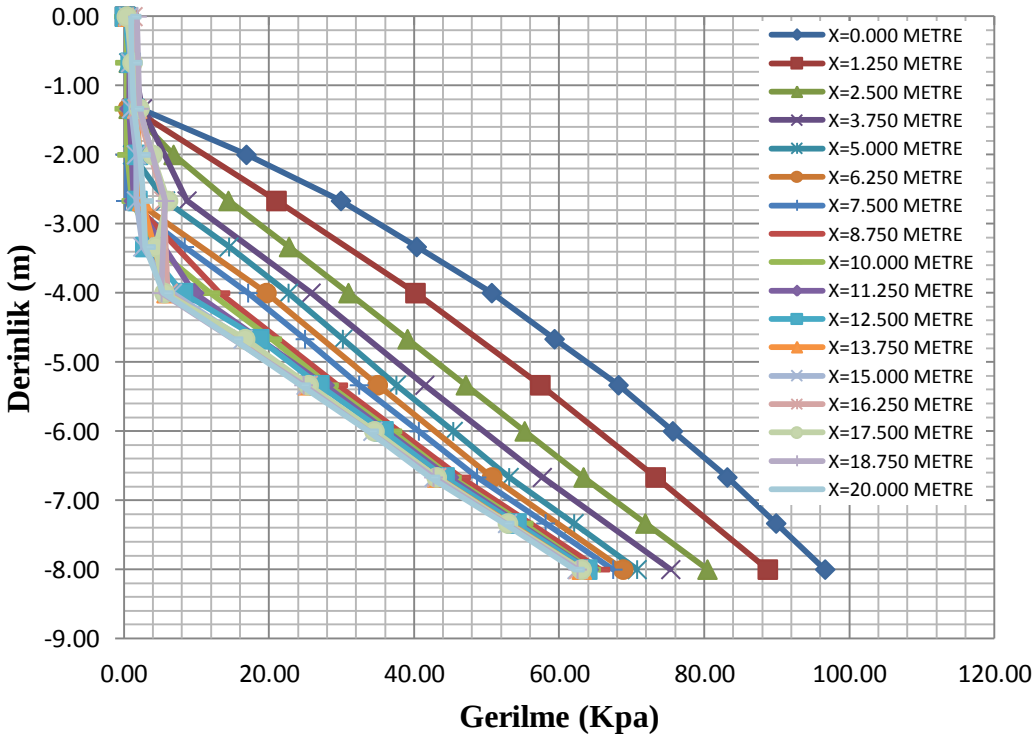
Şekil 6.43: Yarı katı kil H=8.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi.

Deplasman- derinlik ilişkisi Şekil de verilmektedir. Köşeden değişen mesafeler için deplasman - derinlik ilişkisi çizdirilip, köşeye olan mesafenin artması (X= 0.0’ dan X= 20.0’ a kadar) ile deplasmanların arttığı net bir şekilde görülmektedir. Köşelerde deplasmanların en küçük değerden başlayıp köşeden m mesafeden sonra deplasman artışının azalarak yakın değerlerde olduğu ve orta kesitte maksimum deplasmana ulaştığı sonucuna varılmaktadır.

Bir diğer grafikte ise ise gerilme - derinlik ilişkisi gösterilmektedir (Şekil 6.45). Köşeden değişen mesafeler için gerilme - derinlik ilişkisi çizdirilip, köşeye olan mesafenin artması (X= 0.0’ dan X= 20.0’ a kadar) ile gerilmenin azaldığı net bir şekilde görülmektedir. Kazı taban kotunda köşeden yaklaşık 17.50 m sonraki mesafelerde ise köşeye olan mesafenin artmasının gerilmeyi değiştiren bir etkisi olmadığı görülmektedir.



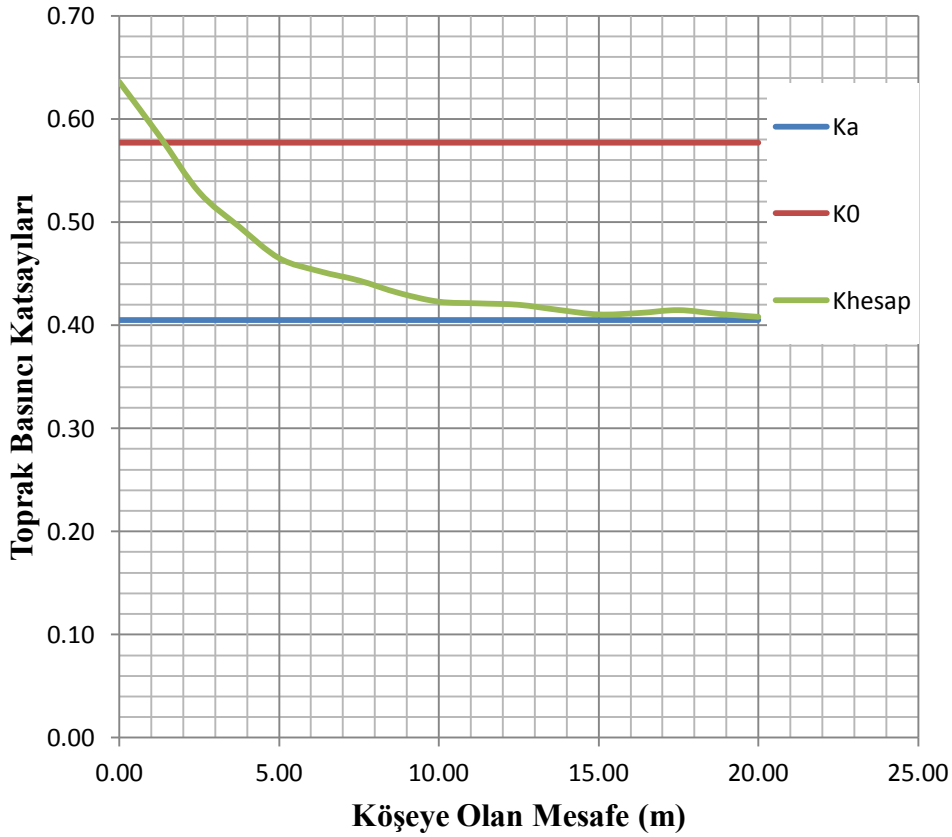
Şekil 6.44: Yarı katı kil H=8.0 m derinlik - deplasman ilişkisi.



Şekil 6.45: Yarı katı kil H=8.0 m derinlik - gerilme ilişkisi.

Şekil 6.46'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 (**2.6**) bağıntısı ile hesaplanırken, K_a değeri (**2.7**) bağıntısı ile hesaplanmaktadır. İlk metreler'de K_{hesap} değeri K_o değerinin

üzerinde olup bir buçuk metrede K_o değerine ulaştığı görülmektedir. 20.0 metreden sonra K_{hesap} değerinin K_a durumuna ulaştığı görülür.



Şekil 6.46: Yarı katı kil H=8.0 m köşeye mesafe – toprak basıncı katsayıları ilişkisi.

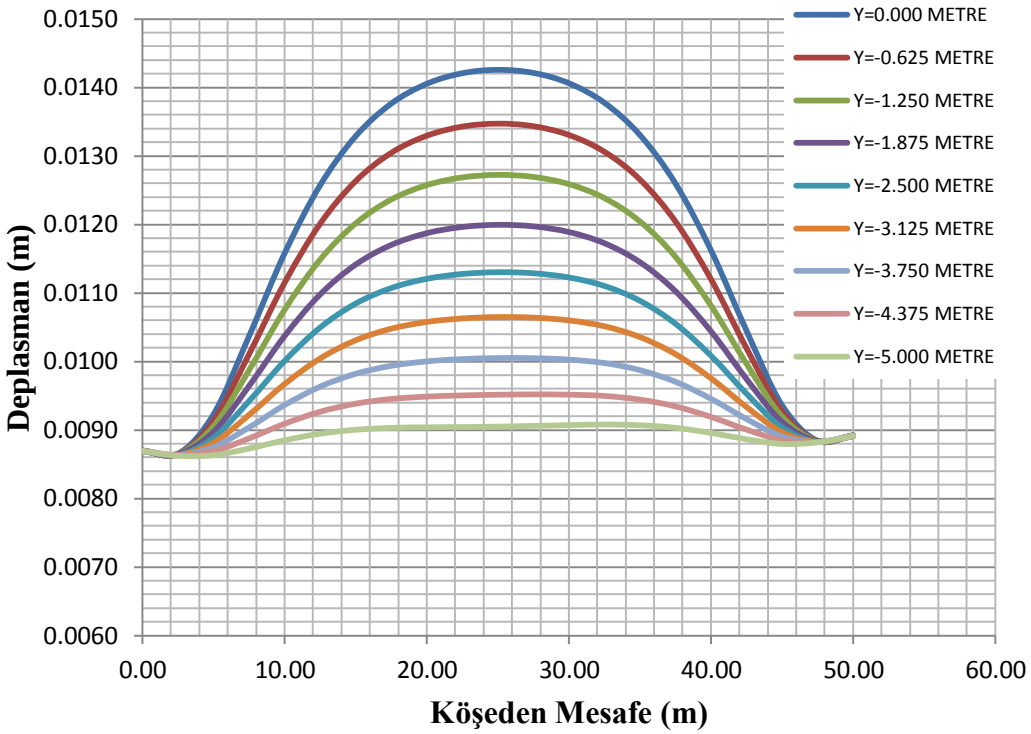
6.4.2 100.0 x 100.0 metre boyutlarındaki kazı çukurunda yapılan analizler

6.4.2.1 100.0 x 100.0 m kazı çukurunda gevşek kum H=5.0 m için yapılan analiz

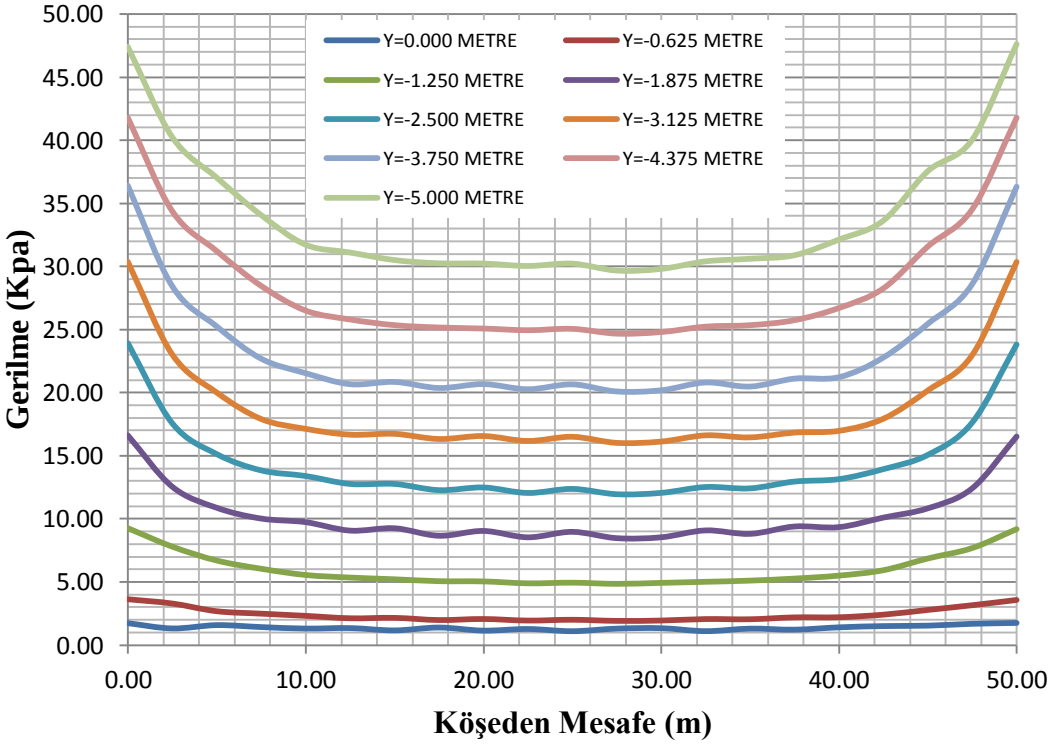
Kazı derinliği 5.0 m olan gevşek kumlu model için deplasman - köşeden mesafe ilişkisi Şekil 6.47'de verilmektedir. Şekilde farklı derinlikler için deplasman - köşeden mesafe ilişkisi çizdirilmiş olup değişen derinliklerde (Y= 0.0' dan Y= 5.0' e kadar) derinlik azaldıkça deplasmanın arttığı net bir şekilde görülmektedir. Maksimum deplasmanın H=0.0 metrede oluştuğu görülmektedir. Her derinlik için benzer davranış gözlemlenip, köşelerde deplasmanlar en küçük değerde olup, köşeden mesafenin iki köşeyede eşit olduğu orta kesitte maksimum deplasmana ulaştığı sonucuna varıldı.

Gerilme - köşeden mesafe ilişkisi ise Şekil 6.48'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 15.00 m mesafeden sonra gerilmelerin yakın değerlerde ve köşede oluşan gerilmelerden daha küçük gerilme değerlerinde olduğu görülmektedir.

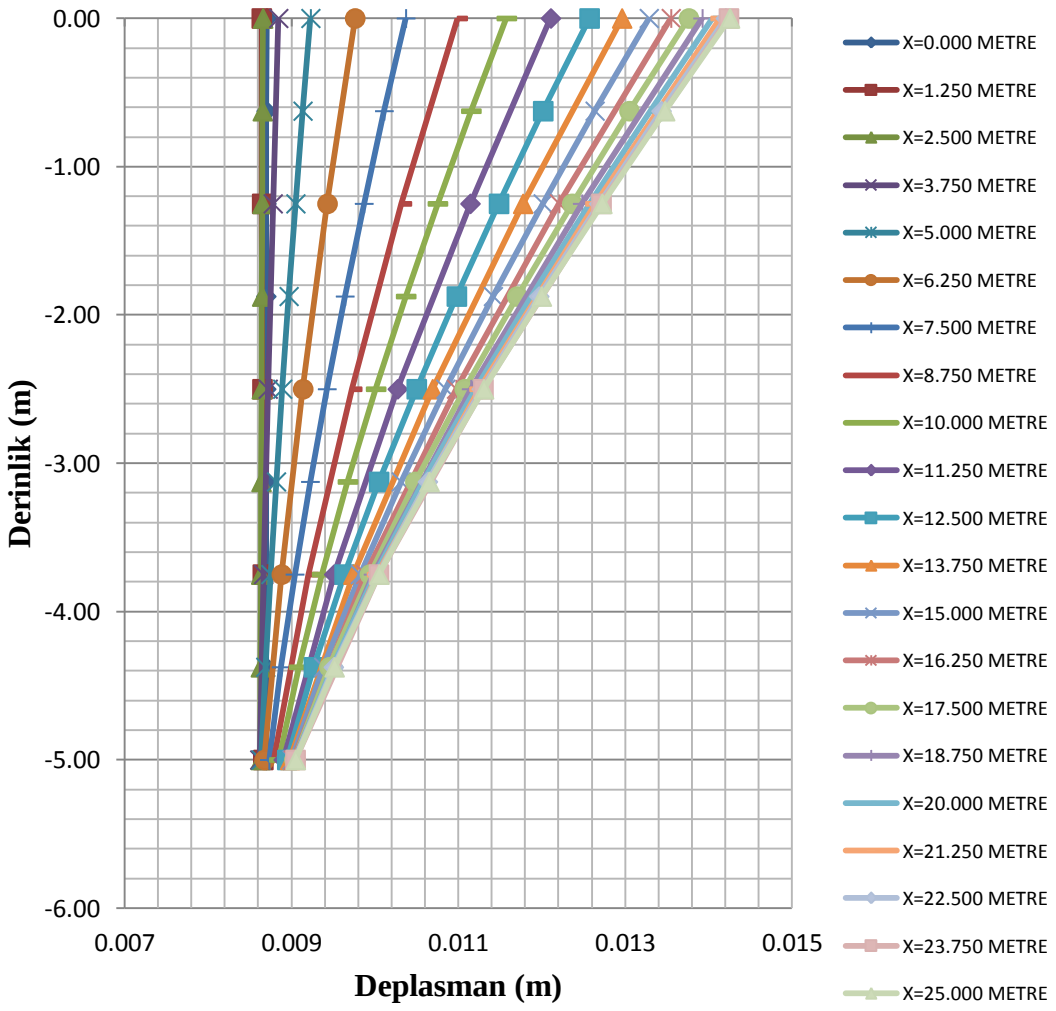


Şekil 6.47: Gevşek kum H=5.0 m köşeden mesafe - deplasman ilişkisi.



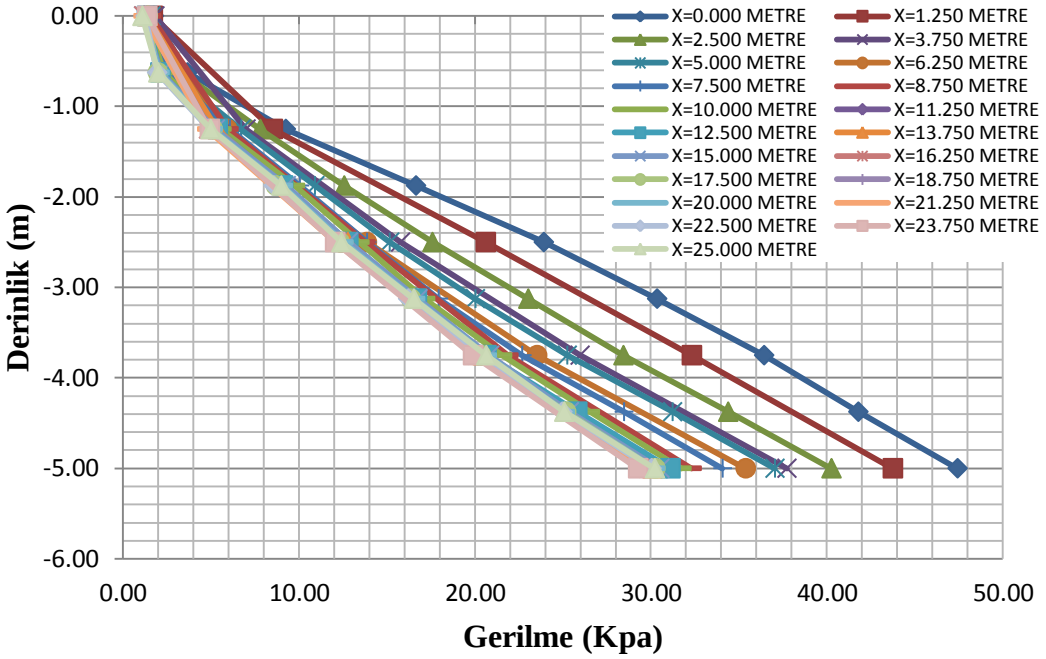
Şekil 6.48: Gevşek kum H=5.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi.

Deplasman - derinlik ilişkisi Şekil 6.49'da verilmektedir. Köşeden değişen mesafeler için deplasman - derinlik ilişkisi çizdirilip, köşeye olan mesafenin artması (X= 0.0' dan X= 25.0' a kadar) ile deplasmanların arttığı net bir şekilde görülmektedir. Köşelerde deplasmanların en küçük değerden başlayıp köşeden 20.00 m mesafeden sonra deplasman artışının azalarak yakın değerlerde olduğu ve orta kesitte maksimum deplasmana ulaştığı sonucuna varılmaktadır.



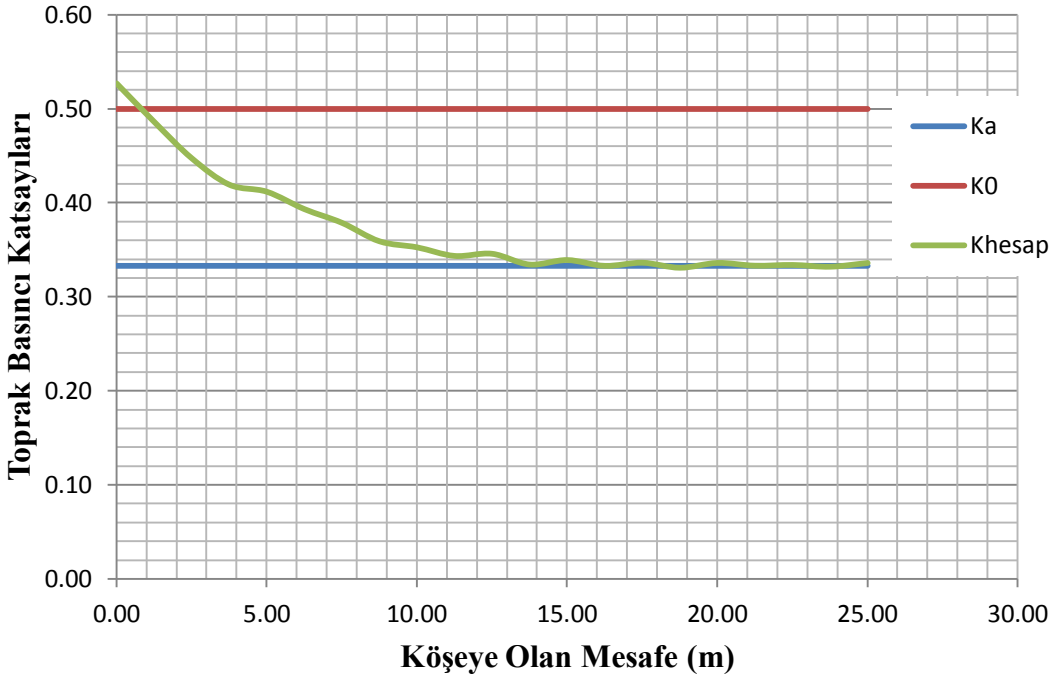
Şekil 6.49: Gevşek kum H=5.0 m derinlik - deplasman ilişkisi.

Diğer bir grafikte ise gerilme - derinlik ilişkisi gösterilmektedir (Şekil 6.50). Köşeden değişen mesafeler için gerilme - derinlik ilişkisi çizdirilip, köşeye olan mesafenin artması (X= 0.0' dan X= 25.0' a kadar) ile gerilmenin azaldığı net bir şekilde görülmektedir. Kazı taban kotunda köşeden yaklaşık 15.0 m sonraki mesafelerde ise köşeye olan mesafenin artmasının gerilmeyi değiştiren bir etkisi olmadığı görülmektedir.



Şekil 6.50: Gevşek kum H=5.0 m derinlik - gerilme ilişkisi.

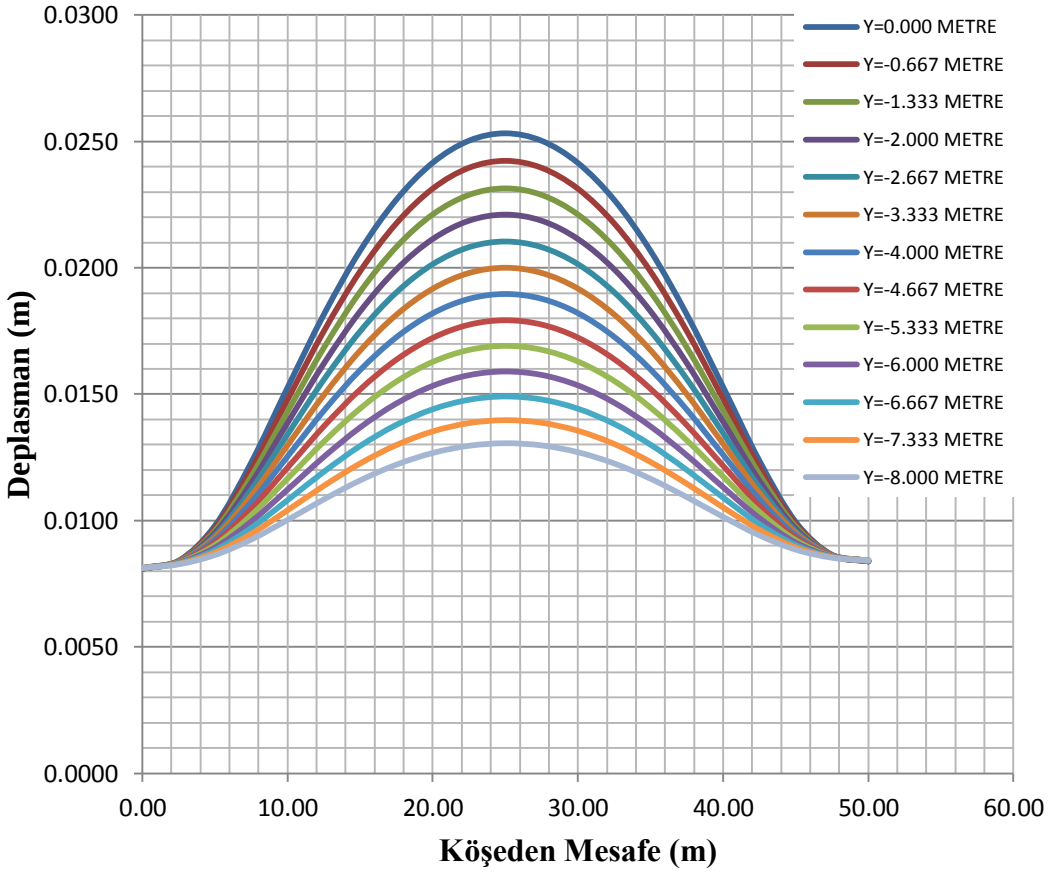
Şekil 6.51'de H=5.0 m derinlikte elde edilen gerilme değerlerinin zeminin birim hacim ağırlığı ve derinliğine bölünmesi ile bulunan K_{hesap} değerlerinin K_a ve K_o ile ilişkisi verilmektedir. K_o (**2.6**) bağıntısı ile hesaplanırken, K_a değeri (**2.7**) bağıntısı ile hesaplanmaktadır. İlk metreler'de K_{hesap} değeri K_o değerinin üzerinde olup birinci metrede K_o değerine ulaştığı görülmektedir 13.75 metreden sonra K_{hesap} değerinin K_a durumuna ulaştığı görülür.



Şekil 6.51: Gevşek kum H=5.0 m köşeye mesafe – toprak basıncı katsayıları ilişkisi.

6.4.2.2 100.0 x 100.0 m kazı çukurunda gevşek kum H=8.0 m için yapılan analiz

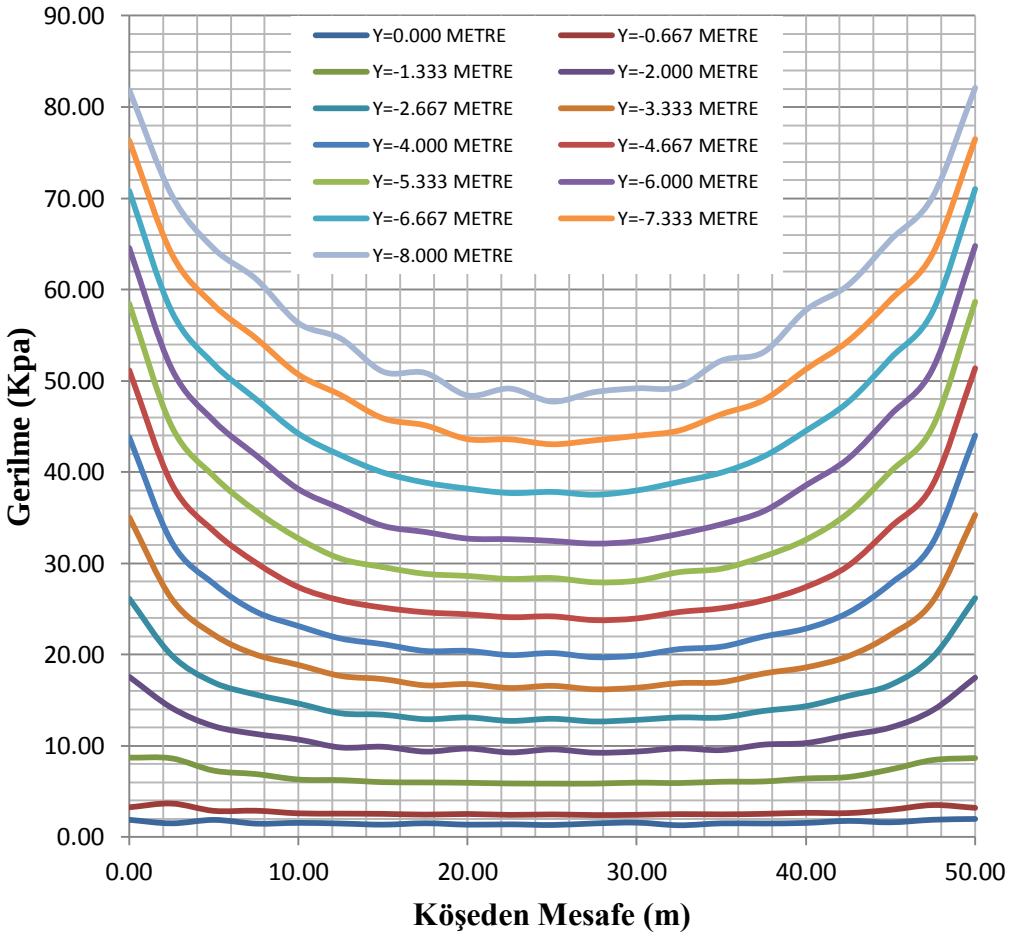
Kazı derinliği 8.0 m olan gevşek kumlu model için deplasman - köşeden mesafe ilişkisi Şekil 6.52'de verilmektedir. Şekilde farklı derinlikler için deplasman - köşeden mesafe ilişkisi çizdirildi. Değişen derinliklerde (Y= 0.0' dan Y= 8.0' e kadar) derinlik azaldıkça deplasmanın arttığı net bir şekilde görülmektedir. Maksimum deplasmanın H=0.0 metrede oluştuğu görülmektedir. Her derinlik için benzer davranış gözlemlenip,köşelerde deplasmanlar en küçük değerde olup köşeden mesafenin iki köşeyede eşit olduğu kesitte maksimum deplasmana ulaştığı sonucuna varıldı.



Şekil 6.52: Gevşek kum H=8.0 m köşeden mesafe - deplasman ilişkisi.

Gerilme - köşeden mesafe ilişkisi ise Şekil 6.53'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 17.50

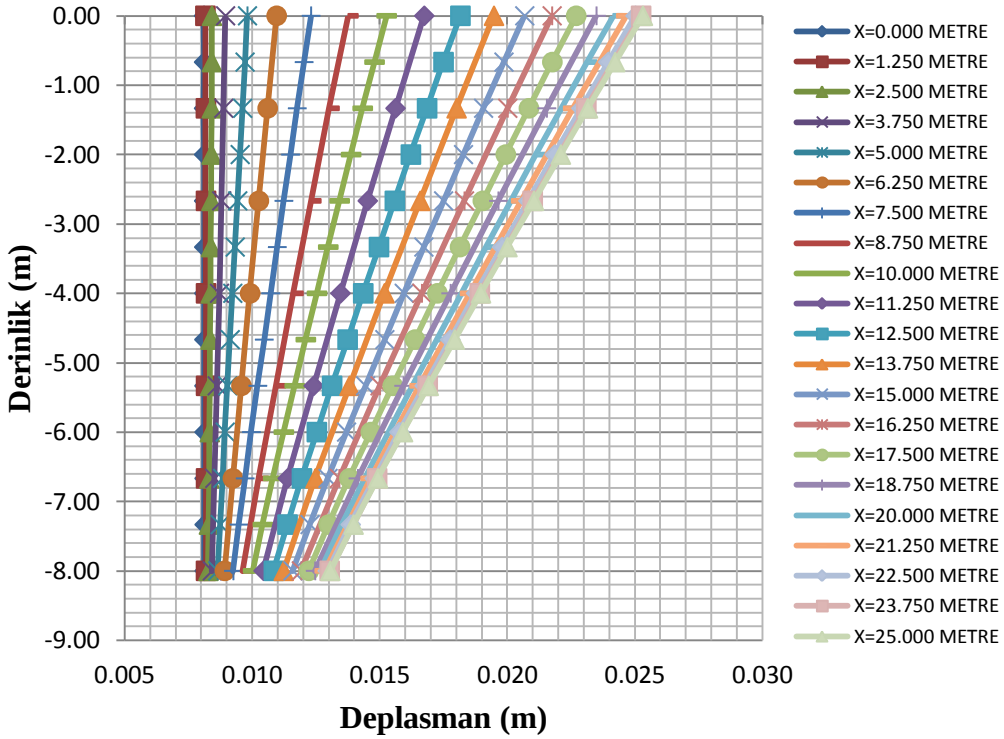
m mesafeden sonra gerilmelerin yakın değerlerde ve köşede oluşan gerilmelerden daha küçük gerilme değerlerinde olduğu görülmektedir.



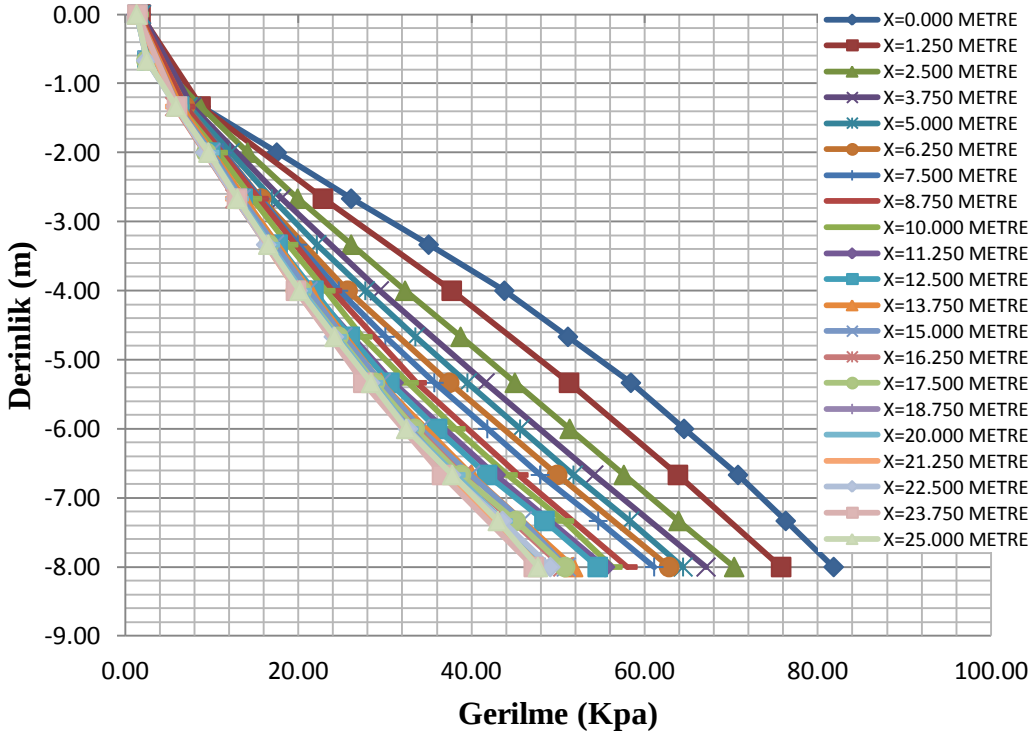
Şekil 6.53: Gevşek kum H=8.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi.

Deplasman - derinlik ilişkisi Şekil 6.54'de verilmektedir. Köşeden değişen mesafeler için deplasman - derinlik ilişkisi çizdirilip, köşeye olan mesafenin artması (X= 0.0' dan X= 25.0' a kadar) ile deplasmanların arttığı net bir şekilde görülmektedir. Köşelerde deplasmanların en küçük değerden başlayıp köşeden 20.00 m mesafeden sonra deplasman artışının azalarak yakın değerlerde olduğu ve orta kesitte maksimum deplasmana ulaştığı sonucuna varılmaktadır.

Diğer bir grafikte ise gerilme - derinlik ilişkisi gösterilmektedir (Şekil 6.55). Köşeden değişen mesafeler için gerilme - derinlik ilişkisi çizdirilip, köşeye olan mesafenin artması (X= 0.0' dan X= 25.0' a kadar) ile gerilmenin azaldığı net bir şekilde görülmektedir. Kazı taban kotunda köşeden yaklaşık 17.50 m sonraki mesafelerde ise köşeye olan mesafenin artmasının gerilmeyi değiştiren bir etkisi olmadığı görülmektedir.



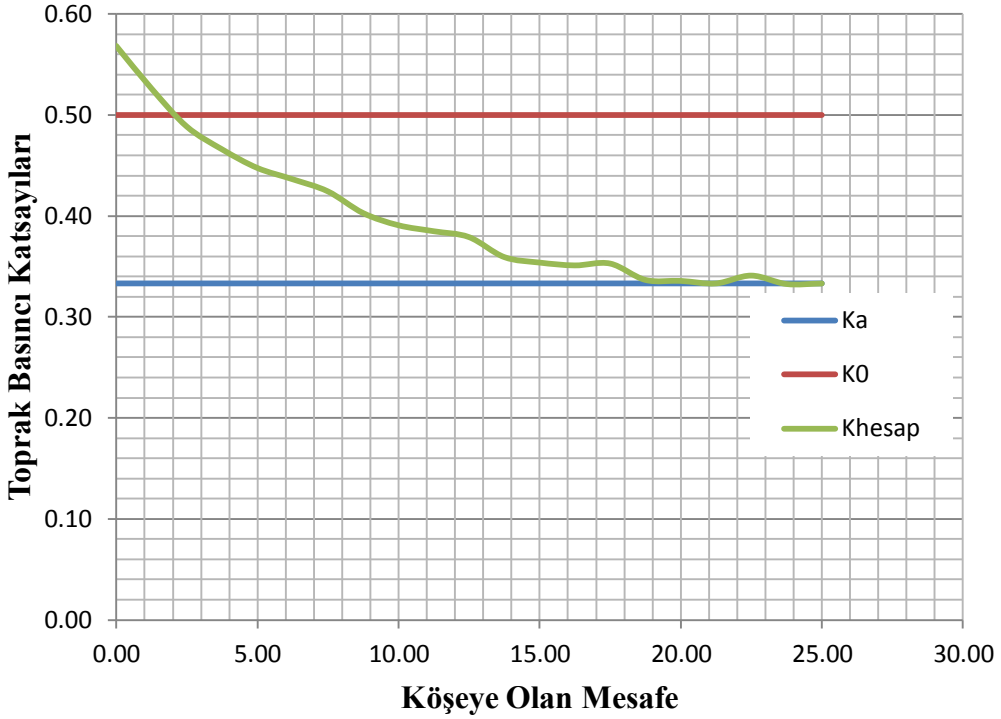
Şekil 6.54: Gevşek kum H=8.0 m derinlik - deplasman ilişkisi.



Şekil 6.55: Gevşek kum H=8.0 m derinlik - gerilme ilişkisi.

Şekil 6.56'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 (**2.6**) bağıntısı ile hesaplanırken, K_a değeri (**2.7**) bağıntısı ile

hesaplanmaktadır. İlk metreler'de K_{hesap} değeri K_o değerinin üzerinde olup ikinci metrede K_o değerine ulaştığı görülmektedir 18.75 metreden sonra K_{hesap} değerinin K_a durumuna ulaştığı görülür.



Şekil 6.56: Gevşek kum H=8.0 m köşeye mesafe – toprak basıncı katsayıları ilişkisi.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Geçmiş yıllarda bir çok araştırmacı, kazı köşesinin etkili mesafesinin ne olduğunu incelemişlerdir. Lee ve diğ. (1998) kazı köşesi etkisinin kazı uzunluğunun (L) kazı derinliğine (h) oranından elde edilen oran ile kontrol edilebileceğini belirtmektedir.

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 ‘‘U’’ harfi şeklindeki kazı çukurunda her iki model için deplasman değerleri köşe noktalarda en küçük değerde olduğu, köşeye olan mesafenin değişimi ile deplasman değerleri artığı ve derinliğin arttıkça deplasmanın azaldığı görülmüştür. Kazı derinliği 5,0 m olan model 1 için maksimum deplasmanın $\boldsymbol{\delta_{hmax}}$ = 0,014 metre olduğu, kazı derinliği 8,0 m olan model 2 için ise $\boldsymbol{\delta_{hmax}}$ = 0,023 metre olduğu yapılan 3 boyutlu analizler sonunda bulunmuştur 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’de 10 metre ve model 2’de ise 15 metre mesafe sonra gerilme değerlerinin yakın değerlere ulaştığı görülmüştür. Ayrıca köşe etkisinin derinlik arttıkça köşeden daha uzakta hissedildiği görülmektedir.Her iki model için gerilmelerden elde edilen toprak basıncı katsayısı K_{hesap} incelendiği zaman model 1 ve model 2 için köşeden uzaklaşıldıkça toprak basıncı katsayısının K_o durumundan K_a durumuna ulaştığı

görülür. Model 1'de köşeye 13.75 metre ve model 2'de ise köşeye 18.75 metre mesafeden sonra Ka durumuna ulaştığı görülmüştür.

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

80.0 x 80.0 metrelik ''U'' harfi şeklindeki kazı çukurunda her iki model için deplasman değerleri köşe noktalarda en küçük değerde olduğu, köşeye olan mesafenin değişimi ile deplasman değerleri artığı ve derinliğin arttıkça deplasmanın azaldığı görülmüştür. Kazı derinliği 5,0 m olan model 1 için maksimum deplasmanın $\boldsymbol{\delta_{hmax}}$ = 0,007 metre olduğu, kazı derinliği 8,0 m olan model 2 için ise $\boldsymbol{\delta_{hmax}}$ = 0,012 metre olduğu yapılan 3 boyutlu analizler sonunda bulunmuştur 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'de 10 metre ve model 2'de ise 15 metre mesafe sonra gerilme değerlerinin yakın değerlere ulaştığı görülmüştür. Ayrıca köşe etkisinin derinlik arttıkça köşeden daha uzakta hissedildiği görülmektedir.

Her iki model için gerilmelerden elde edilen toprak basıncı katsayısı K_{hesap} incelendiği zaman model 1 ve model 2 için köşeden uzaklaşıldıkça toprak basıncı katsayısının K_o durumundan K_a durumuna ulaştığı görülür. Model 1 ve model 2'de köşeye 13.75 metre mesafeden sonra Ka durumuna ulaştığı görülmüştür.

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

80.0 x 80.0 metrelik ''U'' harfi şeklindeki kazı çukurunda her iki model için deplasman değerleri köşe noktalarda en küçük değerde olduğu, köşeye olan mesafenin değişimi ile deplasman değerleri artığı ve derinliğin arttıkça deplasmanın azaldığı görülmüştür. Kazı derinliği 5,0 m olan model 1 için maksimum deplasmanın $\boldsymbol{\delta_{hmax}}$ = 0,162 metre olduğu, kazı derinliği 8,0 m olan model 2 için ise $\boldsymbol{\delta_{hmax}}$ = 0,257 metre olduğu yapılan 3 boyutlu analizler sonunda bulunmuştur 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'de ise 15 metre mesafe sonra gerilme değerlerinin yakın değerlere

ulaştığı görülmüştür. Ayrıca köşe etkisinin derinlik arttıkça köşeden daha uzakta hissedildiği görülmektedir.

Her iki model için gerilmelerden elde edilen toprak basıncı katsayısı K_{hesap} incelendiği zaman model 1 ve model 2 için köşeden uzaklaşıldıkça toprak basıncı katsayısının K_o durumundan K_a durumuna ulaştığı görülür. Model 1'de köşeye 20.00 metre ve model 2'de ise köşeye 15.00 metre mesafeden sonra Ka durumuna ulaştığı görülmüştür.

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

80.0 x 80.0 metrelik ''U'' harfi şeklindeki kazı çukurunda her iki model için deplasman değerlerinin köşe noktalardan merkeze doğru gidildikçe arttığı ve orta noktada maksimuma ulaştığı görülmüştür. Bunun yanında derinliğin arttıkça deplasmanın azaldığı görülmüştür. Kazı derinliği 5,0 m olan model 1 için maksimum deplasmanın $\boldsymbol{\delta_{hmax}}$ = 0,051 metre olduğu, kazı derinliği 8,0 m olan model 2 için ise $\boldsymbol{\delta_{hmax}}$ = 0,077 metre olduğu yapılan 3 boyutlu analizler sonunda bulunmuştur 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'de ise 15 metre mesafe sonra gerilme değerlerinin yakın değerlere ulaştığı görülmüştür. Ayrıca köşe etkisinin derinlik arttıkça köşeden daha uzakta hissedildiği görülmektedir.

Her iki model için gerilmelerden elde edilen toprak basıncı katsayısı K_{hesap} incelendiği zaman model 1 ve model 2 için köşeden uzaklaşıldıkça toprak basıncı katsayısının K_o durumundan K_a durumuna ulaştığı görülür. Model 1'de

köşeye 8.75 metre ve model 2'de ise köşeye 20.00 metre mesafeden sonra Ka durumuna ulaştığı görülmüştür.

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.

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

100.0 x 100.0 metrelik ‘‘U’’ harfi şeklindeki kazı çukurunda her iki model için deplasman değerleri köşe noktalarda en küçük değerde olduğu, köşeye olan mesafenin değişimi ile deplasman değerleri artığı ve derinliğin arttıkça deplasmanın azaldığı görülmüştür. Kazı derinliği 5,0 m olan model 3 için maksimum deplasmanın $\boldsymbol{\delta_{hmax}}$ = 0,014 metre olduğu, kazı derinliği 8,0 m olan model 4 için ise $\boldsymbol{\delta_{hmax}}$ = 0,025 metre olduğu yapılan 3 boyutlu analizler sonunda bulunmuştur 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 3’de 15 metre ve model 4’de ise 17.5 metre mesafe sonra gerilme değerlerinin yakın değerlere ulaştığı görülmüştür. Ayrıca köşe etkisinin derinlik arttıkça köşeden daha uzakta hissedildiği görülmektedir.

Her iki model için gerilmelerden elde edilen toprak basıncı katsayısı K_{hesap} incelendiği zaman model 3 ve model 4 için köşeden uzaklaşıldıkça toprak basıncı katsayısının K_o durumundan K_a durumuna ulaştığı görülür. Model 3’de köşeye 13.75 metre ve model 4’de ise köşeye 18.75 metre mesafeden sonra Ka durumuna ulaştığı görülmüştür.

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

100.0 x 100.0 metrelik ‘‘U’’ harfi şeklindeki kazı çukurunda her iki model için deplasman değerleri köşe noktalarda en küçük değerde olduğu, köşeye olan mesafenin değişimi ile deplasman değerleri artığı ve derinliğin arttıkça deplasmanın azaldığı görülmüştür. Kazı derinliği 5,0 m olan model 3 için maksimum deplasmanın $\boldsymbol{\delta_{hmax}}$ = 0,008 metre olduğu, kazı derinliği 8,0 m olan model 4 için ise $\boldsymbol{\delta_{hmax}}$ = 0,013 metre olduğu yapılan 3 boyutlu analizler sonunda bulunmuştur 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

3'de 7.50 metre ve model 4'de ise 15 metre mesafe sonra gerilme değerlerinin yakın değerlere ulaştığı görülmüştür. Ayrıca köşe etkisinin derinlik arttıkça köşeden daha uzakta hissedildiği görülmektedir.

Her iki model için gerilmelerden elde edilen toprak basıncı katsayısı K_{hesap} incelendiği zaman model 3 ve model 4 için köşeden uzaklaşıldıkça toprak basıncı katsayısının K_o durumundan K_a durumuna ulaştığı görülür. Model 3'de köşeye 11.25 metre ve model 4'de köşeye 18.75 metre mesafeden sonra Ka durumuna ulaştığı görülmüştür.

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

100.0 x 100.0 metrelik ''U'' harfi şeklindeki kazı çukurunda her iki model için deplasman değerleri köşe noktalarda en küçük değerde olduğu, köşeye olan mesafenin değişimi ile deplasman değerleri artığı ve derinliğin arttıkça deplasmanın azaldığı görülmüştür. Kazı derinliği 5,0 m olan model 3 için maksimum deplasmanın $\boldsymbol{\delta_{hmax}}$ = 0,167 metre olduğu, kazı derinliği 8,0 m olan model 4 için ise $\boldsymbol{\delta_{hmax}}$ = 0,266 metre olduğu yapılan 3 boyutlu analizler sonunda bulunmuştur 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 3 ve model 4'de ise 20.00 metre mesafe sonra gerilme değerlerinin yakın değerlere ulaştığı görülmüştür. Ayrıca köşe etkisinin derinlik arttıkça köşeden daha uzakta hissedildiği görülmektedir.

Her iki model için gerilmelerden elde edilen toprak basıncı katsayısı K_{hesap} incelendiği zaman model 3 ve model 4 için köşeden uzaklaşıldıkça toprak basıncı katsayısının K_o durumundan K_a durumuna ulaştığı görülür. Model 3'de köşeye 18.75 metre ve model 4'de ise köşeye 25.00 metre mesafeden sonra Ka durumuna ulaştığı görülmüştür.

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

1000.0 x 100.0 metrelik ''U'' harfi şeklindeki kazı çukurunda her iki model için deplasman değerlerinin köşe noktalardan merkeze doğru gidildikçe arttığı ve daha sonra merkez noktada azaldığı görülmektedir. Bunun yanında derinliğin arttıkça

deplasmanın azaldığı görülmüştür. Kazı derinliği 5,0 m olan model 3 için maksimum deplasmanın $\boldsymbol{\delta_{hmax}}$ = 0,050 metre olduğu, kazı derinliği 8,0 m olan model 4 için ise $\boldsymbol{\delta_{hmax}}$ = 0,080 metre olduğu yapılan 3 boyutlu analizler sonunda bulunmuştur 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 3'de10 metre ve model 4'de ise 17.50 metre mesafe sonra gerilme değerlerinin yakın değerlere ulaştığı görülmüştür. Ayrıca köşe etkisinin derinlik arttıkça köşeden daha uzakta hissedildiği görülmektedir.

Her iki model için gerilmelerden elde edilen toprak basıncı katsayısı K_{hesap} incelendiği zaman model 3 ve model 4 için köşeden uzaklaşıldıkça toprak basıncı katsayısının K_o durumundan K_a durumuna ulaştığı görülür. Model 3'de köşeye 8.75 metre ve model 4'de ise köşeye 23.75 metre mesafeden sonra Ka durumuna ulaştığı görülmüştür.

Bu sonuçlardan yola çıkarak zeminin rijitliğinin artması köşe etkisi etki mesafesini azaltıcı etki yapar. Bu çalışmanın devamında yatay destek elemanlı iksa sistemleri ve birden fazla zemin tabakasına sahip kazılar için analiz yapılabilinir.

KAYNAKLAR

Başeski, O. (2008), *Derin Kazılarda İksa Sistemi Üzerine Bir İnceleme* (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

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

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.

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.

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.

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.

Gürgüç, S.B. (2013), *İki Doğrultuda Yatay Yüklü Kazık Grupları İle İlgili Bir İnceleme* (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.

Köse, H.K. (2011), *Derin Kazılar Ve Derin Kazı Uygulamasına Bir Örnek: Hilton Garden Inn Sütlüce Derin Temel Kazısı* (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 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, Vol. 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, Vol. 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., Vol. 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.

Özkorkmaz, S. (2013), *Kazı Çukurlarında Köşe Etkisi Üzerine Bir Çalışma*, (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

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*, Vol. 119, No. 1, 69-90.

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

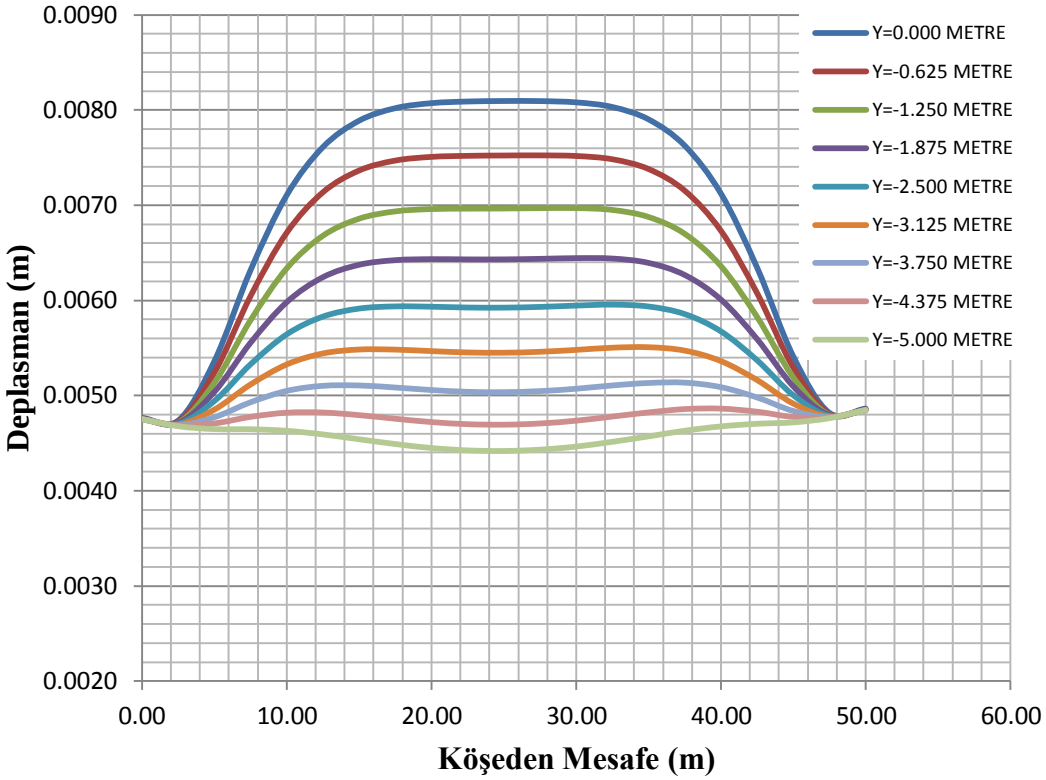
Wong, I. H., Poh, T. Y. ve Chuah, H. L. (1997). Performance of excavations for depressed expressway in Singapore. J. *Geotech. and Geoenvir. Engrg., ASCE*, 123(7), 617-625.

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

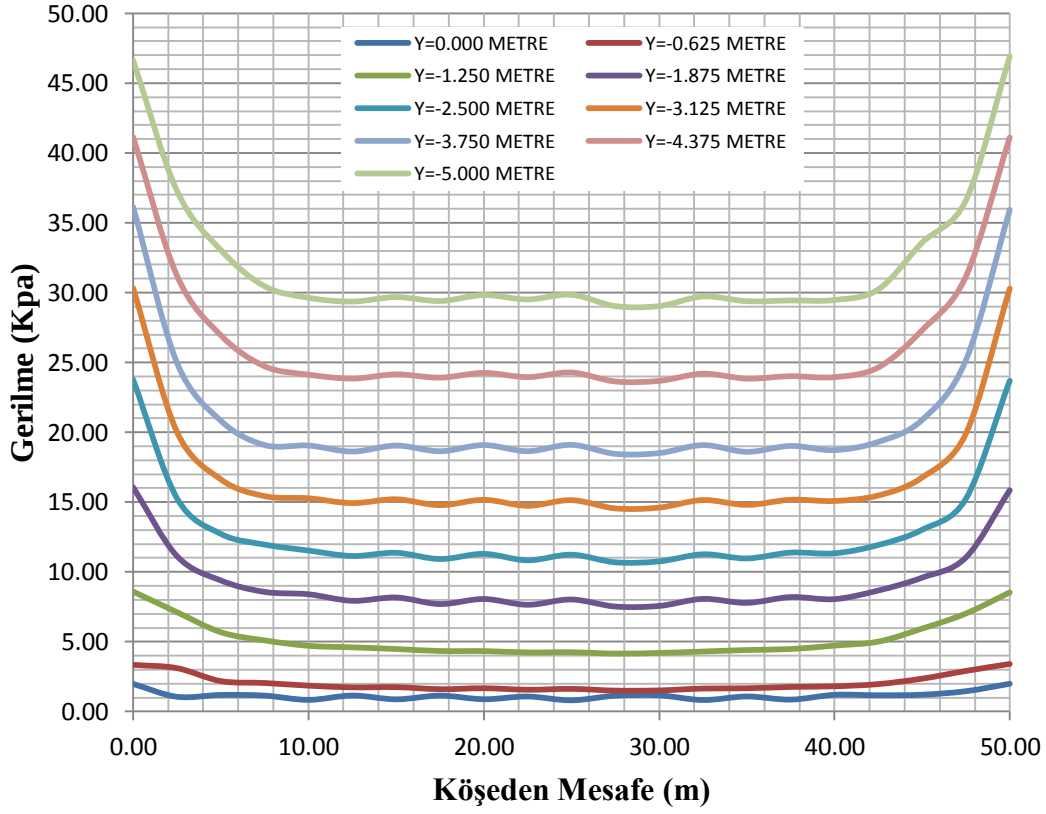
EKLER

EK A: 100.0 x 100.0 Metre ‘‘U’’ Şeklindeki Kazı Çukurunda yapılan Analizlerden Elde Edilen Grafikler

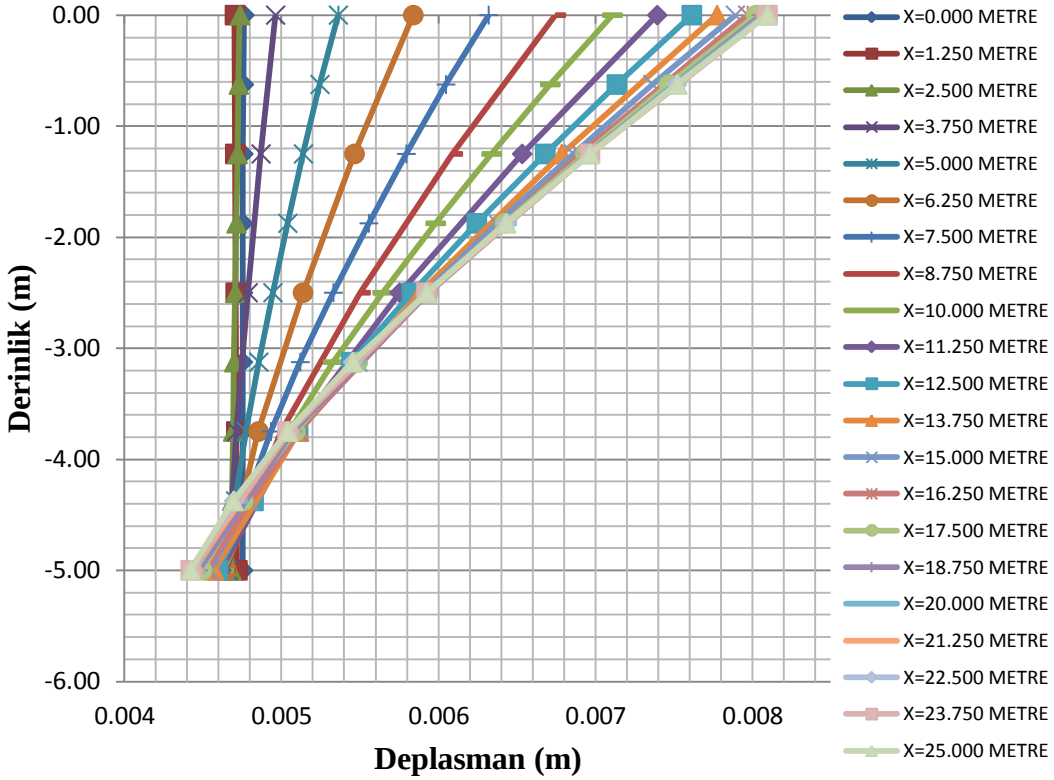
EK A



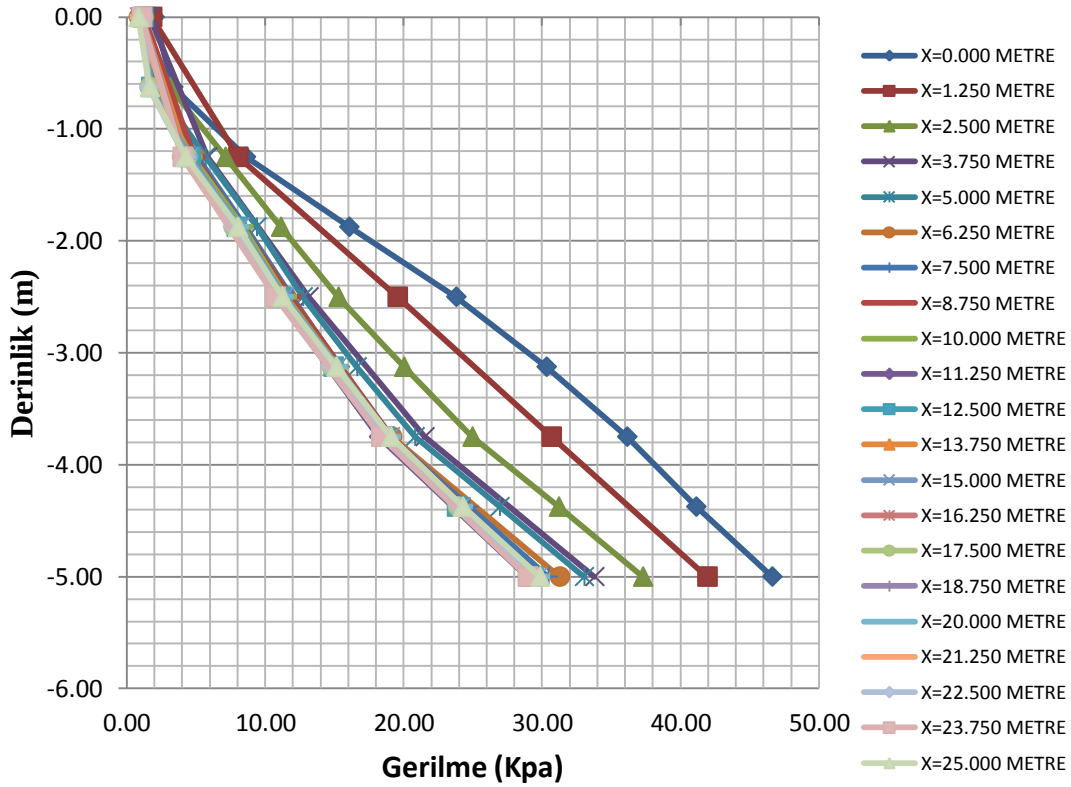
Şekil A.1 : Orta sıkı kum H=5.0 m köşeden mesafe - deplasman ilişkisi.



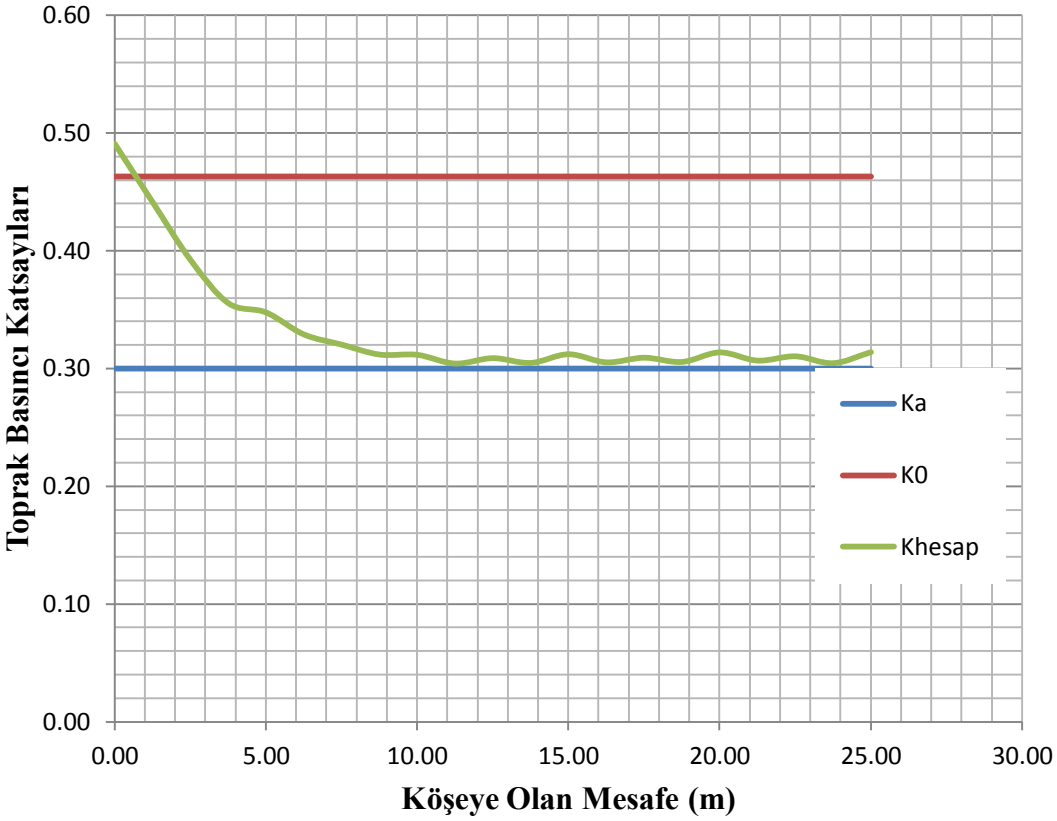
Şekil A.2: Orta sıkı kum H=5.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi.



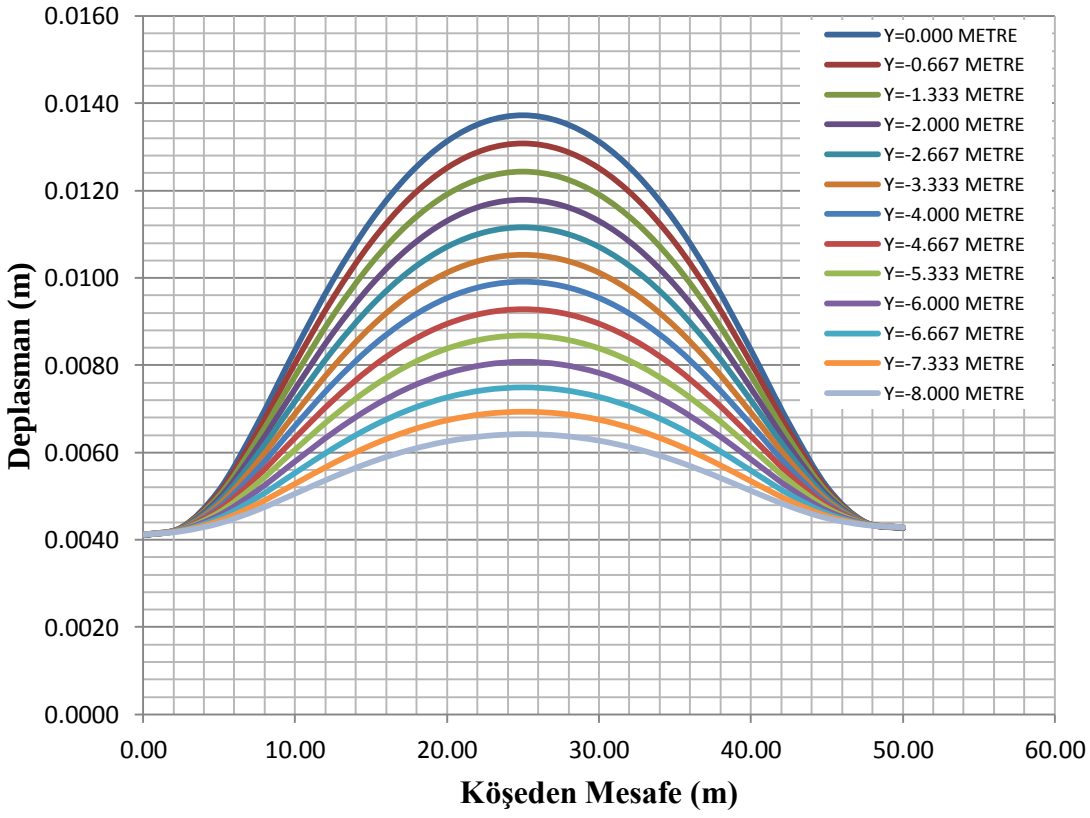
Şekil A.3 : Orta sıkı kum H=5.0 m derinlik - deplasman ilişkisi.



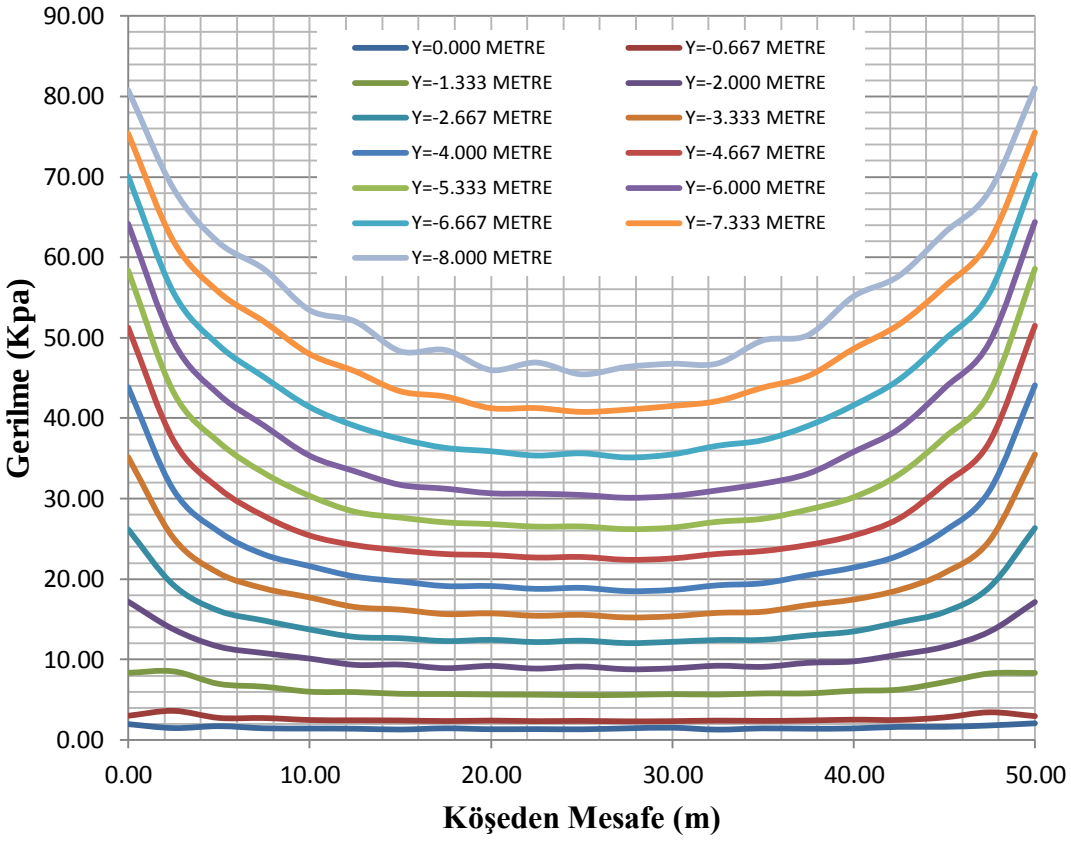
Şekil A.4: Orta sıkı kum H=5.0 m derinlik - gerilme ilişkisi.



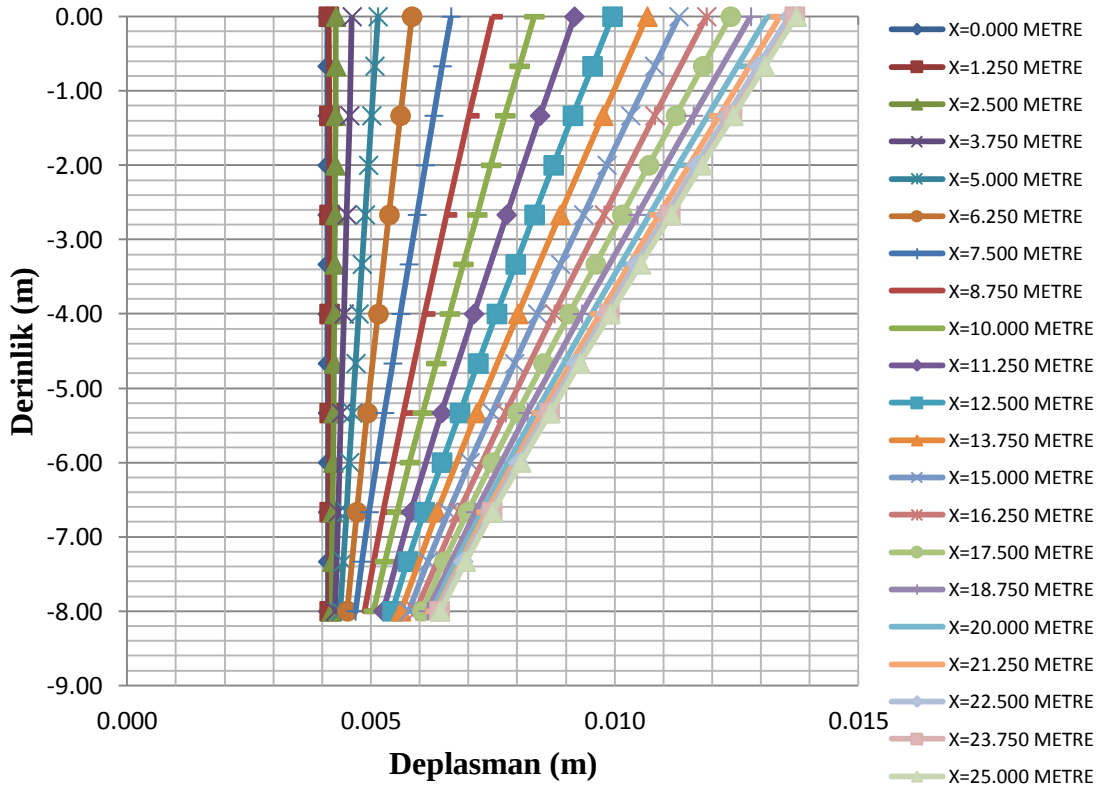
Şekil A.5: Orta sıkı kum H=5.0 m köşeye mesafe – toprak basıncı katsayıları ilişkisi.



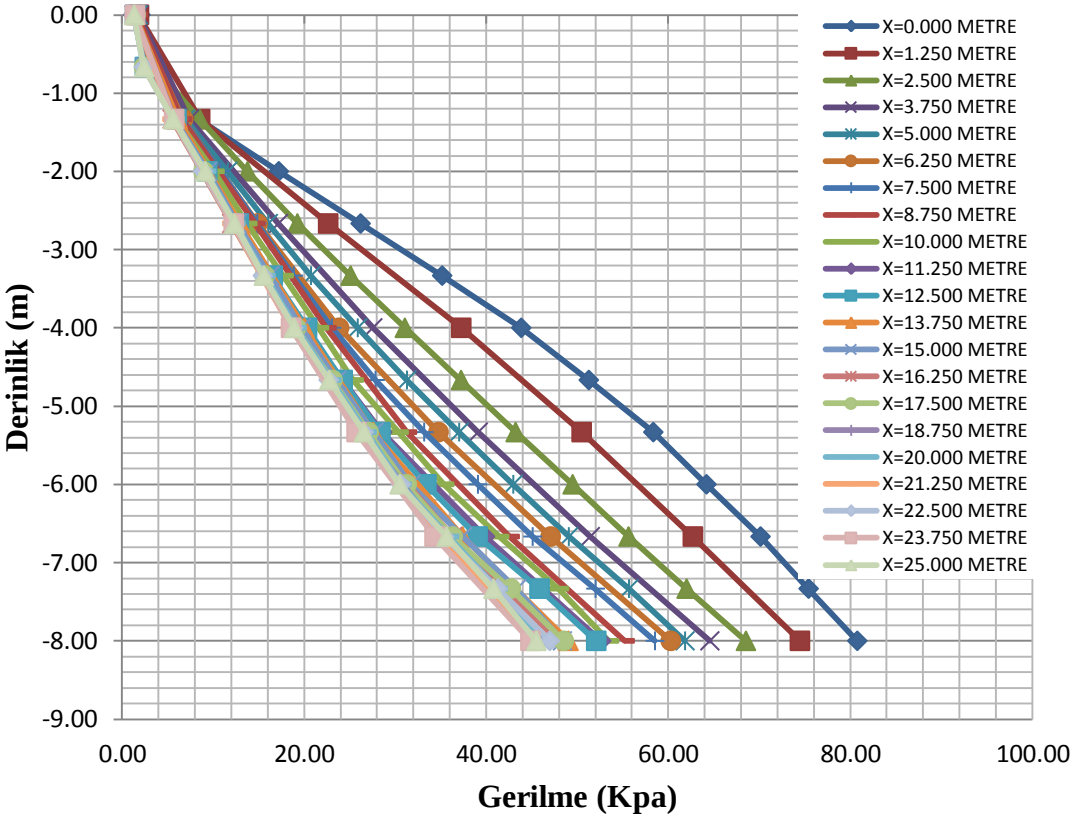
Şekil A.6: Orta sıkı kum H=8.0 m köşeden mesafe - deplasman ilişkisi.



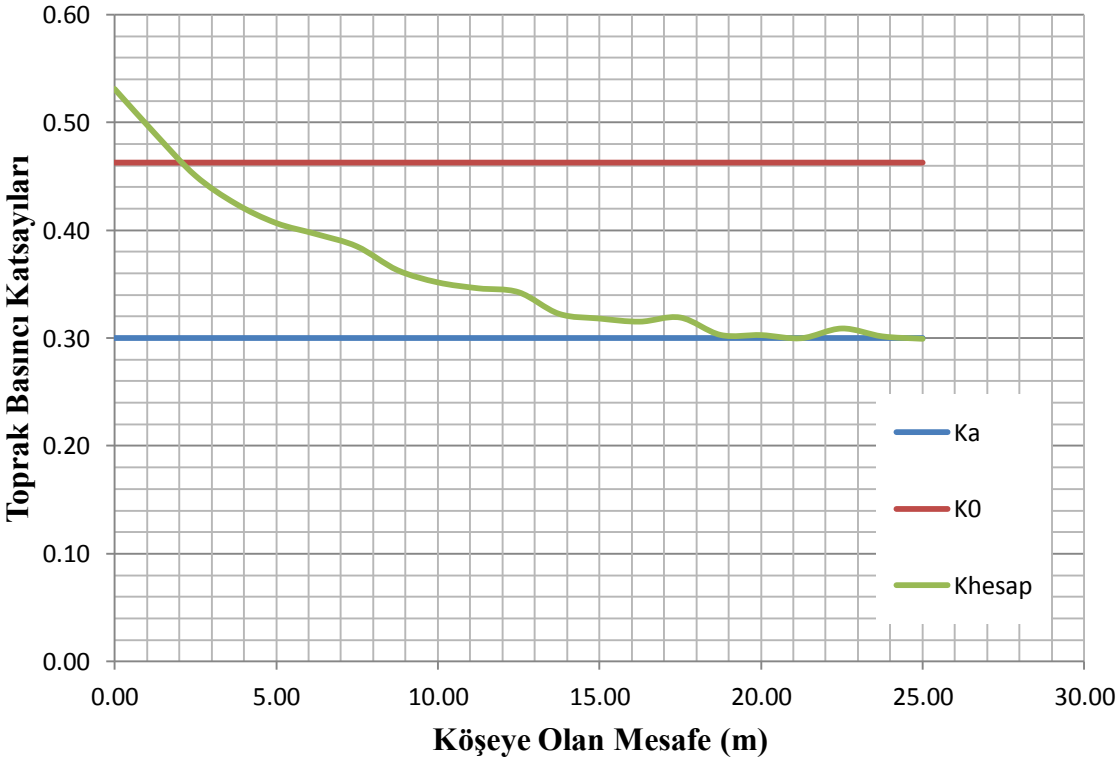
Şekil A.7: Orta sıkı kum H=8.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi.



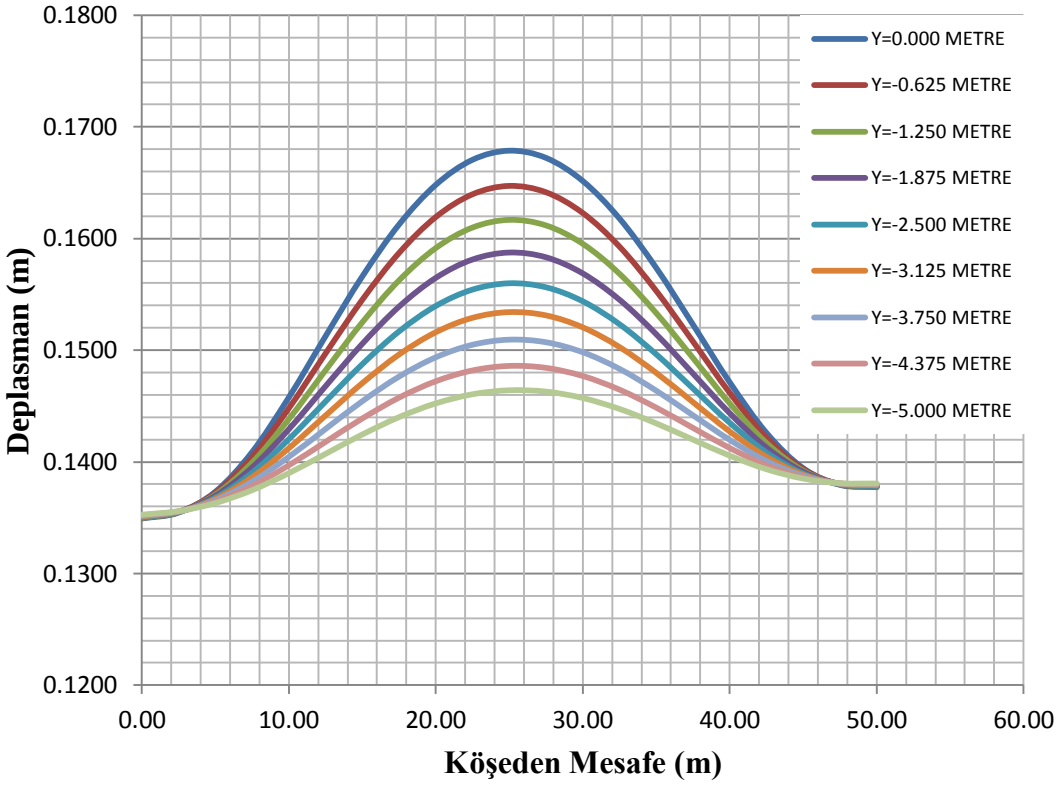
Şekil A.8 : Orta sıkı kum H=8.0 m derinlik - deplasman ilişkisi.



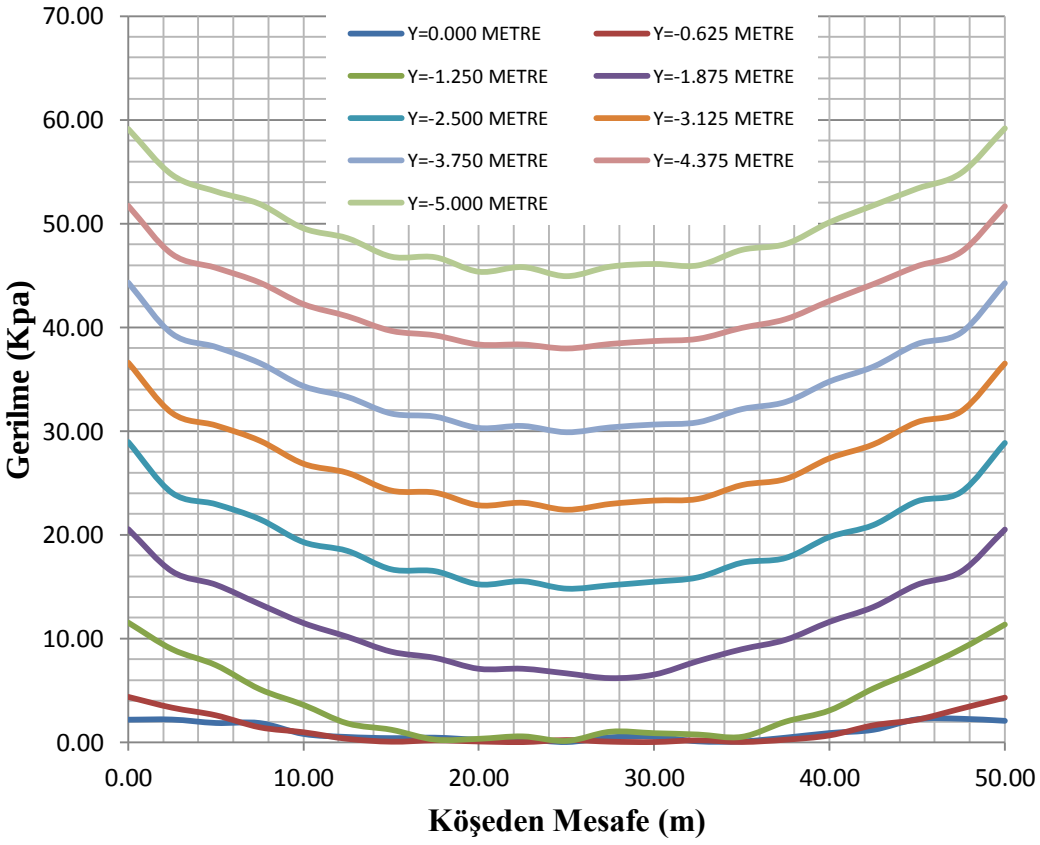
Şekil A.9 : Orta sıkı kum H=8.0 m derinlik - gerilme ilişkisi.



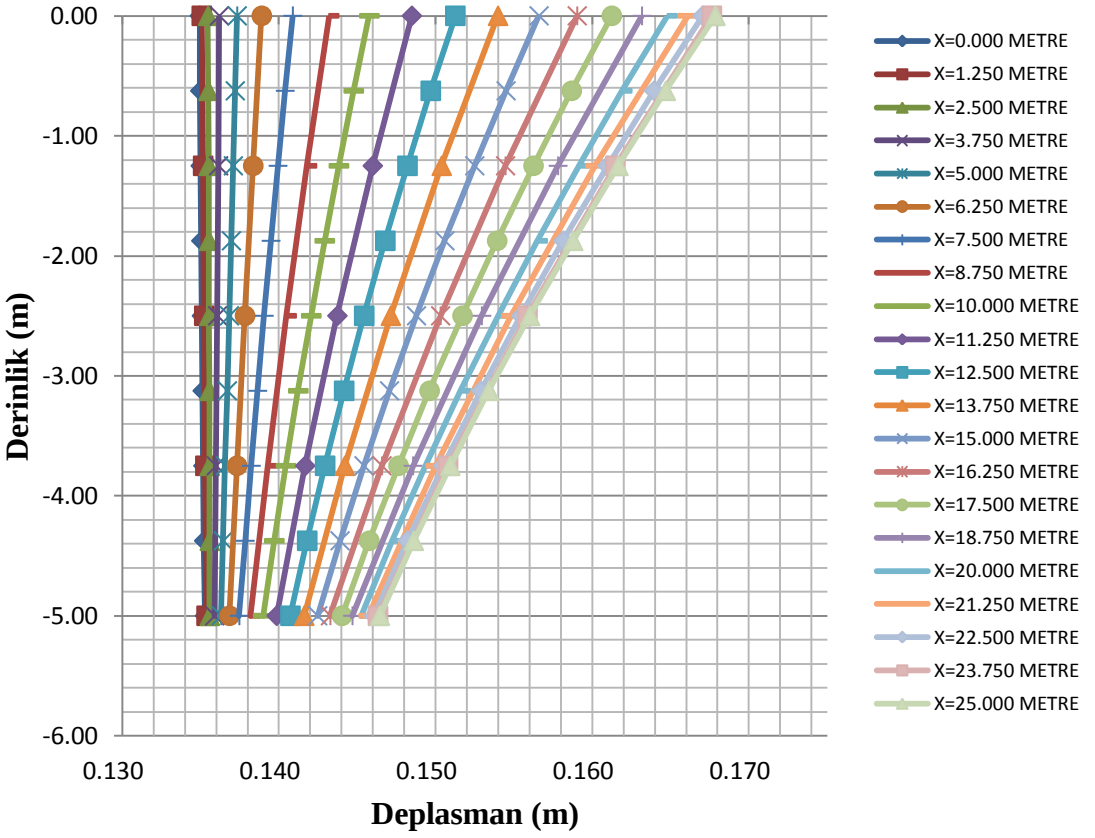
Şekil A.10 : Orta sıkı kum H=8.0 m köşeye mesafe toprak basıncı katsayıları ilişkisi.



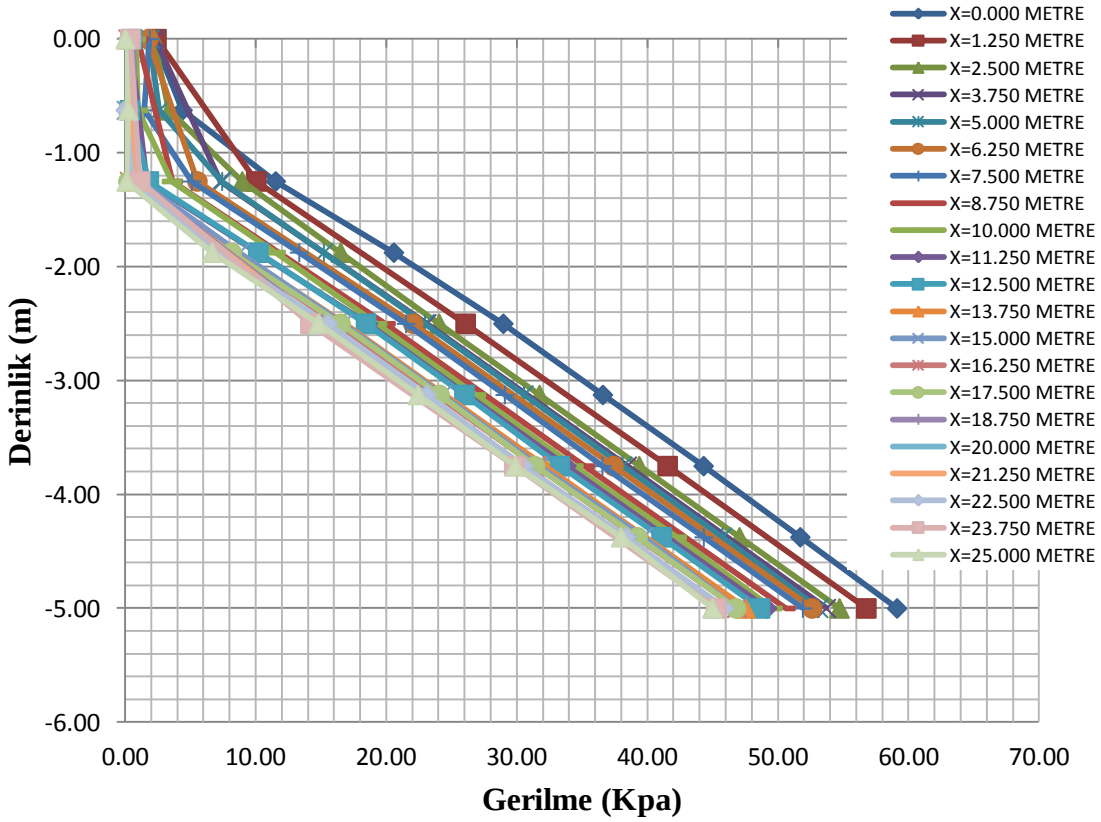
Şekil A.11 : Yumuşak kil H=5.0 m köşeden mesafe - deplasman ilişkisi.



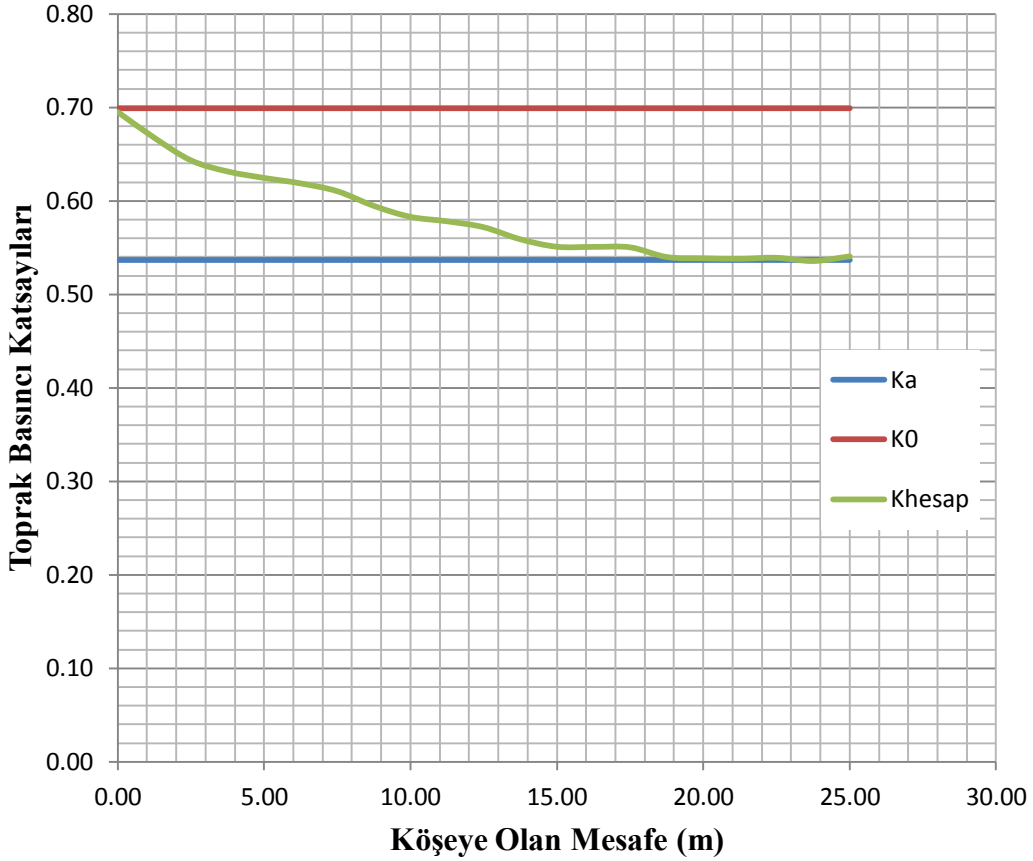
Şekil A.12 : Yumuşak kil H=5.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi.



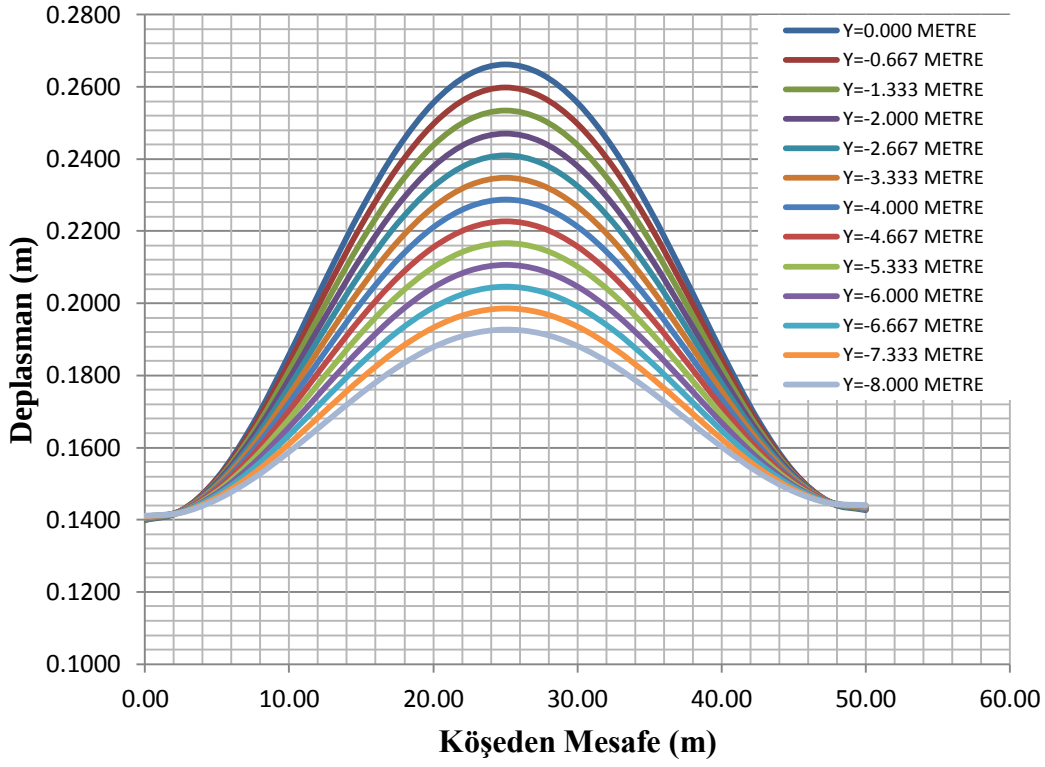
Şekil A.13 : Yumuşak kil H=5.0 m derinlik - deplasman ilişkisi.



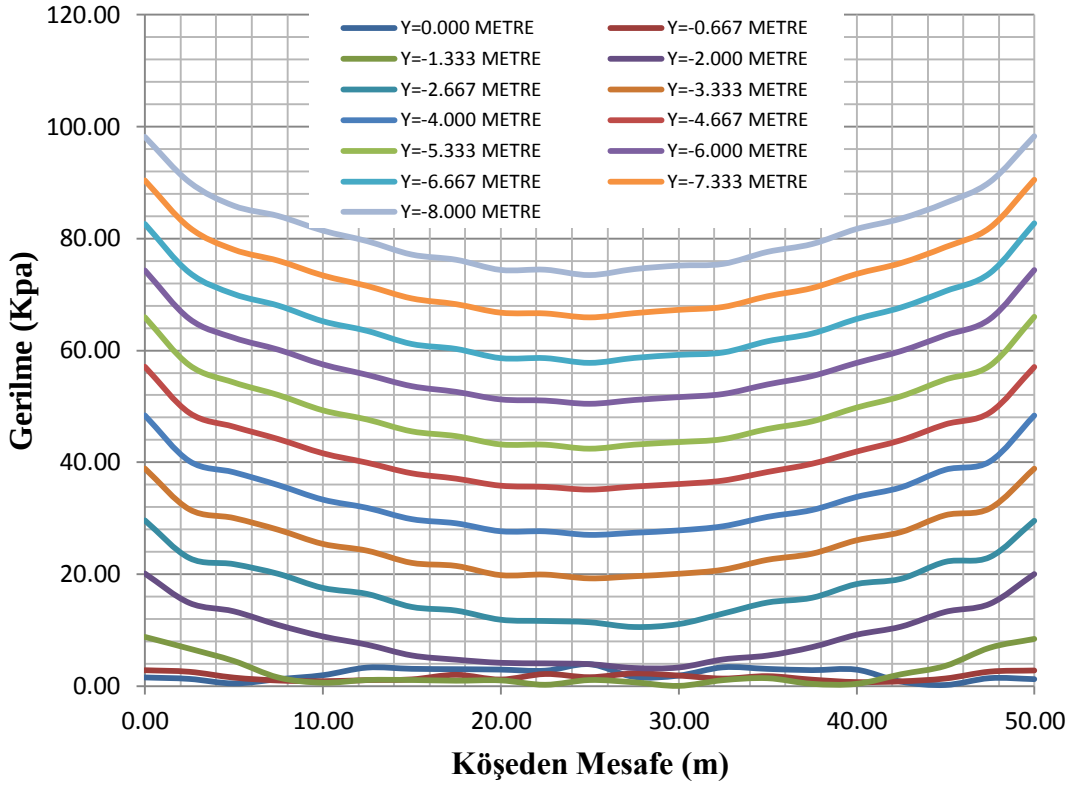
Şekil A.14 : Yumuşak kil H=5.0 m derinlik - gerilme ilişkisi.



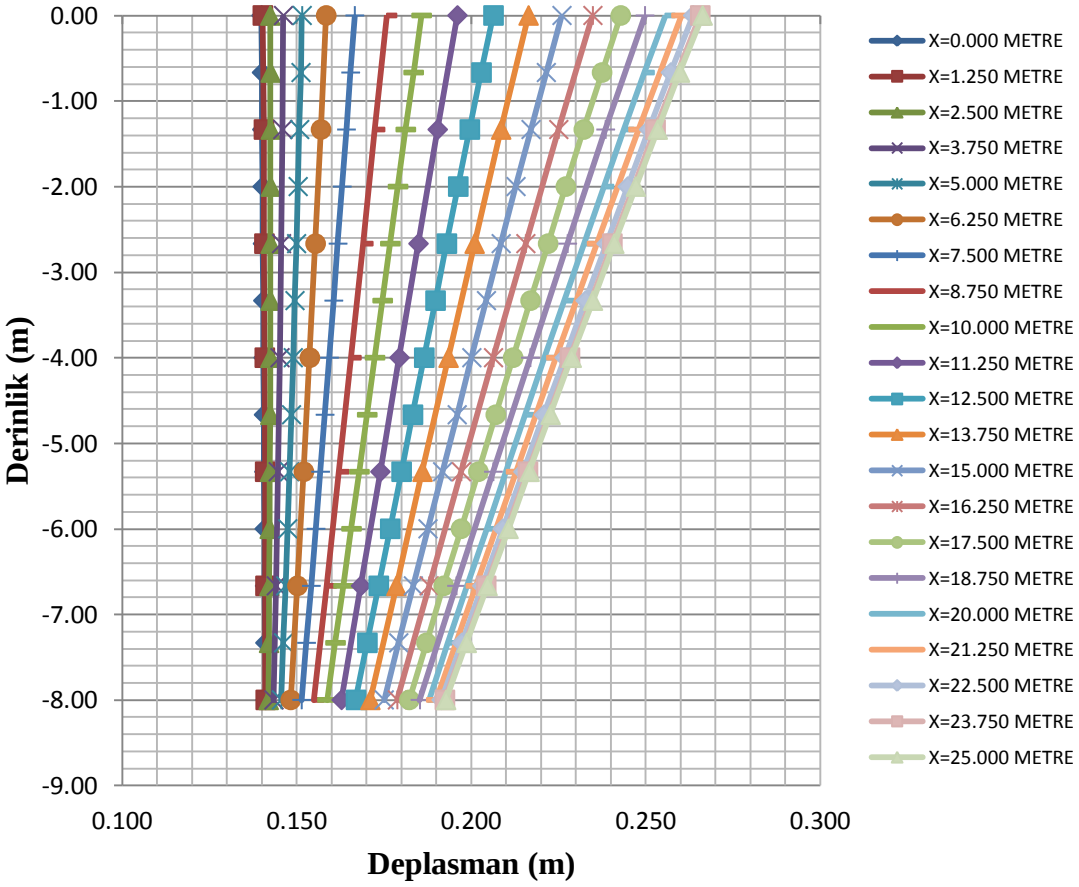
Şekil A.15 : Yumuşak kil H=5.0 m köşeye mesafe toprak basıncı katsayıları ilişkisi.



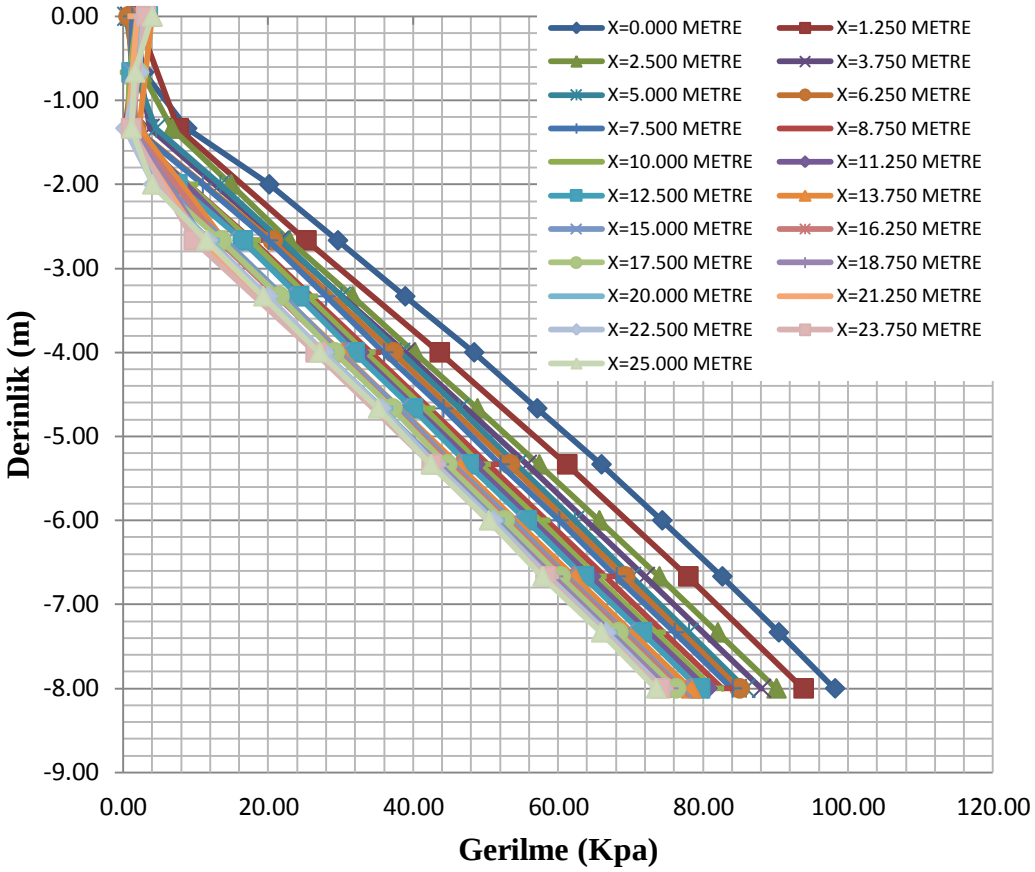
Şekil A.16 : Yumuşak kil H=8.0 m köşeden mesafe - deplasman ilişkisi.



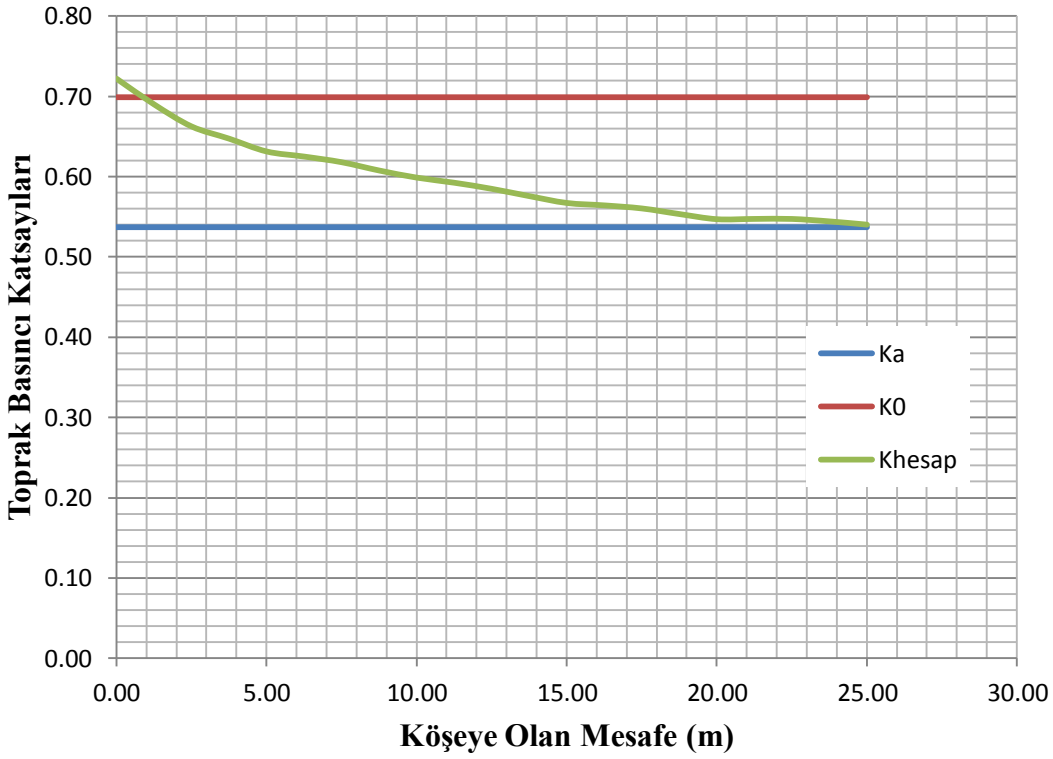
Şekil A.17: Yumuşak kil H=8.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi.



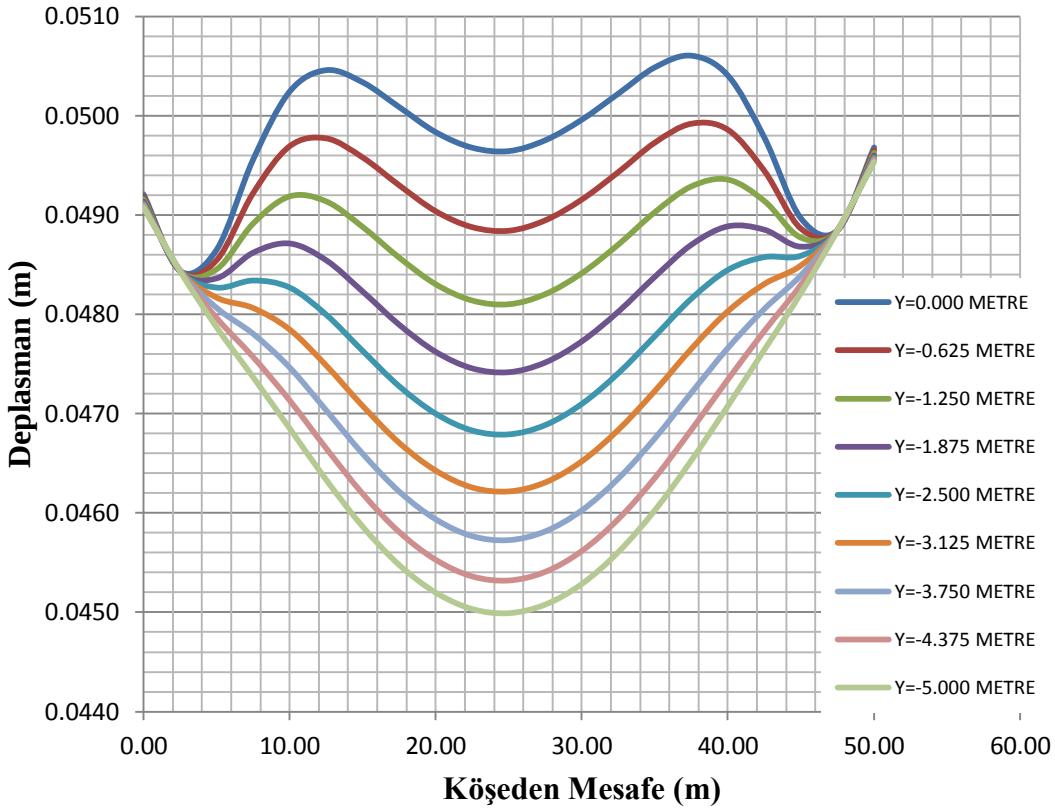
Şekil A.18 : Yumuşak kil H=8.0 m derinlik - deplasman ilişkisi.



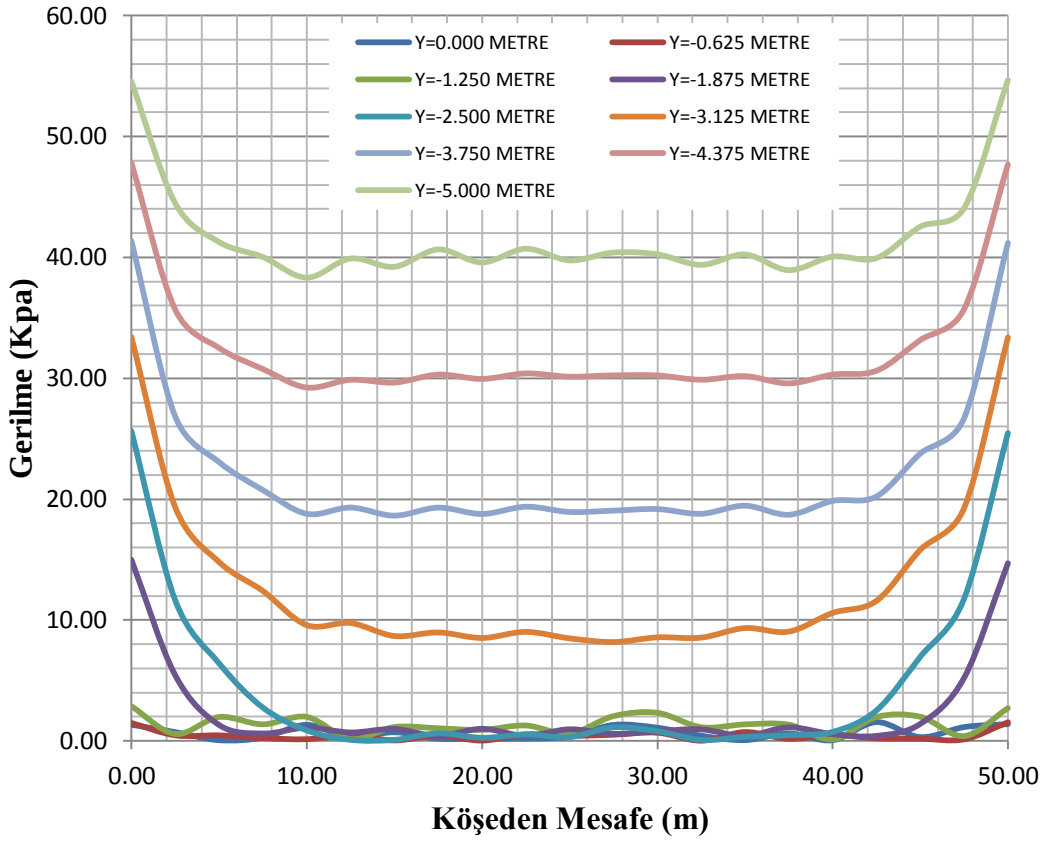
Şekil A.19 : Yumuşak kil H=8.0 m derinlik - gerilme ilişkisi.



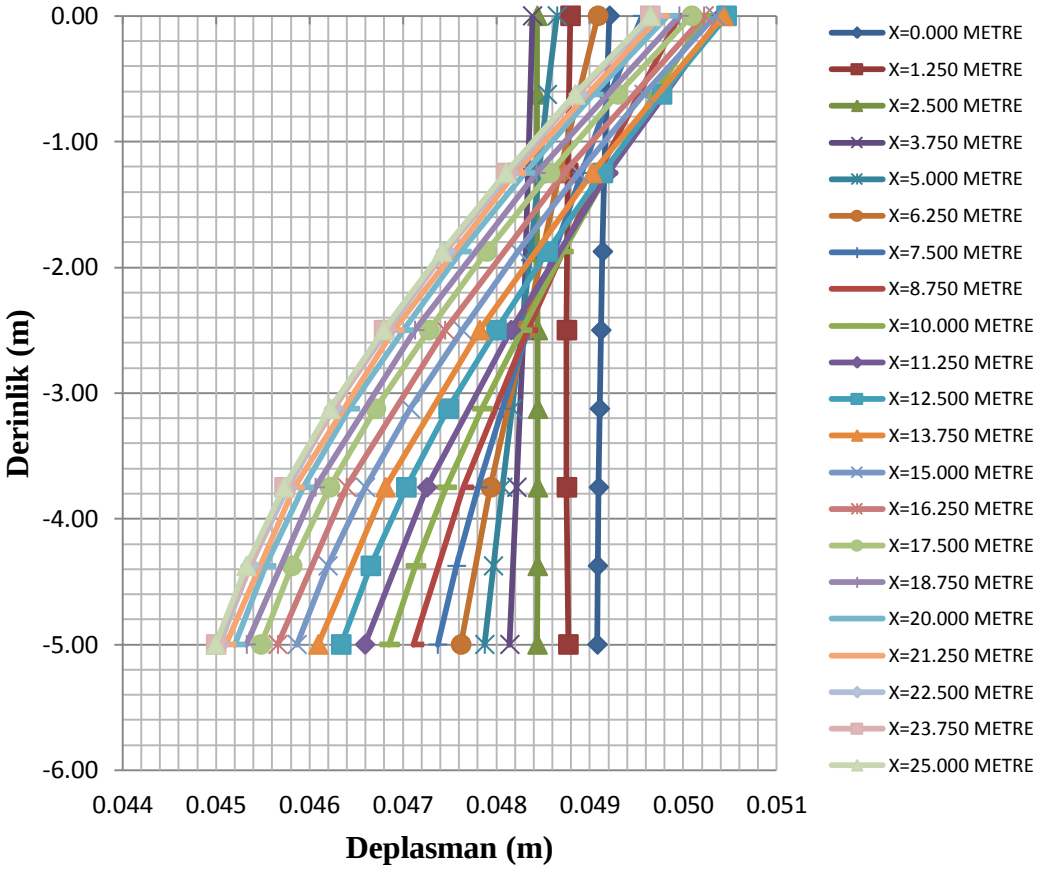
Şekil A.20 : Yumuşak kil H=8.0 m köşeye mesafe toprak basıncı katsayıları ilişkisi.



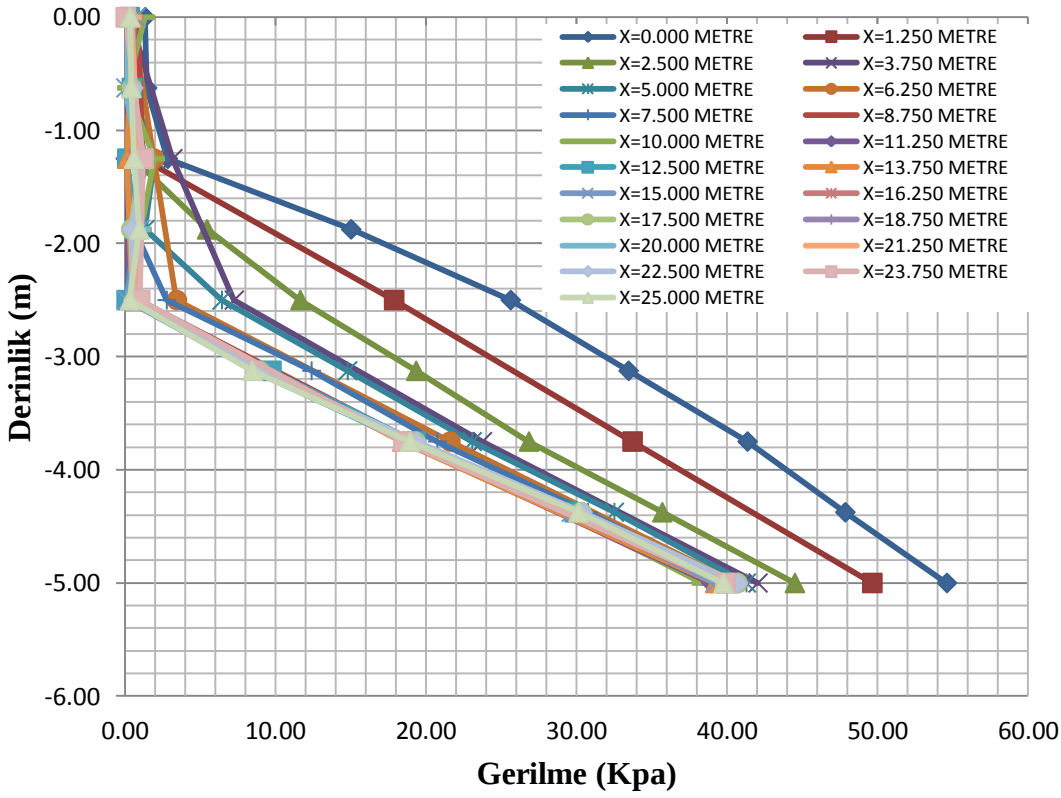
Şekil A.21 : Yarı katı kil H=5.0 m köşeden mesafe - deplasman ilişkisi.



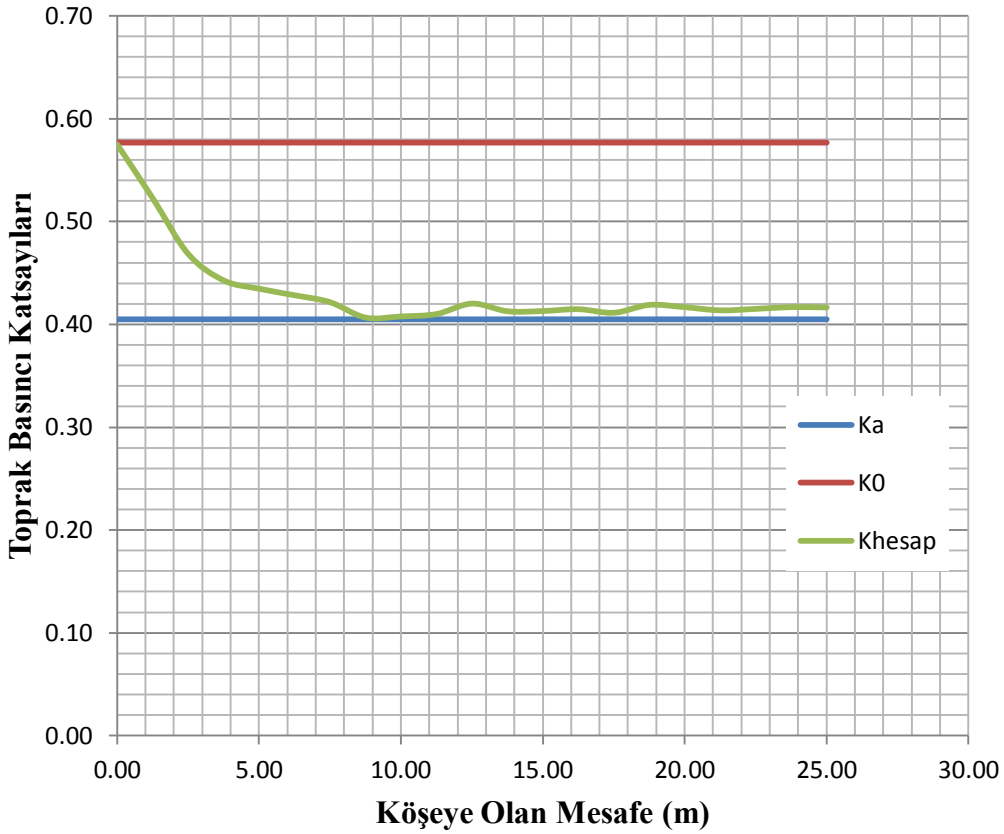
Şekil A.22: Yarı katı kil H=5.0 m köşeden mesafe - gerilme ilişkisi.



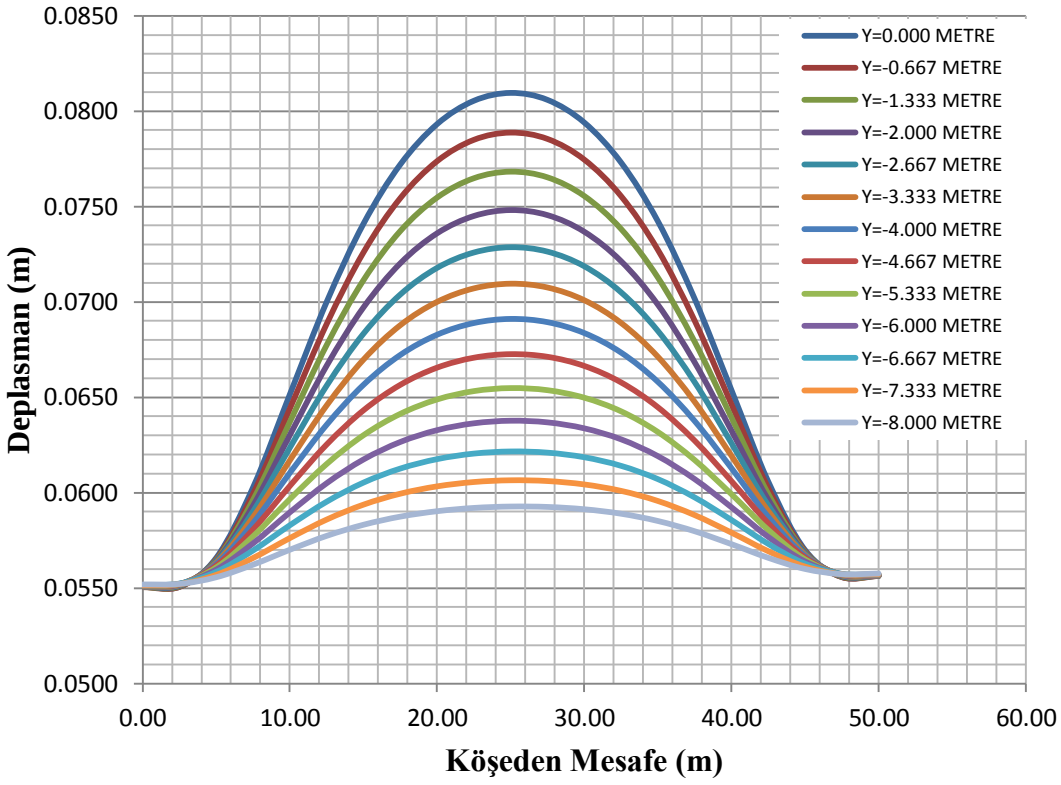
Şekil A.23 : Yarı katı kil H=5.0 m derinlik - deplasman ilişkisi.



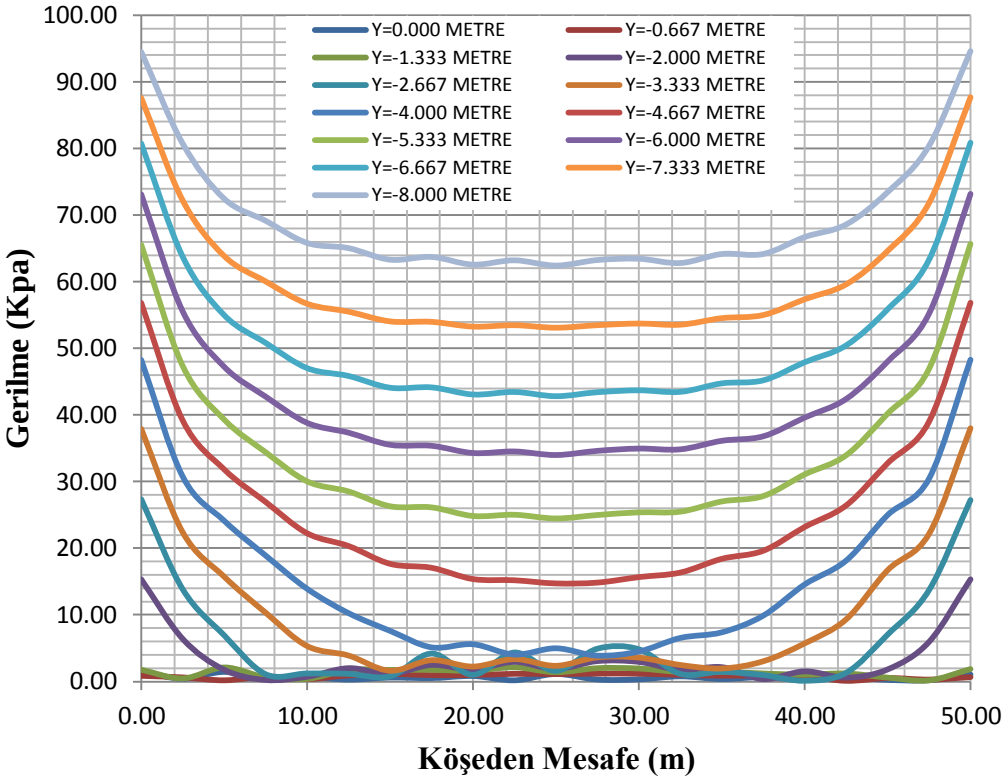
Şekil A.24 : Yarı katı kil H=5.0 m derinlik - gerilme ilişkisi.



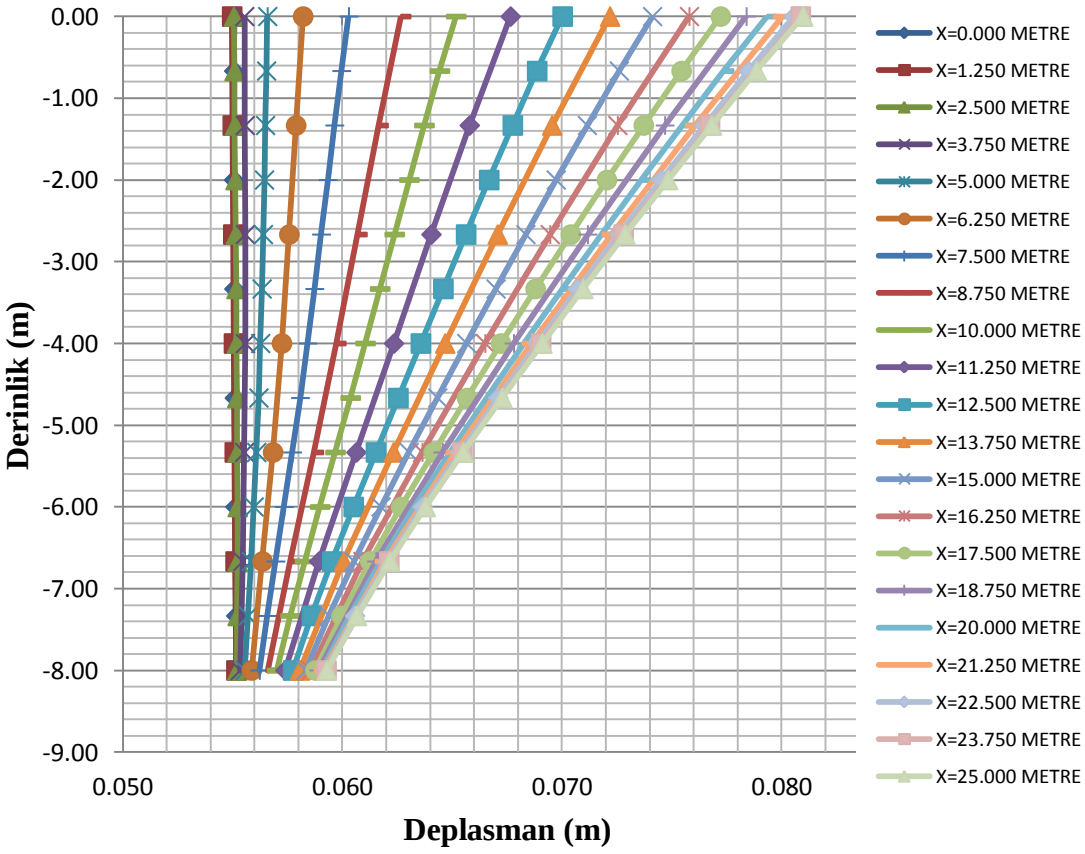
Şekil A.25 : Yarı katı kil H=5.0 m köşeye mesafe – toprak basıncı katsayıları ilişkisi.



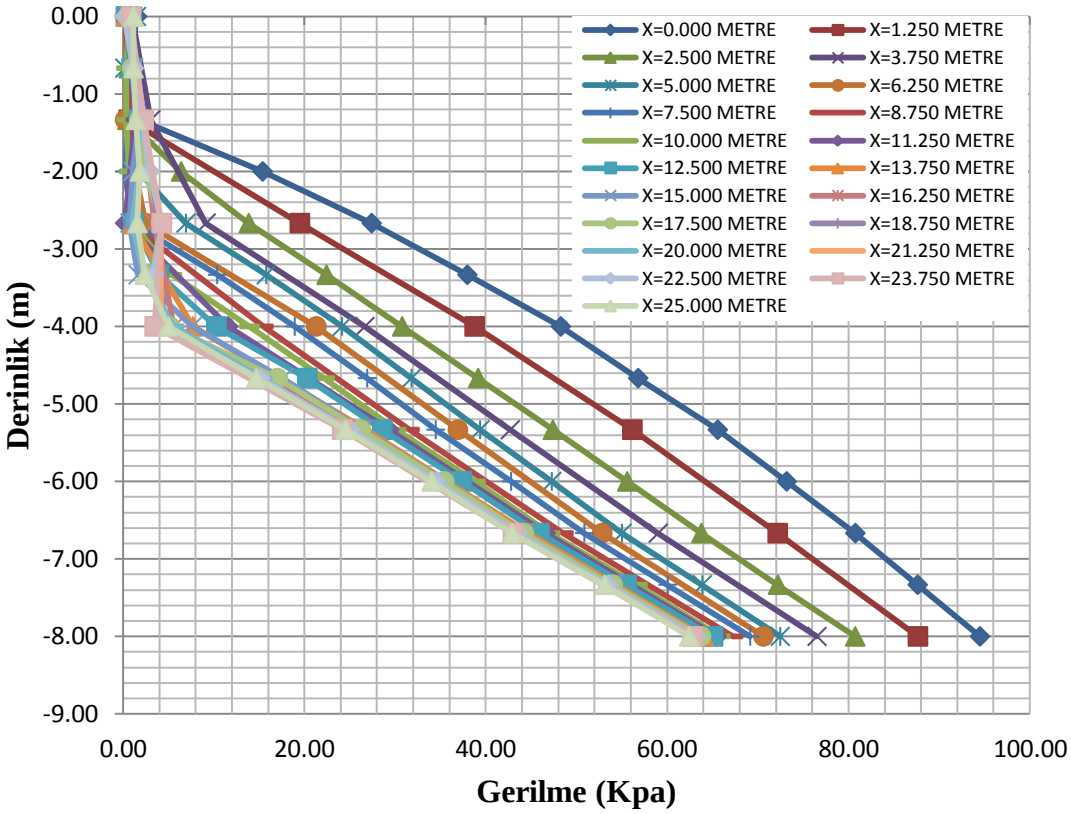
Şekil A.26: Yarı katı kil H=8.0 m köşeden mesafe-deplasman ilişkisi.



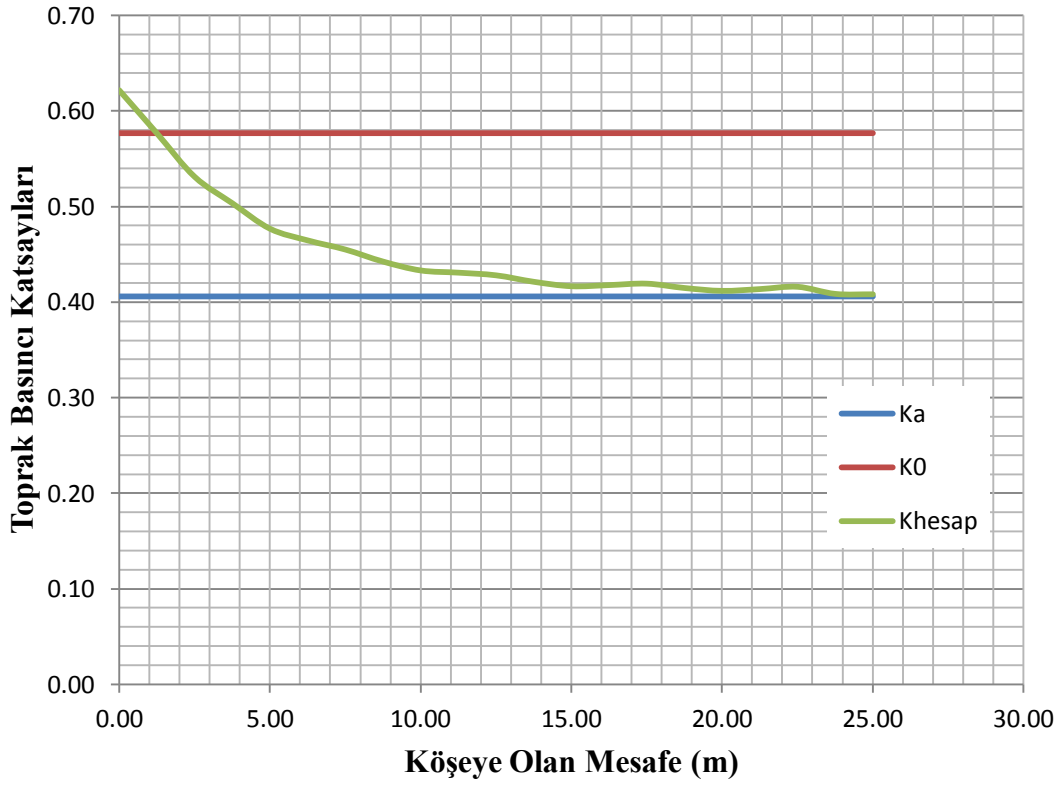
Şekil A.27 : Yarı katı kil H=8.0 m köşeden mesafe – gerilme ilişkisi.



Şekil A.28 : Yarı katı kil H=8.0 m derinlik - deplasman ilişkisi.



Şekil A.29 : Yarı katı kil H=8.0 m derinlik - gerilme ilişkisi.



Şekil A.30 : Yarı katı kil H=8.0 m köşeye mesafe – toprak basıncı katsayıları ilişkisi.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad:	Sermet TABUR
Doğum Yeri ve Tarihi:	KKTC, 09.04.1989
Adres:	Kadıköy/İstanbul
E-Posta:	sermettabur@hotmail.com
Lisans:	Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği